

Siti Latifah dan Hanny Madiawati

Antena Mikrostrip *Circular Patch* untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik

Kusnandar, Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Andika Dwi Naviandi, dan Yusuf Nugraha

Rancang Bangun Sistem Presensi Pegawai Menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC (*Near Field Communication*)

Reno Susanto, Tjokorde Walmiki Samadhi, Winny Wulandari, dan Said Zul Amraini

Analisis Ekonomi Awal Proses Produksi Biobutanol dari Tandan Kosong Sawit dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi Secara Terpisah

Trisa Mira Rahmawati, Sutrisno, dan Hanny Madiawati

Desain Band Pass Filter pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode *Square Resonator* untuk Aplikasi Radar Navigasi

Nivika Tiffany Somantri, Nandhika Darwin, Dede Furqon Nurjaman, Muhammad Reza Hidayat, dan Naftalin Winanti

Sistem Monitoring Kualitas Air pada Akuarium Budidaya Ternak Ikan Guppy Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT

Sukanto Hadi

Analisis Permasalahan Batas Darat Antara Indonesia dan Malaysia dalam Perspektif Aspek Teknis dan Teknologi Geospasial

Niswah Selmi Kaffa, Muchammad Masykur, dan Yoga Kencana Nugraha

Perbandingan Nilai Kedalaman Relatif Sungai Brantas Kabupaten Jombang dengan Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel-2 dan *Digital Elevation Model* (DEM)

Oki Alfernando, Lince Muis, Siti Junaida, Malem K. Ginting, dan Muhammad Haviz

Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Oil Shell*)

Muhammad Iqbal

Kajian Penggunaan Profil *Pultruded Fiber Reinforced Polymer* untuk Jembatan Pejalan Khaki

Yoga Kencana Nugraha dan Aisah Hajar

Pemanfaatan Informasi Geospasial Dasar (IGD) untuk Analisis Penyimpangan Arah Kiblat Bangunan Masjid secara Masal

TIM REDAKSI

- Editor In Chief : • Dr. Martijanti, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57217586993)
- Managing Editor : • Dr. Hendriyana, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID : 57189732631)
- Advisory : • Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T., IPM
Editorial Board (Universitas Sriwijaya, Indonesia. Scopus ID : 57194602385)
- Dr. Iris Mahani, S.T., M.T.
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia. Scopus ID : 57197848218)
 - Deny Bayu Saefudin, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Sinta ID : 133135)
- Editor : • Dede Irawan Saputra, S.Pd., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID : 57215833890)
- Giri Angga Setia, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57194215122)
 - Hajiar Yuliana, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID : 57194007789)
 - Pawawoi, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 56545755100)
 - Xbal Meiprastyo, S.T., M.Eng.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6722189)
 - Andini Hizbiyati, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani)
 - Andri Rahmat Kumalasian Nasution, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani)
 - Tiara Ariani Putri, S.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani)
-

Penerbit :

Fakultas Teknik

Universitas Jenderal Achmad Yani (Kampus Bandung)

Jl. Terusan Gatot Subroto Tromol Pos 807

Bandung – Jawa Barat

Indonesia

40285

Telp. : 022-731-2741

Fakultas Teknik

Universitas Jenderal Achmad Yani (Kampus Cimahi)

Jl. Terusan Jenderal Sudirman P.O. Box 148

Cimahi – Jawa Barat

Indonesia

40531

Telp. : 022-665-4572

022-664-3006

Jurnal Teknik merupakan *jurnal peer-reviewed* dalam **Bahasa Indonesia** di bidang keteknikan yang terbit **2 kali dalam setahun**. Terbit di bulan **Mei** dan **November** sejak tahun 2001. Jurnal Teknik versi online baru terbit pada tahun 2017 dengan fasilitas pengumpulan dan penerbitan online yang berbasis **Open Access Journal** dan mengikuti [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Harga Berlangganan : Institusi Rp. 170.000,-/tahun

Individu Rp. 160.000,-/tahun

Harga Tidak Berlangganan : Rp. 100.000,-/nomor

MITRA BESTARI

Anggota Tim Mitra Bestari Jurnal Teknik Tahun 2022

- Prof. Bambang Sutjiatmo, Dipl. Ing. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID : 6506054959)
- Prof. Dr. Ir. Indra Surjati, M.T., IPM (Univesitas Trisakti, Indonesia, Scopus ID: 15128239500)
- Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, M.S. (Universitas Brawijaya, Indonesia, Scopus ID: 43461203000)
- Prof. I. N. Suprpta Winaya, S.T., M.A.Sc., Ph.D. (Universitas Udayana, Indonesia, Scopus ID : 18635759300)
- Prof. Ir. Lilik Sudiajeng, M.Eng. (Politeknik Negeri Bali, Scopus ID : 57189732631)
- Dr. Achmad Munir, M.Eng. (Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Scopus ID: 25638780900)
- Dr. Arief Nur Pratomo, S.T., M.T. (Universitas Pertahanan, Indonesia, Scopus ID: 57216756313)
- Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID : 55919091000)
- Dr. Carles Sitompul, S.T., M.T., M.I.M. (Universitas Katholik Parahyangan, Indonesia, Scopus ID: 23975188900)
- Dr. Damawidjaya Biksono, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID : 5984218)
- Dr. Eng. Christina Wahyu K., S.T., M.T. (Universitas Brawijaya, Indonesia, Scopus ID : 56688583600)
- Dr. Eng. Dwi Hantoko., B.Sc., M.Sc (Zhejiang University of Technology (ZJUT), China, Scopus ID: 57203536113)*
- Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M. Eng. (Institut Pertanian Bogor, Indonesia, Scopus ID : 57195301854)
- Dr. Eng. Ir. Nur Indrianti, M.T., (UPN “Veteran” Yogyakarta, Indonesia, Scopus ID: 15071306300)
- Dr. Eng. Yoanda Alim Syahbana, S.T., M.Sc. (Politeknik Caltex Riau, Indonesia, Scopus ID: 37075904000)
- Dr. Haruman Wiranegara, S.T, M.T. (Balai Besar Logam dan Mesin - Kementerian Perindustrian, Indonesia, Sinta ID: 6714161)

- Dr. Hendy Suryana, S.T., M.T., IPM.(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus. ID: 57200332569).
- Dr. Imroatul Chalimah Juliana, S.T, M.T. (Univeristas Sriwijaya, Indonesia, Scopus ID: 57193694034)
- Dr. Ir. Ariani Budi Safarina, M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 55189898100)
- Dr. Ir. Endang Prasetyaningsih, M.T. (Univesitas Islam Bandung, Indonesia, Scopus ID: 57189580587)
- Dr. Ir. Iskandar Muda, M.Eng. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57195229456)
- Dr. Ir. Nita Puspita Hidayat, M.T. (Universitas Islam Bandung, Indonesia Scopus ID : 57201677362)
- Dr. Ir. Oviyan Patra, M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6756651)
- Dr. Ir. Sutarno, M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57205031839)
- Dr. Joko Waluyo, S.T., M.T. (Universitas Sebelas Maret, Indonesia, Scopus ID: 37114996900)*
- Dr. Khoiruddin, S.T., M.T. (Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Scopus ID: 55584284500)
- Dr. Putu Teta Prihartini Aryanti, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID : 56951380600)*
- Dr. Rinto Yusriski, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia Scopus ID : 56682391600)
- Dr. Sabhan Kanata, ST., M.Eng. (Institut Teknologi Sumatera, Indonesia, Scopus ID: 57205531562)
- Dr. Suhartono, S.T., M.Si (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID : 57189075734)*
- Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.T. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, Scopus ID: 15838524700)
- Dr.-Ing. Amalia Suzianti, S.T., M.Sc. (Universitas Indonesia, Indonesia, Scopus ID: 55836286200)
- Erwin Lim, S.T., M.S., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Scopus ID: 36093026700)*
- Ir. Harry Ramza M.T, Ph.D., MIPM (Universitas Muhammadiyah Prof Dr. Hamka, Indonesia, Scopus ID : 55189898100)

- P.Y.M. Wibowo Ndaruhadi, S.T., M.T., Ph.D (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 55983351800)
 - Putu Doddy Sutrisna, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Surabaya, Indonesia, Scopus ID : 6504553709)
 - Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D. (Politeknik Negeri Semarang, Indonesia, Scopus ID : 57194209980)
 - Aji Gumilar, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6082397)
 - Aji Putro Prakoso, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57200571585)
 - Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc. (Univeristas Islam Indonesia, Indonesia Scopus ID: 57195477115)
 - Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57188573899)*
 - Atik Charisma, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57188567470)*
 - Edwar, S.T., M.T. (Telkom University, Indonesia, Scopus ID: 57215427881)*
 - Handoko Rusiana Iskandar, S.T., M.T (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57194219446)*
 - Herman Budi Harja, S.T., M.T. (Politeknik Manufaktur Bandung, Indonesia, Scopus ID: 57201665196)
 - Ir. Emi Prasetyawati Umar, S.Si., M.T., IPM. (Universitas Muslim Indonesia, Indonesia, Scopus ID : 57201065526)
 - Ir. Ketut Tomy Suhari, M.T., IPP (Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia, SCOPUS ID: 57196485539)*
 - Ir. Nana Heryana, S.T., M.T. IPM. (Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Scopus ID: 35174665300)
 - Jamaluddin Bangki, S.T., M.T. (Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Indonesia, Sinta ID: 6719444)
 - Khamaludin, S.T., M.T. (Universitas Islam Syekh Yusuf, Indonesia, Scopus ID: 57223191789)
 - M. Reza Hidayat, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57188573208)
 - Nadiem Anwar S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6098629)
 - Naftalin Winanti, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57200994613)
-

- Nirmawana Simarmata, S.Pd., M.Sc. (Institut Teknologi Sumatera, Indonesia, Scopus ID: 57301196400)*
- Salita Ulitia Prini, S.T., M.T. (Badan Riset dan Inovasi Nasional - BRIN, Indonesia, Scopus ID: 57208581701)*
- Sofyan Basuki, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6686946)
- Sussi, S.Si., M.T. (Telkom University, Indonesia, Scopus ID: 57215071175)
- Syah Alam, S.Pd., M.T. (Universitas Trisakti, Indonesia, Scopus ID: 57191903622)
- Tommi Hariyadi S.T., M.T. (Universitas Pendidikan Indonesia, Scopus ID: 53263841200)
- Wahyu Setyo Pambudi, S.T., M.T. (ITATS Surabaya, Indonesia, Scopus ID: 57202921245)

DAFTAR ISI

Antena Mikrostrip <i>Circular Patch</i> untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik Siti Latifah dan Hanny Madiawati	106-114
Rancang Bangun Sistem Presensi Pegawai Menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC (<i>Near Field Communication</i>) Kusnandar, Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Andika Dwi Naviandi, dan Yusuf Nugraha	115-123
Analisis Ekonomi Awal Proses Produksi Biobutanol dari Tandan Kosong Sawit dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi Secara Terpisah Reno Susanto, Tjokorde Walmiki Samadhi, Winny Wulandari, dan Said Zul Amraini	124-134
Desain Band <i>Pass Filter</i> pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode <i>Square Resonator</i> untuk Aplikasi Radar Navigasi Trisa Mira Rahmawati, Sutrisno, dan Hanny Madiawati	135-143
Sistem Monitoring Kualitas Air pada Akuarium Budidaya Ternak Ikan Guppy Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT Nivika Tiffany Somantri, Nandhika Darwin, Dede Furqon Nurjaman, Muhammad Reza Hidayat, dan Naftalin Winanti	144-157
Analisis Permasalahan Batas Darat Antara Indonesia dan Malaysia dalam Perspektif Aspek Teknis dan Teknologi Geospasial Sukanto Hadi	158-171
Perbandingan Nilai Kedalaman Relatif Sungai Brantas Kabupaten Jombang dengan Perhitungan Algoritma <i>Van Hengel and Spitzer</i> Citra Sentinel-2 dan <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> Niswah Selmi Kaffa, Muchammad Masykur, dan Yoga Kencana Nugraha	172-180
Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (<i>Palm Oil Shell</i>) Oki Alfernando, Lince Muis, Siti Junaida, Malem K. Ginting, dan Muhammad Haviz	181-190
Kajian Penggunaan Profil <i>Pultruded Fiber Reinforced Polymer</i> untuk Jembatan Pejalan Kaki Muhammad Iqbal	191-201
Pemanfaatan Informasi Geospasial Dasar (IGD) untuk Analisis Penyimpangan Arah Kiblat Bangunan Masjid secara Masal Yoga Kencana Nugraha dan Aisah Hajar	202-214

DARI REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Kuasa atas perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Teknik (JT) Volume 21 Nomor 2, bulan November 2022. Dalam edisi ini disajikan 10 (sepuluh) makalah berkaitan dengan bidang Ilmu Teknik, yang mencakup Teknik Kimia, Teknik Elektro, Teknik Mesin, Teknik Sipil, Teknik Metalurgi, Teknik Industri, dan Teknik Geomatika yang meliputi: (1) Antena Mikrostrip *Circular Patch* untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik, (2) Rancang Bangun Sistem Presensi Pegawai Menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC (*Near Field Communication*), (3) Analisis Ekonomi Awal Proses Produksi Biobutanol dari Tandan Kosong Sawit dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi Secara Terpisah, (4) Desain Band *Pass Filter* pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode *Square Resonator* untuk Aplikasi Radar Navigasi, (5) Sistem Monitoring Kualitas Air pada Akuarium Budidaya Ternak Ikan Guppy Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT, (6) Analisis Permasalahan Batas Darat Antara Indonesia dan Malaysia dalam Perspektif Aspek Teknis dan Teknologi Geospasial, (7) Perbandingan Nilai Kedalaman Relatif Sungai Brantas Kabupaten Jombang dengan Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel-2 dan *Digital Elevation Model (DEM)*, (8) Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Oil Shell*), (9) Kajian Penggunaan Profil *Pultruded Fiber Reinforced Polymer* untuk Jembatan Pejalan Kaki, dan (10) Pemanfaatan Informasi Geospasial Dasar (IGD) untuk Analisis Penyimpangan Arah Kiblat Bangunan Masjid secara Masal.

Redaksi menyampaikan rasa terima kasih kepada peneliti-peneliti untuk mempublikasikan hasil penelitiannya dalam Jurnal Teknik edisi 21 (2) ini. Tak lupa juga kami ucapkan terima kasih kepada Mitra Bestari yang telah membantu hingga Jurnal Teknik ini dapat diterbitkan. Redaksi senantiasa mengundang peneliti, perekayasa, dan para fungsional lain untuk memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang ilmu teknik. Kritik dan saran atas ketidak-sempurnaan dalam Jurnal Teknik sangat kami harapkan demi kemajuan dan penyempurnaan dalam terbitan selanjutnya. Semoga pemuatan karya dalam terbitan kali ini dapat menjadi pemicu peneliti-peneliti untuk melahirkan karya-karya lain dengan ide-ide original dan bermanfaat untuk masyarakat.

Cimahi, 30 November 2022

Dewan redaksi

Antena Mikrostrip *Circular Patch* untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik

Siti Latifah¹ dan Hanny Madiawati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

siti.latifah.tkom19@polban.ac.id, hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Saat ini mobilitas manusia serta lalu lintas antar daerah maupun antar negara semakin meningkat, hal tersebut menuntut dunia penerbangan untuk semakin berkembang pula. Salah satu perkembangan pada dunia penerbangan yaitu teknologi radar altimeter sebagai sistem navigasi pesawat yang bekerja pada rentang frekuensi 4,2 – 4,4 GHz. Pada penelitian ini telah dilakukan realisasi antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk lingkaran pada frekuensi C-band dengan penambahan elemen parasitik dan pencatuan *proximity coupled* untuk memperkuat *gain* serta memperlebar *bandwidth*. Antena yang dibuat menggunakan bahan Rogers RT5870 yang memiliki konstanta dielektrik 2,33, dengan ketebalan bahan 1,575 mm dan *loss tangent* 0,0012. Hasil pengukuran didapatkan lebar *bandwidth* 300 MHz lebih sempit 3,54% dibanding hasil simulasi sedangkan *gain* lebih besar 4,79% menjadi 8,13 dBi serta pola radiasi *unidirectional*. Parameter-parameter tersebut telah memenuhi spesifikasi antena yang sudah dibuat.

Kata kunci: antena mikrostrip, *patch circular*, radar altimeter, *proximity coupled*, parasitik.

Abstract

Currently, human mobility and traffic between regions and between countries are increasing, this requires the world of aviation to grow as well. One of the developments in the world of aviation is radar altimeter technology as an aircraft navigation system that works in the frequency range of 4.2 - 4.4 GHz. In this research, the realization of a microstrip antenna with a circular patch on the C-band frequency has been carried out with the addition of parasitic elements and proximity coupled feeding to strengthen the gain and widen the bandwidth. The antenna is made using Rogers RT5870 material which has a relative permittivity of 2.33, a material thickness of 1.575 mm and a loss tangent of 0.0012. The measurement results show that the bandwidth of 300 MHz is 3.54% narrower than the simulation results, while the gain is 4.79% to 8.13 dBi and the radiation pattern is unidirectional.

Keywords: microstrip antenna, circular patch, radar altimeter, proximity coupled, parasitic.

1. Pendahuluan

Antena merupakan suatu elemen penting yang harus ada pada sebuah alat komunikasi nirkabel ataupun perangkat yang berfungsi untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik salah satunya pada radar altimeter dengan alokasi frekuensi yaitu pada rentang 4,2 – 4,4 GHz sesuai ketentuan *International Telecommunication Union* (ITU). Untuk memaksimalkan kinerja radar altimeter, dibutuhkan antena yang mampu menghasilkan pola radiasi *unidirectional* dengan *gain* yang tinggi serta *bandwidth* yang lebar. Pada penelitian ini digunakan antena mikrostrip karena memiliki dimensi kecil, massa ringan, seera biaya fabrikasi yang murah (Amaliya & Ludyati, 2019). Namun kelemahan dari antena mikrostrip adalah menghasilkan *gain* yang rendah serta *bandwidth* yang sempit (Akbar, Alam, & Surjati, 2017). Untuk meningkatkan *gain* dapat dilakukan metode *array* yaitu dengan menyusun antena mikrostrip menjadi beberapa *patch* yang terhubung ke saluran pencatu. Ada beberapa kelemahan pada metode *array* diantaranya penambahan *feed line* pada setiap elemen akan menambahkan dimensi dari substratnya dan penambahan T-Junction akan menyebabkan penambahan parameter optimasi pada antena mikrostrip *array*. Untuk mengatasi kelemahan tersebut digunakan metode elemen parasitik yaitu sebuah elemen yang tidak memiliki *feed line* sendiri dan bergantung pada *feed line patch* utama (Indani & Sembiring, 2020) dan pencatuan *proximity coupled* untuk memperlebar *bandwidth* (Prabowo & Wijanto, 2017).

Penelitian ini diselesaikan dengan mengacu pada beberapa referensi dengan topik terkait. Bayu dan Heroe (2017) membuat antena mikrostrip *array* dengan bentuk *patch* persegi dengan bahan substrat yang digunakan yaitu Rogers RT5880 dan digunakan pencatuan *proximity coupled*. Pada simulasi dihasilkan nilai *return loss* 79,78 dB dengan lebar *bandwidth* 348,1 MHz, *gain* sebesar 13,17 dBi, dan pola radiasi *unidirectional*. Sedangkan hasil realisasi didapatkan *return loss* sebesar 51,89 dB, *bandwidth* 286 MHz, *gain* 13,46 dBi, dengan pola radiasi *unidirectional* (Prabowo & Wijanto, 2017).

Info Makalah:

Dikirim : 04-27-22;

Revisi 1 : 05-28-22;

Revisi 2 : 06-22-22;

Diterima : 06-23-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : siti.latifah.tkom19@polban.ac.id

Aries Asrianto Ramadian (2017) merancang antena mikrostrip berbentuk rectangular gerigi. Bahan substrat menggunakan FR-4 Epoxy dengan teknik pencatuan *microstrip line feed*. Antena yang dihasilkan bekerja pada frekuensi 4132 – 4373 MHz dengan *return loss* 16,55 dB dan *bandwidth* 241 MHz (Ramadian, 2017). Kanakavalli, dkk (2018) membuat antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk cekung berukuran 32 × 38 mm.

Substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 dengan teknik pencatuan *coaxial probe*. Hasil simulasi menunjukkan *bandwidth* 200 MHz pada *return loss* 22 dB, dan *gain* 10 dBi (Harshasri, Babu, & Rao, 2018).

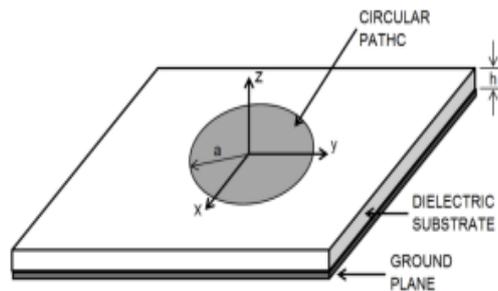
A. Sudhakar, dkk (2018) membuat antena mikrostrip *compact rectangular* dengan ukuran 18 mm x 12 mm x 1,6 mm dengan bahan substrat FR-4 Epoxy. Hasil simulasi didapatkan *return loss* sebesar 32 dB dengan *gain* 3,74 dBi (Sudhakar, Prakash, & Satyanarayana, 2018). Saad, dkk (2018) merancang antena mimo pada tahun 2018 dengan menggunakan teknik DGS dan bahan substrat yang digunakan yaitu Rogers RT5880. Hasil simulasi didapatkan *return loss* 28 dB dengan lebar *bandwidth* 2000 MHz, dan *gain* 6,8 dBi (Kiani, Altaf, Mahmood, & J.Cole, 2018).

Upender (2021) merancang antena mikrostrip *rectangular* dengan menggunakan pencatuan *proximity coupled* dan bahan substrat Rogers RT5880. Pada simulasi dihasilkan *return loss* 32 dB, *bandwidth* 100 MHz, dan *gain* 9,01 dB sedangkan hasil realisasi didapatkan *return loss* 10,3 dB dengan *bandwidth* 90 MHz serta *gain* sebesar 5 dBi (Upender, 2021). Dari antena yang sudah diteliti dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, antena tersebut memiliki *bandwidth* yang lebih lebar yaitu 300 MHz dengan *gain* 8,13 dBi dan pola radiasi *unidirectional* sesuai kebutuhan radar altimeter.

2. Metode

A. Antena Mikrostrip Circular

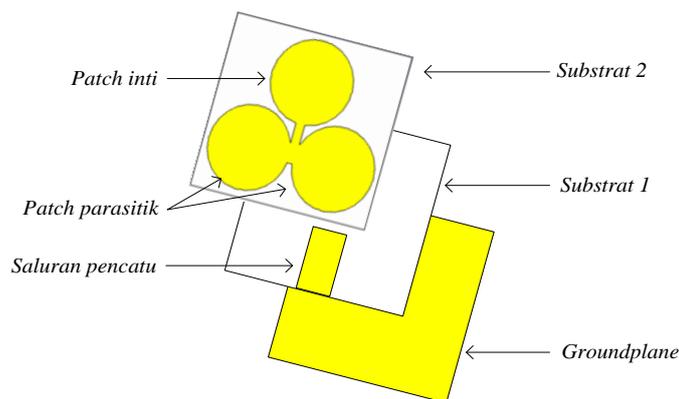
Salah satu jenis antena yang dilihat berdasarkan bentuk *patch* nya yaitu antena dengan *patch* berbentuk lingkaran (*circular*). Antena mikrostrip *circular* merupakan antena dengan bentuk sederhana karena hanya memiliki satu parameter dimensi yaitu berupa jari-jari *patch* (a) sehingga akan memudahkan dalam proses optimasi.



Gambar 1. Geometri Antena Mikrostrip *Circular Patch*.

B. Teknik Pencatuan *Proximity Coupled*

Teknik pencatuan *proximity coupled* mempunyai performansi yang baik dalam hal lebar *bandwidth* dan *gain* dari antena yang tinggi. Berdasarkan Gambar 2 struktur dasar dari pencatuan *proximity coupled* menggunakan dua *layer* substrat. Elemen *patch* dari antena mikrostrip ditempatkan pada bagian atas *layer* pertama, sementara pencatunannya ditempatkan pada bagian atas *layer* kedua dengan *ground plane* berada pada bagian bawah dari *layer* kedua substratnya (Rachmat, Nugroho, & Saputera, 2021).



Gambar 2. Susunan Antena Teknik Pencatuan *Proximity Coupled*.

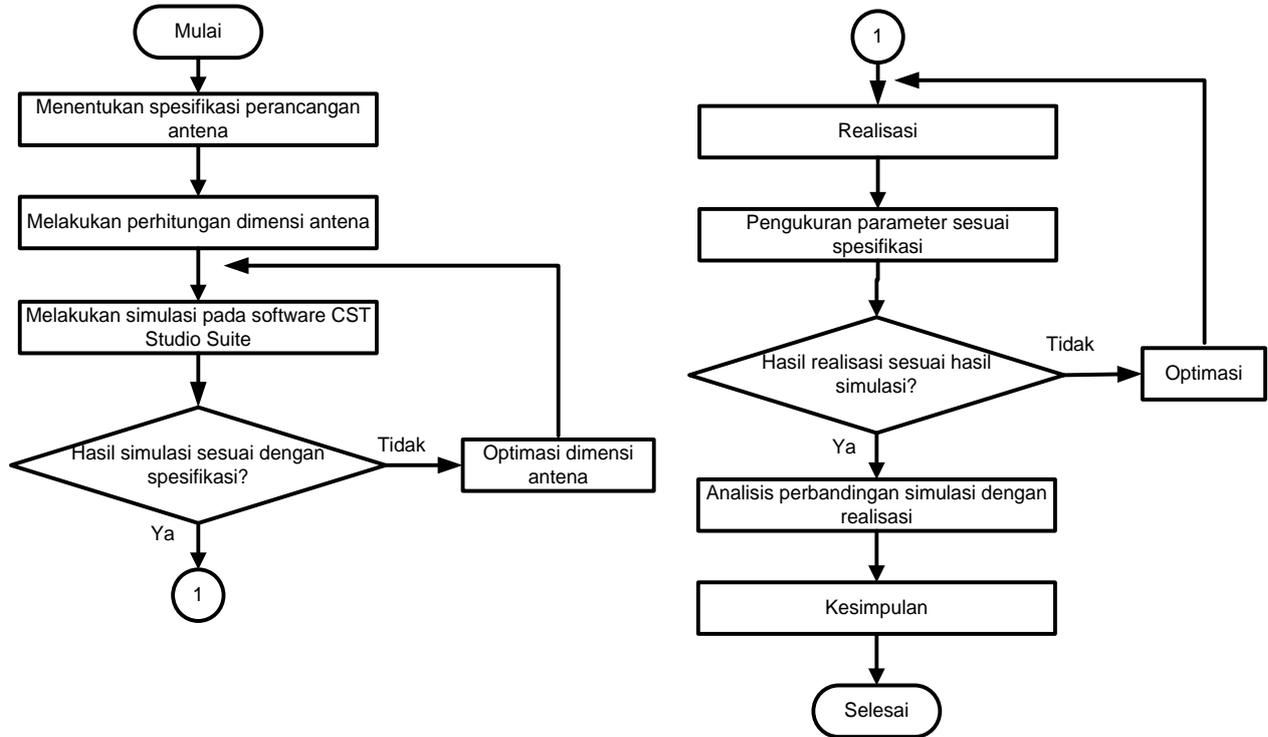
C. Metode Parasitik

Metode parasitik merupakan metode penambahan elemen parasitik berupa *patch* sekunder yang diletakkan berdekatan dengan *patch* utama atau *patch* yang akan didorong (Marchellia, Simanjuntak, & Madiawati, 2021).

Elemen parasitik merupakan elemen yang tidak dicatu dan terbuat dari bahan semikonduktor murni (Medianto & Hardiman, 2018). Penambahan elemen parasitik ini berfungsi untuk meningkatkan *gain* yang merupakan salah satu kelemahan pada antena mikrostrip yaitu cenderung memiliki *gain* yang rendah. Selain itu, metode parasitik juga merupakan salah satu cara untuk mengatasi karakteristik *bandwidth* yang sempit dari antena mikrostrip

D. Perancangan Antena

Perancangan antena mikrostrip dibantu dengan simulator CST Studio Suite 2019. Tahapan perancangan antena tersebut sesuai dengan Gambar 3 dengan spesifikasi antena yang dirancang diperlihatkan Tabel 1.



Gambar 3. Tahapan Perancangan Antena.

Tabel 1. Spesifikasi Perancangan Antena.

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi tengah (GHz)	4,3
<i>Bandwidth</i> (MHz)	≥ 200
<i>Return loss</i> (dB)	≥ 10
<i>Gain</i> (dBi)	≥ 4
Pola radiasi	<i>unidirectional</i>

E. Perancangan Antena

Perancangan antena dibantu dengan perangkat lunak CST Studio Suite 2019. Penentuan dimensi antena dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan untuk menghitung jari-jari *patch*, ukuran panjang dan lebar *ground plane* serta saluran pencatu (Satria, 2021) (Tantana, 2021).

Penentuan nilai jari-jari/radius (*a*) dari *patch circular* dihasilkan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1,7726 \right]}} \quad (1)$$

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{fr\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Ukuran untuk panjang dan lebar dari *ground plane* dihitung dengan persamaan (3) dan (4).

$$Lg = 6h + 2a \quad (3)$$

$$Wg = 6h + \frac{\pi}{2} a \quad (4)$$

Sedangkan perhitungan panjang dan lebar dari saluran pencatu menggunakan persamaan:

$$Wf = \frac{8h^A}{e^{2A-2}} \text{ untuk } A > 1,52 \quad (5)$$

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon r - 1}{2\epsilon r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon r} \right] \right\} \text{ jika } A < 1,52 \quad (6)$$

$$Lf = \frac{1}{4} \lambda d \quad (7)$$

Dengan A dan B dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\epsilon r + 1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon r - 1}{\epsilon r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon r} \right) \quad (8)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon r}} \quad (9)$$

Dan panjang gelombang saluran (λd) dicari dengan persamaan (10) dan (11).

$$\lambda_0 = \frac{c}{fr} \quad (10)$$

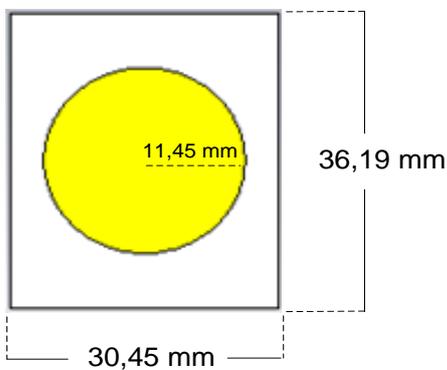
$$\lambda d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon r}} \quad (11)$$

Tabel 2. Dimensi Antena Hasil Perhitungan.

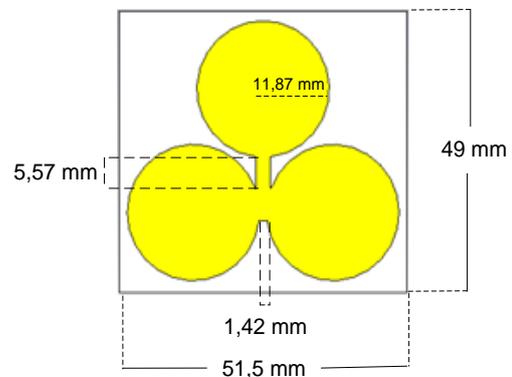
Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
<i>a</i>	13,37	Jari-jari <i>circular patch</i>
Lg	36,19	Panjang <i>Ground plane/substrate</i>
Wg	30,45	Lebar <i>Ground plane/substrate</i>
Lf	11,42	Panjang <i>feeder</i>
Wf	4,67	Lebar <i>feeder</i>

3. Hasil dan Pembahasan

Pada simulator dirancang terlebih dahulu antena dengan 1 *patch* (tanpa parasitik) kemudian setelah mendapat respons yang optimal maka dikembangkan dengan menambah 2 *patch* parasitik dengan ukuran yang sama. Gambar 4 merupakan desain antena tanpa parasitik dan Gambar 5 adalah dengan parasitik.

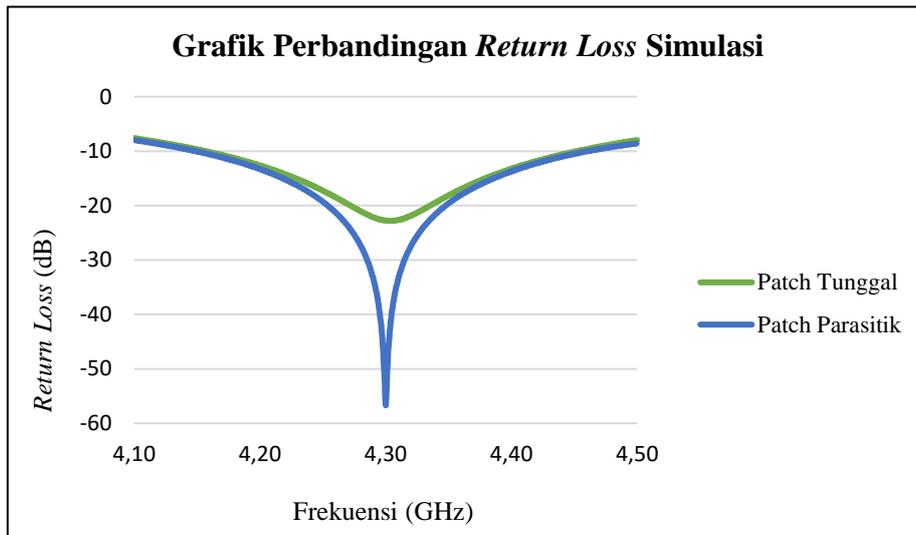


Gambar 4. Antena *Patch* Tunggal.



Gambar 5. Antena *Patch* Parasitik.

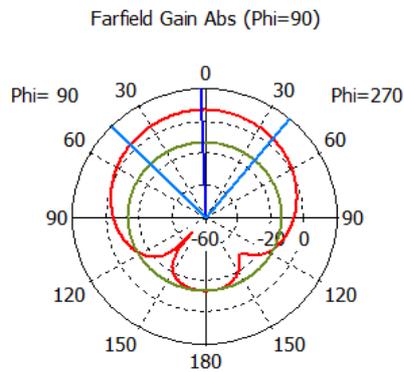
Perbandingan nilai *return loss* yang didapatkan dari hasil simulasi ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6.



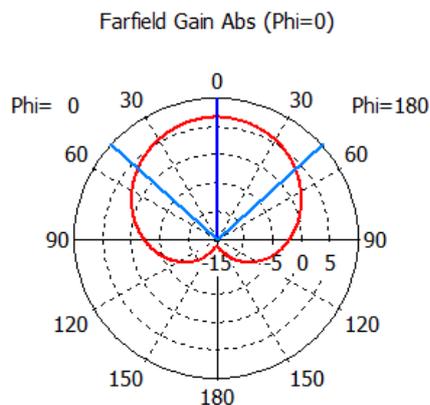
Gambar 6. Grafik Perbandingan *Return Loss* Patch Tunggal dengan Patch Parasitik.

Respons parameter antena dengan tambahan *patch* parasitik memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan antena dengan *patch* tunggal. Pada frekuensi kerja 4,3 GHz, antena dengan *patch* tunggal memiliki nilai *return loss* sebesar 22,8 dB dengan *bandwidth* 295,7 MHz sedangkan antena dengan *patch* parasitik memiliki *return loss* sebesar 56,7 dB dengan lebar *bandwidth* lebih besar 5,16% yaitu 311 MHz.

Bentuk pola radiasi yang dicari yaitu pola radiasi pada bidang *H-plane* dan juga *E-plane*. *H-plane* adalah bidang yang berisi vektor medan magnet dan arah radiasi maksimum sedangkan *E-plane* adalah bidang yang berisi vektor medan listrik dan arah radiasi maksimum (Simanjuntak). Gambar 7 dan 8 menunjukkan bentuk dari pola radiasi antena dengan *patch* tunggal dan memperlihatkan pola radiasi *unidirectional* karena sebagian besar radiasi tertuju pada satu arah. Dengan pola radiasi yang dihasilkan, diperoleh besarnya *gain* yaitu 6,61 dBi pada frekuensi 4,3 GHz.

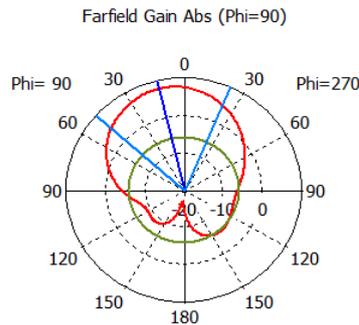


Gambar 7. Pola Radiasi *E-plane* Antena Patch Tunggal.

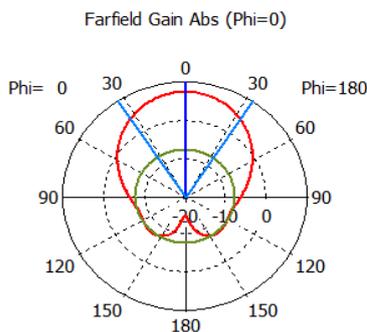


Gambar 8. Pola Radiasi *H-plane* Antena Patch Tunggal.

Sedangkan untuk antena dengan *patch* parasitik memiliki pola radiasi seperti dibawah ini. Besarnya *gain* yang dihasilkan yaitu 7,74 dBi.



Gambar 9. Pola Radiasi *E-plane* Antena *Patch* Parasitik.



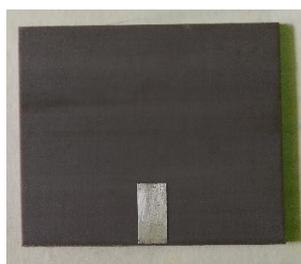
Gambar 10. Pola Radiasi *H-plane* Antena *Patch* Parasitik.

Antena dengan tambahan *patch* parasitik memiliki *gain* yang lebih besar dengan kenaikan 4,79% sesuai dengan fungsi metode parasitik itu sendiri dan pada pola radiasi memiliki *backlobe* yang lebih kecil dibandingkan dengan antena *patch* tunggal tanpa parasitik.

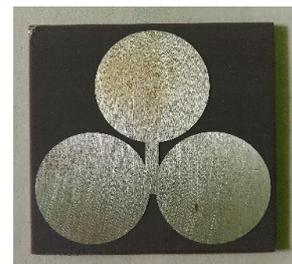
Antena yang telah dicetak ditampilkan oleh gambar-gambar dibawah ini dengan lapisan paling bawah berupa *ground plane* yang ditunjukkan oleh Gambar 11.a, saluran pencatu yang berada pada substrat pertama ditunjukkan oleh Gambar 11.b, dan *patch* diatas substrat 2 ditunjukkan oleh Gambar 11.c. Susunan antena yang telah dipasang konektor SMA *female* ditunjukkan oleh Gambar 11.d.



(a) *Ground plane*



(b) Saluran Pencatu



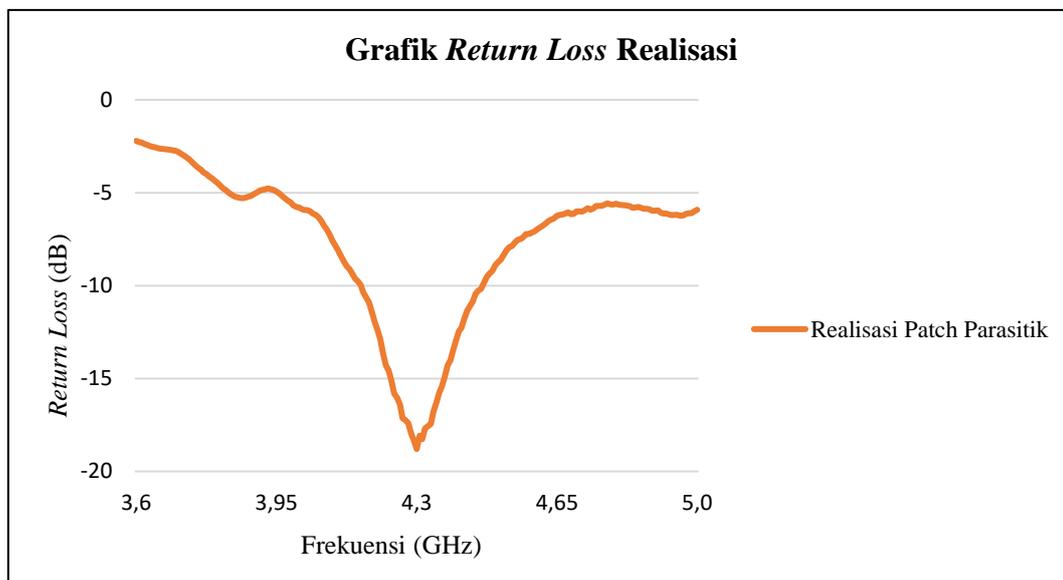
(c) *Patch*



(d) Antena Setelah Dipasang Konektor

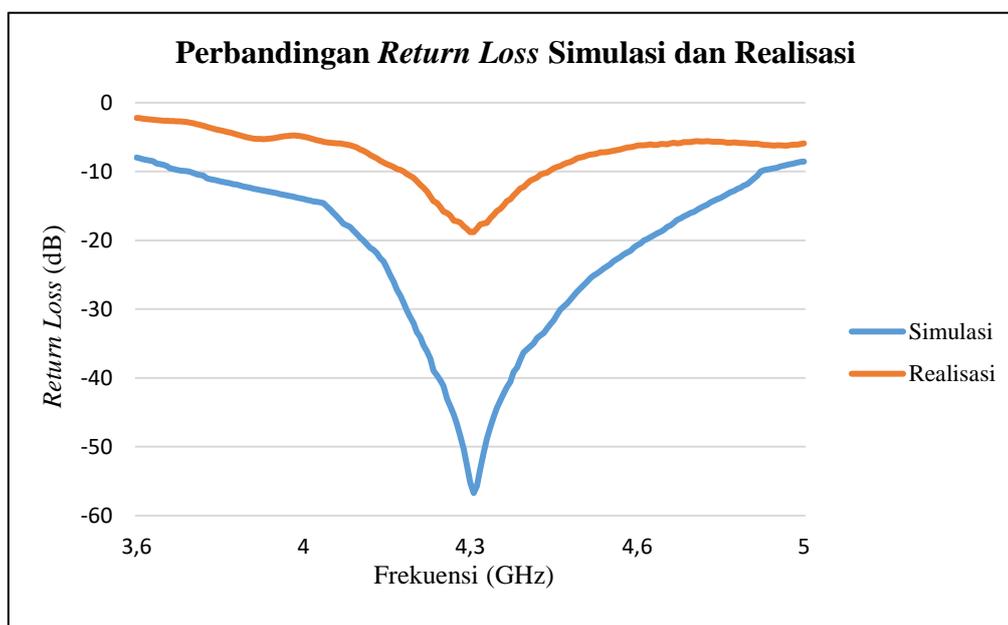
Gambar 11. Realisasi Antena

Pengukuran realisasi antenna menggunakan alat ukur *FieldFox microwave analyzer* dengan parameter antenna yang diukur yaitu *return loss*, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi. Berikut merupakan grafik *return loss* hasil pengukuran realisasi antenna yang ditunjukkan pada Gambar 12.



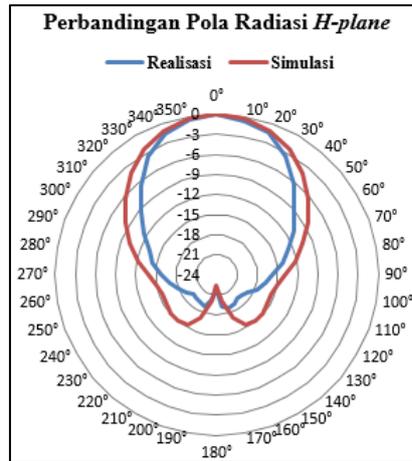
Gambar 11. Grafik *Return Loss* Antena Realisasi.

Hasil pengujian antenna didapatkan *return loss* maksimal yaitu 18,79 dB pada frekuensi 4,3 GHz sedangkan *return loss* maksimal untuk hasil simulasi yaitu sebesar 56,71 dB. Perbandingan grafik *return loss* antara pengukuran dan simulasi untuk setiap frekuensi ditunjukkan oleh Gambar 13.

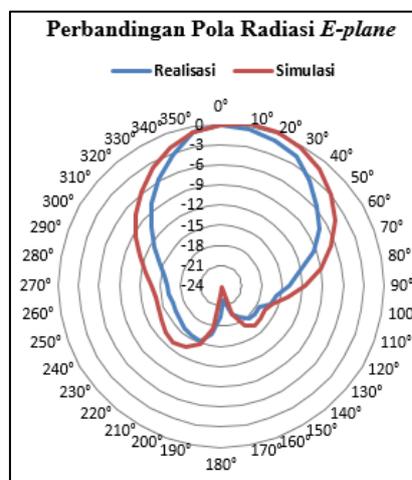


Gambar 12. Perbandingan *Return Loss* Simulasi dan Realisasi.

Lebar *bandwidth* pada *return loss* 10 dB untuk antenna simulasi yaitu diperoleh pada frekuensi 4149 MHz sebagai frekuensi rendah dan 4460 MHz untuk frekuensi tinggi sehingga lebar *bandwidth* yang dihasilkan adalah 311 MHz. Sedangkan untuk *bandwidth* hasil realisasi memiliki rentang frekuensi 4164 – 4464 MHz sehingga lebar *bandwidth* yang diperoleh yaitu 300 MHz. Untuk pengukuran pola radiasi digunakan dua antenna yaitu pemancar dan penerima yang dipasang dengan posisi yang sama pada jarak tertentu. Pengukuran untuk pola radiasi *H-plane* dilakukan dengan posisi antenna pada $\phi 0^\circ$ sedangkan pengukuran pola radiasi untuk *E-plane* dilakukan pada posisi antenna dengan $\phi 90^\circ$ dengan antenna penerima diputar setiap sudut 10° sesuai arah jarum dari 0° sampai 350° dan diperoleh bentuk pola radiasi yaitu *unidirectional* yang memancarkan radiasi ke satu arah saja. Gambar 14 dan Gambar 15 tampilan pola radiasi hasil pengukuran realisasi yang dibandingkan dengan hasil pada simulasi.



Gambar 13. Perbandingan Pola Radiasi H-plane.



Gambar 14. Perbandingan Pola Radiasi E-plane.

Pengukuran *gain* dilakukan dengan jarak antar antenna pemancar dan penerima yaitu $R \geq 14$ cm. Besarnya level daya yang terukur pada antenna pengirim/referensi (P_T) yaitu $-45,49$ dBm sedangkan pada antenna penerima (P_R) yaitu $-49,36$ dBm, dengan menggunakan antenna horn sebagai antenna acuan referensi yang memiliki *gain* standar (G_T) sebesar 12 dBi maka total *gain* yang terukur pada antenna penerima (G_R) dihitung melalui persamaan berikut.

$$G_R \text{ (dBi)} = P_R \text{ (dBm)} - P_T \text{ (dBm)} + G_T \text{ (dBi)} \quad (12)$$

$$G_R \text{ (dBi)} = -49,36 \text{ dBm} - (-45,59 \text{ dBm}) + 12 \text{ dBi}$$

$$G_R \text{ (dBi)} = 8,13 \text{ dBi}$$

Secara keseluruhan, nilai-nilai parameter antenna yang dihasilkan baik dari simulasi maupun pengukuran realisasi jika dibandingkan dengan nilai spesifikasi yang diharapkan tersaji dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan keseluruhan hasil parameter antenna

Spesifikasi Teknis	Nilai	Hasil Simulasi	Hasil Realisasi
Frekuensi Tengah (GHz)	4,3	4,3	4,3
Bandwidth (MHz)	≥ 200	311	300
Return loss (dB)	≥ 10	56,71	18,79
Gain (dBi)	≥ 4	7,74	8,13
Pola Radiasi	Unidirectional	Unidirectional	Unidirectional

Kesimpulan

Hasil perancangan dan hasil realisasi antenna mikrostrip telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan untuk aplikasi radar altimeter. Dari hasil simulasi diperoleh *bandwidth* 311 MHz dan *gain* 7,74 dBi sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh *bandwidth* 300 MHz dan *gain* 8,13 dBi sehingga diperoleh penurunan *bandwidth* 3,54% dan peningkatan *gain* 4,79% dari hasil simulasi. Dari hasil simulasi dan pengukuran keduanya diperoleh pola radiasi *unidirectional*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Hanny Madiawati selaku dosen pembimbing yang selalu ikut serta dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih penulis ucapkan juga kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan sarana untuk pengukuran antenna serta Jurnal Teknik UNJANI yang telah memfasilitasi dalam penerbitan jurnal.

Daftar Notasi

a	= jari-jari/radius <i>patch</i>
F	= fungsi logaritmik
h	= tebal substrat
f_r	= frekuensi resonansi/
ϵ_r	= permitivitas relatif substrat
L_g	= panjang <i>ground plane</i>
W_g	= lebar <i>ground plane</i>
Z_0	= impedansi masukan (50Ω)
λ_d	= panjang gelombang saluran
G_R	= <i>gain</i> antenna terukur/penerima
G_T	= <i>gain</i> antenna acuan/referensi
P_R	= level daya antenna terukur/penerima
P_T	= level daya antenna acuan/referensi

Daftar Pustaka

- Akbar, A., Alam, S., & Surjati, I. (2017). Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular (2,45 GHz) Array dengan Teknik Pencatu Proximity Sebagai Penguat Sinyal Wi-Fi. *SETRUM*, 6(2), 215-224.
- Amaliya, T., & Ludyati, H. (2019). Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Panjang Menggunakan Substrat FR4 Termodifikasi dengan Mode TM01 dan TM12 Pada Frekuensi Kerja Radar Altimeter Pesawat. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, X(1), 1-11.
- Harshasri, K., Babu, P., & Rao, P. (2018). Design of Compact C-Band Concave Patch Antenna for Radar Altimeter Applications. *International Conference on Communication and Signal Processing*. India.
- Indani, W., & Sembiring, J. R. (2020). Peningkatan Gain Antena Mikrostrip Patch Rectangular dengan Metode Element Parasitic Pada Frekuensi 2.1 GHz. *ELEMENTER*, 6(2), 62-69.
- Kiani, S. H., Altaf, A., Mahmood, K., & J.Cole, A. (2018). Mutual Coupling Reduction of MIMO Antenna for Satellite Services and Radio Altimeter Application. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(4), 23-26.
- Marchellia, Simanjuntak, A. B., & Madiawati, H. (2021). Desain Antena Mikrostrip Persegi Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2.4 GHz. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 4(5), 724-730.
- Medianto, D., & Hardiman, M. (2018). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 109-116.
- Prabowo, B. H., & Wijanto, H. (2017). Perancangan Dan Realisasi Antena Susunan Linier Mikrostrip *Patch* Persegi Dengan Catuan *Proximity Coupled* Untuk Radio Altimeter Pesawat 4,2 – 4,4 GHz. *e-Proceeding of Engineering*, 3(2), 2002-2010.
- Rachmat, I. M., Nugroho, B. S., & Saputera, Y. P. (2021). Antena Mikrostrip Proximity Coupled dengan Side Parasitic pada Frekuensi S-Band untuk Electronic Support Measure (ESM). *e-Proceeding of Engineering*, 8(2), 1-8.
- Ramadian, A. A. (2017). Desain Antena Mikrostrip Rectangular Gerigi untuk Radar Altimeter. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(2), 1-10.
- Satria, D. I. (2021). *Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch Untuk Aplikasi GPS Pada Frekuensi 1575.42 MHz*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Simanjuntak, A. (n.d.). BAB 4 Parameter Antena. In *Teknik Antena dan Propagasi* (pp. 35-57). Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Sudhakar, A., Prakash, M. S., & Satyanarayana, M. (2018). Compact Microstrip Antenna for Radar Altimeter Applications. *IEEE WiSPNET 2016 Conference*. India.
- Tantana, M. Y. (2021). *Perancangan Antena Mikrostrip Array Circular Patch Bintang 27 Pada Sistem Peringatan Dini Kebakaran Hutan Menggunakan IoT Lora 923 MHz*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Uperder. (2021). Performance Analysis and Development Of Printed Circuit Microstrip Patch Antenna with Proximity Coupled Feed at 4.3 GHz (C-band) with Linear Polarization for Altimeter Application. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 10(1), 1293-1304.

Rancang Bangun Sistem Presensi Pegawai Menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC (*Near Field Communication*)

Kusnandar¹, Ni Ketut Hariyawati Dharmi¹, Andika Dwi Naviandi¹, dan Yusuf Nugraha¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

kusnandar@lecture.unjani.ac.id, niketuthd@yahoo.com.

Abstrak

Sistem presensi dinilai dapat membantu suatu instansi dalam memberikan informasi mengenai jadwal kehadiran seseorang. Sistem presensi juga dapat digunakan sebagai salah satu alat yang efektif untuk menerapkan sikap disiplin pada sebuah instansi, dikarenakan pada sistem presensi ini kita dapat melihat perbedaan antara kedisiplinan orang melalui ketepatan waktu presensi yang telah ditentukan pada masing – masing instansi tersebut. Pada perancangan sistem ini metode yang digunakan adalah NFC (*Near Field Communication*) dimana sistem ini dapat digunakan dalam membantu pencatatan jadwal presensi seseorang. Perangkat keras yang digunakan adalah *solenoid door lock*, dan perangkat personal komputer, sedangkan untuk perangkat lunak yang digunakan diantaranya adalah *Wemos D1 Mini*. Untuk pencatatan pada *database* yang digunakan adalah *MySQL*. Hasil perancangan sistem presensi menggunakan NFC menggunakan metode *Key Door lock* ini memiliki tingkat akurasi *NFC reader* dalam membaca kartu identitas sangat tinggi dapat dilihat dari data yang telah dikumpulkan bahwa tingkat akurasi pembacaan kartu identitas oleh *NFC reader* menunjukkan tidak terjadi *error* atau kesalahan. Hasil pengujian cek *response time* pada pembacaan *NFC reader* tersebut dapat dibuktikan secara rumus, dimana nilai waktu rata – rata pengujian cek *response time* adalah 0,67 menit.

Kata kunci: *near field communication*, sistem presensi otomatis, *solenoid door lock*, *wemos D1 mini*, metode *key door lock*.

Abstract

The attendance system is considered to be able to assist an agency in providing information about a person's attendance schedule. The attendance system can also be used as an effective tool for implementing discipline in an agency because, in this attendance system, we can see the difference between people's discipline through the timeliness of attendance that has been determined at each of these agencies. In designing this system the method used is NFC (*Near Field Communication*) where this system can be used to help record someone's attendance schedule. The hardware used is a door lock solenoid, and personal computer devices, while the software used is *Wemos D1 Mini*. For recording the database used is *MySQL*. The results of presence system using NFC using the *Key Door Lock* method have a very high level of accuracy for reading an identity card. It can be seen from the data that has been collected that the accuracy of reading an identity card by an *NFC reader* shows that there is no error or error. The results of response time check test on the *NFC reader* reading can be proven by formula, where average time value of response time check test is 0.67 minutes.

Keywords: *near field communication*, automatic attendance system, door lock solenoid, *wemos D1 mini*, key method door lock.

1. Pendahuluan

Presensi adalah sebuah kegiatan pengambilan data guna mengetahui jumlah kehadiran pada suatu acara. Setiap kegiatan yang membutuhkan informasi mengenai peserta tentu akan melakukan pencatatan kehadiran (Satriawan dkk., 2017). Perkembangan teknologi di dunia semakin pesat, khususnya kemajuan di bidang teknologi informasi terutama pada teknologi *mobile* dan internet. Penggunaan aplikasi *mobile* dan *web* dikatakan lebih efektif dan efisien karena adanya kemudahan dalam pengaksesan dan pengambilan informasi. Sistem informasi adalah sebuah sistem yang berfungsi mengumpulkan, memproses, menyimpan, menganalisis, dan menyebarkan informasi untuk tujuan yang spesifik (Kustianto, 2010). Banyak perusahaan yang telah menggunakan perkembangan teknologi tersebut sebagai sistem presensi di sebuah kantor seperti penggunaan teknologi *fingerprint* atau *barcode* dan datanya dikumpulkan dalam *database* yang nantinya dapat dilihat oleh pemegang akses (Nasution dkk., 2012).

Sistem pencatatan kehadiran di sebuah perusahaan atau institusi umumnya diawali dengan hak akses terhadap pintu masuk. Pintu masuk akan terbuka saat orang yang akan masuk terverifikasi sebagai pegawai atau pihak yang diberi akses untuk masuk. Kebutuhan akan suatu sistem yang dapat memberikan keamanan sangat dibutuhkan banyak orang. Banyak cara yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satunya memanfaatkan teknologi pada sistem keamanan akses buka pintu. Pintu merupakan salah satu akses masuk dan keluar ruangan yang membutuhkan

Info Makalah:

Dikirim : 03-07-22;

Revisi 1 : 04-18-22;

Revisi 2 : 06-23-22;

Diterima : 08-01-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62813-1370-4872

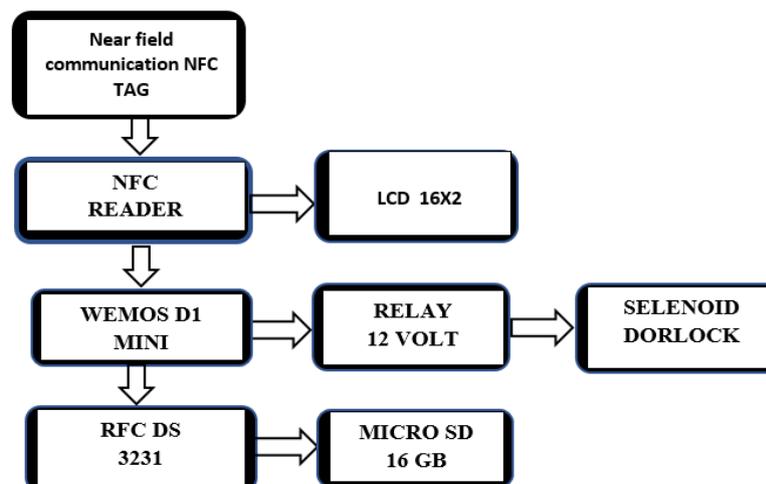
e-mail : kusnandar@lecture.unjani.ac.id

tingkat keamanan tinggi untuk mencegah tingkat pencurian atau kehilangan ketika ditinggal oleh pemiliknya. Dewasa ini, metode akses untuk membuka pintu dapat menggunakan deteksi wajah menggunakan kamera, teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*), atau NFC (*Near Field Communication*). Beberapa penelitian yang menggunakan deteksi wajah menggunakan kamera misalnya dilakukan oleh Ruiqin dkk. (2021), Suryowinoto dkk. (2021), Radzi dkk. (2020), dan Najmurokhanan *dkk.* (2018). Sementara itu, Wulandaru dkk. (2017) memanfaatkan teknologi RFID dalam perekaman data medis, Undala dkk. (2015) menggunakan teknologi RFID dalam membangun prototipe sistem keamanan pintu, dan Sofyan dkk. (2017) membangun sistem keamanan pintu berbasis RFID yang diproses secara terpusat menggunakan mikrokontroler Arduino Uno.

Dewasa ini, penggunaan NFC untuk mendukung sistem keamanan akses pada pintu relatif banyak digunakan oleh masyarakat karena kelebihan yang ditawarkan dalam hal tingkat keamanan, kemudahan dalam integrasi sistem, dan kepraktisan dalam realisasi sistem (Ariansyah, 2012). Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan NFC misalnya dilakukan oleh Köbler dkk. (2010), Rios-Aguilar dkk. (2020), Peres dkk. (2021), dan Chze dkk. (2021). Köbler dkk. (2010) membangun sebuah aplikasi yang diberi nama LocaTag berupa sistem yang meningkatkan kemampuan pelayanan pengiriman pesan singkat dengan informasi lokasi secara nyata menggunakan piranti bergerak berbasis NFC, sedangkan Rios-Aguilar dkk. (2020) mengembangkan sistem presensi di kelas dengan menggabungkan NFC dan media komunikasi cahaya tampak. Sementara itu, Peres *dkk.* (2021) menerapkan sensor berbasis NFC dalam pemantauan tanaman rumput laut, sedangkan Chze dkk. (2021) merancang sebuah sistem *check in* otomatis menggunakan NFC dalam menghadapi situasi pandemi Covid-19. Dalam konteks penelitian yang dilaporkan dalam makalah ini, NFC *tag* sebagai kunci untuk akses masuk dan keluar sebuah ruangan dinilai dapat membantu mempermudah akses masuk ruangan dimana banyak orang yang telah terverifikasi yang boleh masuk ke dalam ruangan tersebut. Penggunaan NFC tersebut dapat mencegah apabila kunci diduplikat, karena NFC *tag* memiliki penanda yang berbeda dan tidak bisa diduplikat. Dengan demikian, teknologi NFC merupakan solusi untuk mengatasi masalah keamanan ruangan.

2. Metode

Blok diagram yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Uraian kegiatannya mencakup hal-hal sebagai berikut:

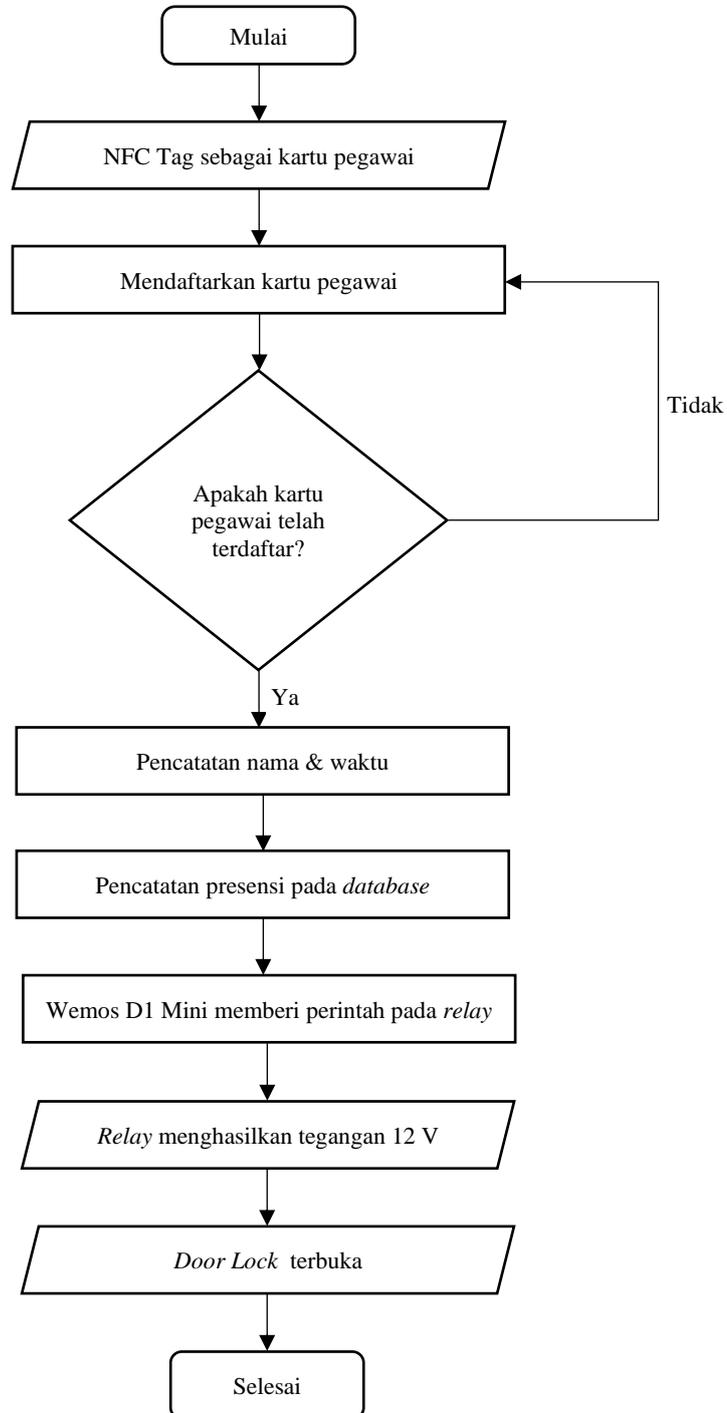
NFC *Reader* digunakan sebagai perangkat input untuk memverifikasi apakah NFC tag yang dipakai telah terdaftar dan akan memberi perintah kepada mikrokontroler untuk mengaktifkan *relay* yang telah terkoneksi dengan *solenoid door lock*. LCD 16×2 digunakan sebagai *output* yang dapat memberitahu apakah NFC tag yang dipakai telah terdaftar, jika ya maka pada layar LCD akan menampilkan nama pemilik NFC tag jika tidak maka akan menampilkan kata “kartu tidak terdaftar”. Wemos D1 Mini digunakan sebagai mikrokontroler dan sebagai pengkoneksi antara *prototype* sistem. Sistem presensi dengan *database* MySQL, dikarenakan pada wemos D1 Mini terdapat modul wifi sebagai pengirim data ke *database*, dan mikrokontrolernya berfungsi untuk memberi perintah kepada *relay* untuk memberi tegangan 12V untuk mengaktifkan *solenoid door lock*.

Relay 12V digunakan untuk memberi tegangan pada *solenoid door lock* dikarenakan *solenoid door lock* hanya dapat aktif ketika diberi tegangan 12V. *Solenoid Door Lock* digunakan sebagai output pada *prototype* sistem presensi menggunakan sistem pintu otomatis berbasis NFC, ketika NFC reader telah memverifikasi NFC tag, dan sesuai maka mikrokontroler akan memberi perintah kepada *relay* untuk mengaktifkan *solenoid door lock*.

RTC DS3231 digunakan untuk mencatat waktu kedatangan secara *realtime* pada sistem presensi menggunakan pintu otomatis berbasis NFC. Micro SD 16GB digunakan untuk menyimpan data presensi agar jika sistem presensi pada *web server* terganggu, data yang terdapat pada microSD data digunakan sebagai *backup*.

Flowchart Sistem:

Adalah suatu prosedur atau tahapan pengerjaan penelitian dari mulai langkah awal hingga selesainya penelitian agar memudahkan penulis dan pembaca dalam memahami tahapan pengerjaan penelitian.



Gambar 2. Flowchart Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Komponen

Tabel 1. Hasil Pengujian Komponen Pada *Prototype* Sistem Presensi berbasis NFC (*Near Field Communication*)

No	Jenis Komponen	Kondisi	Hasil Pengujian
1.	Adapter 12V	Baik	Mengalirkan tegangan 12.02 V
2.	LM2596	Baik	<i>Step Down</i> Tegangan dari 12.02 V s/d 5.01 V
3.	NFC Reader	Baik	Dapat Membaca NFC Tag
4.	NTF Tag	Baik	Menghasilkan No Serial Kartu
5.	Mikrokontroler	Baik	Menghasilkan tegangan 2.99 V & 5.01 V
6.	Relay	Baik	Mengalirkan Tegangan 11.96 V
7.	Solenoid Door Lock	Baik	Membuka / Menutup ketika menerima aliran tegangan dari relay
8.	RTC DS3231	Baik	Memberikan <i>realtime</i> pada data presensi
9.	Micro SD 16GB	Baik	Menyimpan data presensi dengan baik
10.	LCD 16 x 2	Baik	Menampilkan Karakter Huruf & Angka

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwa sebelum *prototype* sistem presensi menggunakan NFC dioperasikan, seluruh komponen yang terdapat pada *prototype* tersebut telah melakukan pengujian terlebih dahulu, dimana seluruh komponen yang akan digunakan dapat dinyatakan berfungsi dengan baik sesuai dengan standarisasi *data sheet* atau *manual book* dari masing-masing komponen.

3.2. Pengujian Kartu Identitas Pegawai dengan NFC Reader

Tabel 2. Keterangan Serial Kartu Berdasarkan Kartu Identitas Pegawai

Serial Kartu	Nama Pemilik Kartu Identitas
196FB298	Alli Nur Magribi
C9F4A198	Andika
A9A992B2	Laila Nur
-	(Tidak Didaftarkan)

Berdasarkan tabel 2 diatas dimana sampel jumlah pengujian kartu identitas pegawai dalam penelitian ini sudah dianggap memenuhi persyaratan untuk pengambilan sampel dan makna dari serial kartu untuk mengidentifikasi sistem pengkodean yang dirancang guna untuk mengklasifikasi satu sama lainnya.

Tabel 3 Hasil Pengujian *Record* Kartu Identitas Pegawai Oleh NFC Reader

No.	Kartu Identitas	Nomor Serial	Nama Pemilik	Keterangan
1.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Sesuai
2.	Andika	C9F4A198	Andika	Sesuai
3.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Sesuai
4.	-	-	-	Sesuai
5.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Sesuai
6.	Andika	C9F4A198	Andika	Sesuai
7.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Sesuai
8.	-	-	-	Sesuai
9.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Sesuai
10.	Andika	C9F4A198	Andika	Sesuai
11.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Sesuai
12.	-	-	-	Sesuai
13.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Sesuai
14.	Andika	C9F4A198	Andika	Sesuai
15.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Sesuai
16.	-	-	-	Sesuai
17.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Sesuai
18.	Andika	C9F4A198	Andika	Sesuai
19.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Sesuai
20.	-	-	-	Sesuai

Berdasarkan tabel 3 diatas dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian *record* Kartu Identitas Pegawai Oleh NFC Reader dilakukan prosesnya sebanyak lima kali dengan jumlah empat kelompok, dimana pengujian dilakukan dengan waktu yang berbeda. NFC reader dapat mendeteksi kartu identitas pegawai dengan akurat dan tidak terjadi *error* ataupun kesalahan terkait nomor serial dan nama pemilik pada proses pembacaannya oleh NFC reader akan mengeluarkan nomor serial dan nama pemilik kartu identitas pada *database* MySQL.

3.3. Pengujian Solenoid Door Lock

Berikut salah satu hasil Pengujian *solenoid door lock* terhadap kondisi *NFC reader* ketika membaca kartu identitas pegawai yang belum terdaftar dengan kartu identitas pegawai yang telah didaftarkan.

Tabel 4 Hasil Percobaan Kondisi *Solenoid Door Lock* Setelah *NFC Reader* Membaca Kartu Identitas Pegawai

No.	Kartu Identitas	Nomor Serial	Nama Pemilik	Kondisi <i>Solenoid Door Lock</i>
1.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Terbuka
2.	Andika	C9F4A198	Andika	Terbuka
3.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Terbuka
4.	-		-	Tertutup
5.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Terbuka
6.	Andika	C9F4A198	Andika	Terbuka
7.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Terbuka
8.	-		-	Tertutup
9.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Terbuka
10.	Andika	C9F4A198	Andika	Terbuka
11.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Terbuka
12.	-		-	Tertutup
13.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Terbuka
14.	Andika	C9F4A198	Andika	Terbuka
15.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Terbuka
16.	-		-	Tertutup
17.	Alli Nur Magribi	196FB298	Alli Nur Magribi	Terbuka
18.	Andika	C9F4A198	Andika	Terbuka
19.	Laila Nur	A9A992B2	Laila Nur	Terbuka
20.	-		-	Tertutup

Berdasarkan tabel 4 diatas dapat dijelaskan bahwa kondisi *solenoid door lock* ketika *NFC reader* membaca kartu identitas pegawai memiliki dua kondisi yaitu membuka dan menutup, dimana ketika kartu identitas pegawai telah didaftarkan dan dibaca oleh *NFC reader* maka *solenoid door lock* akan terbuka begitu juga sebaliknya, *solenoid door lock* akan tetap menutup jika *NFC reader* mendeteksi bahwa kartu identitas yang dibaca belum terdaftar, dan berdasarkan 20 kali percobaan terdiri dari tiga orang pegawai yang terdaftar dan satu orang tidak terdaftar maka jumlahnya empat orang pegawai seperti pada tabel diatas prosesnya sebanyak lima kali dengan jumlah empat kelompok, dimana pengujian dilakukan dengan waktu yang berbeda, tingkat keakuratan *NFC reader* yang dikoneksikan *solenoid door lock* dalam membuka dan menutup pintu tidak terjadi *error* ataupun kesalahan.

3.4. Pengujian Cek Response Time

Tabel 5 Hasil Pengujian Cek *Response Time* (s) Pembacaan *NFC Reader*

No	Test 1 (S)	Test 2 (S)	Test 3 (S)	Test 4 (S)
1	0,68	0,63	0,71	0,66
2	0,72	0,66	0,69	0,65
3	0,71	0,68	0,65	0,71
4	0,69	0,67	0,63	0,69
5	0,68	0,69	0,72	0,65

Berdasarkan tabel 5 diatas dimana hasil pengujian cek *response time* pada pembacaan *NFC reader* hal tersebut dapat dibuktikan pada data di atas, dimana rata – rata pengujian cek *response time* menggunakan *NFC reader* adalah 0,67 *Second*, nilai rata – rata tersebut didapat dengan menggunakan rumus.

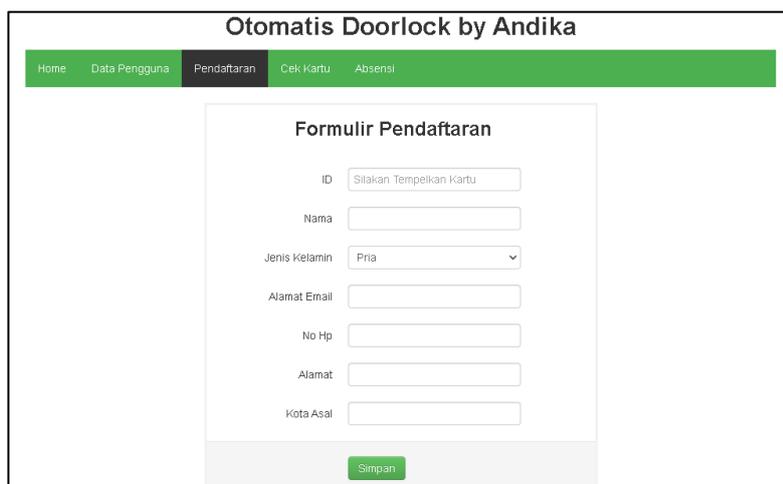
$$\text{Rata – rata response time} = \frac{\text{Jumlah data pengecekan response time}}{\text{Banyak data pengecekan response time}} \quad (1)$$

3.5. Server Data

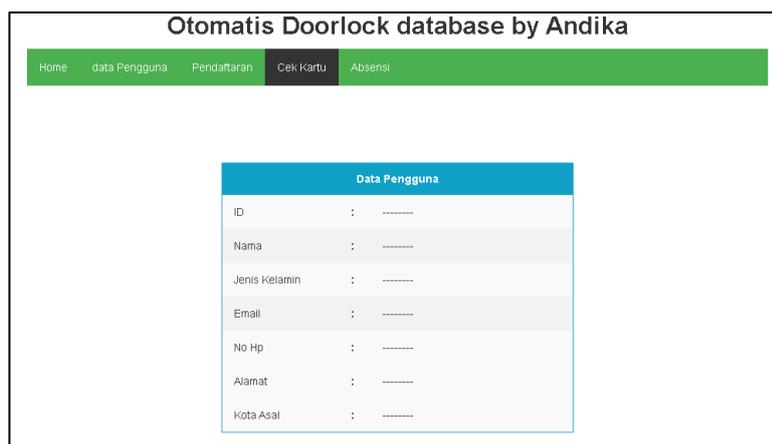
Server data pada penelitian ini akan menggunakan MySQL dimana server data memiliki fasilitas seperti mendaftarkan kartu identitas pegawai agar kartu identitas dapat dibaca oleh *NFC reader*, lalu dapat memonitoring presensi pegawai pada *database* yang terdapat pada server data dengan domain berikut : http://192.168.43.3/andika_doorlock/home.php, pada *database* di server data ini akan tersimpan data presensi pegawai, lalu *database* dapat menampilkan waktu presensi pegawai, nama pegawai serta data – data lainnya dari pegawai yang terakhir mengakses ruangan tersebut.



Gambar 3. Tampilan Data Pengguna pada Server data MySql Sistem Presensi menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC



Gambar 4. Tampilan Formulir Pendaftaran pada Server data MySql Sistem Presensi menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC



Gambar 5. Tampilan Cek Kartu Identitas Pegawai pada Server data MySql Sistem Presensi menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC

ID	Nama	Alamat	No Hp	Email	Aksi
----	------	--------	-------	-------	------

Gambar 6. Tampilan *Database* sebagai Penyimpanan Data Absen Pegawai pada Server Data MySQL Sistem Presensi menggunakan Pintu Otomatis Berbasis NFC

3.6. Pembacaan Kartu Identitas Pegawai oleh NFC reader

Tampilan pembacaan kartu identitas pegawai oleh NFC reader, dimana NFC reader akan mendeteksi kartu identitas pegawai secara *real time* dan akan mencatat waktu dan nama pemilik kartu identitas sesuai dengan kartu identitas yang telah didaftarkan. Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada sistem yang telah dirancang. Hasil dari pembacaan kartu identitas oleh NFC reader akan ditunjukkan pada gambar 7 sampai dengan 9 sebagai berikut.



Gambar 7. Tampilan LCD 16 × 2 NFC Reader sebelum Mendeteksi Kartu Identitas Pegawai



Gambar 8. Tampilan LCD 16 × 2 NFC Reader Memverifikasi Kartu Identitas Pegawai Andika



Gambar 9. Tampilan LCD 16 × 2 NFC Reader Memverifikasi Kartu Identitas Pegawai Laila Nur



Gambar 10. Tampilan LCD 16 × 2 NFC Reader Memverifikasi Kartu Identitas Pegawai yang Belum Terdaftar

Seperti terlihat pada gambar 7 dan 8 diatas yang menunjukkan hasil deteksi dari NFC reader yang telah membaca kartu identitas pegawai, dimana jika kartu identitas pegawai telah didaftarkan maka LCD 16 × 2 akan menampilkan nama pemilik kartu identitas tersebut.

Namun pada gambar 9. dapat dilihat bahwa ketika kartu identitas belum terdaftar maka LCD 16×2 akan menampilkan text sebagai berikut “Maaf ID anda belum terdaftar” yang menunjukkan bahwa kartu tersebut tidak dapat mengakses agar kunci pintu membuka.

Kesimpulan

Komponen - komponen pada *prototype* sistem presensi menggunakan NFC tersebut dilakukan pengujian terlebih dahulu, dimana hasil pengujian seluruh komponen yang akan digunakan dapat dinyatakan berfungsi dengan baik sesuai dengan standarisasi data *sheet* atau *manual book* dari masing-masing komponen.

Dalam penelitian ini, didapatkan hasil bahwa cara memadukan dua metode antara sistem pintu otomatis dengan memfungsikan *NFC (Near Field Communication)* sebagai kartu identitas pegawai, mampu meningkatkan sistem keamanan pada suatu perkantoran dengan catatan *server* dapat mengetahui siapa saja pegawai yang sudah mengakses pintu tersebut.

Tingkat akurasi *NFC reader* dalam membaca kartu identitas sangat tinggi dapat dilihat dari data yang telah dikumpulkan bahwa tingkat akurasi pembacaan kartu identitas oleh *NFC reader* menunjukkan 100 % tidak terjadi *error* atau kesalahan.

Pengujian *solenoid door lock* terhadap kondisi *NFC reader* ketika membaca kartu identitas pegawai yang belum terdaftar dengan kartu identitas pegawai yang telah didaftarkan. dimana ketika kartu identitas pegawai telah didaftarkan dan dibaca oleh *NFC reader* maka *solenoid door lock* akan terbuka begitu juga sebaliknya, *solenoid door lock* akan tetap menutup jika *NFC reader* mendeteksi bahwa kartu identitas yang dibaca belum terdaftar, dan berdasarkan 20 kali percobaan terdiri dari tiga orang pegawai yang terdaftar dan satu orang tidak terdaftar maka jumlahnya empat orang pegawai, dengan jumlah empat kelompok dan pengujian sebanyak lima kali dalam waktu yang berbeda menunjukkan, tingkat keakuratan *NFC reader* yang dikoneksikan *solenoid door lock* dalam membuka dan menutup pintu tidak terjadi *error* ataupun kesalahan.

Hasil pengujian cek *response time* pada pembacaan *NFC reader* hal tersebut dapat dibuktikan secara rumus, dimana nilai waktu rata – rata pengujian cek *response time* adalah 0,67 *second*.

Tampilan pembacaan kartu identitas pegawai oleh *NFC reader*, dimana *NFC reader* akan mendeteksi kartu identitas pegawai secara *real time* dan akan mencatat waktu dan nama pemilik kartu identitas sesuai dengan kartu identitas yang telah didaftarkan.

Sistem presensi menggunakan NFC ini dapat meningkatkan tingkat kedisiplinan pegawai untuk selalu membawa kartu identitas sebagai pengenalan diri, dikarenakan jika terdapat pegawai yang tidak membawa kartu identitas pegawai maka pegawai tidak dapat mengakses pintu masuk kantor, dan jika pegawai tersebut meminjam kartu orang lain untuk membuka akses pintu kantor, maka kedatangan pegawai tersebut tidak akan tercatat dalam data presensi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani atas dukungan finansial dalam menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini dibiayai melalui skema Penelitian Kompetitif Unjani Tahun Anggaran 2021.

Daftar Pustaka

- Ariansyah, K. (2012). Minat Masyarakat terhadap layanan Near Field Communication (NFC) commercial di Indonesia. *Bulletin Pos dan Telekomunikasi*, 10(2), 125-136.
- Chze, O. N., Markom, M. A., Hui, O. X., Chin, W. T., Vern, K. Y., Tan, E. S. M. M., & Nordin, N. (2021). Check-In Location System Using NFC Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2107(1), p. 012020.
- Köbler, F., Koene, P., Krcmar, H., Altmann, M., & Leimeister, J. M. (2010). LocaTag-An NFC-based system enhancing instant messaging tools with real-time user location. Makalah yang dipresentasikan dalam 2010 *Second International Workshop on Near Field Communication*, pp. 57-61.
- Kustianto, I. (2010). *Perancangan dan Implementasi Sistem Pencarian Buku pada Perpustakaan Berbasis RFID dengan Antarmuka Visual Basic dan Basis Data MySQL*. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Najmurokhman, A., Kusnandar, K., Krama, A. B., Djamal, E. C., & Rahim, R. (2018). Development of a secured room access system based on face recognition using Raspberry Pi and Android based smartphone. *MATEC Web of Conferences*, 197(1), 11008).
- Nasution, S.M., Husni, E.M., & Wuryandari, A.I. (2012). Prototype of Train Ticketing Application using Near Field Communication (NFC) Technology on Android Device. Makalah yang dipresentasikan dalam *International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, 11-12 September 2012.
- Peres, C., Emam, M., Jafarzadeh, H., Belcastro, M., & O’Flynn, B. (2021). Development of a Low-Power Underwater NFC-enabled Sensor Device for Seaweed Monitoring. *Sensors*, 21(14), 4649.

- Radzi, S. A., Alif, M. M. F., Athirah, Y. N., Jaafar, A. S., Norihan, A. H., & Saleha, M. S. (2020). IoT based Facial Recognition Door Access Control Home Security System using Raspberry Pi. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1), 417.
- Rios-Aguilar, S., Sarría, I., & Pardo, M. B. (2020). NFC and VLC based Mobile Business Information System for Registering Class Attendance. *International Journal of Interactive Multimedia & Artificial Intelligence*, 6(2).
- Ruiqin, L., Wenan, T., & Zhenyu, C. (2021). Design of Face Recognition Access Entrance Guard System with Mask Based on Embedded Development. *Journal of Physics: Conference Series*, 1883(1), 012156.
- Satriawan, M.S., Sarwosri, & Sunaryono, D. (2017). Rancang Bangun Integrasi Aplikasi Sistem Kehadiran Mahasiswa Menggunakan Kerangka Kerja Laravel Studi Kasus Jurusan Teknik Informatika ITS. *JURNAL TEKNIK ITS*, 6(2), A704-A706.
- Sofyan, A.A., Puspitorini, P. & Baehaki, D. (2017). Sistem Keamanan Pengendali Pintu Otomatis Berbasis Radio Frequency Identification (RFID) Dengan Arduino Uno R3". *JURNAL SISFOTEK GLOBAL*, 7(1), 35- 41.
- Suryowinoto, A., Herlambang, T., Tsusanto, R., & Susanto, F. A. (2021). Prototype of an Automatic Entrance Gate Security System Using a Facial Recognition Camera Based on The Haar Cascade Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2117(1), 012015.
- Undala, F., Triyanto, D., & Brianorman, Y. (2015). Prototype Sistem Keamanan Pintu Menggunakan Radio Frequency Identification (RFID) dengan Kata Sandi Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan*, 3(1), 30-40.
- Wulandaru, L.A., Supeno, B. & Sumardi, S. (2017). Rancang Bangun Perangkat Rekam Medik Berbasis Teknologi RFID. *BERKALA SAINSTEK*, 5(2), 104-111: Informatika.

Analisis Ekonomi Awal Proses Produksi Biobutanol dari Tandan Kosong Sawit dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi Secara Terpisah

Reno Susanto¹, Tjokorde Walmiki Samadhi¹, Winny Wulandari¹, dan Said Zul Amraini²

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

renosusanto12345@gmail.com, twsamadhi@cheitb.id, winnywulandari@itb.ac.id, saidzulamraini@eng.unri.ac.id

Abstrak

Keterbatasan cadangan minyak bumi menyebabkan negara-negara di dunia mulai beralih dengan pemanfaatan bahan bakar nabati. *Biofuel* merupakan solusi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Salah satu *biofuel* yang dapat digunakan adalah biobutanol yang dapat diproduksi dari limbah sisa produksi yang mengandung *lignoselulosa*. Bahan baku pembuatan biobutanol yang potensial adalah tandan kosong sawit (TKS). Metode yang dapat digunakan dalam produksi biobutanol adalah proses hidrolisis dan fermentasi secara terpisah dengan kelebihan yaitu proses hidrolisis selulase TKS pra *treatment* dengan asam dapat dilakukan menggunakan suhu yang lebih rendah dalam waktu yang lama atau pada suhu tinggi dalam waktu singkat. Produk dari *Clostridium Acetobutylicum* menggunakan hidrolisat dari hidrolisis Selulase lebih tinggi daripada yang menggunakan hidrolisat dari hidrolisis asam. Proses hidrolisis oleh enzim selulase dapat dilakukan terpisah dengan proses fermentasi sesuai dengan kondisi optimum masing-masing. Analisis ekonomi awal dengan basis produksi 10.000 ton/tahun, didapat total *gross profit margin* Rp 39.459/kg, yang artinya produksi biobutanol dari biomassa TKS layak untuk dilaksanakan secara ekonomi dan mendapatkan keuntungan. Untuk studi lanjutan diperlukan kajian *techno-economic analysis* proses produksi biobutanol dengan bahan baku TKS dengan melakukan simulasi dengan bantuan *software* dan dilakukan *feasibility study*.

Kata kunci: biofuel, biobutanol, hidrolisis dan fermentasi secara terpisah

Abstract

The limitation of petroleum reserves and environmental issues have led countries worldwide to shift towards producing and utilizing biofuels as an alternative solution to replace fossil fuels. One of the biofuels that can be used is biobutanol, which can be produced from residual waste containing lignocellulose. An empty fruit bunch (EFB) from oil palm is a residual waste used as raw material for biobutanol production. The method that can be used in biobutanol production is the Separated Hydrolysis and Fermentation (SHF) process, which allows the cellulose hydrolysis process to be pre-treated with acid at lower temperature but for longer time or at higher temperature for shorter time. The product from *Clostridium acetobutylicum* using hydrolysate from cellulose hydrolysis is higher than that from acid hydrolysis. The cellulase enzyme hydrolysis process can be separated from the fermentation process according to their optimum conditions. From the initial economic analysis calculation with production basis of 10,000 tons per year, total gross profit margin of IDR 39,459/kg was obtained, indicating that biobutanol production from EFB biomass is economically feasible and profitable. Further study is needed to conduct a techno-economic analysis of the biobutanol production process using EFB as raw material.

Keywords: biofuel, biobutanol, separated hydrolysis fermentation

1. Pendahuluan

Saat ini, konsumsi bahan bakar berbasis fosil yang berlebihan untuk industrialisasi dan pertumbuhan penduduk mengakibatkan beberapa masalah lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim. Dengan demikian, permintaan akan bahan bakar nabati yang terbarukan dan berkelanjutan meningkat sebagai alternatif bahan bakar fosil (Saadatinavaz dkk., 2021). Penggunaan biofuel merupakan salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil (Qomariyah dkk., 2013). Biofuel merupakan energi terbarukan yang paling mudah untuk diimplementasikan (Fajariah, 2012).

Bioetanol dan biodiesel saja tidak bisa menutupi meningkatnya permintaan untuk biofuel. Oleh karena itu diperlukan alternatif lain untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar nabati yang memiliki karakteristik bahan bakar yang unggul, salah satunya adalah biobutanol (Burhani dkk., 2019). Biobutanol merupakan salah satu energi alternatif pengganti energi fosil yang dapat diproduksi dari bahan alami ataupun dari limbah sisa produksi yang mengandung gula dan pati (Suprihatin dkk., 2020). Biobutanol telah muncul sebagai bahan bakar nabati yang berkelanjutan karena memiliki kandungan energinya yang unggul, volatilitas yang berkelanjutan, sifat anti korosif yang lebih baik dan memiliki kadar air yang rendah. Pemanfaatan sumber daya limbah untuk produksi biobutanol

Info Makalah:

Dikirim : 03-14-22;

Revisi 1 : 04-21-22;

Revisi 2 : 05-23-22;

Revisi 3 : 07-17-22;

Diterima : 09-15-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : renosusanto12345@gmail.com

memiliki keberlanjutan dan kelayakan ekonomi karena ketersediaannya yang lebih mudah dan sifat penimbunannya (Karthick dkk., 2021).

Salah satu limbah sisa produksi yaitu tandan kosong sawit (TKS) dapat dijadikan bahan baku produksi biobutanol dikarenakan adanya kandungan lignoselulosa yang dapat dikonversi menjadi biobutanol dan potensi TKS yang melimpah di Indonesia. Limbah TKS mempunyai komponen terbesar yaitu selulosa, terdapat komponen lainnya yaitu abu, hemiselulosa dan lignin dalam jumlah yang sedikit. Spesifikasi kandungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Kandungan Kimia TKS.

Kandungan	Nilai
Selulosa	43-46 %
Hemiselulosa	30-34 %
Lignin	23-25 %
Kadar Abu	0,5-0,7%

(Sumber : Warsito, 2016)

Tabel 2. Sifat Fisika TKS.

Parameter	Bagian Pangkal	Bagian Ujung
Panjang serat min	0,63 mm	0,46 mm
Panjang serat maks	0,81 mm	0,27 mm
Panjang serat rata-rata	0,20 mm	0,76 mm
Rapat massa	177,98 kg/m ³	177,98 kg/m ³
Diameter serat	15,01 μm	14,34 μm
Kadar serat	72,67 %	67,42 %
Ketebalan	79,95 μm	53 μm
Tebal dinding	3,49 μm	3,68 μm
Kadar bukan serat	27,33 %	37,53 %

(Sumber : Erwiansyah, 2015)

TKS yang dapat dilihat pada Gambar 1 dihasilkan sebanyak 22-23% dari total tandan buah segar (TBS) atau sekitar 22-23 ton/hari jika suatu pabrik mampu mengolah 100 ton TBS per hari dan merupakan limbah padat yang paling banyak dihasilkan oleh industri sawit. TKS berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk yang lebih bermanfaat. Salah satu manfaat TKS ini adalah menjadi bahan baku pembuatan bahan bakar seperti biobutanol (Pradita & Putri, 2018). Biobutanol memiliki energi pembakaran yang lebih tinggi dibanding etanol yaitu 27,8 MJ/L sedangkan etanol 21,1 MJ/L (Mansur & Aiman, 2020). Butanol dapat larut sepenuhnya bahkan dalam suhu rendah yaitu pada suhu 15°C, rendahnya kelarutan dalam air dapat memperkecil kecenderungan korosi pada tangki dan perpipaan bahan bakar (Burhani dkk., 2019). Selain sebagai bahan bakar, biobutanol dapat digunakan sebagai bahan pembuatan pernis, pelarut dan bahan pada industri kimia (Pinto dkk., 2021). Berapa studi terdahulu telah melakukan penelitian mengenai pembuatan biobutanol dari berbagai jenis biomassa seperti ampas tebu (Pratto dkk., 2016; Kong dkk., 2016; Travaini dkk., 2016), *Napier grass* (He dkk., 2017), *barley straw* (Yang dkk., 2015), *rice straw* (Rahnama dkk., 2014), *corn stalks* (Cai dkk., 2016), *blended softwood* (Yamamoto dkk., 2014), *corn cobs* (Gao dan Rehmann, 2014), *cassava flour* (Li dkk., 2016), dan material kayu (Amiri and Karimi, 2015). Pada studi ini dilakukan analisis ekonomi awal perancangan produksi biobutanol menggunakan TKS di Indonesia.



Gambar 1. Tandan Kosong Sawit (Martin, 2021).

2. Metode

Penelitian ini menggunakan teknik observasi untuk mengumpulkan data kelayakan ekonomi produksi biobutanol dari TKS. Kerangka berpikir dalam penelitian adalah dasar pemikiran penelitian berdasarkan fakta. Data yang diperoleh menjelaskan keterkaitan antar variabel yaitu pemilihan proses produksi, analisis pasar dan ekonomi.

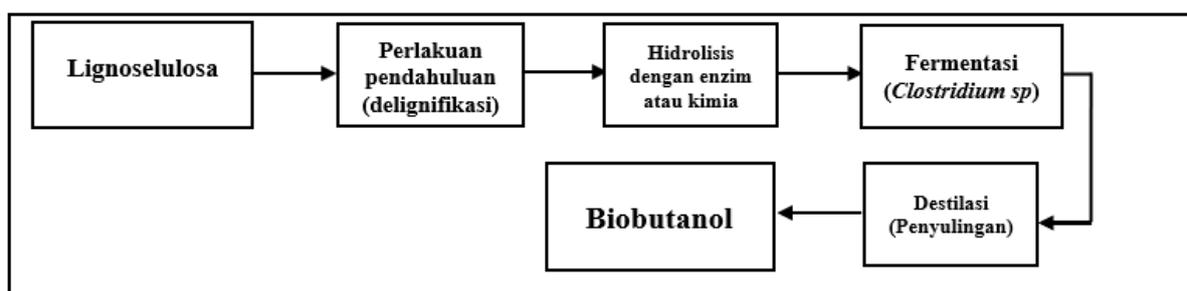
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Proses Produksi Biobutanol

Biobutanol termasuk senyawa alkohol ikatan C-4 dengan rumus C_4H_9OH yang dapat diperoleh dari proses fermentasi bahan-bahan organik (biomassa) yang mengandung karbohidrat dengan menggunakan bakteri. Biobutanol diproduksi dengan cara hidrolisis menggunakan enzim selulase dan fermentasi mikroba (Ohara dkk., 1998). Produksi biobutanol biasanya dilakukan oleh bakteri pelarut dari genus *Clostridium*, seperti *C. pasteurianum* (Lipovsky dkk., 2016), *C. beijerinckii* (Plaza dkk., 2017), *C. acetobutylicum* (Ibrahim dkk., 2015), dan *C. saccharoperbutylacetonicum* (Zetty–Arenas dkk., 2019). Bakteri ini menghasilkan biobutanol dengan memfermentasi gula melalui fermentasi aseton, butanol, dan etanol (Zetty–Arenas dkk., 2019; Ashani dkk., 2020). Butanol yang dihasilkan *Clostridium sp.* dapat menggunakan berbagai macam karbohidrat seperti pati, selobiosa, sukrosa, glukosa, fruktosa, manosa, dekstrin, galaktosa, xilosa dan arabinosa (Plaza dkk., 2017). Glukosa adalah sumber karbon yang paling disukai untuk *Clostridium sp* dan semua jalur metabolisme karbon pusat diekspresikan secara konstitutif memungkinkan pemanfaatan glukosa yang efisien dan cepat. (Jang dkk., 2013; Ibrahim dkk., 2015; Tsai dkk., 2020).

Kelemahan penggunaan asam untuk hidrolisis yaitu akan menyebabkan korosif pada peralatan dan juga membutuhkan panas dan tekanan yang tinggi, sehingga pemakaian enzim lebih dianjurkan dengan alasan ramah lingkungan dan prosesnya menggunakan suhu yang relatif rendah. Untuk mengurangi kadar lignin pada substrat diperlukan proses pendahuluan atau *pre-treatment* karena penggunaan enzim harus kontak secara langsung dengan substrat yang akan dihidrolisis, sedangkan selulosa secara alami terikat oleh lignin yang bersifat permeabel terhadap air. Perlakuan pendahuluan yang biasa digunakan untuk mengurangi kadar lignin yaitu secara fisika dengan penggilingan, pencacahan atau penghalusan dan secara kimia dengan proses pembuatan pulp (*pulping*). Ukuran partikel biomassa dapat mempengaruhi nilai porositas partikel biomassa dan kristalinitas selulosa. Semakin kecil ukuran partikel biomassa, sampai batas tertentu akan meningkatkan proses hidrolisis menjadi gula dan meningkatkan jumlah alkohol yang dihasilkan. Pengolahan awal partikel tandan kosong sawit (TKS) ukuran 0,25 mm dengan uap lewat panas (*superheated steam*) menghasilkan glukosa lebih besar dibandingkan partikel TKS ukuran 0,425 mm dengan 12 jam proses sakarifikasi (Bahrin dkk., 2012).

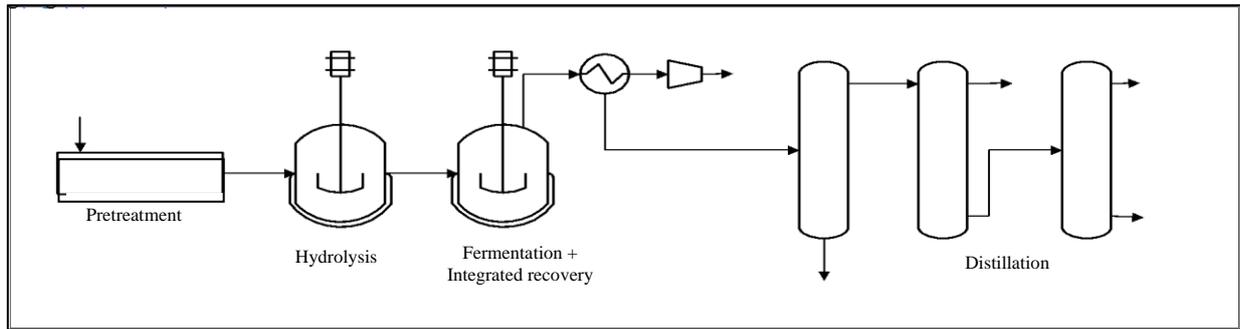
Delignifikasi dengan metode *pulping* yang biasa digunakan adalah soda, kraft dan sulfit. Menurut Fengel dkk pada tahun 1989, proses kraft atau sulfat merupakan teknis pemasakan kayu dengan bahan kimia pemasak berupa alkali. Proses ini merupakan dasar dari proses modifikasi *pulping* dengan alkali. Bahan kimia yang digunakan adalah NaOH dengan penambahan Na_2S sebagai bahan pemasak aktif. Optimalisasi proses *pulping* untuk setiap jenis bahan baku bermacam-macam, tergantung pada bahan baku (jenis dan kualitas), waktu dan temperatur pemasakan, konsentrasi pemasakan, perbandingan larutan pemasak dengan bahan baku dan bahan kimia pemasak (Ullman, 1991). Diagram alir proses pembuatan biobutanol dari lignoselulosa secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembuatan Biobutanol dari Lignoselulosa (Qureshi dkk., 2020).

3.1.1. Proses hidrolisis dan fermentasi secara terpisah .

Pada metode ini, tandan kosong sawit dihidrolisis oleh asam atau enzim untuk menghasilkan gula (selulosa) yang tersedia untuk *Clostridium acetobutylicum*. Sebelum hidrolisis enzimatik oleh selulase, tandan kosong sawit diolah terlebih dahulu dengan asam atau basa atau kedua bahan kimia sehingga kandungan selulosa tandan kosong sawit meningkat. Tandan kosong sawit dihidrolisis oleh selulase selama 72 jam. Proses fermentasi dilakukan setelah dihidrolisis enzimatik menggunakan bakteri *Clostridium acetobutylicum* pada reaktor yang berbeda. Pada langkah terakhir dilakukan proses destilasi sehingga menghasilkan biobutanol. Diagram alir metode SHF dapat dilihat pada Gambar 3.

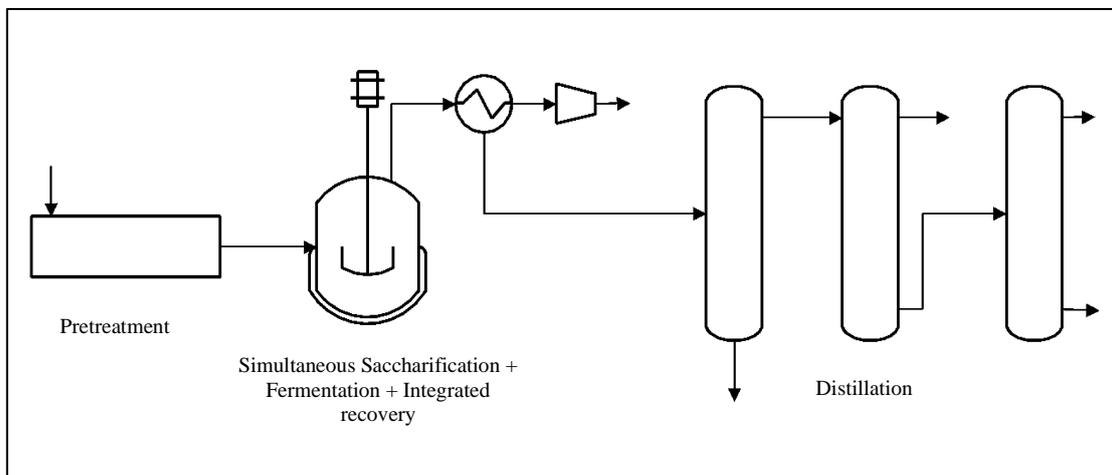


Gambar 3. Proses Hidrolisis dan Fermentasi Secara Terpisah (Qureshi dkk., 2020).

3.1.2. Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)

Proses *simultaneous saccharification and fermentation* (SSF) dapat diterapkan untuk menggabungkan proses sakarifikasi dan fermentasi dalam satu reaktor pada waktu pemrosesan yang sama, sehingga mengurangi biaya bahan, peralatan, waktu dan tenaga, dan selanjutnya meningkatkan produktivitas seluruh proses dari sakarifikasi hingga fermentasi. Selain itu, produksi biobutanol (konsentrasi dan hasil) melalui SSF juga sebanding dengan hidrolisis dan fermentasi terpisah (SHF). Tantangan utama SSF adalah kondisi operasi yang berbeda dari sakarifikasi enzimatis dan fermentasi ABE, yang dapat mempengaruhi kinerja SSF (Md Razali dkk., 2018).

Proses SSF yang dapat dilihat pada Gambar 3 diawali dengan perlakuan *pre-treatment*, proses sakarifikasi, fermentasi, dan pemulihan digabungkan menggunakan reaktor tunggal. Enzim ditambahkan 12-15 jam sebelum menginokulasi fermentasi. Ketika konsentrasi butanol mencapai angka yang ditentukan, pemulihan simultan dimulai. Fermentasi gabungan dan pemulihan butanol berlanjut sampai semua gula yang tersedia digunakan. Dalam kedua jenis proses, uap pelarut yang terbawa dikondensasi dan divakum kemudian dipisah menggunakan destilasi dan menghasilkan *stillage* serta aseton, etanol, butanol. Butanol membentuk azeotrop dengan air yang dapat dipecah dengan menggunakan saringan molekuler untuk menyerap air terakhir. Diagram Alir Proses SSF dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Proses SSF (Qureshi dkk., 2020).

3.2. Analisis Pemilihan Proses

Berdasarkan penjelasan beberapa proses yang dapat digunakan dalam pembuatan biobutanol, dapat diketahui bahwa setiap proses memiliki karakteristik dan kelebihan masing-masing seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2. Pemilihan proses pada studi awal produksi biobutanol ini dipilih yang paling sesuai dan dirasa paling tepat dengan mempertimbangkan berbagai aspek pemilihan proses seperti :

1. Kondisi operasi.
2. Kelebihan dan kekurangan proses.

Tabel 2. Karakteristik Proses Pembuatan Biobutanol dari Studi Terdahulu.

Proses	Kondisi Operasi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Separated Hydrolysis and Fermentation (SHF)</i>	Bakteri <i>Clostridium acetobutylicum</i> T = 37°C Anaerobik 2 reaktor terpisah Enzim selulase	Dapat dilakukan pada masing-masing kondisi optimum Reaksi lebih jelas karena menggunakan dua reaktor berbeda	Biaya operasional lebih besar
<i>Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)</i>	Bakteri <i>Clostridium acetobutylicum</i> T = 50°C Anaerobik 1 reaktor Enzim selulase	Mencegah penghambatan kerja enzim oleh glukosa dan selobiosa Menghemat biaya operasional	Tidak dapat dikerjakan pada kondisi optimum

(Sumber : Md Razali dkk., 2018 ; Qureshi dkk, 2020 ; Taherzadeh & Karimi, 2007 ; Olofsson dkk, 2008).

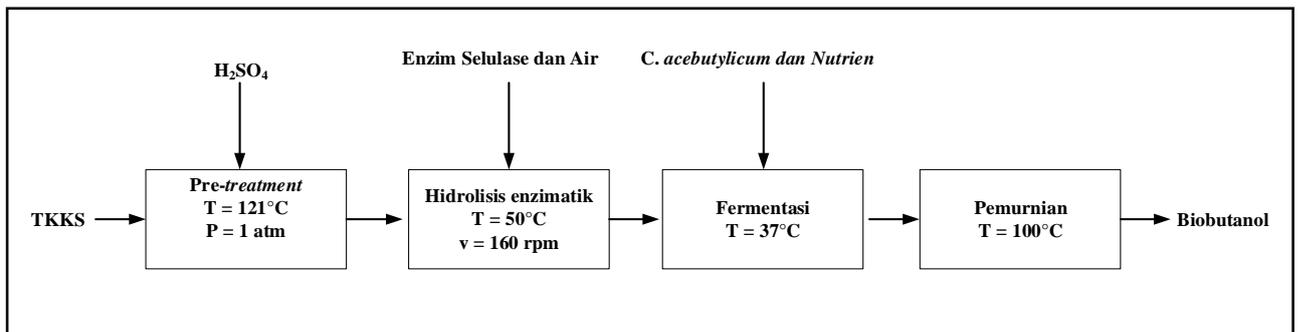
3.3. Analisis Proses yang dipilih

Pada studi ini dipilih proses SHF untuk produksi biobutanol menggunakan tandan kosong sawit, dengan analisis pertimbangan sebagai berikut :

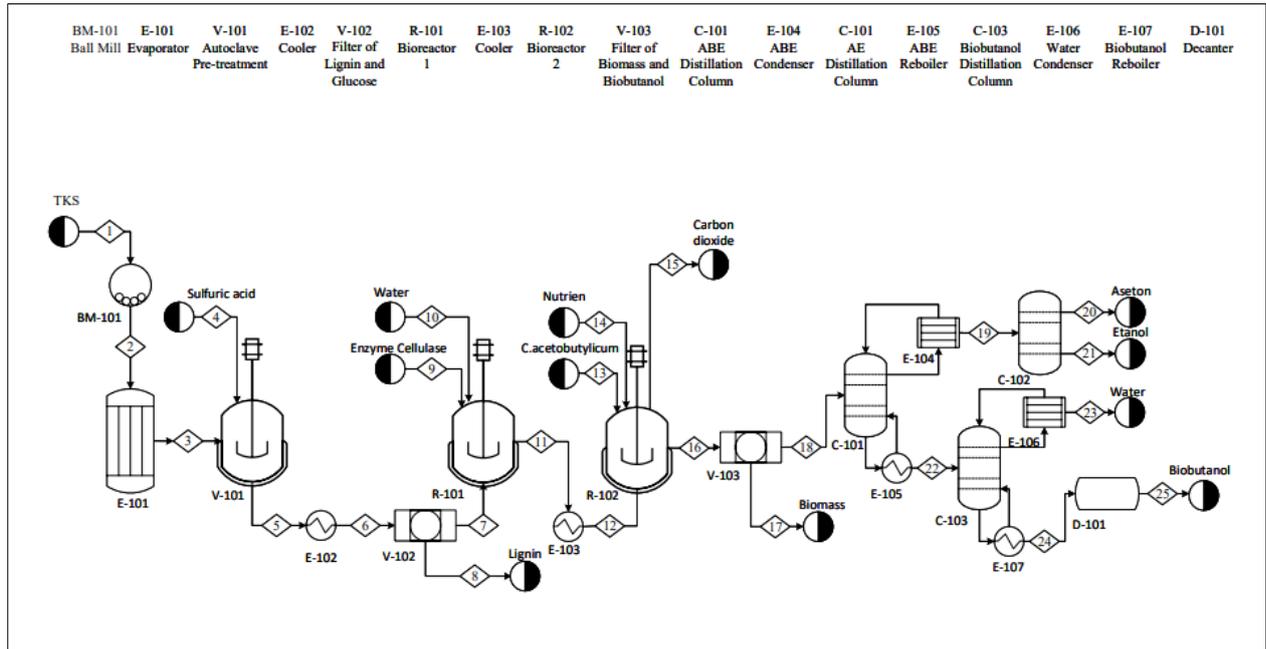
1. Bahan baku yaitu tandan kosong sawit yang relatif terjangkau sehingga lebih ekonomis jika digunakan pada produksi biobutanol dalam skala industri.
2. Hidrolisis selulase TKS *pra-treatment* dengan asam dapat dilakukan menggunakan suhu yang lebih rendah dan waktu yang lama atau dengan suhu yang lebih tinggi dengan waktu singkat.
3. Produk dari *Clostridium acetobutylicum* menggunakan hidrolisat dari hidrolisis selulase sedikit lebih tinggi daripada yang menggunakan hidrolisat dari hidrolisis asam.
4. Proses hidrolisis oleh enzim selulase dapat dilakukan terpisah dengan proses fermentasi sesuai dengan kondisi optimum masing masing (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Proses produksi biobutanol yang dipilih dapat disajikan pada Gambar 4 (BFD) dan Gambar 5 (PFD), dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Perlakuan awal tandan kosong sawit
2. Hidrolisis enzim
3. Fermentasi
4. Pemurnian



Gambar 4. Blok Flow Diagram Proses Produksi Biobutanol dari TKS.



Gambar 5. *Process Flow Diagram* Proses Produksi Biobutanol dari TKS.

TKS masuk melalui aliran 1 ke *ball mill* untuk dicacah kemudian dilanjutkan ke aliran 2 dan masuk ke evaporator pada suhu 105°C menggunakan sumber panas LP steam untuk mengurangi kadar air dalam tandan kosong sawit. Pada aliran 3, TKS tadi masuk ke autoklaf untuk dilakukan *pre-treatment* asam menggunakan H₂SO₄ pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Hasil *pre-treatment* kemudian melewati *cooler* pada aliran 5 dan difiltrasi di aliran 6 untuk membuang lignin, kemudian hasil *pre-treatment* dimasukkan ke reaktor 1 untuk dilakukan hidrolisis enzimatis menggunakan enzim selulase dan juga air pada suhu 50°C dan kecepatan pengadukan 160 rpm. Hasil hidrolisis enzimatis selanjutnya masuk ke reaktor 2 tempat terjadinya fermentasi. Pada reaktor ini, ditambahkan bakteri *Clostridium acetobutylicum* dan juga nutrien. Proses fermentasi dilakukan secara anaerobik pada suhu 37°C dan menghasilkan CO₂ di aliran 15 sebagai produk samping dari hasil fermentasi ini.

Hasil fermentasi difilter kembali pada aliran 16 untuk memisahkan campuran aseton-etanol-butanol dengan biomassa. Campuran aseton-butanol-etanol kemudian masuk ke kolom distilasi ABE pada aliran 18 sedangkan biomassa ke aliran 17. Campuran aseton-butanol-etanol kemudian dipisah menggunakan kondensor dan *reboiler* untuk memisahkan campuran aseton-etanol dengan butanol. Biobutanol yang belum murni kemudian masuk ke kolom distilasi biobutanol pada aliran 22, selanjutnya dimurnikan menggunakan kondensor dan *reboiler* untuk menghilangkan air di dalamnya. Produk samping berupa air selanjutnya dibuang pada aliran 23, sedangkan biobutanol yang sudah tidak ada kandungan air masuk ke *decanter* pada aliran 25 untuk mendapatkan hasil berupa biobutanol yang lebih murni.

3.4. Analisis Pasar

Produksi n-butanol di Indonesia dilakukan oleh satu industri yaitu PT. Petro OXO Nusantara (1.000 ton/tahun). Bahan baku yang digunakan dalam membuat n-butanol adalah propilen. Industri biobutanol dapat berbahan baku biomassa di Indonesia sehingga peluang untuk mengembangkan industri ini sangat terbuka di masa depan guna menyediakan bahan bakar alternatif serta juga dapat mengeksport produk biobutanol (Mansur & Aiman, 2020). Pada Tabel 3 berikut merupakan data kapasitas beberapa perusahaan butanol yang telah ada didunia.

Tabel 3 Data Pabrik n-butanol di Dunia.

Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)	Lokasi
Oxea	230.000	Bay City, (Amerika Serikat)
	130.000	Oberhausen, (Jerman)
Dow Chemical	270.000	Taft, (Amerika Serikat)
	255.000	Texas, (Amerika Serikat)
Perstorp Oxo	100.000	Stenungsund, (Swedia)
BASF	240.000	Texas, (Amerika Serikat)
	450.000	Ludwigshafen, (Jerman)
Eastman	130.000	Texas, (Amerika Serikat)
Texmark Chemicals	10.000	Houston, (Amerika Serikat)
Sasol	4.000	Brunsbüttel, (Jerman)
	10.000	Lake Charles, (Louisiana)
Oxochimie	150.000	Lavera, (Perancis)

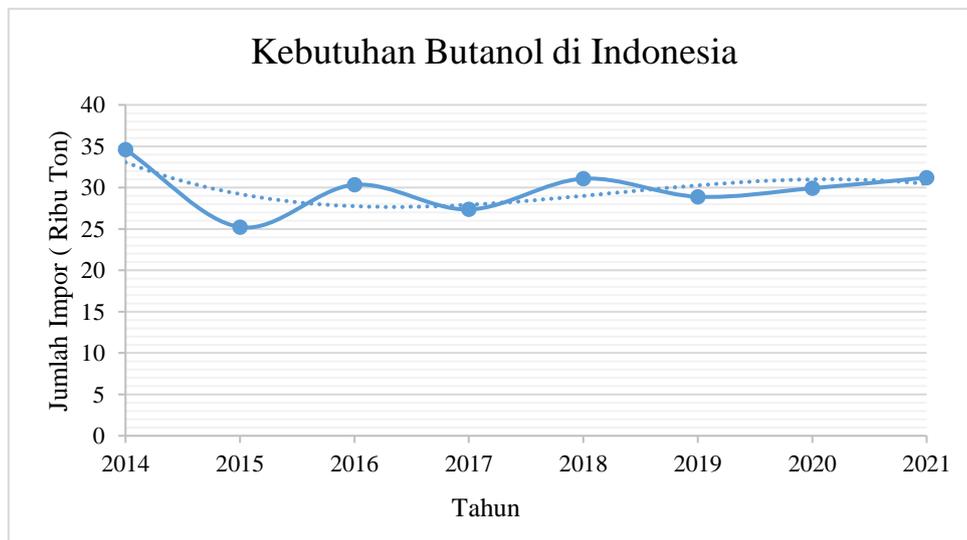
(Sumber : Benyadit & Murtiarto, 2012)

Di kawasan Asia-Pasifik, Cina menyumbang pangsa pasar terbesar dalam konsumsi bio-butanol. Negara ini adalah produsen cat dan pelapis terbesar di kawasan Asia-Pasifik, dengan perkiraan produksi pelapisan lebih dari 15 juta metrik ton, yang diperkirakan akan meningkat secara signifikan dalam waktu dekat. Kebutuhan butanol di Indonesia masih banyak yang diimpor dari negara lain seperti Cina, Jerman, Jepang dan India. Pada Tabel 4 data impor butanol di Indonesia dari Badan Pusat Statistik Indonesia.

Tabel 4. Data Impor Butanol dari Tahun 2014 sampai Tahun 2021.

No	Tahun	Kebutuhan (Ribu Ton/Tahun)
1	2014	34,599984
2	2015	25,232347
3	2016	30,343176
4	2017	27,364386
5	2018	31,079762
6	2019	28,896941
7	2020	29,923902
8	2021	31,212278

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2022)



Gambar 6. Grafik Data Impor Butanol di Indonesia Tahun 2014-2021

Dari grafik pada Gambar 6 diperoleh persamaan garis yaitu:

$$y = -0,12x^3 + 736,88x^2 - 1.487.200,98x + 1.000.511.881,14 \quad (1)$$

3.5 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi awal yang digunakan adalah *gross profit margin* (GPM). Persamaan yang digunakan adalah: (Peters dkk., 2003).

$$G_j = S_j - C_{oj} \quad (2)$$

Pembuatan biobutanol didapatkan dengan menghidrolisis selulosa yang terdapat di dalam tandan kosong sawit (TKS) dan kemudian memfermentasikannya dengan bakteri *Clostridium acetobutylicum*. Adapun reaksi pembentukan biobutanol dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Reaksi Proses Pembuatan Biobutanol.

No	Reaksi Proses
1	$3C_6H_{10}O_5 + 3H_2O \xrightarrow{\text{enzim selulase}} 3C_6H_{12}O_6$
2	$3C_6H_{12}O_6.C. \text{acetobutylycum} \rightarrow C_3H_6O + C_4H_{10}O + 2C_2H_6O + 7CO_2 + 4H_2$

Tabel 6. Harga Bahan Baku dan Produk Pada Tahun 2021

No	Nama bahan baku dan produk	US\$/kg	Rupiah/kg	Perusahaan
1	TKS (selulosa)	17,57	250	PT. Ramajaya Pramukti
2	Enzim selulase	13,31	189.233,46	Evergreen Chemical Factory Co., Ltd.
3	Glukosa	50	7.089,17	Hangzhou Lianyue Environmental Protection Technology Co., Ltd
4	Hidrogen	22,14	315.739,9	Chengdu Taiyu Industrial Gases Co., Ltd
5	Bioetanol	0,83	11.709	PT. Energi Agronusantara
6	Butanol	1,63	23.148,29	Shandong Baovi Energy Technology Co., Ltd
7	Aseton	1,575	22.445,71	Shandong S-Sailing Chemical Co., Ltd.

(Sumber: www.alibaba.com)

Perhitungan GPM untuk Reaksi 1

Tabel 7. Data GPM untuk Reaksi Hidrolisis Enzimatik.

Parameter	Bahan Baku			Produk
	Selulosa	Air	Enzim selulase	Glukosa
Koefisien	3	3		3
Berat molekul (g/mol)	162,1406	18,01528		180,156
Massa (g)	486,42	54,05		540,47
Massa/massa glukosa	0,9	0,1		3
Harga (Rp/kg)	225	0	189.233,46	21.267

$$\begin{aligned} \text{GPM} &= \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= (21.267) - (225 + (189.233,46 \times 0,05 \text{ kg})) \\ &= 21.267 - 9.686,67 \\ &= \text{Rp } 11.760/\text{kg} \end{aligned}$$

Perhitungan GPM untuk Reaksi 2

Tabel 8. Data GPM untuk Proses Fermentasi.

Parameter	Bahan Baku		Produk				
	Glukosa	Bakteri (ml)	Aseton	Butanol	Etanol	CO ₂	H ₂
Koefisien	3		1	1	2	7	4
Berat molekul (g/mol)	180,156		58,08	74,121	46	44,01	2
Massa (g)	180,156		58,08	74,121	92	132,03	8
Massa/massa butanol	2,43		0,78	1	1,24	2,27	0,11
Harga (Rp/kg)	17.227	450	17.508	23.148	14.519	0	34.731

GPM = Harga Jual Produk - Harga Bahan Baku
= $(17.508 + 23.148 + 14.519 + 34.731) - (17.227 + (450 \times 100 \text{ ml}))$
= Rp 27.679/kg

Total GPM = Rp 11.760 + Rp 27.679
= Rp 39.459/kg

Dari hasil perhitungan, didapat total *gross profit margin* yang bernilai positif, artinya produksi biobutanol dari biomassa TKS layak untuk dilaksanakan secara ekonomi dan mendapatkan keuntungan.

Kesimpulan

Produksi biobutanol menggunakan bahan baku tandan kosong sawit dipilih dikarenakan harga yang relatif terjangkau dan dapat memanfaatkan limbah perkebunan sawit. Metode yang dapat digunakan dalam produksi biobutanol adalah proses hidrolisis dan fermentasi secara terpisah dengan 4 tahapan yaitu perlakuan awal tandan kosong sawit, hidrolisis enzim menggunakan enzim selulase, fermentasi dengan bantuan *Clostridium acetobutylicum*, dan pemurnian untuk memisahkan biobutanol dengan air. Metode SHF memiliki kelebihan yaitu proses hidrolisis selulase TKS *pra-treatment* dengan asam dapat dilakukan menggunakan suhu yang rendah tetapi dalam waktu yang lama atau pada suhu tinggi dengan waktu yang relatif lebih singkat. Produk dari *Clostridium acetobutylicum* menggunakan hidrolisat dari hidrolisis selulase lebih tinggi daripada yang menggunakan hidrolisat dari hidrolisis asam. Proses hidrolisis oleh enzim selulase dapat dilakukan terpisah dengan proses fermentasi sesuai dengan kondisi optimum masing-masing. Dari hasil perhitungan analisis ekonomi awal, didapat total *gross profit margin* Rp 39.459/kg, yang artinya produksi biobutanol dari biomassa TKS dapat dilaksanakan baik secara ekonomi dan mendapatkan keuntungan. Untuk studi lanjutan diperlukan kajian *techno-economic analysis* proses produksi biobutanol dengan bahan baku TKKS dengan melakukan simulasi dengan bantuan *software* dan dilakukan *feasibility study*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas team Laboratorium Teknologi Bioproses, Fakultas Teknik, Universitas Riau yang sudah membantu penulis.

Daftar Notasi

Gj = Gross Profit
Sj = Amount of sales in year j (Rupiah)
Coj = Cost of operation in year j (Rupiah)
y = Jumlah impor butanol (ton)
x = Tahun

Daftar Pustaka

- Alibaba. Price of Aceton. https://www.alibaba.com/product-detail/Price-acetyl-acetone-Acetylacetone-99-55_1600339900268.html?spm=a2700.galleryoffer_list.normal_offer.d_title.31d33ab6EjwoHB. Diakses pada 22 Desember 2021.
- Alibaba. Price of Butanol. https://www.alibaba.com/product-detail/Price-Butanol-N-butanol-99-Alcohol_62262454023.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.3e226812Wazamv&s=p. Diakses pada tanggal 12 November 2021.
- Alibaba. Price of enzyme cellulase. https://www.alibaba.com/product-detail/Cellulase-Enzyme-Enzyme-Industrial-Enzyme-Cellulase_62516580252.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.2bdd430ckfdIFG&s=p. Diakses pada 20 Desember 2021.
- Amiri, H., Karimi, K., 2015. Autohydrolysis: a promising pretreatment for the improvement of acetone, butanol, and ethanol production from woody materials. *Chem. Eng. Sci.* 137, 722–729.
- Ashani, P.N., Shafiei, M. & Karimi, K. 2020. Biobutanol Production from Municipal Solid Waste: Technical and Economic Analysis. *Bioresource Technology* 308(January), pp. 9. 123267. doi: 10.1016/j.biortech.2020
- Badan Pusat Statistik. Ekspor dan Impor. <https://www.bps.go.id/exim/>. Diakses pada tanggal 19 April 2022.
- Bahrin, E. K., Baharudin, A., Ibrahim, M. Z., Razak, M. N. A., Sulaiman, A., Aziz, S. A., Nishia, H. (2012). Physicochemical property changes and enzymatic hydrolysis enhancement of oil palm empty fruit bunches treated with superheated steam. *Bioresources*, 1(2), 1784–1801.
- Benyadit, G., & Muktiarto. (2012). Perancangan Pabrik N-Butanol Dengan Proses Hidrogenasi N-Butil Butirat Kapasitas 50.000 Ton/Tahun. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret.
- Burhani, D., Triwahyuni, E., & Setiawan, R. (2019). Second-Generation Biobutanol: An Update. *Reaktor*, 19(3), 101–110.
- Cai, D., Li, P., Luo, Z., Qin, P., Chen, C., Wang, Y., Wang, Z., Tan, T., 2016. Effect of dilute alkaline pretreatment

- on the conversion of different parts of corn stalk to fermentable sugars and its application in acetone–butanol–ethanol fermentation. *Bioresour. Technol.* 211, 117–124
- Fajariah, H. D. (2012). Pemanfaatan Serbuk Gergaji Menjadi Biobutanol Dengan Hidrolisis Selulase Dan Fermentasi Bakteri *Clostridium acetobutylicum*. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fengel, D., Wegener, G., & Greune, A. 1989. Studies on the delignification of spruce wood by organosolv pulping using SEM-EDXA and TEM. *Wood Science and Technology*, 23(2), 123-130.
- Gao, K., Rehmann, L., 2014. ABE fermentation from enzymatic hydrolysate of NaOHpretreated corncobs. *Biomass Bioenergy* 66, 110–115
- He, C. R., Kuo, Y. Y., & Li, S. Y. 2017. Lignocellulosic butanol production from Napier grass using semi-simultaneous saccharification fermentation. *Bioresource technology*, 231, 101-108.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.039>
- Ibrahim, M.F., Abd-Aziz, S., Yusoff, M.E.M., Phang, L.Y. & Hassan, M.A. 2015. Simultaneous Enzymatic Saccharification and ABE Fermentation Using Pretreated Oil Palm Empty Fruit Bunch as Substrate to Produce Butanol and Hydrogen as Biofuel. *Renewable Energy* 77, 447–455. doi: 10.1016/j.renene.2014.12.047
- Jang, Y.S., Malaviya, A. & Lee, S.Y. 2013. Acetone-Butanol-Ethanol Production with High Productivity Using *Clostridium Acetobutylicum* BKM19. *Biotechnology and Bioengineering* 110(6), 1646–1653. doi: 10.1002/bit.24843
- Karthick, C., & Nanthagopal, K. 2021. A comprehensive review on ecological approaches of waste to wealth strategies for production of sustainable biobutanol and its suitability in automotive applications. *Energy Conversion and Management*, 239, 114219.
- Kong, X., Xu, H., Wu, H., Wang, C., He, A., Ma, J., Ren, X., Jia, H., Wei, C., Jiang, M., Ouyang, P., 2016. Biobutanol production from sugarcane bagasse hydrolysate generated with the assistance of gamma-valerolactone. *Process Biochem.* 51,1538–1543.
- Li, H.-G., Zhang, Q.-H., Yu, X.-B., Wei, L., Wang, Q., 2016. Enhancement of butanol production in *Clostridium acetobutylicum* SE25 through accelerating phase shift by different phases pH regulation from cassava flour. *Bioresour. Technol.* 201, 148–155.
- Lipovsky, J., Patakova, P., Paulova, L., Pokorny, T., Rychtera, M. & Melzoch, K. 2016. Butanol Production by *Clostridium Pasteurianum* NRRL B-598 in Continuous Culture Compared to Batch and Fed-Batch Systems. *Fuel Processing Technology* 144, 139–144. doi: 10.1016/j.fuproc.2015.12.020
- Mansur, D., & Aiman, S. (2020). Keadaan Dan Prospek Butanol Lignoselulosa Sebagai Bahan Bakar Transportasi Darat Di Indonesia : Sebuah Telaahan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 19(1), 29–40.
- Martin, A. 2021. Pemanfaatan Air Gambut Untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Biocoal dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu dan Temperatur Proses Torefaksi. *Rekayasa*, 14(3), 450-455.
- Md Razali, N. A. A., Ibrahim, M. F., Kamal Bahrin, E., & Abd-Aziz, S. 2018. Optimisation of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) for biobutanol production using pre-treated oil palm empty fruit bunch. *Molecules*, 23(8), 1944.
- Ohara, H., Karita S., Kimura T., Sakka K., and Ohmiya K. 1998. Cellulase Complex from *Ruminococcus albus*. *Annual Report IC Biotech*, 21(1) : 358-370.
- Olofsson, K., Bertilsson, M., & Lidén, G. 2008. A short review on SSF—an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for biofuels*, 1(1), 1-14.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. 2003. *Plant Design And Economics For Chemical Engineers* (fifth). McGraw Hill Book Co.
- Pinto, T., Flores-Alsina, X., Gernaey, K. V., & Junicke, H. 2021. Alone or together? A review on pure and mixed microbial cultures for butanol production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111244.
- Plaza, P.E., Gallego-Morales, L.J., Peñuela-Vásquez, M., Lucas, S., García-Cubero, M.T. & Coca, M. 2017. Biobutanol Production from Brewer’s Spent Grain Hydrolysates by *Clostridium Beijerinckii*. *Bioresource Technology* 244(July), 166–174. doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.139
- Pradita, S. H., & Putri, S. M. 2018. Pra Rancangan Pabrik Bioetanol Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia.
- Pratto, B., Chandgude, V., de Sousa Junior, R., Cruz, A. J. G., & Bankar, S. 2020. Biobutanol production from sugarcane straw: defining optimal biomass loading for improved ABE fermentation. *Industrial Crops and Products*, 148, 112265. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112265>
- Pinto, T., Flores-Alsina, X., Gernaey, K. V., & Junicke, H. 2021. Alone or together? A review on pure and mixed microbial cultures for butanol production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111244.
- Qomariyah, N., Agusta, K. D., Khayatun, L. A., Yuditya, N. A., & Hidayah, M. N. 2013. Biobutanol Dari Limbah Tahu: Alternatif Aditif Pada Bensin Sebagai Biofuel Indonesia. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Qureshi, N., Lin, X., Liu, S., Saha, B. C., Mariano, A. P., Polaina, J., & Singh, V. 2020. Global view of biofuel butanol and economics of its production by fermentation from sweet sorghum bagasse, food waste, and yellow top presscake: Application of novel technologies. *Fermentation*, 6(2), 58.

- Rahnama, N., Foo, H.L., Abdul Rahman, N.A., Ariff, A., Md Shah, U.K. 2014. Saccharification of rice straw by cellulase from a local *Trichoderma harzianum* SNRS3 for biobutanol production. *BMC Biotechnol.* 14, 103
- Saadatinavaz, F., Karimi, K., & Denayer, J. F. 2021 . Hydrothermal pretreatment: An efficient process for improvement of biobutanol, biohydrogen, and biogas production from orange waste via a biorefinery approach. *Bioresour. Technol.*, 341, 125834.
- Suprihatin, Sofiati, N., & Prastiyo, N. E. 2020. Biobutanol Dari Glucose Off Grade Dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Clostridium Acetobutylicum*. *Seminar Nasional*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya.
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, 9(9), 1621-1651.
- Travaini, R., Barrado, E., Bolado-Rodríguez, S. 2016. Effect of ozonolysis parameters on the inhibitory compound generation and on the production of ethanol by *Pichia stipitis* and acetone-butanol-ethanol by *Clostridium* from ozonated and water washed sugarcane bagasse. *Bioresour. Technol.* 218, 850–858
- Tsai, T.Y., Lo, Y.C., Dong, C. Di, Nagarajan, D., Chang, J.S. & Lee, D.J. 2020. Biobutanol Production from Lignocellulosic Biomass Using Immobilized *Clostridium Acetobutylicum*. *Applied Energy* 277(November), pp. 10. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115531
- Ullmann. (1991). *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Verlagsgesellschaft. Weheim, Germany : Wiley.
- Warsito, J., Sabang, S. M., & Mustapa, K. 2016. Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Akademika Kimia*. 5(1) : 8-15.
- Whitman, W. B. 2009. *Bergey's manual of systematic bacteriology* 2nd edition. New York: The Firmicutes.
- Yang, M., Zhang, J., Kuittinen, S., Vepsäläinen, J., Soininen, P., Keinänen, M., Pappinen, A., 2015. Enhanced sugar production from pre-treated barley straw by additive xylanase and surfactants in enzymatic hydrolysis for acetone-butanol-ethanol fermentation. *Bioresour. Technol.* 189, 131–137.
- Yamamoto, M., Iakovlev, M., Bankar, S., Tunc, M.S., van Heiningen, A. 2014. Enzymatic hydrolysis of hardwood and softwood harvest residue fibers released by sulfur dioxide-ethanol-water fractionation. *Bioresour. Technol.* 167, 530–538.
- Zetty-Arenas, A.M., Alves, R.F., Portela, C.A.F., Mariano, A.P., Basso, T.O., Tovar, L.P., Maciel Filho, R. & Freitas, S. 2019. Towards Enhanced N-butanol Production from Sugarcane Bagasse Hemicellulosic Hydrolysate: Strain Screening, and the Effects of Sugar Concentration and Butanol Tolerance. *Biomass and Bioenergy* 126(2019), 190–198. doi: 10.1016/j.biombioe.2019.05.011

Desain Band Pass Filter pada Frekuensi X-Band Menggunakan Metode Square Resonator untuk Aplikasi Radar Navigasi

Trisa Mira Rahmawati¹, Sutrisno¹, dan Hanny Madiawati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

trisa.mira.tkom19@polban.ac.id, sutrisno@polban.ac.id, hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Bandpass filter merupakan sebuah komponen yang dapat melewatkan sinyal dalam *range* frekuensi tertentu, *bandpass filter* akan meloloskan frekuensi yang berada di dalam *range* frekuensi *cut off* dan meredam frekuensi yang berada di luar *range* frekuensi *cut off*. Dalam aplikasinya sebuah *bandpass filter* dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam sistem radar navigasi. Radar navigasi bekerja pada frekuensi X-band sehingga diperlukan sebuah *bandpass filter* yang dapat bekerja pada frekuensi X-band, dimana selain untuk meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan, *bandpass filter* juga dapat mencegah interferensi yang dapat terjadi dalam proses modulasi pada sistem radar. Maka pada penelitian ini akan dirancang sebuah *filter* jenis *bandpass filter* yang bekerja pada frekuensi X-band dengan frekuensi tengah 9,1 GHz, dimana *filter* ini akan dirancang menggunakan metode *square resonator*, keunggulan dari metode ini selain dimensi dan rangkaiannya yang sederhana, *resonator* dengan bentuk *square* akan memiliki respon *bandpass filter* yang baik. *Filter* hasil optimasi akhir yang telah dilakukan menghasilkan parameter diantaranya yaitu frekuensi tengah yang berada pada 9,1 GHz, *bandwidth* 1,5 Ghz, S1.1 sebesar 2,6 dB, dan S2.1 didapat sebesar 14,4 dB.

Kata kunci: *bandpass filter*, X-band, *square resonator*, radar navigasi.

Abstract

A bandpass filter is a component that can pass signals within a certain frequency range, bandpass filter will pass frequencies that are within the cut-off frequency range and reduce frequencies that are outside the cut-off frequency range. A bandpass filter can be used as a component in a navigation radar system in its application. The navigation radar works on X-band frequency, so we need a bandpass filter that can work at the X-band frequency, where in addition to passing the desired frequency and dampening unwanted frequencies, the bandpass filter can also prevent interference that can occur in the modulation process on the radar system. So in this study, a bandpass filter type filter that works at the X-band frequency with a center frequency of 9,1 GHz will be designed, where this filter will be created using the *square resonator* method, the advantages of this method in addition to its dimensions and simple circuit, the resonator with the shape square will have a suitable bandpass filter response. The final optimization filter that has been carried out produces parameters including the center frequency which is at 9,1 GHz, the bandwidth is 1.5 Ghz, S1.1 is 2,6 dB, and S2.1 is 14.4 dB.

Keywords: bandpass filter, X-band, square resonator, navigation radar

1. Pendahuluan

Perangkat telekomunikasi khususnya radar navigasi dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian penerima (*receiver*) dan pemancar (*transmitter*). Sistem penerima pada radar navigasi berfungsi untuk menerima gelombang elektromagnetik, hal tersebut dilakukan agar sinyal objek yang berada di daerah radar dapat dikenali. dalam hal ini maka ini, agar radar navigasi mendapatkan hasil penginderaan yang baik, maka frekuensi lain yang tertumpang atau tidak diinginkan dan interferensi pada proses modulasi dalam perangkat seharusnya perlu dihilangkan (Intan Nuraeni Agfah, 2017).

Maka diperlukan sebuah komponen untuk mengatasi masalah yang terjadi pada sistem radar navigasi tersebut, salah satu jenis filter yang dapat digunakan adalah *bandpass filter*. Filter dapat dibangun dengan banyak teknik dan bahan, sesuai dengan aplikasinya. Salah satu yang paling banyak digunakan dalam komunikasi radio frekuensi adalah filter dengan menggunakan teknik mikrostrip (Aldef Hardzi Fadzlullah, 2017).

Nabela Toresa Anggraini, Elisma, dan Hana Arisesa, membuat perancangan dan realisasi *bandpass filter* pada X-band frekuensi dengan menggunakan metode *Square open loop* resonator yang akan diaplikasikan pada radar pengawas pantai simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat ADS. Hasil respon simulasi filter yang bekerja

Info Makalah:

Dikirim : 05-18-22;
Revisi 1 : 08-24-22;
Revisi 2 : 10-26-22;
Diterima : 10-26-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : -
e-mail : trisa.mira.tkom19@polban.ac.id

frekuensi kerja 9,010 sampai 9,510 GHz, *bandwidth* sebesar 500 Mhz dengan frekuensi tengah 9,260 GHz. Hasil *insertion loss* pada simulasi yaitu 2,30 dB, *return loss* 20,5 dB sedangkan pada hasil realisasi nilai *insertion* bernilai 4,802 dB dan *return loss* bernilai 11.252 dB dengan frekuensi 8,634-8,818 GHz (Nabela Toresa Anggraini, 2021)

Reza Dipayana, Yuyun Siti Rohmah, S.T., M.T, Dwi Andi Nurmantris, S.T., M.T. merancang *bandpass filter* dengan metode *square open loop*

resonator dan simulasi *bandpass filter* menggunakan *software* ADS. Dari simulasi dihasilkan frekuensi tengah yang bekerja pada frekuensi 666 MHz dan nilai *insertion loss* sebesar 26,2 dB, nilai *insertion loss* sebesar 4,71 dB, besar VSWR yaitu 1,090, *bandwidth* yang dihasilkan yaitu 40 MHz dan *fractional bandwidth* yaitu 5,9%. pada hasil pengukuran hasil realisasi didapatkan nilai *return loss* 25,9 dB, nilai *insertion loss* 5,9 dB, nilai VSWR 1,1067, *bandwidth* bernilai 32 MHz dan *fractional bandwidth* yaitu 4,8% (Reza Dipayana, 2019).

Aldef Hardzi Fadzlullah, Dharu Arseno, Yuyu Wahyu. Merancang dan merealisasikan. *Bandpass filter* dirancang dengan menggunakan metode *square loop resonator* dan dirancang dengan bahan FR4 epoxy. Metode *square resonator* dipilih karena memiliki kelebihan dalam segi perancangannya yang mudah. Perancangan yang dibuat menghasilkan frekuensi kerja pada *range* 1710-1785 MHz. sedangkan berdasarkan pengukuran hasil realisasi dihasilkan parameter yaitu frekuensi tengah 90,2 MHz, *return loss* sebesar 17,734 dB dan juga *insertion loss* sebesar 5,773 dB. (Aldef Hardzi Fadzlullah, 2017).

Edwar, D. Arseno, dan M. R. Yurson merancang dan merealisasikan mikrostrip *bandpass filter* pada frekuensi *x-band* dengan menggunakan metode *Square Loop Resonator* dan *defected ground structure*. Menghasilkan simulasi *bandpass filter* telah melalui hasil optimasi dan menghasilkan frekuensi tengah 9,63 GHz dengan *bandwidth* 1,313 GHz. Nilai *insertion loss* dan *return loss* yang didapat sebesar 1,03 dB dan 28,39 dB. (Yurson, 2020).

Muhammad Purwa Manggala, Heroe Wijanto, Budi Syihabuddin, membuat penelitian tentang *filter* metode *Square Loop Resonator* yang bekerja pada frekuensi 2350. *Filter* yang dirancang mempunyai dimensi 40mm × 40mm × 1,67mm yang dirancang dengan dielektrik FR4. Menghasilkan parameter *bandwidth* 41,7 MHz, *insertion loss* 4,3 dB, impedansi sebesar 48,4 Ohm, serta VSWR 1,01, dan pada realisasi hasil pengukuran menunjukkan *bandwidth* 50 MHz, *return loss* -44 dB, *insertion loss* 6 dB. Sangat berbeda jauh dengan hasil perancangan pada simulasi. (M. Purwa Manggala, 2015).

Intan Nuraeni Agfah, Heroe Wijanto, dan Budi Syihabuddin merancang dan merealisasikan *bandpass filter* untuk aplikasi radar cuaca yang dirancang dengan metode *square loop ring resonator* yang bisa bekerja pada *x-band* frekuensi dengan *bandwidth* sebesar 50 MHz dan dengan frekuensi tengah 9,475 GHz, bahan substrat yang digunakan yaitu duroid 5880 dengan nilai konstanta dielektrik yaitu 2,2. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi tengah dengan nilai 9,475 GHz, *return loss* bernilai 20,551 dB dan *insertion loss* bernilai 3,234 dB, *bandwidth* yang dihasilkan menyempit dari 50 MHz menjadi 46 MHz. (Intan Nuraeni Agfah, 2017).

Lukman Medriavin Silalahi, Setiyo Budiyanto, Imelda Uli Vistalina Simanjuntak, Freddy Artadima Silaban, Nofal Gusti Sulisetyo, Agus Dendi Rochendi, merancang dan merealisasikan *bandpass filter Square Loop Resonator* yang bekerja pada frekuensi 3 GHz untuk aplikasi radar, dengan *bandwidth* 60 MHz pada simulasi parameter yang dihasilkan diantaranya *return loss* atau S1.1 sebesar -29,6 dB dan *insertion loss* atau S2.1 bernilai 0,8 dB. Namun pada hasil simulasi parameter yang dihasilkan diantaranya *return loss* atau S1.1 menjadi 22,3 dB dan *insertion loss* atau S2 berkurang menjadi 3,05 dB. (Lukman Medriavin Silalahi, 2020).

M. Purwa Manggala, Heroe Wijanto, Budi Syihabuddin merancang dan merealisasikan *bandpass filter* yang bekerja di *band* frekuensi 2350 Mhz yang digunakan untuk aplikasi satelit Nano. Material yang digunakan yaitu substrat FR4 dan material *stripline Cooper*. Hasil pengukuran *filter* menunjukkan performa yang bekerja di *band* frekuensi 2350 MHz dengan *bandwidth* 50 MHz dan *return loss* bernilai -44 dB, menunjukkan bahwa hasil tersebut telah lebih baik dari spesifikasi yang diharapkan yaitu 15 dB. *Insertion loss* yang dihasilkan yaitu 6,3 dB dan impedansi yang dihasilkan telah mendekati 50 Ohm yaitu sebesar 49 Ohm. (M. Purwa Manggala, 2015).

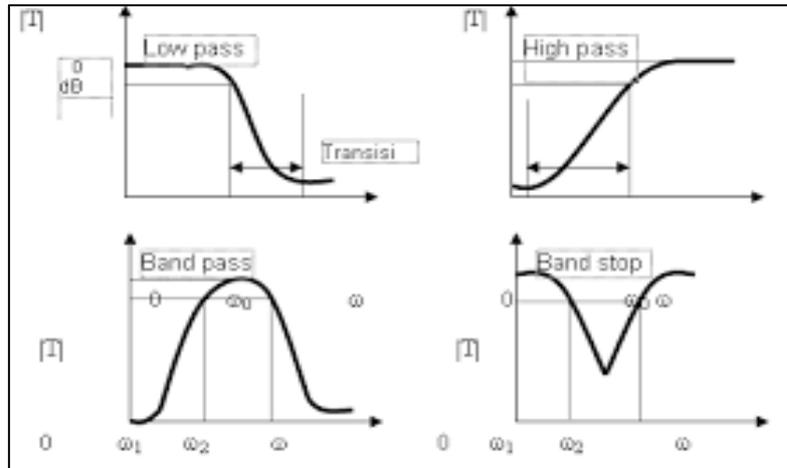
2. Metode

2.1. Radar Navigasi

Radar navigasi dapat beroperasi pada pita frekuensi *x-band*. Dimana pita frekuensi *X-Band* memiliki frekuensi kerja 8-12 GHz. Pada aplikasi radar navigasi ini digunakan rentang frekuensi kerja di 9,1 GHz.

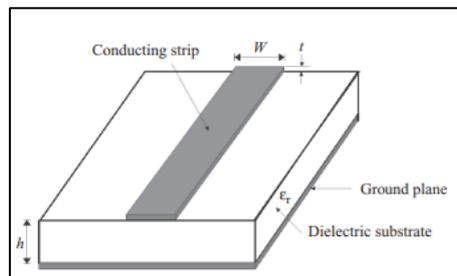
2.2. Filter

Filter berfungsi untuk menyaring sinyal-sinyal yang tidak diinginkan sehingga proses pengiriman informasi dapat diterima dengan baik.(A. Havis, 2018). Filter dapat meloloskan sinyal dengan frekuensi tertentu dan meredam frekuensi yang lain. Berdasarkan daerah frekuensi yang diloloskan dan diredamnya filter dibagi menjadi beberapa macam yaitu, *Low Pass Filter*, *High Pass Filter* *Bandpass filter*, dan *Bandstop Filter*.



Gambar 1. Jenis - Jenis Filter.

2.3. Perancangan Mikrostrip



Gambar 2. Struktur Mikrostrip.

Pada perancangan mikrostrip nilai $u = W/h$ diperoleh dari nilai Z_0 dan ϵ_r yang sudah ditetapkan. Menurut Hammerstad W/h dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) (Nabela Toresa Anggraini, 2021). Perhitungan ini dilakukan dengan kondisi W/h kurang dari atau sama dengan 2.

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (1)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2)$$

Sedangkan, jika kondisi W/h lebih dari atau sama dengan 2 maka menggunakan persamaan (3) dan (4)

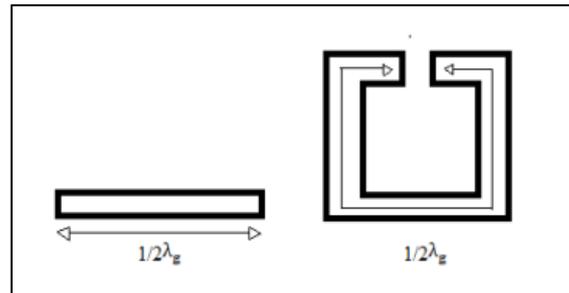
$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left[(B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right] \quad (3)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

2.4. Square Open-Loop Resonator

Filter dengan metode resonator berbentuk *ring*, baik kotak ataupun bulat, memiliki bentuk dan rangkaian yang sederhana. Dimensi dari *filter* ini bernilai sama dengan kelipatan dari jari-jari resonator *ring*, baik kotak ataupun lingkaran.

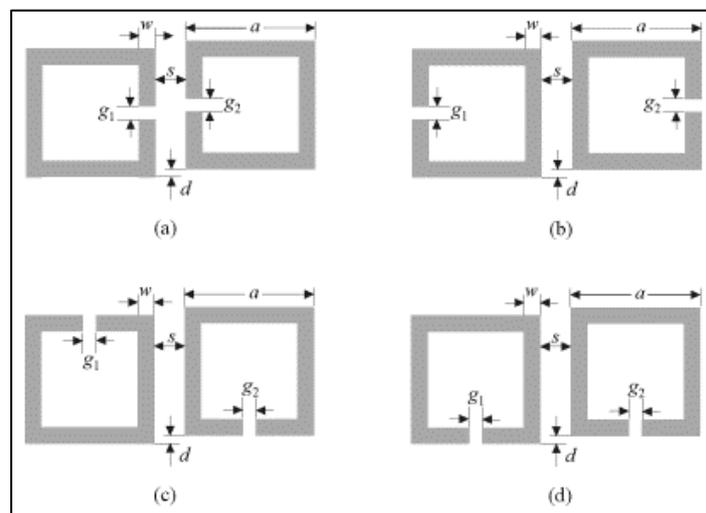
Square resonator adalah resonator panjang yang dibentuk dengan cara ditekuk 90 derajat sehingga membentuk gap antara kedua ujung resonator. Secara teori *resonator* dapat bekerja sesuai dengan frekuensi yang diinginkan, maka panjang dari sebuah resonator harus dirancang dengan panjang $1/2\lambda_g$.



Gambar 3. Square Open-Loop Resonator.

2.5. Kopling Antar Resonator

Pada umumnya tipikal mikrostrip yang dipasang berpasangan seperti resonator yang ditunjukkan pada gambar 4, (D.W.Astuti, 2016) masing-masing dari resonator tersebut pada dasarnya adalah resonator setengah lamda yang ditebuk menjadi beberapa bagian. Struktur dari masing-masing resonator menghasilkan medan elektromagnetik yang berbeda yang dipisahkan oleh jarak s . maka setiap kopling pada struktur tersebut adalah kopling dengan jarak yang berdekatan. Jarak kopling antar resonator memiliki kekuatan yang berbeda (Muhammadin, 2020).



Gambar 4. Kopling antar Resonator (a), Kopling Elektrik (b), Kopling Magnetik (c), dan Kopling Mixed (d)

Jenis kopling elektrik dapat ditunjukkan pada gambar (a). dimana terdapat dua buah resonator yang berdekatan dengan gap yang saling berhadapan. Kopling elektrik dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$Ke = \frac{\pi}{16} \cdot Fe \cdot \exp \exp (-Ae) \cdot \exp \exp (-Be) \cdot \exp \exp (-De) \quad (5)$$

2.6. Perancangan Bandpass filter

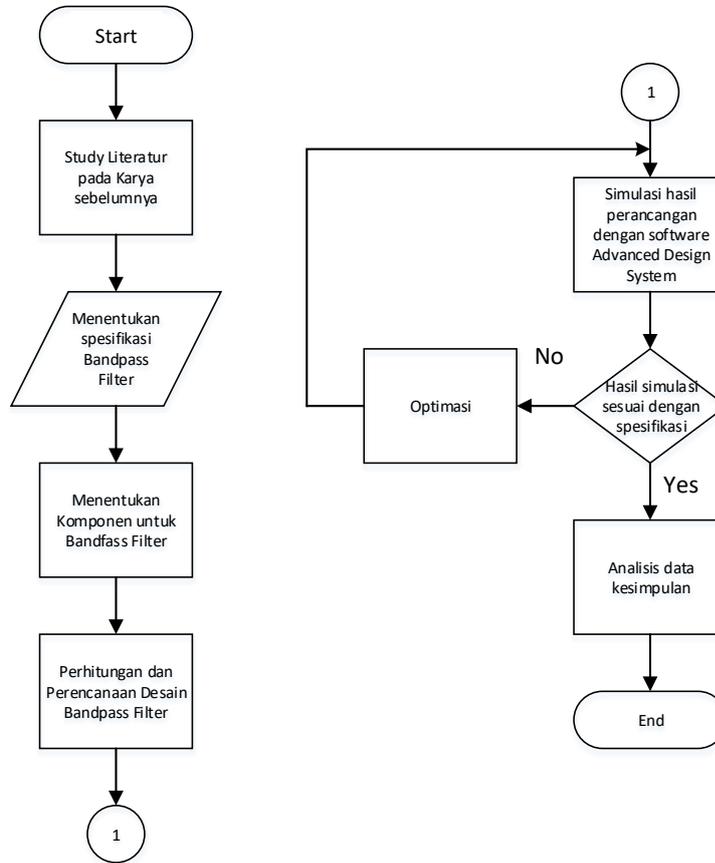
Perancangan filter dilakukan dengan perangkat lunak *Advanced Design System 2017* dengan bahan *subtrat Rogers RT5880*. Tahapan perancangan antenna tersebut sesuai dengan Gambar (5) dengan spesifikasi antenna yang dirancang diperlihatkan Tabel 1. Tabel 1 merupakan spesifikasi filter yang akan dirancang dengan menggunakan metode *square loop* resonator dan dirancang dengan jenis substrat RT-5880.

Tabel 1 Spesifikasi Perancangan Filter.

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi Tengah (GHz)	9,1 GHz
Bandwidth (MHz)	≥ 200
Return loss (dB)	≥ 10
Insertion loss(dB)	≥ 3

Pada tahap awal dilakukan studi literatur dengan merujuk pada karya sebelumnya sebagai bahan referensi dalam desain *bandpass* filter. selanjutnya menentukan spesifikasi *bandpass* filter yang akan didesain dan akan direalisasikan dan menentukan komponen apa yang harus digunakan agar hasil dari desain *bandpass* filter tersebut dapat bekerja dengan baik dan memenuhi syarat spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Sebelum melakukan simulasi desain

menggunakan diperlukan proses perhitungan dimensi dan perencanaan desain yang diinginkan, supaya hasil dari simulasi tersebut dapat memenuhi syarat spesifikasi yang ditentukan. Jika hasil simulasi pada *software* ADS tidak sesuai dengan syarat spesifikasi yang sebelumnya telah ditentukan maka pada proses simulasi akan dilakukan optimasi dengan cara mengubah sedikit demi sedikit ukuran dari dimensi yang telah dihitung sampai hasil simulasi mendekati nilai spesifikasi atau hasil simulasi memenuhi standar spesifikasi *bandpass* filter. Langkah terakhir yaitu melakukan analisis dan menarik kesimpulan dari hasil kerja perancangan filter yang telah dilakukan.



Gambar 5. Alur Pengerjaan Penelitian.

2.7. Perhitungan Dimensi Filter

- Penentuan orde

$$\Omega\alpha = \frac{f2}{f0} \tag{6}$$

- Perhitungan lebar resonator (W)
Lebar resonator dihitung dengan menggunakan persamaan (1)
- Perhitungan lebar saluran *input* dan *output* (Wf)
Lebar saluran *input* dan *output* dapat dihitung menggunakan persamaan (4)
- Perhitungan konstanta elektrik
Perhitungan konstanta elektrik dilakukan karena sebelum menghitung panjang dari resonator maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari konstanta dielektrik. Konstanta dielektrik dapat dihitung menggunakan persamaan (7)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{w/h}\right)^{-ab} \tag{7}$$

$$\alpha = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{(w/h)^4 + \left(\frac{w/h}{52}\right)^2}{(w/h)^4 + 0,432} \right] + \frac{1}{18,7} \ln \left[1 + \left(\frac{w/h}{18,1}\right)^3 \right] \tag{8}$$

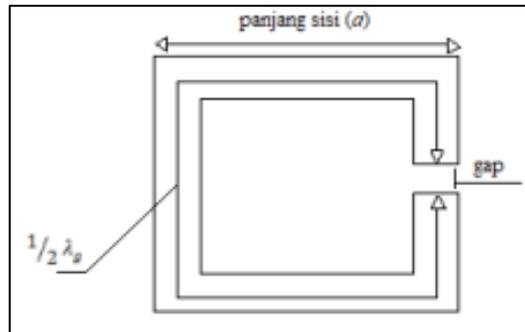
$$b = 0,564 \left(\frac{\epsilon r - 0,9}{\epsilon r + 3}\right)^{0,053} \tag{9}$$

- Perhitungan panjang resonator (L)
Panjang saluran resonator dihitung dengan persamaan (10)

$$\lambda_g = \frac{300}{f_c(\text{GHz})\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \text{ mm} \quad (10)$$

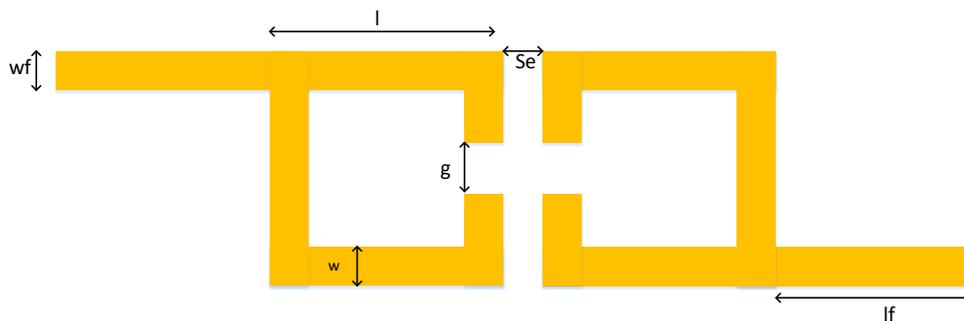
Karena panjang resonator adalah $\frac{\lambda}{4}$ maka panjang resonator adalah

$$l = \frac{(1/2\lambda_g + \text{gap})}{4} + w_r \quad (11)$$



Gambar 6. Panjang Saluran Resonator.

- Perhitungan kopling elektrik (Se)
Kopling elektrik merupakan jarak pemisah antara resonator, sehingga jarak ini dapat dihitung dengan persamaan (5)

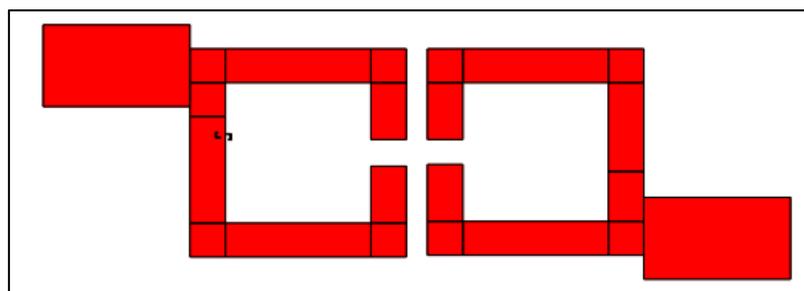


Gambar 7. Ilustrasi Dimensi Desain Perancangan yang akan dibuat.

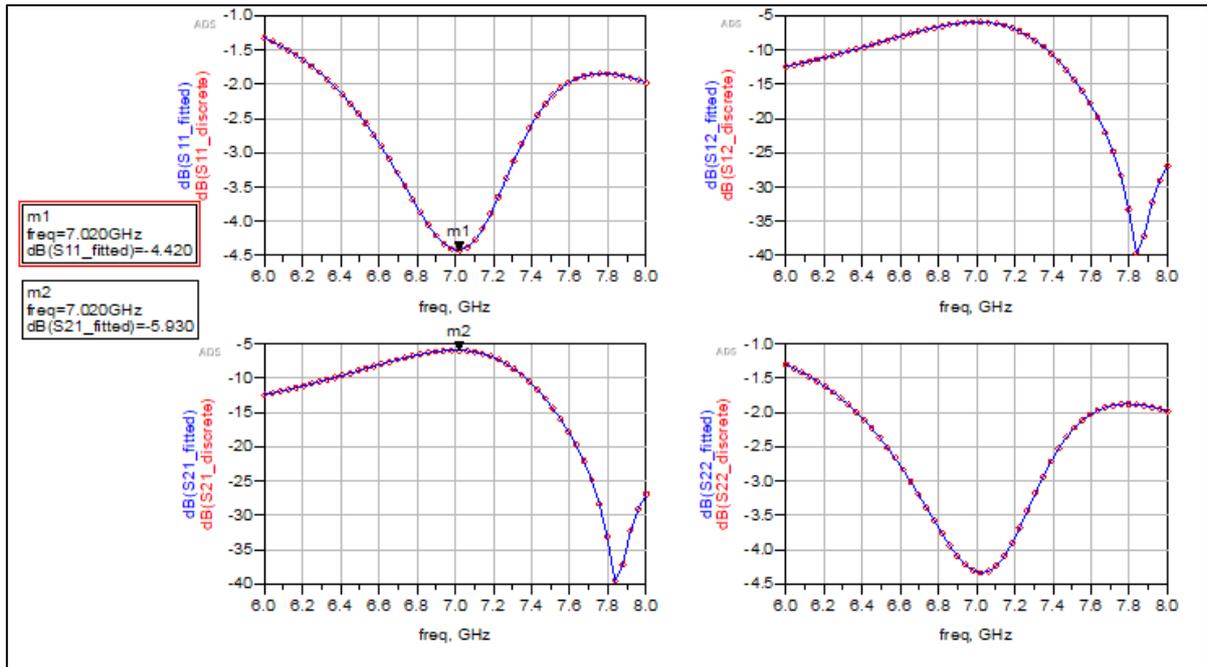
Tabel 2. Dimensi Perancangan Hasil Perhitungan.

Simbol	Parameter	Nilai Parameter (mm)
W	Lebar Resonator	1,96
L	Panjang resonator	4,66
Wf	Lebar <i>feed</i> (saluran)	4,85
Lf	Panjang <i>feed</i> (saluran)	7,87
Se	Jarak kopling Elektrik	1,13
G	Jarak Gap resonator	2

3. Hasil dan Pembahasan

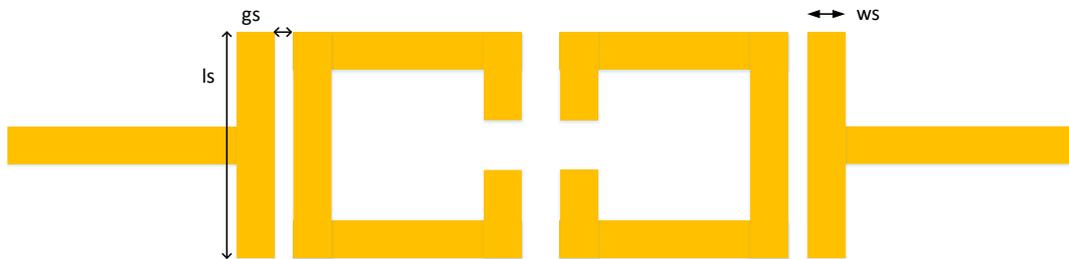


Gambar 8. Dimensi Perancangan Filter Sesuai Hasil Perhitungan.



Gambar 9. S-Parameter Hasil Simulasi Filter Dimensi Sesuai Perhitungan.

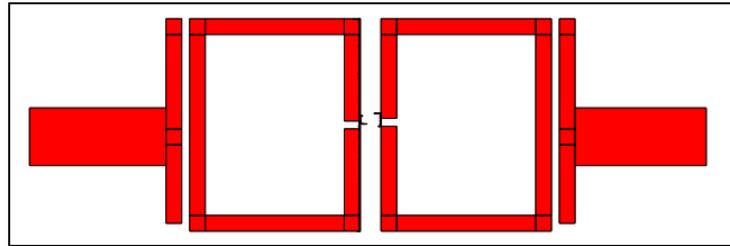
Gambar 9 merupakan hasil simulasi yang didapat diantaranya parameter S2.1 yang didapat sebesar 5,9 dB pada frekuensi 7,0 GHz. dan untuk parameter S1.1 yaitu *return loss* didapat sebesar 4,4 dB. Sehingga jika dilihat dari parameter S1.1 dan S2.1 keduanya belum memenuhi syarat spesifikasi yang diinginkan. Maka dilakukan optimasi pada perancangan filter. Optimasi dilakukan dengan cara merubah dimensi dari filter diantaranya panjang resonator, tebal resonator, panjang saluran, tebal saluran, dan jarak baik itu jarak antar resonator, gap dari resonator, jarak antar resonator dengan saluran, dan saluran *Edge Couple to I/O Lines*.



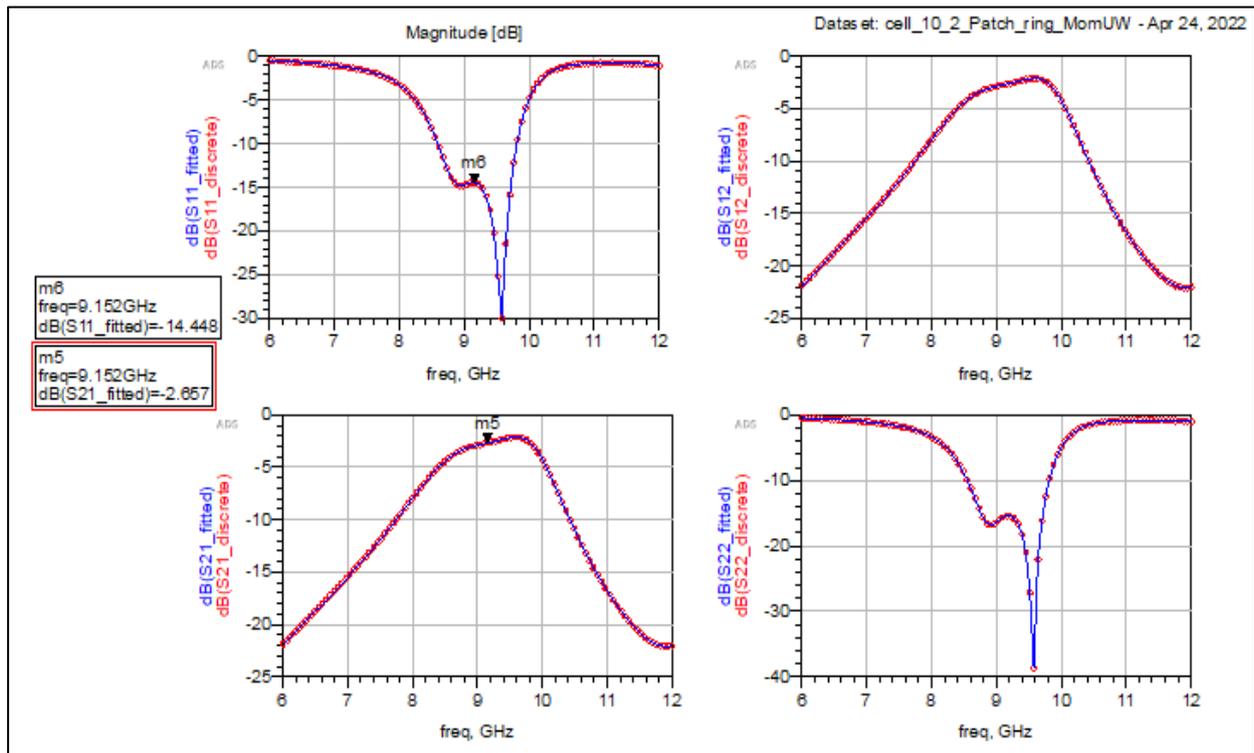
Gambar 10. Ilustrasi Desain dengan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

Tabel 3. Dimensi yang Hasil Optimasi dengan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

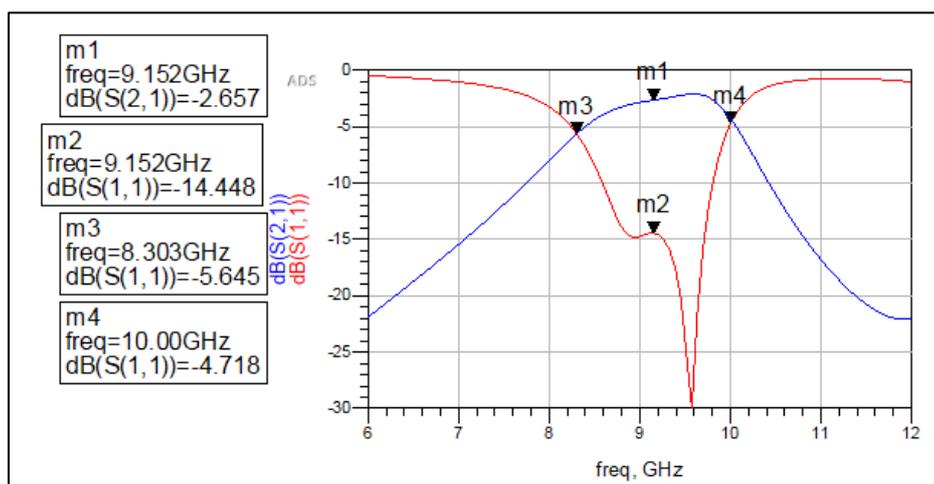
Symbol	Parameter	Nilai Parameter (mm)
w	Lebar resonator	0,6
L	Panjang resonator	8,1 dan 6,50
wf	Lebar <i>feed</i> (saluran)	2,2
lf	Panjang <i>feed</i> (saluran)	5,2
Se	Jarak kopling elektrik	0,8
g	Jarak gap resonator	0,3
Ls	Panjang <i>edge couple</i>	7,6
Ws	Lebar <i>edge couple</i>	0,6
Gs	Jarak <i>edge couple</i> dan resonator	0,3



Gambar 11. Perancangan Filter Hasil Optimasi dan Penambahan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.



Gambar 12. S-Parameter Hasil Optimasi.



Gambar 12. Parameter S1.1 Terhadap S2.1.

Tabel 4. Perbandingan Parameter yang Dihasilkan Sebelum dan Setelah Ditambahkan Saluran *Edge Couple to I/O Lines*.

Parameter	Perhitungan	dengan <i>Couple Edge I/O</i>
Frekuensi tengah (GHz)	7,0	9,1
<i>Insertion loss (dB)</i>	5,9	2,6
<i>Return loss (dB)</i>	4,4	14,4
<i>Bandwidth(MHz)</i>	-	1700

Agar filter dapat menghasilkan respon yang tajam dengan menggunakan 2 *patch* maka perlu ditambahkan saluran *input Edge Couple to I/O Lines* seperti pada Gambar 10. Setelah dilakukan proses optimasi didapat hasil parameter S1.1 sebesar 2,5 dB, parameter ini telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu lebih kecil atau sama dengan 3 dB. Sedangkan parameter S2.1 didapat sebesar 14,4 dB yang ditandai dengan marker 6 pada Gambar 12 dimana parameter ini telah memenuhi spesifikasi. *Bandwidth* yang dihasilkan juga sebesar 1,5 GHz yang dihitung antara *range* F1 dan F2, F1 dan F2 ditunjukkan oleh marker 3 dan marker 4 sehingga *bandwidth* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Juga frekuensi tengah yang dihasilkan sudah berada pada frekuensi 9,1 GHz. Pada Gambar 8 perancangan sesuai perhitungan rumus dan belum dioptimasi mempunyai saluran diatas dan di bawah, bentuk saluran dapat beragam dan disesuaikan dengan hasil respon yang diinginkan, namun bentuk saluran seperti itu tidak menghasilkan respon yang baik karena saluran yang *mismatch* dengan resonator. Sehingga pada optimasi, dapat dilihat pada Gambar 9 dimana tidak ada respon. posisi dibuat sejajar seperti pada Gambar 11 membuat kondisi *match* antara saluran *input* dan saluran *output*.

Kesimpulan

Hasil penelitian telah berhasil dilakukan yang ditandai dengan semua hasil parameter yang telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam penelitian terdapat temuan yaitu penambahan *Edge Couple to I/O Lines* pada saluran dapat menghasilkan respon filter yang tajam mendekati nilai kurang dari atau sama dengan 2, walaupun belum nilai yang didapat belum ideal tapi telah lebih baik dari hasil perancangan yang sebelum ditambahkan *Edge Couple to I/O Lines*.

Daftar Pustaka

- Al Havis, A. F. (2018). Filtering Sinyal Menggunakan Band Pass Filter. *Jurnal SIFO Mikroskil*, 2018, 19.2: 37-48.
- Aldef Hardzi Fadzlullah, D. A. (2017). PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASS FILTER BERBASIS MIKROSTRIP MENGGUNAKAN METODE SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 1710 - 1785 MHZ UNTUK TEKNOLOGI LONG TERM EVOLUTION (LTE).
- Astuti, D. W. (2016). Realisasi Bandpass Filter Square Open Loop Resonator pada Aplikasi UMTS. *Jurnal Elektro*, 9(1), 11-22.
- Intan Nuraeni Agfah, H. W. (2017). BANDPASS FILTER MIKROSTRIP X-BAND UNTUK RADAR CUACA DENGAN METODE SQUARE RING RESONATOR. *e-Proceeding of Engineering*, 4.
- Lukman Medriavin Silalahi, S. B. (2020). Bandpass Filter Design using the Square Loop Resonator on 3 GHz Frequency for Radar Applications. *IEEE*.
- M. Purwa Manggala, H. W. (2015). PERANCANGAN FILTER SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 2350 MHZ UNTUK APLIKASI SATELIT NANO.
- Muhammadin, D. R., Ali, E., & Pramudita, A. A. (2020). Perancangan Filter Bandpass Comblin 3 Ghz Pada Sistem Pemancar Radar Gelombang Kontinu. *eProceedings of Engineering*, 7(2).
- Nabela Toresa Anggraini, E. H. (2021). *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 7. National Aeronautics and Space Administration. (2015, May 5). *Open Return Wind Tunnel*. Retrieved June 24, 2015, from <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>
- Reza Dipayana, Y. S. (2019). RANCANG BANGUN BANDPASS FILTER DENGAN METODE SQUARE OPEN LOOP RESONATOR UNTUK APLIKASI DIGITAL V.
- Yurson, E. D. (2020, December 2). X-Band Microstrip Bandpass Filter Design using Square Loop Resonator and Defected Ground Structure. *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*, Vol.07, 01-05. Retrieved from <https://journals.telkomuniversity.ac.id/jmecs/article/view/2037>.

Sistem Monitoring Kualitas Air pada Akuarium Budidaya Ternak Ikan Guppy Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT

Nivika Tiffany Somantri¹, Nandhika Darwin¹, Dede Furqon Nurjaman¹,
Muhammad Reza Hidayat¹, dan Naftalin Winanti¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id, andhikadarwin@unjani.ac.id,

dede.furqon@lecture.unjani.ac.id, mreza@lecture.unjani.ac.id, naftalin.winanti@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Budidaya ikan hias di Indonesia sedang berkembang pesat, data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) menunjukkan setidaknya ada 4.720 jenis ikan baik tawar maupun laut dan 650 spesies diantaranya adalah ikan hias. KKP juga mencatat produksi ikan hias mengalami peningkatan, komoditas yang meningkat cukup signifikan yaitu Guppy (82,5%), Koki (61,7%), Corydoras (38,6%), Cupang (16,4%) dan Koi (8,9%). Agar menghasilkan ikan yang berkualitas, kualitas air seperti pH, TDS, dan suhu harus diperhatikan. Ikan hias bisa bertahan hidup dalam kondisi nilai pH 6,5-8,5, nilai TDS dibawah 200 ppm, dan suhu sekitar 28-32°C. Penelitian ini merancang sebuah sistem *monitoring* kualitas air menggunakan mikrokontroler berbasis IoT. Sensor yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter kualitas air adalah PH4502C, SEN0244, dan DS18B20. Nilai yang terbaca oleh sensor akan dikumpulkan dan diolah di mikrokontroler, mikrokontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah Arduino Uno. Data yang telah diolah akan dikirimkan ke broker melalui NodeMCU dengan menggunakan protokol MQTT. Setelah data sampai di broker data akan ditampilkan oleh dua *interface* yaitu *dashboard* dan *augmented reality*. Hasil dari percobaan sistem ini mempresentasikan pada pengambilan data dapat diketahui bahwa persentase tingkat kesalahan dari sensor pH 0,80, TDS 1,89, dan sensor suhu senilai 1,18.

Kata kunci: guppy, sensor, *monitoring*, MQTT, *augmented reality*

Abstract

Ornamental fish cultivation in Indonesia is growing rapidly, data from Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (KKP) shows at least 4.720 species of fish, freshwater, and marine, 650 species are ornamental fish. KKP also noted that the production of ornamental fish increased, commodities increased significantly were Guppy (82.5%), Koki (61.7%), Corydoras (38.6%), Betta (16.4%) and Koi (8.9%). In order to produce quality fish, air quality such as pH, TDS, and temperature must be considered. Ornamental fish can survive conditions with pH value of 6.5-8.5, TDS value of 200 ppm and temperature below 28-32°C. The study designed an air quality monitoring system using a microcontroller based on IoT. The sensors used to measure water quality parameters are PH4502C, SEN0244, and DS18B20. The value read by the sensor will be collected and processed in microcontroller, microcontroller used in this system is Arduino Uno. The processed data will be sent to broker via NodeMCU using MQTT protocol. After data arrives at broker, data will be generated by two interfaces, interface is dashboard and augmented reality. The results of this system experiment present that data experiments it can be seen error rate of the pH sensor is 0.80, TDS 1.89, and temperature sensor 1.18.

Keywords: guppy, sensor, monitoring, MQTT, augmented reality

1. Pendahuluan

J. Mahardika (2019) mempelajari dalam budidaya ikan, kualitas ikan sangat perlu diperhatikan untuk menghasilkan jenis ikan hias yang unggul dan berkualitas. Suhu, kadar pH, dan jumlah zat padat terlarut adalah beberapa parameter penting untuk menghasilkan kualitas air yang baik. Suhu air yang optimal untuk ikan di daerah tropis berkisar antara 28-32°C (Saputra Sandro Junior, Siswanto., 2020). Sementara itu, toleransi kadar pH pada ikan hias agar ikan dapat hidup dengan baik adalah 6,5-8,5. Lalu nilai TDS yang aman untuk kelangsungan hidup ikan adalah dibawah 200 ppm (Sindung HW Sasono1, Ari Sriyanto Nugroho1, Eko Supriyanto1, Sri Kusumastuti.,2020).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Desmira, Ariwibowo Didik (2018) melakukan penelitian yang berfokus pada monitoring kadar pH dan kekeruhan air di akuarium. Kelebihan dari penelitian ini adalah adanya sistem

Info Makalah:

Dikirim : 07-27-22;

Revisi 1 : 11-17-22;

Diterima : 12-01-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 896-8610-7919

e-mail : nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id

kontrol terhadap penggunaan filter. Menurut penulis penelitian ini masih memiliki kekurangan yaitu parameter yang diawasi hanya pH dan kekeruhan. Sedangkan suhu dan TDS, yang termasuk parameter penting dalam menjaga kualitas air tidak termasuk dalam penelitian. Pemilihan *interface* untuk menampilkan nilai dari hasil pengukuran juga dinilai oleh penulis dapat ditingkatkan sehingga lebih ringkas ketika memonitoring

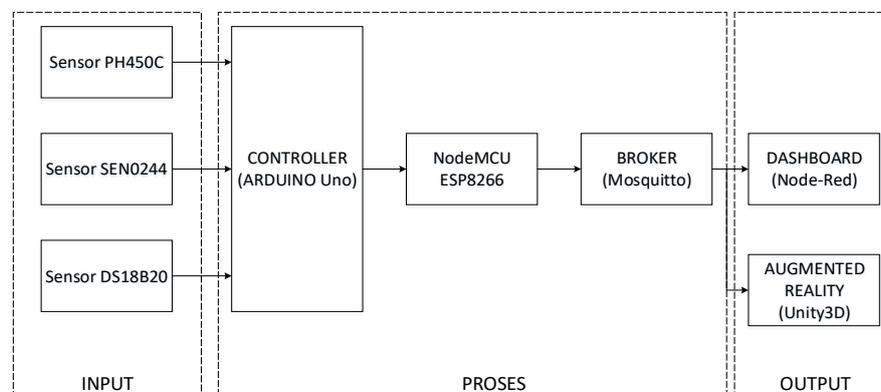
akuarium yang berjumlah lebih dari 1 (Ivan Bagus Prasetyo, Aditya Akbar Riadi, Ahmad Abdul Chamid.,2021).

Selanjutnya solusi alternatif telah dilakukan oleh penelitian yang melakukan sistem *monitoring* dan pengontrolan terhadap akuarium dari jarak jauh. *Interface thingspeak* dapat menampilkan visual yang menarik untuk ditampilkan dan dilihat (Sri Mulyono, Muhammad Qomaruddin, Muhammad Syaiful Anwar., 2018).

Dari permasalahan dan kelemahan diatas perlu dicari solusi yang dapat meningkatkan kualitas budidaya ikan hias di Indonesia. *Monitoring* kualitas air menggunakan mikrokontroler berbasis *Internet of Things* (IoT) bisa menjadi sebuah solusi dari permasalahan diatas. Sistem ini menggunakan protokol MQTT dimana protokol ini memiliki kelebihan penggunaan energi yang lebih sedikit daripada protokol HTTP (Sri Mulyono, Muhammad Qomaruddin, Muhammad Syaiful Anwar., 2018). Dalam segi kecepatan, MQTT memiliki keunggulan dimana ketika diukur pada jaringan 3G, protokol MQTT 93 kali lebih cepat daripada protokol HTTP (Erwin.,2018). Penggunaan Node-Red dan *Augmented Reality* sebagai *user interface* dinilai keputusan yang tepat untuk dapat melakukan *monitoring* secara ringkas. Dengan *user interface* tersebut tidak perlu membeli dan merancang LCD pada setiap akuarium yang *dimonitoring*, cukup sediakan *smartphone* agar bisa menampilkan data dari *monitoring* kualitas air tersebut. Smartphone ini berfungsi untuk *monitoring* secara *real time*.

2. Metode

2.1. Model Sistem

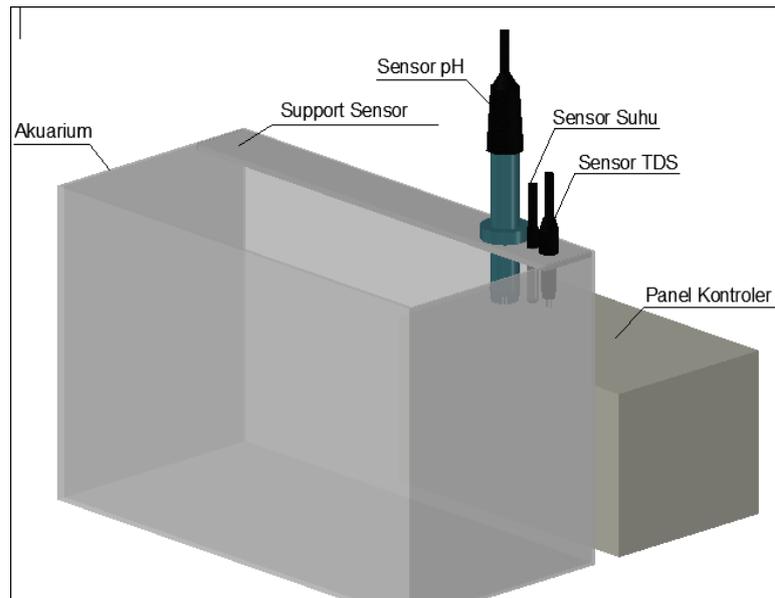


Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Air.

Proses sistem monitoring ini bisa dilihat pada Gambar 1 dimana sistem ini dimulai dari pembacaan oleh sensor untuk mengukur parameter-parameter pada air. Nilai-nilai yang dibaca oleh sensor dikumpulkan di Arduino Uno dan disatukan menjadi satu rangkaian data yang akan dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 melalui komunikasi serial. Setelah data sampai ke NodeMCU selanjutnya data akan dikirimkan ke broker melalui jaringan internet. Proses pengiriman dari NodeMCU ke broker disebut sebagai tahapan *publish* dalam protokol MQTT.

Data yang sudah sampai di broker akan diminta oleh perangkat lain untuk menampilkan data tersebut. Proses meminta data ke broker tersebut adalah tahapan *subscribe* pada protokol MQTT. Pada proses menampilkan data sistem ini menggunakan dua *interface* sebagai media penampil data tersebut, yaitu *dashboard* berbasis web dan aplikasi untuk menampilkan data secara *augmented reality*. Jika ingin menampilkan lewat *dashboard* cukup mengakses IP dari server, dan juga harus terhubung satu jaringan dengan *server dashboard* tersebut. Sedangkan jika ingin menampilkan data melalui *augmented reality* cukup menginstall aplikasi yang telah dibuat menggunakan *software unity*. Setelah membuka aplikasi tersebut cukup melakukan *scanning* kepada marker yang telah dibuat, maka data akan muncul pada smartphone secara virtual.

Sistem ini digunakan untuk memantau kualitas air pada budidaya ternak ikan guppy. Penggunaan sistem ini dapat diaplikasikan pada jumlah akuarium yang banyak, dengan begitu tidak perlu mengukur satu persatu parameter pada akuarium. Dengan sistem *monitoring* kualitas air pada budidaya ikan guppy pengguna akan memudahkan mengetahui informasi dari parameter air. Pengguna hanya cukup membuka smartphone dan melihat nilai-nilai dari parameter tersebut. Pada sistem *monitoring* ini memiliki dua pilihan untuk menampilkan data dari parameter kualitas air, yang pertama adalah menggunakan *dashboard* yang bisa dibuka melalui web *browser*. Sedangkan pilihan yang kedua adalah menggunakan aplikasi yang dapat menampilkan data dengan menggunakan teknologi *augmented reality*.



Gambar 2. Desain Model dari Sistem Monitoring Kualitas Air.

2.2. Perancangan Perangkat Keras

Pada proses perancangan perangkat keras pada sistem ini memiliki beberapa tahapan yaitu, pembuatan *support* untuk sensor, merangkai rangkaian sistem monitoring, dan memasang rangkaian pada panel kontrol. Proses perangkaian *support* didahulukan untuk dikerjakan dikarenakan proses ini perlu ketelitian agar posisi sensor terletak di posisi yang diinginkan. Untuk *overview* dari desain model sistem ini bisa dilihat pada Gambar 2.

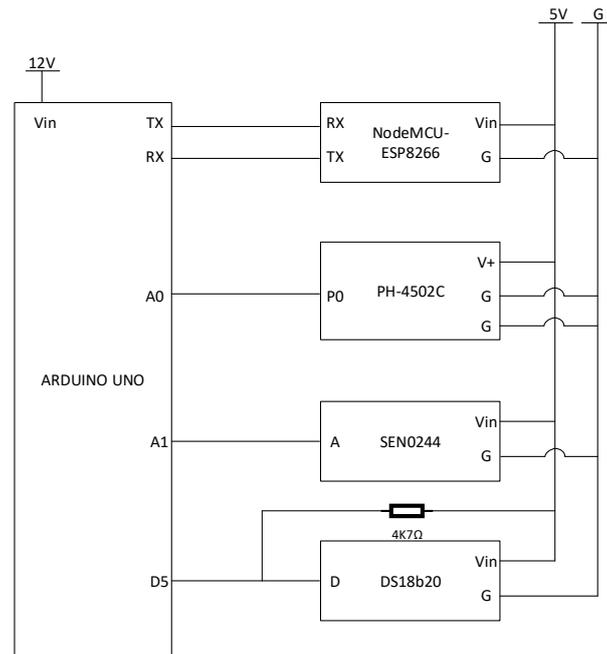
2.2.1. Pembuatan *Support*

Dalam tahap awal perancangan perlu rancangan yang detail agar memiliki tingkat presisi yang tinggi dan menjadi acuan pada proses pembuatannya, agar terhindar dari kesalahan. *Support* untuk sensor ini memiliki ukuran 300 mm × 50 mm. Bahan untuk membuat dari *support* ini adalah akrilik bening dengan ukuran 3 mm. Alasan memilih akrilik adalah bahannya yang kuat tidak mudah pecah dan tidak sulit untuk memodifikasi tambahan seperti melubangi dan memotong. Dengan dipilihnya akrilik bening maka keindahan dari akuarium tidak akan berkurang. Pada bagian *support* ini tidak diperlukan akrilik yang tebal karena berat dari sensor tidak terlalu berat, jadi untuk menopang sensor ketebalan dari akrilik cukup dengan ketebalan 3 mm.

Peralatan yang digunakan untuk melubangi akrilik adalah mata bor dan *holesaw*. Ukuran mata bor yang digunakan adalah mata bor ukuran 6,5 mm dan 6 mm, sedangkan ukuran *holesaw* yang digunakan adalah ukuran 12 mm. Perlu diingat pada saat melubangi akrilik proses melubanginya harus dengan perlahan dikarenakan akrilik bisa saja retak jika dilakukan dengan tidak hati-hati.

2.2.2. Rangkaian Sistem *Monitoring*

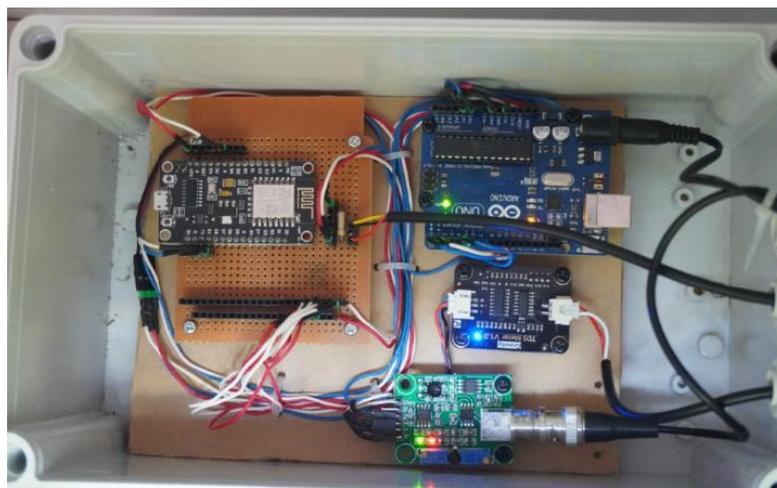
Pada tahapan merangkai sistem *monitoring* ini merupakan tahapan yang paling penting pada sistem ini, karena proses pengumpulan dan pengolahan data bergantung seberapa tepat rangkaian ini. Agar berkurangnya persentase kesalahan dalam proses merangkai maka perlu menggambar terlebih dahulu bagaimana *wiring diagram*-nya. *Wiring diagram* untuk sistem monitoring ini bisa dilihat pada Gambar 3. Pada proses *monitoring* ini semua sensor dihubungkan terlebih dahulu terhadap arduino, lalu data tersebut akan dilanjutkan ke NodeMCU melalui komunikasi serial yaitu melalui pin rx dan tx. Apabila arduino uno dan NodeMCU sedang digunakan untuk *upload* program, maka *port* tersebut harus dicabut terlebih dahulu. Karena jika *port* tersebut tidak dicabut maka akan terjadi *error* saat proses *upload* program.



Gambar 3. *Wiring Diagram* Sistem Monitoring Kualitas Air.

Dari gambar *wiring diagram* diatas dapat dilihat pin apa saja yang digunakan dan berikut adalah penjelasan dari gambar diatas yaitu:

1. Pin arduino Tx arduino dihubungkan dengan pin Rx NodeMCU sedangkan RX Arduino dihubungkan dengan TX NodeMCU. Pin ini digunakan untuk komunikasi serial dari Arduino ke NodeMCU.
2. Pin A0 dihubungkan ke pin P0 PH4502C sebagai pengirim data dari sensor pH menuju Arduino.
3. Pin A1 dihubungkan ke pin A SEN0244 sebagai pengirim data dari sensor TDS menuju Arduino.
4. Pin D5 dihubungkan ke pin D DS18B20 sebagai pengirim data dari sensor suhu menuju Arduino.
5. Semua keperluan power untuk sensor dan NodeMCU dihubungkan ke sumber yang sama yaitu sumber 5V dan G.
6. Pada sensor DS18B20 diperlukan resistor ukuran 4K7 Ohm yang dihubungkan secara paralel dengan *output* data dari sensor dan dari *supply power* 5V DC.



Gambar 4. Pemasangan Rangkaian ke dalam Panel.

2.2.3. Pemasangan Rangkaian ke dalam Panel

Proses ini adalah proses terakhir dari perancangan perangkat keras dari sistem *monitoring* kualitas air ini. Proses ini dilakukan agar komponen-komponen terlindungi dari debu atau air. Oleh karena itu rangkaian kontroler diletakan dalam panel dengan cara memasang semua komponen ke akrilik sebagai *baseplate*. Setelah komponen dipasangkan ke akrilik akrilik tersebut dipasang dan dikunci dengan baut ukuran 3 mm kepada panel. Untuk tampilan

dari rangkaian dalam panel bisa dilihat pada Gambar 4. Agar panel terlindung dari debu dan air maka keluaran kabel dari panel menggunakan *cable gland*. Ukuran dari *cable gland* yang digunakan adalah PG6.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Sebelum melakukan perancangan perangkat lunak perlu mengetahui terlebih dahulu bagaimana dan kemana jalur dari data mengalir. Oleh karena itu perlu membuat gambar diagram alir terlebih dahulu agar proses perancangan perangkat lunak akan tepat dan efektif.

Proses dimulai ketika sensor mulai melakukan pembacaan dan hasil dari data tersebut dilanjutkan ke broker. Setelah data masuk broker maka data tersebut akan diminta oleh user selanjutnya yaitu *dashboard* dan *augmented reality*. Nilai yang sudah diminta akan dilihat apakah nilainya seperti yang diinginkan atau tidak, jika nilai tidak sesuai maka alarm akan muncul pada *dashboard* dan *augmented reality*.

2.3.1. Script Program Arduino Uno

Untuk memprogram mikrokontroler arduino menggunakan perangkat lunak dari arduino itu sendiri yaitu Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi *input* dan *output* menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari *software processing* yang dirombak menjadi arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan arduino. Pada program di arduino terbagi dalam beberapa bagian yaitu pembaca sensor, penggabungan data, dan pengirim data. Pada bagian pembaca sensor *script* berfungsi untuk mengatur pin yang digunakan serta membaca dan mengolah data yang dibaca dari pin tersebut. Setelah data yang dibaca dari masing-masing sensor sudah masuk ke arduino, selanjutnya data tersebut akan digabungkan menjadi satu data agar proses pemindahan data dari arduino menuju NodeMCU berjalan dengan efektif. Pada proses penggabungan data ini setiap data akan dipisah dengan satu karakter yang dapat digunakan sebagai pemisah diproses selanjutnya. Karakter yang digunakan pada program ini adalah titik dua “:”.

Setelah data tersebut tergabung maka data tersebut telah siap untuk dikirimkan melalui komunikasi serial. Dikarenakan nodeMCU ini sangat sensitif sekali dengan *delay* yang dimana jika langsung mengirimnya tanpa ada *delay* maka akan terjadi *error* yaitu mereset sendiri atau biasa tampil dengan nama *wdt reset*. Jadi untuk mengatasi masalah tersebut, pada bagian pengirim data akan diberlakukan konsep permintaan. Dimana data akan baru mengirim jika terdapat permintaan dari perangkat lain. Cara menggunakan ini adalah dengan memindahkan isi dari *void loop* ke *void* permintaan. Dan apabila terdapat *trigger* dari perangkat lain maka *void* permintaan ini akan mengeksekusi. Setiap data yang dikirim melalui komunikasi serial ini akan yang asal format datanya adalah *string* akan berubah menjadi *char*. Hal ini dikarenakan setiap data yang melalui komunikasi serial akan dikirimkan melalui kode ASCII.

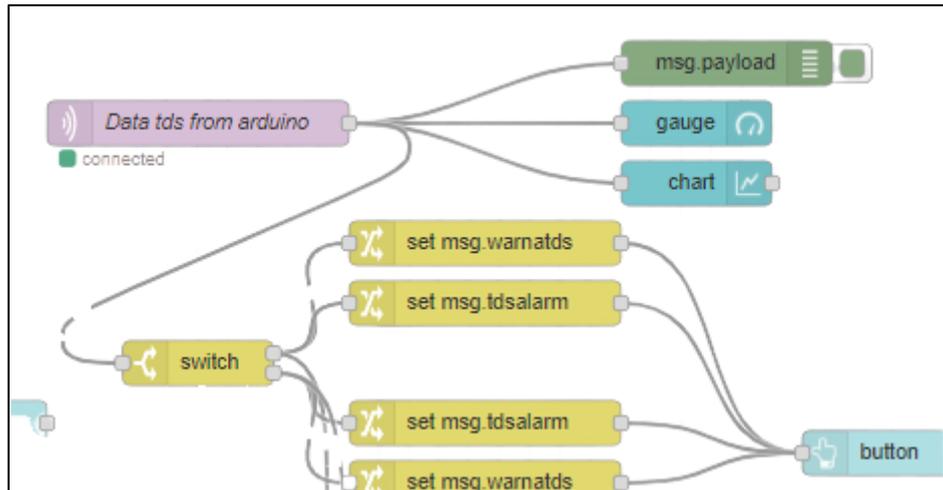
2.3.2. Membuat Script Program pada NodeMCU ESP8266

Pada proses pemrograman NodeMCU perangkat lunak yang digunakan sama dengan perangkat lunak yang digunakan saat memprogram arduino. Pada program NodeMCU ini tugas utamanya adalah mengirim permintaan ke arduino lalu mengirimkan data tersebut ke broker melalui wi-fi. Pada bagian permintaan data, NodeMCU akan mengirimkan data berupa konfirmasi dengan *delay* yang telah diatur yaitu senilai 300 *millisecond*. Jadi setiap 300 *millisecond* arduino akan mengirim data yang telah dibaca sensor ke NodeMCU. Proses ini digunakan untuk mengatasi *error delay* yang sering terjadi pada tahapan komunikasi serial.

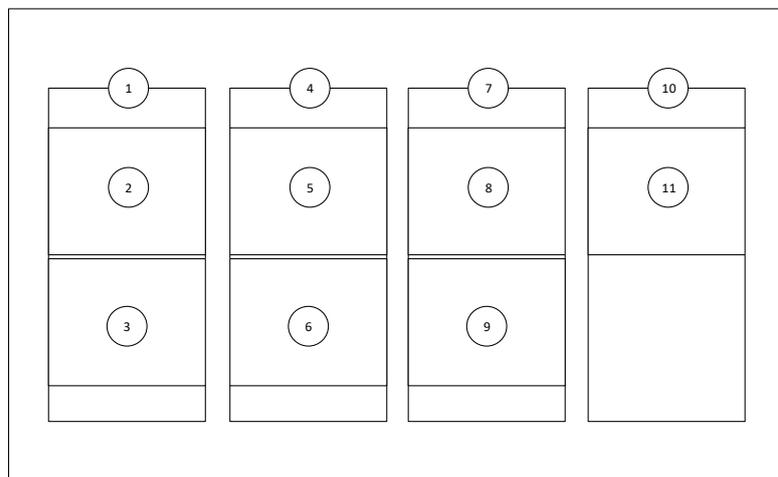
Data yang telah diterima oleh NodeMCU dari arduino belum bisa dilakukan pengiriman ke broker dikarenakan data tersebut masih tergabung dan format data yang dibutuhkan dari pengiriman data melalui protokol MQTT adalah *char array*. Jadi langkah selanjutnya setelah data tersebut diterima maka NodeMCU akan melakukan *parcing* atau memisahkan data yang telah dibatasi oleh karakter “:”. Setelah data dipisahkan data tersebut di konversi menjadi seperti semula yaitu bertipe data *float*. Konversi terakhir dari data adalah mengubah data *float* tersebut menjadi *char array* dengan cara menambahkan *.c_str* pada tag data tersebut. Setelah data menjadi *char array* maka data langsung dikirimkan ke broker melalui jaringan internet.

2.3.3. Dashboard Antarmuka

Sistem *monitoring* kualitas air ini menggunakan *dashboard interface* sebagai salah satu media untuk menampilkan datanya. Cara yang digunakan untuk membuat *dashboard* tersebut adalah melalui Node-Red. Node-Red itu sendiri adalah *tool* pemrograman java dengan bertipe visual. Dimana hanya perlu menggabungkan setiap node untuk memprogram. Karena sifatnya yang *opensource* maka semakin mudah untuk memprogram karena sudah banyak orang telah membuat node sesuai dengan keperluan dari pengguna Node-Red. Kumpulan dari node-node yang telah buat biasa disebut sebagai *flow*.



Gambar 5. Contoh Penggunaan Node.



Gambar 6. Desain Dashboard.

Fitur-fitur yang akan ditampilkan pada *dashboard* adalah nilai dari masing-masing sensor, tampilan visual nilai berupa *gauge* dan grafik. Untuk posisi dari masing-masing fitur tersebut bisa lihat pada Gambar 6. Dimana tiap bagian angka memiliki perannya masing-masing yaitu:

Tabel 1. Keterangan Desain Dashboard.

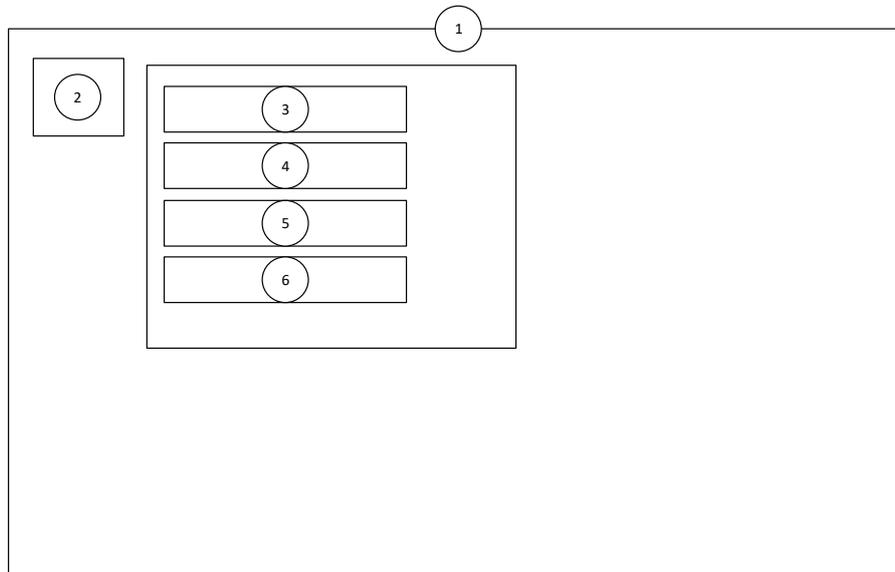
No	Keterangan
1.	Bagian Tab pH
2.	Gauge dan Nilai dari pH
3.	Grafik garis dari nilai pH
4.	Bagian Tab TDS
5.	Gauge dan Nilai dari TDS
6.	Grafik garis dari nilai TDS
7.	Bagian Tab suhu
8.	Gauge dan Nilai dari suhu
9.	Grafik garis dari nilai suhu
10.	Bagian Tab Alarm
11.	Status dari alarm

2.3.4. Membuat Augmented Reality

Metode menampilkan nilai parameter kedua yang digunakan sistem monitoring kualitas air ini adalah menggunakan *augmented reality*. Untuk membuat *augmented reality* ini diperlukan perangkat lunak khusus yaitu *unity*. Sebenarnya *unity* adalah *software engine* untuk membuat atau mengembangkan game, tetapi dengan fitur dan kemampuan yang luas, *unity* bisa digunakan untuk menampilkan data dari sensor menggunakan *augmented reality*.

Pada pembuatan *augmented reality* di *unity* memerlukan *add-on* khusus yaitu *vuforia*. *Vuforia* seperti yang dilakukan oleh Siswanto, Adiguna Aditya, Gata Windu (2018) adalah SDK (*software development kit*) dimana kit ini dikeluarkan Qualcomm untuk mempermudah *developer* membuat *augmented reality*. Langkah pertama yang dilakukan adalah mendaftarkan gambar marker yang akan dipindai oleh *smartphone* nantinya. Proses Pendaftaran ini bisa dilakukan melalui web resmi *vuforia*, cukup mengunggah gambar yang akan dijadikan marker.

Setelah mendaftarkan marker langkah selanjutnya adalah membuat dan menyusun objek serta teks yang diperlukan untuk ditampilkan pada keperluan sistem nanti. Setelah menyusun objek dan fitur yang digunakan, langkah selanjutnya adalah memberi dan menghubungkan tag dengan topik data MQTT yang telah digunakan.



Gambar 7. Desain Desain Tampilan *Augmented Reality* 1.

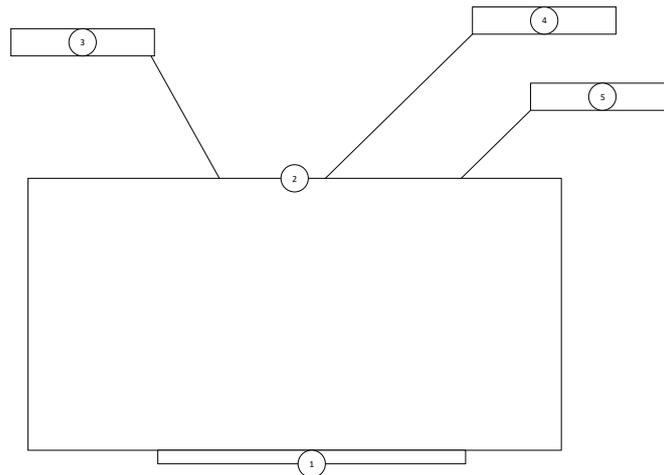
Tampilan *augmented reality*, dimana tampilan ini akan ditempelkan pada akuarium yang dimonitoring. Fungsi dan fitur dari desain *augmented reality* 1 pada Gambar 7 adalah:

Tabel 2. Keterangan Desain Tampilan *Augmented Reality* 1.

No	Keterangan
1.	Akuarium asli bukan objek 3d.
2.	<i>Augmented reality marking</i> .
3.	Tampilan data pH.
4.	Tampilan data TDS
5.	Tampilan Suhu.
6.	Tampilan Alarm.

Fungsi dari tampilan *augmented reality* yang pertama ini adalah untuk melihat parameter-parameter dari akuarium secara langsung ke tempat akuarium. Pengguna cukup memindai marker yang telah ditempel di akuarium. Setelah pengguna memindai marker maka data akan muncul secara virtual di akuarium tersebut. Data yang ditampilkan adalah nilai dari masing-masing parameter yang diukur dan alarm dari masing-masing parameter tersebut. Metode pengukuran seperti ini dilakukan ketika pengguna akan melakukan pemeriksaan visual pada akuarium untuk mengecek kondisi ikan baik-baik saja atau tidak.

Sedangkan fungsi dari tampilan *augmented reality* yang kedua adalah untuk melihat parameter-parameter dari akuarium tanpa harus mendatangi akuarium yang diukur. Pengguna cukup memindai marker yang ditempel di meja, setelah pengguna memindai marker tersebut maka akan muncul secara virtual yaitu objek aquarium 3d dengan nilai parameter-parameter yang diukur. Berbeda dengan tampilan *augmented reality* yang pertama, pada tampilan kedua ini hanya akan menampilkan nilai parameter dari akuarium tanpa adanya alarm. Hal ini dikarenakan nilai alarm bisa diakses pada *dashboard* yang bisa langsung akses.



Gambar 8. Desain Tampilan *Augmented Reality* 2.

Keterangan fungsi desain dari tampilan *augmented reality* 2 pada Gambar 8 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Keterangan Desain Tampilan *Augmented Reality* 2.

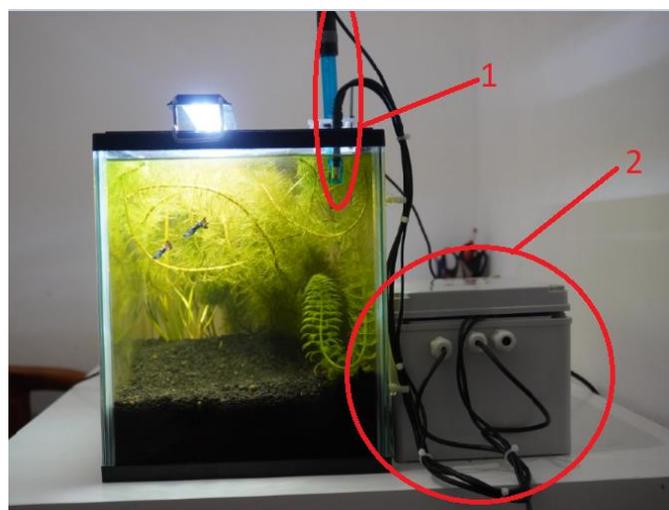
No	Keterangan
1.	Marker
2.	Objek 3d Akuarium
3.	Nilai dari sensor pH
4.	Nilai dari sensor TDS
5.	Nilai dari sensor suhu.

3. Hasil dan Pembahasan

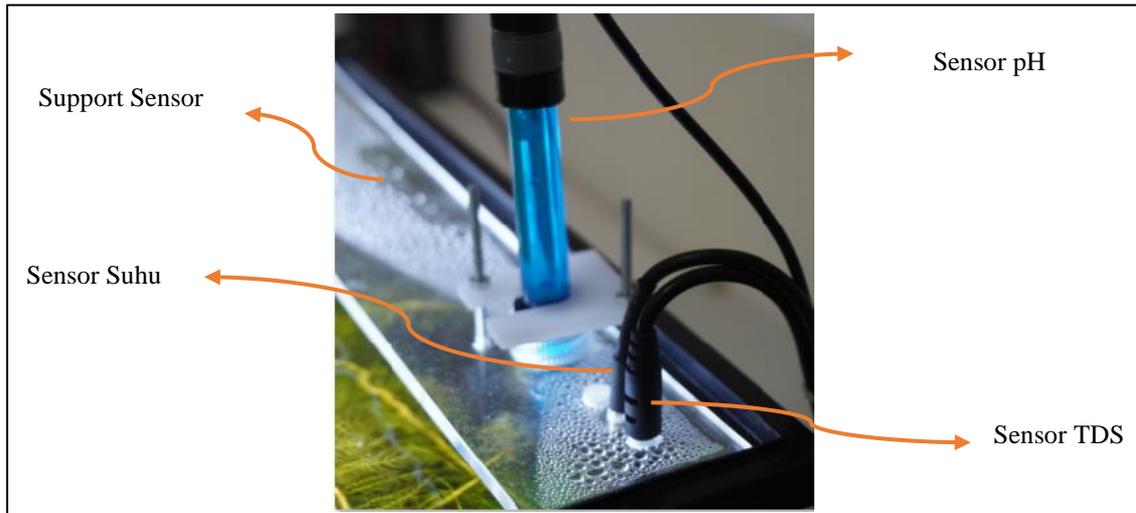
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dari perancangan pada serta analisis dari data hasil pengujian sistem yang telah dilakukan. Pengujian sistem ini bertujuan untuk membuktikan bahwa sistem *monitoring* kualitas air ini dapat menampilkan data secara tepat dan *real time*. Pengujian ini akan dilakukan pada setiap bagian komponen perangkat keras dan perangkat lunak, serta sistem secara keseluruhan yang digunakan dalam perancangan.

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Secara garis besar sistem monitoring kualitas air terdiri dari dua bagian penting, yang pertama adalah bagian sensor dan bagian panel kontroler. Bisa dilihat pada Gambar 9 point 1 memperlihatkan sensor diletakan pada bagian belakang kanan akuarium, sedangkan pada point 2 adalah panel kontroler yang diletakan di sebelah belakang akuarium. Pada Gambar 10 terlihat detail bagian dari sensor yang terpasang pada *support*-nya. Sedangkan pada Gambar 11 memperlihatkan bagian *probe* sensor yang masuk ke air pada akuarium. Terlihat bahwa yang masuk ke dalam air adalah hanya bagian ujung dari masing masing sensor tersebut.



Gambar 9. Tampak Samping Kanan Sistem *Monitoring* Kualitas Air.



Gambar 10. Detail Sensor Terpasang pada *Support Sensor*.



Gambar 11. Detail *Probe* Sensor yang Masuk ke dalam Air.

3.2. Pengujian Sensor pH

Tahapan pengujian ini adalah membandingkan nilai dari bacaan sensor pH dengan alat ukur pH sebagai nilai pembandingan. Pengujian pH akan dilakukan dengan cara melakukan pengukuran oleh *buffer* kalibrasi pH yang bernilai 6,86; 4,01; dan 9,18.

Pada percobaan pertama sensor dan alat ukur pH akan dicoba untuk mengukur dengan nilai *buffer* 6,86, alat ukur menunjukkan nilai 6,8 sedangkan sensor menunjukkan nilai 6,86 dan 6,87, pengukuran menggunakan sensor terdapat selisih 0,01 yang berarti tingkat ketepatan pembacaan tidak 100% tepat. Pada proses pengukuran pH perlu waktu sekitar 7 detik untuk mencapai nilai yang stabil.

Tabel 4. Pengukuran Tegangan *Output* Modul pH.

Vin	Vout	pH
4,88V	2,53 V	6,86
4,88V	2,89 V	4,08
4,88V	1,79 V	9,24

Pada pengukuran berikutnya larutan yang digunakan adalah larutan *buffer* dengan pH 4,01. Pengukuran ini berfungsi untuk percobaan sensor untuk mengukur senyawa asam. Pada percobaan kali ini sensor memiliki selisih lebih besar dari sebelumnya yaitu sekitar 0,07 sedangkan alat ukur menunjukkan hasil yang sama dengan nilai larutan *buffer* pH. Sama seperti percobaan sebelumnya sensor perlu waktu sekitar 6-8 detik untuk mencapai nilai stabil.

Pada pengukuran berikutnya larutan yang digunakan adalah larutan *buffer* dengan pH 9,18. Pengukuran ini berfungsi untuk percobaan sensor untuk mengukur senyawa basa. Pada percobaan kali ini sensor memiliki selisih hampir sama dengan sebelumnya yaitu sekitar 0,06 sedangkan alat ukur menunjukkan hasil yang sama dengan nilai larutan *buffer* pH. Dari ketiga percobaan tersebut bisa dilihat bahwa persentase kesalahan dari sensor yaitu sekitar 0,7% dan sensor pH membutuhkan waktu sekitar 7 detik untuk mencapai nilai stabil.

3.3. Pengujian Sensor TDS

Pengujian ini adalah membandingkan nilai dari bacaan sensor TDS dengan alat ukur TDS sebagai nilai pembanding. Pengujian TDS ini akan dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan air aquades untuk nilai TDS 0 ppm, sedangkan untuk nilai yang lainnya air akan diambil dari air sumur dan air keruh agar nilai TDS nya berbeda. Dalam percobaan ini alat ukur akan menjadi patokan dari nilai air yang diukur, karena penguji tidak mendapatkan air yang memiliki nilai pasti kadar TDS nya.

Ketika air diukur menggunakan sensor dan alat ukur, nilai yang muncul memiliki selisih sekitar 4 ppm. Hal ini bisa disebabkan karena air yang diukur tidak benar-benar memiliki nilai TDS yang 0. Karena air yang dipakai untuk percobaan ini tidak memiliki sertifikat dari lembaga resmi terkait kadar TDS dari air tersebut.

Tabel 5. Tegangan *Output* dari Modul TDS.

V_{in}	V_{out}	TDS
4,88V	9,53 mV	2
4,88V	0,59 V	122
4,88V	1,02 V	213

Selanjutnya sensor dan alat ukur akan mengukur nilai TDS dari air sumur. Sensor dan alat ukur masih memiliki selisih. Tetapi selisih tersebut masih dalam kondisi yang masih bisa di toleransi, dikarenakan perbedaan angka tersebut masih termasuk kecil jika dibandingkan dengan jangkauan kemampuan dari sensor tersebut, yaitu sampai 1000 ppm.

Pada proses pengukuran yang terakhir air yang akan diukur adalah air keruh, air ini adalah hasil dari air akuarium yang sudah lama tidak dikuras. Jadi air ini memiliki jumlah zat padat terlarut lebih tinggi dari pada air sumur biasa. Zat padat tersebut dihasilkan dari kotoran ikan dan zat lain yang terbentuk secara alami.

Sensor dan alat ukur masih memiliki selisih yang kurang lebih sama seperti pengukuran sebelumnya yaitu sekitar 7 ppm. Sama dengan sebelumnya selisih tersebut masih dalam kondisi yang masih bisa di toleransi, dikarenakan perbedaan angka tersebut masih termasuk kecil jika dibandingkan dengan jangkauan kemampuan dari sensor tersebut, yaitu sampai 1000 ppm. Dari ketiga percobaan tersebut bisa disimpulkan bahwa sensor bisa digunakan untuk pengukuran karena kesalahannya masih dibawah 5%.

3.4. Pengujian Sensor Suhu

Pada pengujian ini sama dengan pengujian yang lain yaitu membandingkan nilai dari bacaan sensor suhu dengan alat ukur suhu sebagai nilai pembanding. Pengujian sensor suhu ini akan dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan air yang telah dicampur dengan air dingin dan air panas. Dalam percobaan ini alat ukur akan menjadi patokan dari nilai air yang diukur, karena penguji tidak mendapatkan air yang memiliki nilai pasti kadar suhunya. Pada pengujian pertama air yang digunakan adalah air dingin, hasil pembacaan dari sensor dan alat ukur memiliki nilai yang sama. Dalam pembacaan suhu perlu waktu untuk menunggu hasilnya stabil, dikarenakan respon dari alat ukur suhu lebih lambat daripada alat ukur yang lainnya.

Selanjutnya sensor dan alat ukur akan mengukur nilai suhu dari campuran air dingin dan panas. Sensor dan alat ukur masih menunjukkan nilai yang sama antara nilai sensor dan alat ukur. Walaupun nilai dari sensor kadang masih menunjukkan kesalahan sebesar 0,1 tetapi sensor tersebut masih layak untuk digunakan dikarenakan nilai kesalahannya masih bernilai kecil. Hal tersebut masih bisa dikategorikan sebagai alat ukur yang presisi karena masih dalam batas aman dalam pengukuran nilai suhu (Siswanto, Adiguna Aditya, Gata Windu.,2018).

Tabel 6. Tegangan *Output* dari Sensor Suhu.

V_{in}	V_{out}	Suhu
4,88V	0,63 V	17,6 ⁰ C
4,88V	1,51 V	47,6 ⁰ C
4,88V	2,03 V	64,3 ⁰ C

Dalam pengujian sensor suhu yang terakhir ini sensor dan alat ukur diuji dengan air panas. Pada pengujian kali ini waktu sensor dan alat ukur menuju nilai yang stabil perlu waktu yang lebih lama daripada pengujian yang lainnya. Karena nilai dari suhu yang terbaca akan terus menurun sering menyesuaikan dengan suhu sebenarnya. Nilai yang ditampilkan masih menampilkan nilai yang sama antara sensor dan alat ukur. Dengan begitu bisa dipastikan bahwa sensor yang dicoba layak untuk digunakan pada sistem *monitoring* kualitas air ini.

3.5. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Dalam pengujian hasil dari perangkat lunak ada beberapa hal yang perlu dilakukan agar bisa terlihat apakah data yang dikirim tepat atau tidak. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah mengecek dari program Arduino dan NodeMCU. Apabila hal tersebut sudah dilakukan selanjutnya adalah melihat apakah desain dari tampilan *interface* sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. Jika tampilan dari *interface* sudah sesuai dengan perencanaan maka hal

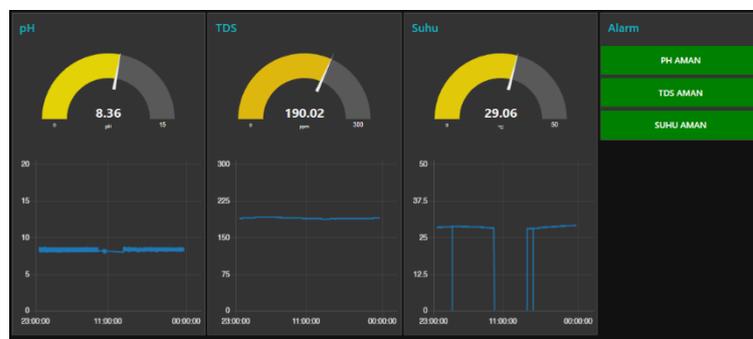
terakhir yang perlu dilakukan dalam pengujian hasil perangkat lunak adalah mengecek apakah data yang dikirimkan oleh sensor dapat ditampilkan di *interface* dengan benar.

3.5.1. Percobaan Program Arduino dan NodeMCU

Pada percobaan program Arduino dan NodeMCU hal yang perlu dilakukan adalah memastikan data yang dikirim oleh sensor bisa sampai ke broker. Cara untuk mengecek hal tersebut adalah membuat *client* pada *software* MQTTBox. Setelah *client* dibuat maka melakukan *subscribe* pada topik broker yang dituju dari NodeMCU. Dari hasil percobaan, data dapat dikirimkan oleh NodeMCU sampai ke broker. Data yang dikirimkan NodeMCU telah masuk ke broker berarti program yang dimasukkan di Arduino dan NodeMCU telah berfungsi dengan baik.

3.5.2. Pengecekan Tampilan Dashboard dan Augmented Reality

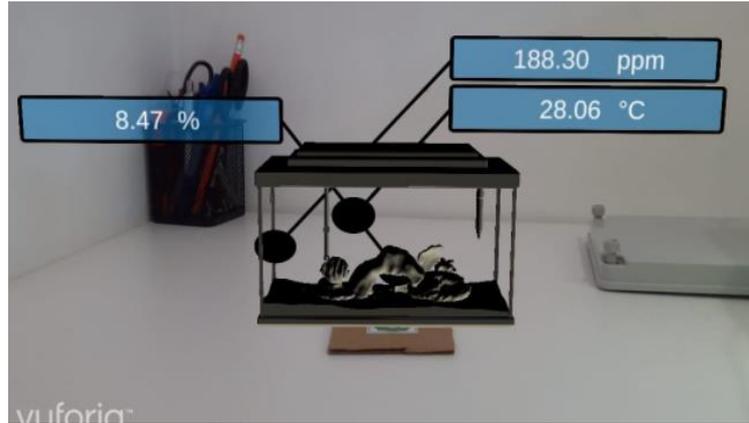
Pada saat tahap perancangan sudah membuat sketsa dari tampilan *dashboard* dan *augmented reality*. Dalam tahap ini memastikan bahwa desain tampilan dari kedua *interface* tersebut sesuai dengan yang rancang. Proses pengecekan pertama adalah mengecek bagian *dashboard*, hal ini bisa lakukan dengan cara mengakses alamat ip dari *server* NodeRed. Setelah itu samakan tampilan pada *dashboard* tersebut dengan desain rancangan pada tahap awal. Sedangkan untuk mengecek bagian *augmented reality* caranya buka aplikasi yang telah *build* lalu pindai marker. Setelah itu periksa tampilannya apakah sesuai atau tidak.



Gambar 12. Tampilan *Dashboard*.



Gambar 13. Tampilan *Augmented Reality* 1.



Gambar 14. Tampilan *Augmented Reality 2*.

Tampilan *interface* adalah suatu hal yang akan paling dilihat oleh pengguna, oleh karena tampilan yang baik akan memudahkan pengguna untuk mendapatkan informasi. Bisa dilihat dari Gambar 12 bahwa tampilan *dashboard* yang telah dibuat sesuai dengan perancangan. Konten yang ditampilkan sama dengan saat perancangan, yaitu nilai masing-masing sensor, grafik dari setiap sensor, dan kumpulan alarm dari sensor. Sedangkan pada Gambar 13 adalah tampilan dari *augmented reality 1* yang dimana tampilan ini akan ditampilkan pada masing-masing akuarium. Jadi jika ingin menampilkan tampilan ini perlu mendatangi akuarium tersebut. Untuk posisi dan isi konten dari tampilan ini sudah sesuai dengan hasil perancangan yaitu data sensor dan data alarm. Pada Gambar 14 bisa dilihat bahwa tampilan tersebut adalah *augmented reality 2* yang dimana hal tersebut bisa dimunculkan tanpa harus mendatangi akuarium. Isi dari tampilan tersebut sudah sesuai dengan hasil perancangan berisi tentang data sensor dan objek 3D dari akuarium.

3.6. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing komponen dan setiap program perangkat lunak, dapat disimpulkan bahwa setiap komponen telah siap untuk diintegrasikan secara keseluruhan. Pada tahap pengujian ini seluruh elemen akan dihubungkan dan dilihat apakah bisa berfungsi dengan baik atau tidak. Metode untuk tahap pengujian ini adalah dengan cara melakukan pengambilan data secara berkala dan membandingkan nilai-nilai tersebut dan ditampilkan berupa tabel penelitian. Pengambilan data dilakukan satu jam sekali selama 8 jam untuk mengecek apakah sistem berjalan dengan baik secara konsisten atau tidak.

Hasil dari tabel tersebut bisa dilihat apakah sistem menampilkan data secara cepat dan akurat. Selanjutnya juga bisa melihat berapa persentase nilai kesalahan pada tiap-tiap sensor, dan apakah sistem berjalan secara *realtime* atau tidak. Apabila nilai dari parameter-parameter diatas sudah berjalan dengan baik, bisa disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas air pada akuarium ini sudah siap untuk digunakan secara berkelanjutan.

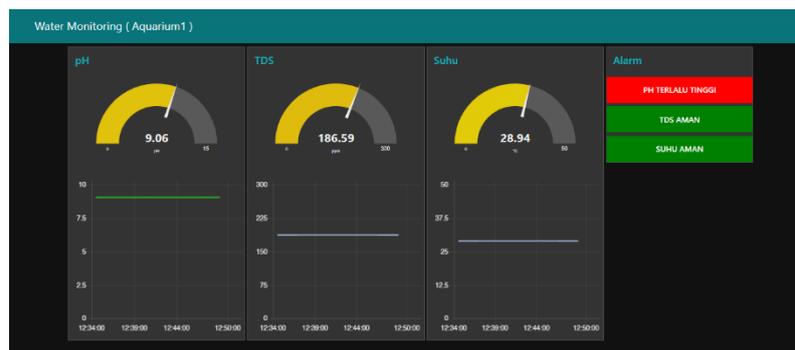
Tabel 7. Data Nilai Kesalahan Hasil *Monitoring* Berkala.

Jam	pH		Error (%)	TDS		Error (%)	Suhu		Error (%)
	sensor	manual		sensor	manual		sensor	manual	
08.00	8,24	8,3	0,7	186,3	190	1,9	28,02	28,3	0,98
09.00	8,21	8,2	0,12	186,3	189	1,4	28,22	28,7	1,74
10.00	8,18	8,3	2,40	188,1	193	2,1	28,34	28,3	0,28
11.00	8,19	8,2	0,12	188,1	193	2,1	28,75	28,7	0,87
12.00	8,21	8,2	0,12	188,1	192	2,0	28,75	28,9	0,51
13.00	8,24	8,4	1,3	188,3	192	1,9	28,43	28,8	1,28
14.00	8,17	8,3	1,6	188,4	193	2,3	28,66	28,7	0,13
15.00	8,17	8,3	1,6	188,4	194	2,6	28,64	28,6	0,13
16.00	8,20	8,2	0	188,3	190	0,89	28,55	28,6	0,17
17.00	8,19	8,2	0,12	188,5	192	1,8	28,02	28,6	2,02
Rata-rata			0,80			1,89			1,18

Tabel 8. Data Perubahan Kenaikan pH.

Jam	Nilai pH
08.00	8,20
08.10	8,35
08.20	8,37
08.30	8,42
08.40	8,69
08.50	8,94
09.00	9,06

Bisa dilihat pada tabel 7 bahwa data yang ditampilkan oleh sensor dan data yang ditampilkan oleh alat ukur tidak berbeda jauh. Persentase nilai kesalahan yang paling tinggi adalah nilai kesalahan dari sensor TDS. Hal itu dikarenakan oleh kemampuan *range* yang lebar dari sensor tersebut. Oleh karena itu persentase kesalahannya pun semakin tinggi. Presentasi nilai kesalahan yang sudah mulai tidak memiliki tingkat akurasi yang baik adalah $\pm 5\%$. Untuk presentasi sensor yang lain memiliki akurasi yang sangat baik karena persentase kesalahan dari sensor tersebut kurang dari 1%.



Gambar 15. Tampilan *Dashboard* saat Nilai pH Melewati Batas Aman.

Setelah pengetesan secara berkala dilakukan, selanjutnya adalah pengujian perubahan nilai pH. Pengujian ini berfungsi untuk mensimulasikan perubahan nilai pH secara alami di akuarium. Dalam pengujian ini disimulasikan perubahan pH dengan cara menambahkan *buffer* pH 9,18. Bisa dilihat bahwa dari tabel 8 bahwa nilai dari air yang diuji mengalami peningkatan hingga nilai pH melewati batas aman. Ketika nilai pH melewati batas aman pada bagian alarm memberikan informasi bahwa pH tidak aman seperti ditunjukkan oleh Gambar 15.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan pada sistem ini dapat disimpulkan bahwa: Hasil pengujian monitoring kualitas air secara berkala diketahui bahwa ketika parameter dicek dalam waktu 10 jam nilai-nilai parameter pada akuarium masih dalam kondisi yang aman untuk ikan guppy yaitu nilai pH berkisar 8,1, nilai TDS 187, dan nilai suhu berkisar 28 °C, nilai tersebut masih berada dalam batas aman untuk ikan guppy. Persentase nilai kesalahan pada sensor-sensor memiliki nilai yang kecil yaitu nilai kesalahan pH 0,80 %, nilai kesalahan TDS 1,89 %, dan nilai kesalahan suhu 1,18 %. Oleh karena itu menandakan bahwa sensor masih memiliki akurasi dan presisi yang baik. Nilai kesalahan ini disebabkan karena terdapat perbedaan nilai *zero* dan *span* antara sensor dan alat ukur. Pada percobaan sensor, proses pembacaan sensor pH memiliki waktu yang paling lama untuk mencapai nilai yang stabil yaitu sekitar 7 detik. Sensor TDS cenderung lebih cepat karena pada detik ke 2 sudah menunjukkan angka yang stabil, sedangkan pada pengukuran suhu waktu yang diperlukan untuk menunjukkan nilai yang stabil adalah 5 detik.

Saran

Dari keseluruhan perancangan alat masih terdapat kekurangan, untuk itu penulis menyarankan pengembangan selanjutnya untuk menyempurnakan alat ini. Berikut saran penulis untuk pengembangan pada alat selanjutnya bahwa sistem monitoring kualitas air ini kedepannya bisa dikembangkan dengan cara menambahkan sistem kontrol seperti pengatur suhu air dengan lampu atau kipas. Pada *interface augmented reality* akan lebih baik apabila ditambahkan konten untuk memberikan perintah seperti menyalakan lampu atau memberi pakan ikan.

Daftar Pustaka

- Desmira, Ariwibowo Didik.(2018).Penerapan Sensor Ph Pada Area Elektrolizer Di Pt. Sulfindo Adiusaha. (e-ISSN: 2597-9922, p-ISSN: 2406-7733).
- Desmira, Ariwibowo Didik.(2018). Penerapan Sensor pH Pada Area Elektrolizer Di PT. Sulfindo Adiusaha. E-ISSN: 2597-9922, P-ISSN: 2406-7733.

- D.Y Tadeus.(2019).Model Sistem Monitoring pH dan Kekeruhan Pada Akuarium Air Tawar Berbasis Internet of Things. METANA, [Online] Volume 15(2), pp. 49-56. <https://doi.org/10.14710/metana.v15i2.26046>.
- Erwin.(2018).Studi Fenotipik Ikan Guppy Dengan Pengaruh Aromatase Inhibitor Alami Untuk Sex Reversal Gametik Ikan. Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia Volume 7 Nomor 1 : 13 – 24.
- Gerson F.,Christina P.Y.(2019). Pengembangan Sistem Panduan Mobile Dengan Audio dan Teks Berdasarkan Augmented Reality (Android) Untuk Pengunjung di Museum Bali. Innovative and Creative Information Technology Conference (ICITech).
- Ivan Bagus Prasetyo, Aditya Akbar Riadi, Ahmad Abdul Chamid.(2021). Perancangan Smart Aquarium Menggunakan Sensor Turbidity Dan Sensor Ultrasonik Pada Akuarium Ikan Air Tawar Berbasis Arduino Uno. Volume 13 No. 2.ISSN : 2085 – 1669.e-ISSN : 2460 – 0288.
- Junior Sandro Saputra, Siswanto .(2016).Aplikasi Komunikasi Serial Arduino Uno R3 Pada Pengontrolan Dengan Menggunakan Visual Studio 2012 Dan Sql Server 2008. JTE - ITP ISSN No. 2252-3472 Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 5, No. 1.
- J. Mahardika.(2019).Optimalisasi Potensi Budidaya Ikan Hias Nasional. kkp.go.id. <https://kkp.go.id/djpb/artikel/15803-optimalisasi-potensi-budidaya-ikan-hias-nasional>.
- P.V Ertyan.(2019).Sistem Monitoring dan Mengontrol Aquarium Dalam Pemeliharaan Ikan Hias Dari Jauh. ISSN : 2355-9365.e-Proceeding of Engineering : Vol.6, No.2 Agustus 2019. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/10530/10385>
- Riyan Kharisma, Suryadi Thaha. (Rancang Bangun Alat Monitoring dan Penanganan Kualitas Air pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Internet of Things (IOT). ISSN 2615-5788.P-ISSN 2615-7764.Vol.7.No.2.Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC.
- Saputra Sandro Junior, Siswanto.(2020).Prototype Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Kandang Ayam Broiler Berbasis Internet Of Things.(ISSN : 2406-7733. e-ISSN :2597-9922). Jurnal PROSISKO Vol. 7 No. 1.
- Saputra Sandro Junior, Siswanto.(2016).Aplikasi Komunikasi Serial Arduino Uno R3 Pada Pengontrolan Dengan Menggunakan Visual Studio 2012 Dan Sql Server. JTE - ITP (ISSN NO. 2252-3472). Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 5, No. 1; Januari
- Sindung HW Sasono1 , Ari Sriyanto Nugroho1 , Eko Supriyanto1 , Sri Kusumastuti.(2020). Iot Smart Health Untuk Monitoring Dan Kontrol Suhu Dan Kelembaban Ruang Penyimpan Obat Berbasis Android Di Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito Yogyakarta. ISSN: 1907-5995. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV Tahun 2020 (ReTII).
- Siswanto, Adiguna Aditya, Gata Windu.(2018). Kendali Dan Monitoring Suhu Dan Ketinggian Air Aquarium Dengan Sensor Ds18b20, Hcsr04 Dan Mikrokontroler Arduino Uno R3 Berbasis Web. Jakarta: Prosiding SNST ke-9.
- Sri Mulyono, Muhammad Qomaruddin, Muhammad Syaiful Anwar.(2018).Penggunaan Node-RED pada Sistem Monitoring dan Kontrol Greenhouse berbasis Protokol MQTT. Vol. 3, No. 1, pp. 31~44.

Analisis Permasalahan Batas Darat Antara Indonesia dan Malaysia dalam Perspektif Aspek Teknis dan Teknologi Geospasial

Sukanto Hadi

Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

sukanto.hadi@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pelaksanaan kegiatan survei dan penegasan batas wilayah darat antara Indonesia dan Malaysia, di Kalimantan telah dilaksanakan sejak tahun 1975, hingga saat ini masih terdapat 7 permasalahan batas yang belum terselesaikan. Persoalan batas yang belum terselesaikan ini disebut *Outstanding Boundary Problems (OBP)*. Pada pelaksanaannya timbul permasalahan yang diakibatkan oleh perbedaan datum maupun karena perbedaan interpretasi traktat 1891, 1915 dan 1928 yang dibuat antara Pemerintah Belanda dengan Pemerintah Inggris. Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk mencari alternatif model solusi permasalahan batas darat antara Indonesia dan Malaysia dengan melakukan studi kritis, komprehensif dan analisis aspek teknis pelaksanaan survei dan penegasan batas negara Indonesia dan Malaysia dalam perspektif aspek teknik dan teknologi Geospasial. Penelitian ini menggabungkan studi literatur yang luas menggunakan peta, citra satelit resolusi tinggi, data SRTM dan data lapangan hasil survei dan penegasan batas RI-Malaysia untuk menghasilkan sebuah kajian yang komprehensif dalam perspektif aspek teknis dan teknologi Geospasial. Hasil studi menghasilkan alternatif model solusi permasalahan batas darat antara Indonesia-Malaysia yaitu Indonesia mendapatkan 3 klaim dan Malaysia memperoleh 3 klaim dari 7 permasalahan yang ada dan kedua belah pihak membagi dua untuk Wilayah Batu Aum.

Kata Kunci: batas darat, *The Outstanding Boundary Problems (OBP)*, model solusi, aspek teknik dan teknologi, SRTM.

Abstract

The implementation of survey boundary demarcation between Indonesia and Malaysia in Kalimantan has been carried out since 1975, and until now there are still 7 unresolved boundary issues. It's called Outstanding Boundary Problems (OBP). In practice, issues arise due to differences in the datum and differences in the interpretation of the treaties of 1891, 1915, and 1928 between the Dutch Government and the British Government. This research aims to find an alternative model for the solution to the land boundary problem between Indonesia and Malaysia by conducting a critical, comprehensive study and analysis of the technical aspects of surveying and confirming the Indonesian and Malaysian state boundaries from the perspective of geospatial engineering and technology. This research combines an extensive literature study using maps, high-resolution satellite imagery, SRTM data, and field data from surveys and confirmation of the RI-Malaysia boundary to produce a comprehensive study from the perspective of technical aspects and geospatial technology. The results of the study resulted in an alternative model for solving land boundary problems between Indonesia-Malaysia, namely Indonesia received 3 claims and Malaysia obtained 3 claims from 7 existing problems and both parties divided the two for the Batu Aum area.

Keywords: land boundary, *The Outstanding Boundary Problems (OBP)*, solution model, engineering and technology aspect, SRTM

1. Pendahuluan

Perbatasan negara atau *State Border* dipahami sebagai suatu garis imajiner yang memisahkan wilayah suatu negara secara geografis berbatasan langsung dengan negara lain. Perbatasan negara merupakan manifestasi utama kedaulatan wilayah suatu negara yang dibatasi oleh garis pemisahan sistem hukum yang berlaku antar negara, serta merupakan titik singgung (*contact point*) pengelolaan wilayah teritorial negara yang berbatasan (Mabes TNI, 2014). Indonesia dan Malaysia merupakan Negara yang menganut prinsip *Utī Possidetis Juris*, kedua negara mewarisi wilayah negara jajahannya. Sebagai dasar hukum yang digunakan dalam proses penegasan batas kedua negara menggunakan perjanjian yang telah disepakati bersama pihak Belanda dan Inggris, yaitu Konvensi 1891, *Agreement* 1915, dan Traktat 1928. Proses penegasan batas darat antara Indonesia dan Malaysia selanjutnya dimulai pada Tahun 1975 dan selesai tahun 2000. Sepanjang pelaksanaan survei dan penegasan batas bersama tersebut terdapat beberapa lokasi yang

Info Makalah:

Dikirim : 05-08-22;

Revisi 1 : 31-08-22;

Revisi 2 : 18-10-22;

Diterima : 12-12-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-822-23435855

e-mail : sukanto.hadi@lecture.unjani.ac.id

belum dapat terselesaikan oleh karena beberapa hal yang diakibatkan oleh adanya perbedaan penafsiran atas isi perjanjian, perbedaan hasil dan fakta di lapangan dengan isi perjanjian, penggunaan sistem dan kerangka referensi koordinat yang digunakan serta penggunaan datum yang berbeda antara Indonesia dan Malaysia. Permasalahan yang timbul selama proses penegasan batas Indonesia dan Malaysia tersebut disebut sebagai *Outstanding Boundary Problems (OBP)*. Adanya sisa permasalahan

terkait dengan *Outstanding Boundary Problem* tersebut dirasakan menghambat proses pengelolaan wilayah batas bagi kedua negara menyangkut kedaulatan kedua negara di wilayah perbatasan. Disamping itu adanya OBP juga rawan memicu terjadinya konflik kedua negara yang diakibatkan oleh adanya isu pergeseran pilar batas, sehingga perlu segera dicari solusinya. Selama kurun waktu 47 tahun sejak dimulainya proses survei dan penegasan batas pada tahun 1975 hingga saat ini (2022) masih terdapat 7 OBP yang belum terselesaikan yakni empat (4) OBP di Sektor Barat (RI-Serawak), meliputi Wilayah Batu Aum, Sungai Buan, Gunung Raya dan titik D400. Sedangkan di Sektor Timur (RI-Sabah) terdapat Tiga (3) OBP meliputi sektor titik B2700-B3100, Sungai Sinapad dan Sebatik. Menurut Co Project Director (CPD) Sektor Timur, untuk wilayah Sebatik tinggal menunggu MOU (Dittopad, 2022). Sejarah menunjukkan bahwa menetapkan suatu batas wilayah tidak pernah dapat diterima secara umum. Arsitek batas internasional yang pada umumnya adalah negarawan dan politisi harus bernegosiasi dan akhirnya harus mencapai kesepakatan dalam memilih letak batas dan mendefinisikannya dalam kerangka kerja delimitasi, sehingga perlu dukungan kajian yang berbasis teknik dan teknologi terkait sebagai salah satu *Decision Support System*. Untuk itu dirasakan perlu melakukan penelitian ini.

Pada saat ini permasalahan *OBP RI-Malaysia* ditangani oleh sebuah tim kelompok kerja bersama antara Indonesia dan Malaysia sesuai dengan keputusan pertemuan Panitia Nasional ke-27 di Kota Kinabalu, Sabah, tanggal 29-31 Oktober 2001 dengan membentuk *the Joint Working Group on the Outstanding Boundary Problems on the Joint Demarcation and Survey of the International Boundary between Indonesia and Malaysia (JWG OBP RI-Malaysia)*. Sampai dengan tahun 2022 forum JWG-OBP RI-Malaysia tercatat telah menyelesaikan 2 OBP Sektor Timur, yakni dengan ditandatanganinya MOU 22 antara pemerintah RI dan Sabah pada tanggal 20 November 2019 untuk penyelesaian OBP di wilayah titik C500-C600 dan Sungai Simantipal. Secara umum permasalahan batas antara Indonesia dan Malaysia dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Perbatasan antara RI-Malaysia di Kalimantan belum seluruhnya disurvei dan ditegaskan oleh Belanda - Inggris.
2. Adanya perbedaan interpretasi Indonesia dan Malaysia atas isi konvensi Inggris Belanda 1891, *Agreement Inggris-Belanda 1915* dan *Perjanjian Inggris-Belanda 1928* yang digunakan sebagai dasar hukum.
3. Adanya ketidakcocokan antara hasil survei bersama RI - Malaysia di lapangan, dengan isi konvensi dan perjanjian yang dibuat Inggris-Belanda di lokasi OBP.
4. Adanya penduduk setempat yang mengadakan perjanjian lokal tentang pertukaran tanah diantara mereka, sehingga merubah batas yang benar sesuai Konvensi Inggris-Belanda tahun 1891 (*Private Farming Agreement*).
5. Perbedaan hasil pengukuran di lapangan dengan perhitungan di atas peta yang dipakai sebagai pedoman kerja lapangan.

Dari pembahasan masalah diatas, dapat dirumuskan problem statement dalam penelitian ini yaitu: “Permasalahan Batas Darat antara Indonesia dan Malaysia memerlukan alternatif model solusi dalam perspektif aspek teknis dan teknologi Geospasial agar efektif dalam mendorong upaya penyelesaian OBP di Kalimantan.” Untuk menjawab permasalahan utama yang telah diidentifikasi, dilakukan pendekatan melalui pertanyaan riset (Research Question) yaitu : “Alternatif Model Solusi seperti apa yang akan digunakan dalam rangka mendorong penyelesaian permasalahan batas darat antara RI-Malaysia ?”.

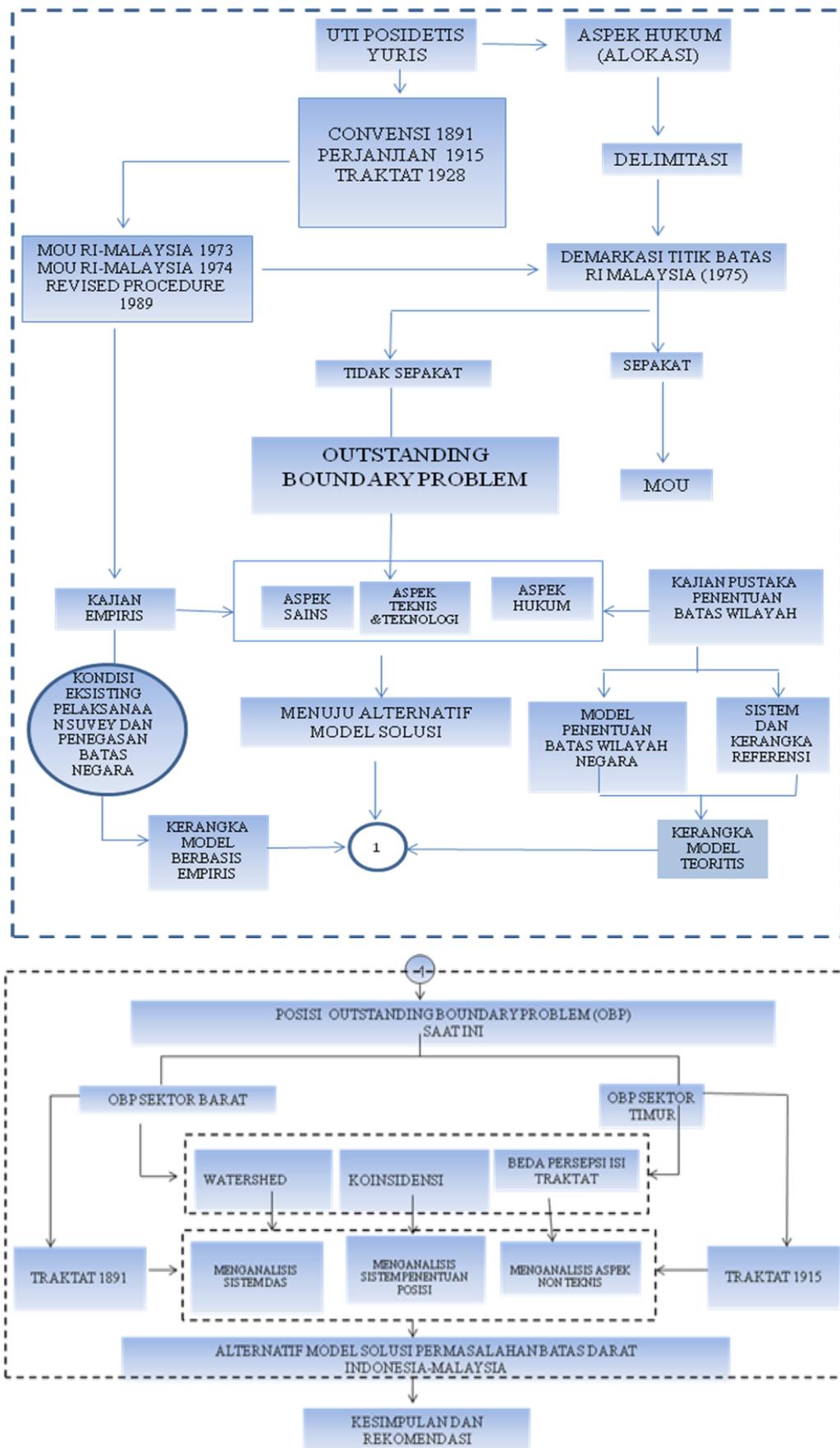
2. Data dan Metodologi Penelitian.

Penelitian ini mengambil area studi di Wilayah Kalimantan yang berbatasan dengan negara tetangga Malaysia khususnya di daerah yang terdapat OBP, yaitu Kalimantan Barat meliputi daerah Gunung Raya, Titik D400, Batu Aum dan Gunung Jagoi/Sungai Buan sedangkan di wilayah Kalimantan Utara (Sektor Timur) meliputi Pulau Sebatik, Sungai Sinapad, daerah prioritas Titik B2700-3100, dapat dilihat pada Gambar 1.



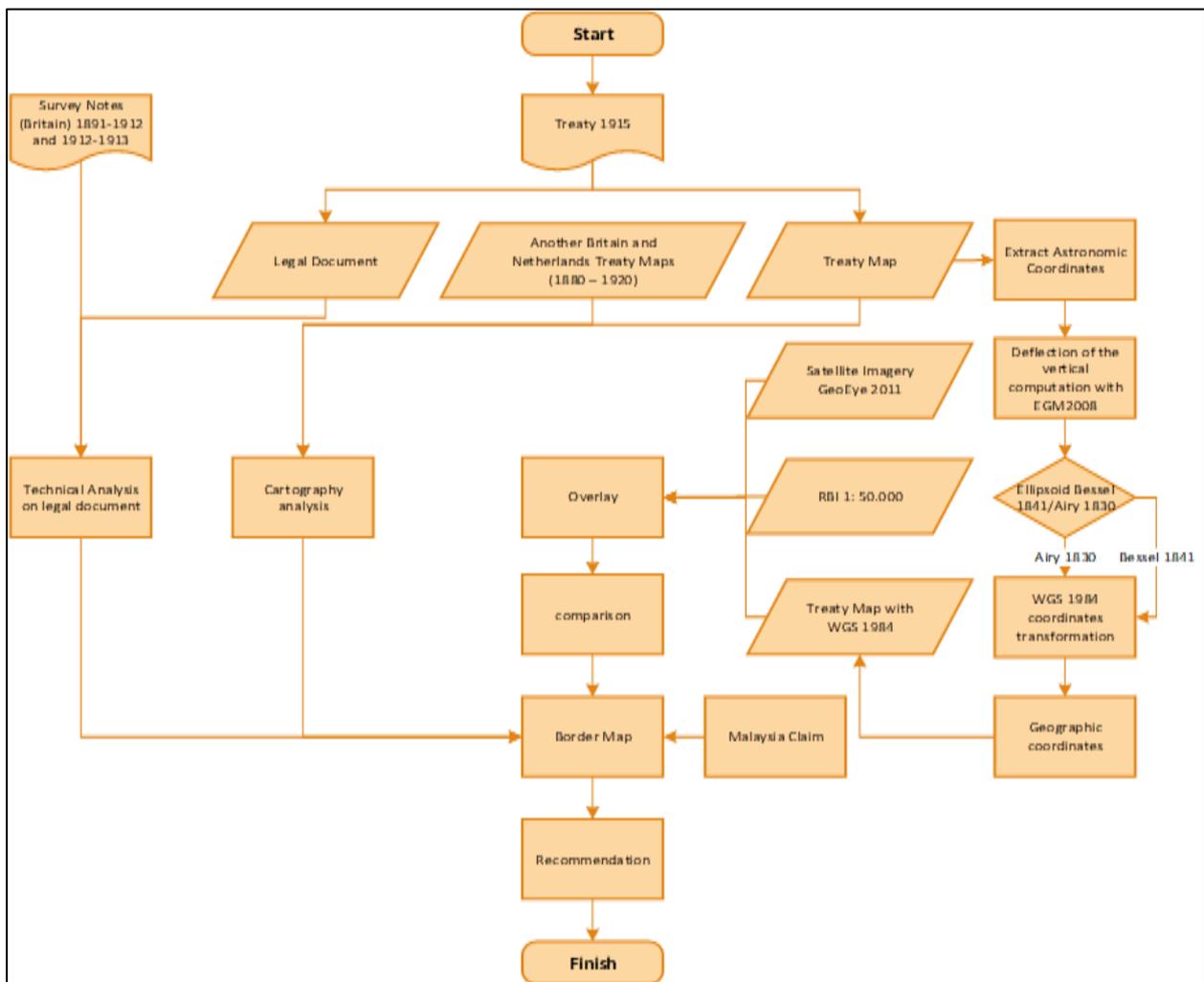
Gambar 1. Lokasi Wilayah Studi.

Penelitian menggunakan data spasial berupa citra satelit resolusi tinggi SPOT 6, data DEM SRTM 30 m, Citra Ikonos Resolusi Tinggi, peta topografi skala 1 : 50.000 wilayah perbatasan RI-Malaysia, Peta RBI skala 1 : 50.000 daerah Kalbar dan Kaltim, peta lampiran *Convensi* 1891, lampiran *Treaty* 1915 dan peta lampiran *Treaty* 1928. Data berupa dokumen yang digunakan meliputi *Convention between Great Britain and the Netherlands defining Boundaries in Borneo, signed at London, 20 June 1891*, *Agreement between Great Britain and the Netherlands relative to the Boundary between the State of North Borneo and the Dutch Possessions in Borneo, signed at London, 28 September 1915*, *Convention respecting the further Delimitation of the Frontier between the States in Borneo under British Protection and the Netherlands Territory in that island. Signed at The Hague, March 26, 1928*. *Memorandum Of Understanding (MOU) RI-Malaysia* di Jakarta tanggal 26 November 1973 (Ketentuan Penetapan Batas RI-Malaysia). Kerangka Pikir Penelitian ini dituangkan dalam diagram alur penelitian yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Pemikiran.

Sebagai langkah pertama, pada kerangka penulisan yang merupakan gambaran umum alur pikir dari studi yang dilakukan adalah mendeskripsikan isu, fenomena dan permasalahan yang melatarbelakangi tema penelitian ini, yaitu mencari alternatif model solusi permasalahan batas darat antara Indonesia dan Malaysia, baik dari segi teoritik maupun empirik melalui studi kepustakaan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang permasalahan batas darat antara Indonesia dan Malaysia, khususnya di wilayah OBP. Tahapan berikutnya adalah menemukenali permasalahan OBP yaitu dari aspek – aspek legal, teknis dan teknologi terkait dengan permasalahan OBP yang disebabkan oleh karena penerapan Konvensi Inggris – Belanda tahun 1891, Protokol Inggris – Belanda 1915 dan *Agreement* Inggris-Belanda tahun 1928 yang berbeda akibat perbedaan persepsi. Langkah-langkah yang dilakukan selanjutnya dalam mencari alternatif model solusi yang tepat adalah dengan mengkaji masalah OBP pada saat ini, kondisi eksisting yang ada dengan pendekatan empiris dan teoritis. Selanjutnya hasil analisis terhadap aspek empiris dan teoritis tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk menentukan alternatif model solusi permasalahan batas darat antara Indonesia dan Malaysia. Pada bagian akhir adalah merekomendasikan alternatif model solusi hasil studi sebagai masukan bagi Panitia Teknik JWG-OBP Indonesia Malaysia dalam rangka mendukung upaya penyelesaian OBP antara Indonesia – Malaysia. Pada prinsipnya penelitian terhadap permasalahan batas darat antara Indonesia dan Malaysia ini melibatkan beberapa metode penelitian sekaligus, meliputi studi literatur (STL), inventarisasi data dan informasi (IDI), survei lapangan (SVL) serta pengolahan data dan analisis (PDA).

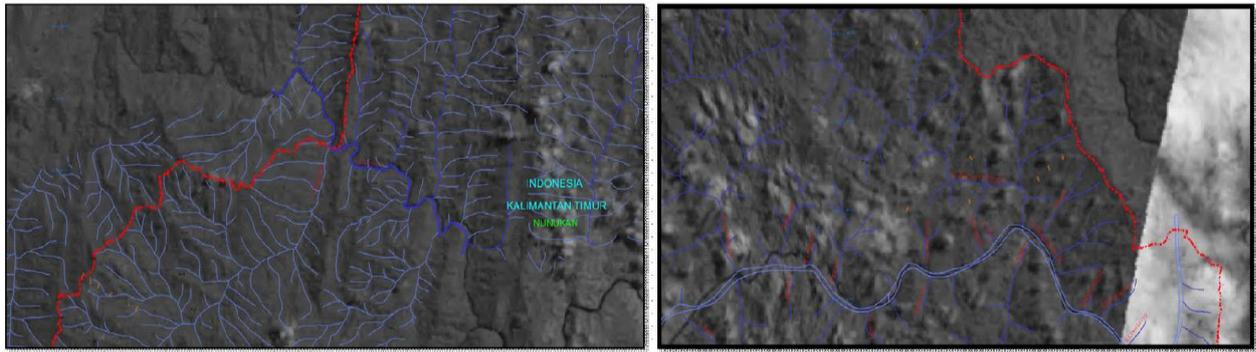


Gambar 3. Metode Analisis Objek Dalam Peta.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Objek dalam Peta

Kegiatan dalam tahapan analisis teknis survei dan pengukuran adalah menganalisis kesesuaian objek yang ada di Peta Lampiran *Treaty* 1915 dengan objek yang ada di lapangan. Objek yang digunakan sebagai pembanding adalah fitur alam yang terdapat pada Peta Lampiran *Treaty* 1915 yaitu: Aliran Sungai dan *Watershed*.

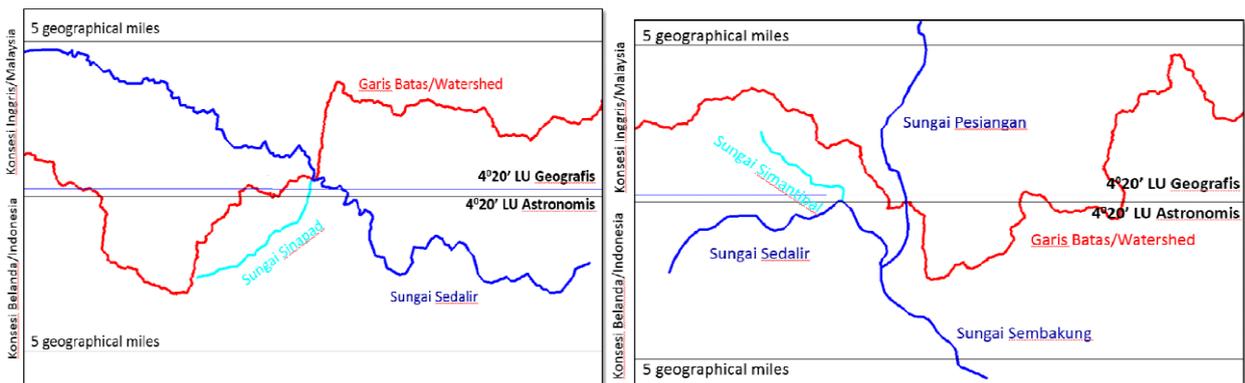


Gambar 4. Perbandingan RBI dengan Citra *GeoEye* di Sungai Simantipal dan Sedalir.

Posisi sungai Sedalir sesuai dengan kondisi lapangan yang diwakili dengan citra *GeoEye*, dapat dilihat pada Gambar 4. Arah *watershed* yg dijadikan acuan batas sama dengan *watershed* ukuran Bersama, *Watershed* yang digambar dari Citra satelit berimpit dengan *watershed* hasil survei bersama Indonesia-Malaysia tahun 1977/1978.

3.2. Analisis Posisi Graticule 4° 20' LU Astronomis

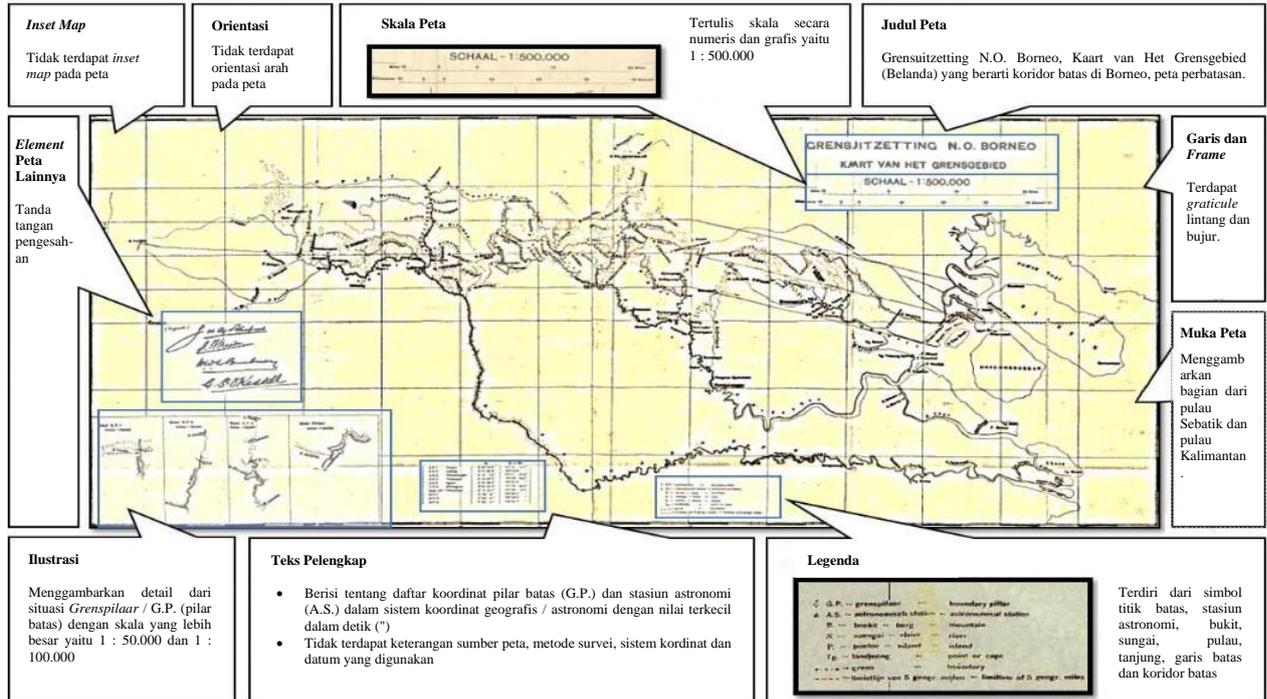
Dengan menggunakan *Graticule* 4° 20' LU Astronomi dari pengukuran GP1, posisi muara S.Sinapad berada di Utara Graticule 4° 20' LU. Posisi Objek di Sekitar Sungai Simantipal dalam RBI, Peta Lampiran *Treaty* 1915 dan Citra *GeoEye* terhadap *Graticule* 4° 20', jika dibandingkan dengan *Graticule* 4° 20', seluruh aliran nya berada di wilayah konsesi Inggris, namun masih dalam koridor 5 mil sesuai isi konvensi 1891 masuk wilayah Indonesia yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Posisi Objek di Sekitar Sungai Sinapad dan Semantipal dalam RBI, Peta Lampiran *Treaty* 1915 dan Citra *GeoEye* terhadap *Graticule* 4° 20'

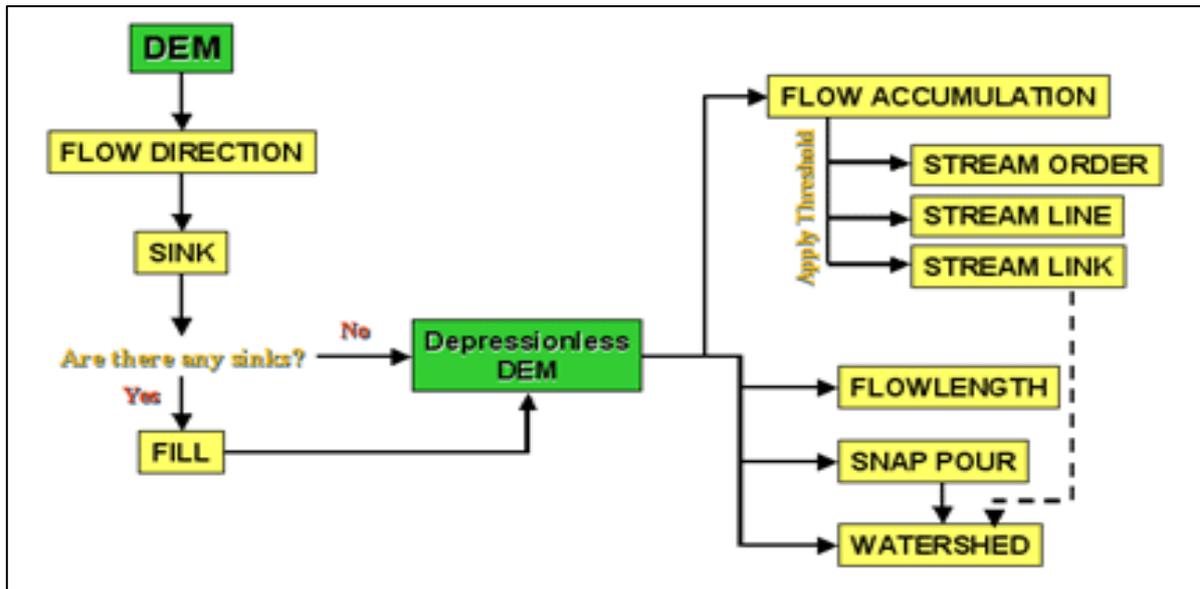
3.3. Analisis Teknis Elemen Dasar

Peta Lampiran Perjanjian 1915 dari aspek teknis pemetaan memenuhi sebagai peta yg baik cukup memberikan info tentang isi yg terkandung dalam peta tersebut. Memenuhi 7 parameter komponen peta teknis. Dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Elemen Dasar Peta Lampiran *Treaty* 1915 (Perjanjian Belanda-Inggris 1915).

3.4. Kajian dan Analisis Hidrologi



Gambar 7. Diagram Alir Delineasi *Watershed* Menggunakan DEM (ESRI, 2015).

Hasil analisis Hidrologi menunjukan bahwa di Wilayah Tanjung Datu terdapat *Watershed* yang identik dengan hasil ukuran bersama Tim Survei Indonesia –Malaysia tahun 1976.

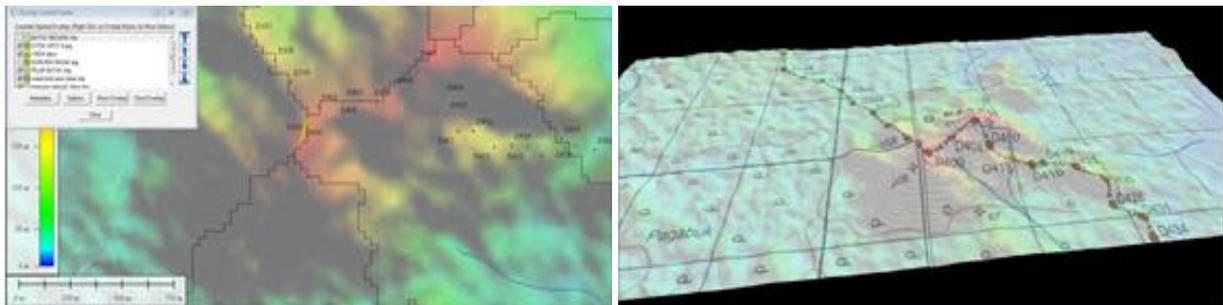


Gambar 8. Hasil Analisis Hidrologi di Tanjung Datu.

Data yang digunakan SRTM 30 Meter, Peta Topografi skala 1 : 50.000 dan Data Citra Spot 6. Data dan Luas wilayah yang diproses ± 82 Ha. Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa *watershed* hasil analisa hidrologi (kuning) identik dengan *watershed* hasil ukuran bersama tim survei dan penegasan batas RI-Malaysia yang telah disepakati dalam MOU 1976 di Kinabalu.

3.5. Kajian dan Analisis di Titik D400

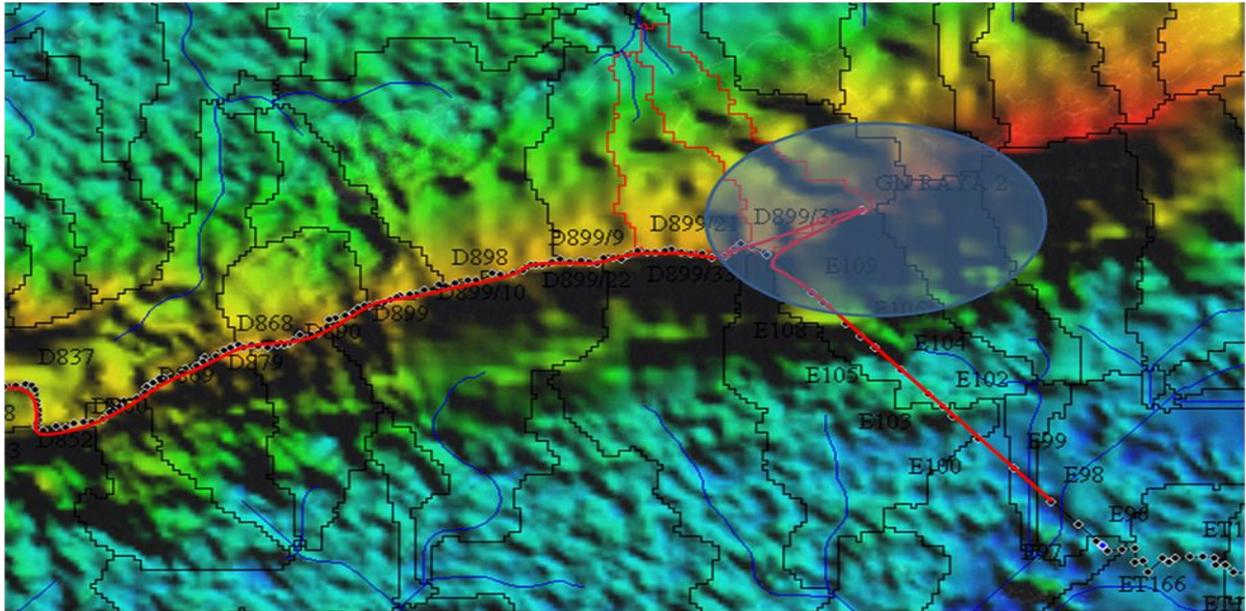
Daerah D400 kondisi umum secara fisik tidak berubah terdapat perubahan di sekitar titik D468 sebagai kebun Sawit milik Malaysia hasil *Overlay* data SRTM 30 m dengan Citra Spot 6 memperlihatkan titik D400 berada di Lereng G. Rasau dengan jarak 133 m dari titik D390 yang ada di *watershed*. Hasil *Overlay* citra Spot 6 dan analisa hidrologi di daerah Titik D400 dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil *Overlay* DEM SRTM 30 M dan Citra Spot 6 di titik D400 berada di Lereng Gunung Rasau.

3.6. Kajian dan Analisa Masalah Gunung Raya

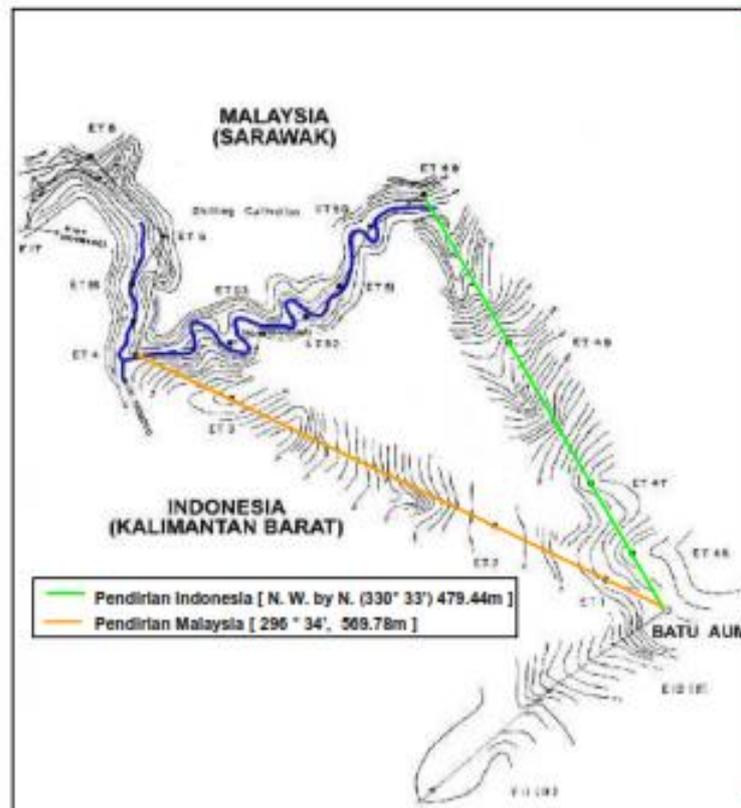
Sungai Berenas dan Sungai Separan yang dijadikan acuan dalam menentukan batas di wilayah Gunung Raya relatif tidak berubah. Hasil penelitian memperlihatkan terdapat *watershed* sesuai ps 2 Konvensi 1928 yang menyatakan bahwa batas di G.Raya dari E95- Gn Raya I – Gn Raya II- D001 menuju arah Tanjung Datu Hasil ukuran Bersama sesuai dengan Ps.2 Konvensi 1928.



Gambar 10. Hasil View 3D Overlay Data DEM SRTM 30 m dan Citra Spot 6.

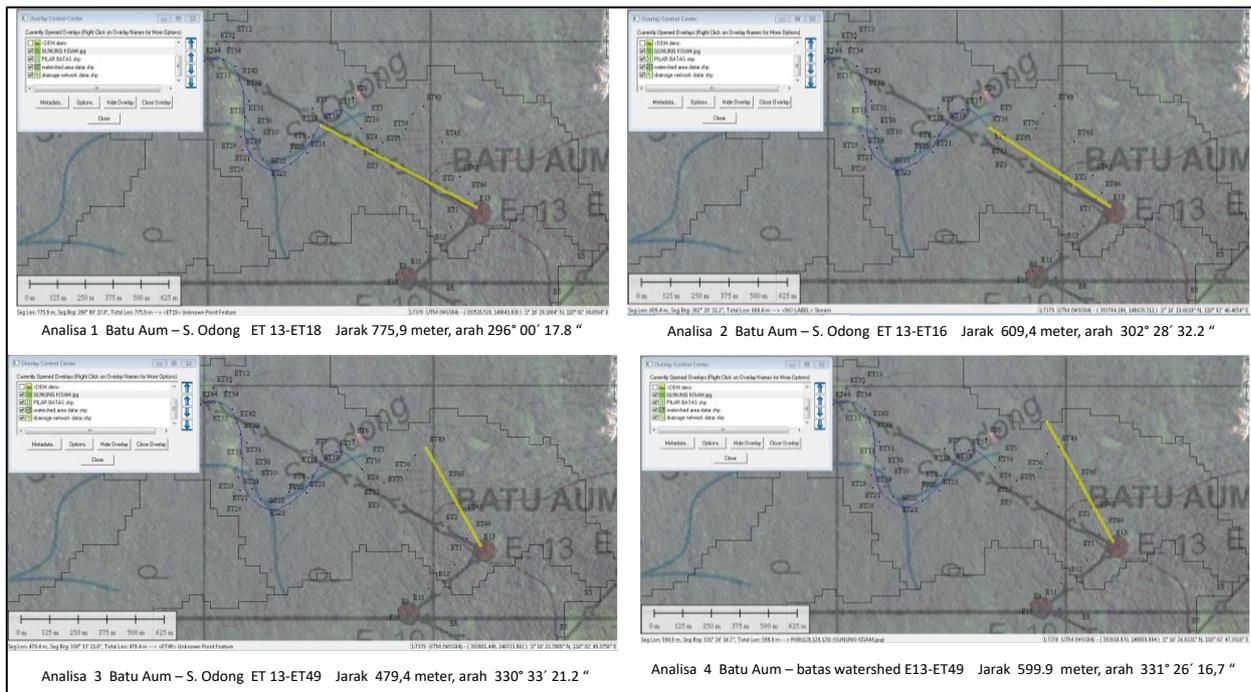
3.7. Kajian dan Analisis Masalah Batu Aum

Berdasarkan *Treaty series* No.32 tahun 1930 dan Laporan Pertemuan Pokja II Tim Interpretasi Nasional Perjanjian Inggris-Belanda mengenai Kalimantan tahun 1928 disebutkan bahwa jarak Batu Aum ke sungai Odong adalah 600 m dan arahnya adalah $330^{\circ} 33'$ (NWN, North West North) namun kenyataan di lapangan jika data jarak dan arah tersebut diterapkan di lapangan tidak ditemukan sungai Odong. Hasil pengukuran dengan menerapkan arah $330^{\circ} 33'$ (NWN) ternyata jaraknya hanya 479,44 m.

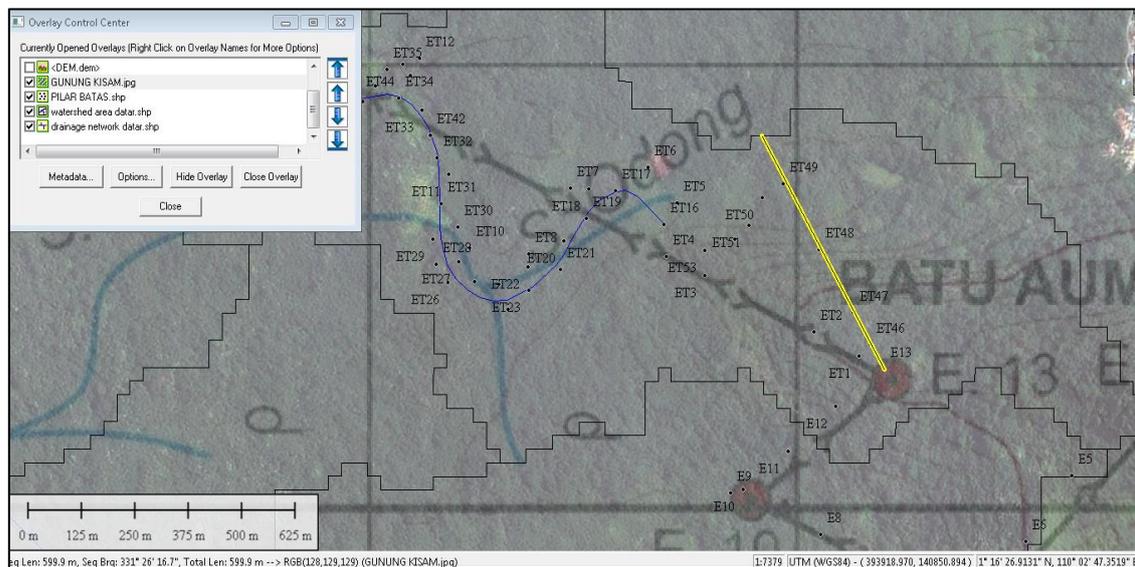


Gambar 11. Hasil Pengukuran dengan Menerapkan Arah $330^{\circ} 33'$ (NWN) dengan Jarak 479,44 m.

Hasil ukuran tersebut diperoleh dengan cara melakukan pengukuran poligon proyek B. Pengukuran dimulai dari titik Batu Aum (E13) ke arah hulu sungai Berian Sinai ke titik sasaran ET49 dengan arah 330° , melalui pilar E13-ET46-ET47-ET48-ET49. Dari hasil poligon ditarik garis lurus E13-ET49 = 479,437 m. Kemudian dilanjutkan sampai ke titik ET4 melalui tepi hulu sungai Berian Sinai. Jalur poligon yang dilalui pilar ET49 -ET50-ET51-ET52-ET53-ET4. Kenyataan di lapangan tidak sesuai dengan pasal 2 Konvensi 1928. Hasil analisis menggunakan Citra Spot 6 dan SRTM 30 meter didapatkan beberapa alternatif solusi jarak dan arah. Verifikasi lapangan diperoleh solusi yang paling mendekati isi pasal 2 Konvensi 1928 (gambar 12 dan gambar 13).



Gambar 12. Hasil Analisis Menggunakan Citra spot 6 dan SRTM 30 m.

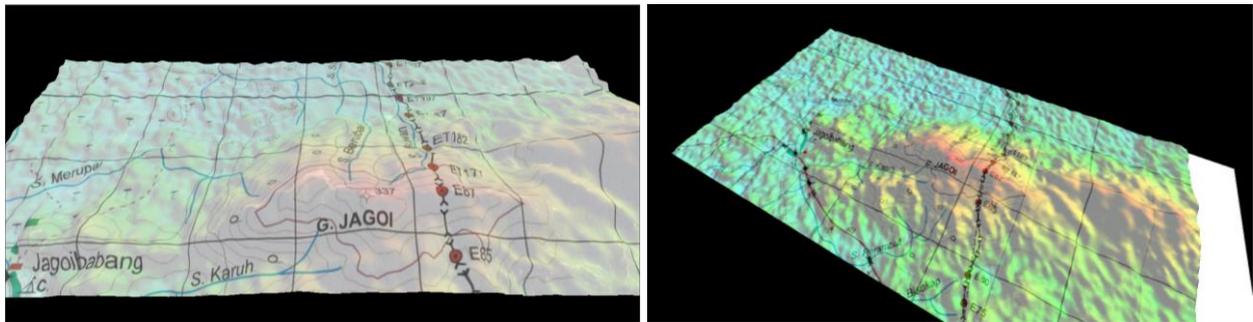


Gambar 13. Hasil Analisis Menggunakan Citra Spot 6 dan SRTM 30 m Batu Aum Batas Watershed E13-ET49 Jarak 599,9 m arah $331^\circ 26' 16,7''$.

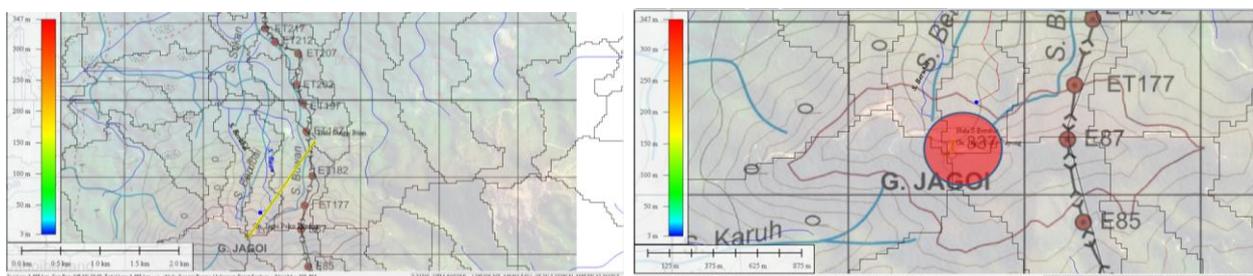
3.8 Kajian dan Analisis Masalah Gunung Jagoi/S.Buan

Ada beberapa hal yang menjadikan pengukuran survei penegasan batas kedua negara di wilayah tersebut bertentangan dengan isi Traktat/Konvensi 1891. Pertama garis batas yang diukur oleh Tim pada saat itu memakai sungai Brubai, sedangkan pada Traktat disebut sungai Buan. Jarak mata air ke sungai Berubai ± 89.494 meter, sementara jarak ke mata air sungai Boean Raya ± 300 meter. Sementara pada Traktat disebutkan jarak dari Gunung

jagoi ke hulu sungai Buan ± 50 meter. *Overlay* citra spot 6 dan SRTM 30 m memperlihatkan bahwa hulu sungai Berubai dan S.Buan sulit untuk dikenali, tergolong jenis sungai musiman. Gambar perspektif 3D hasil *Overlay* daerah G. Jagoi/S.Buwan hasil pengolahan data citra dan SRTM 30 m dapat dilihat pada gambar 14.



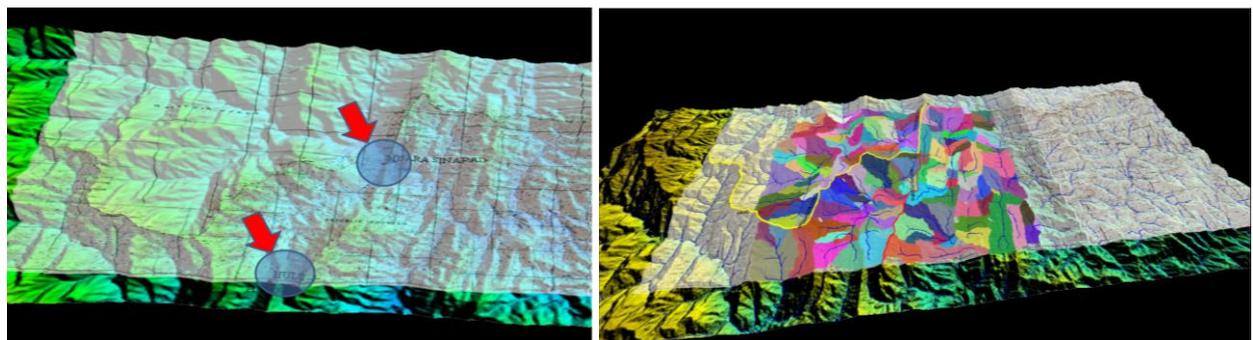
Gambar 14. Hasil *Overlay* DEM SRTM 30 m dan Citra Spot 6 di Wilayah Gunung Jagoi



Gambar 15. Hasil Verifikasi Lapangan Terdapat Alternatif Solusi Terkait Letak Hulu S. Berubaidan S. Buwan dengan Titik Triangulasi G. jagoi

3.9. Kajian dan Analisis Masalah Sungai Sinapad

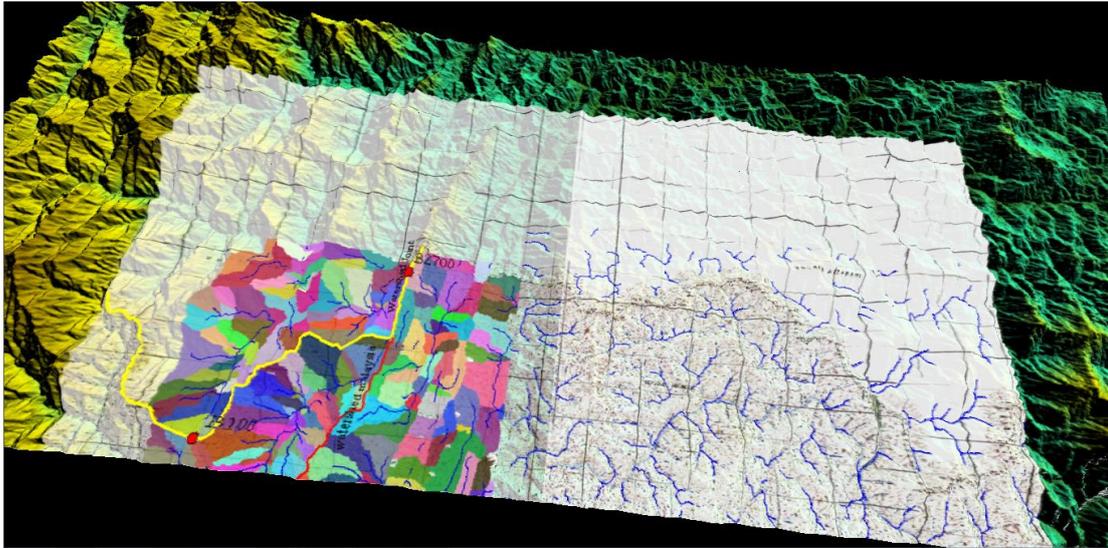
Untuk lengkungan bagian (*bend*) sungai induk ataupun anak sungai yang melintasi “*proposed boundary line*” ke Utara, namun masih berada dalam koridor 5 mil, yaitu masih di sebelah selatan dan belum melintasi paralel 4° 25' LU (4° 20' LU s/d 4° 25' LU). Hasil Analisis terhadap artikel II Konvensi 1891 dan konsesi yg berlaku secara resiprokal bagi kedua negara maka *watershed* ukuran bersama RI-Malaysia terletak sesuai dengan lampiran peta perjanjian 1915. Lihat gambar 16.



Gambar 16. *View 3D Overlay* Analisis Hidrologi dan Hasil Ukuran Tim Bersama RI-Malaysia, Sesuai dengan Lampiran Peta 1915.

3.10. Kajian dan Analisis Masalah Titik B2700-B3100

Dari hasil analisa diketahui bahwa titik B2827 merupakan titik potong antara paralel 4°10' LU dengan rangkaian *watershed* paling Timur. Hasil analisa hidrologi menggunakan data SRTM 30 m dan Citra Spot 6 menunjukkan hasil ukuran bersama sudah benar sesuai Perjanjian 1915 yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Watershed B2700-B3100 Hasil Analisis Hidrologi Berimpit dengan Titik Batas Hasil Ukuran Bersama Tahun 1977/1978

Kesimpulan

Terkait dengan aspek kartografi dan geografi dalam perspektif teknologi geospasial dapat disimpulkan bahwa peta lampiran *treaty* sudah cukup baik dalam identifikasi dan penegasan objek dalam perjanjian. Hasil komparasinya dengan peta lain, kemudian juga komparasinya dengan data teknologi terkini seperti DEM (*Digital Elevation Model*), serta Citra Resolusi Tinggi, dan analisa GIS, dapat membantu penyelesaian OBP secara obyektif. Kesesuaian antara *watershed*, sungai dalam perjanjian relatif sama dengan data-data terkini yang jauh lebih teliti seperti yang disebut di atas. Hanya untuk kasus Gunung Jagoi/sungai Buan diperlukan analisa geomorfologi dengan skala yang lebih detail lagi, melalui pengambilan data-data di lapangan.

Terkait dengan hasil kajian dan analisis terhadap 7 OBP dalam hal mencari model alternatif solusi penyelesaian masalah, dapat disimpulkan bahwa dengan memperhatikan aspek sains dan teknologi Geospasial, Alternatif model solusi untuk Indonesia mendapatkan 3 klaim dan Malaysia memperoleh 3 klaim dari 7 permasalahan yang ada dan kedua belah pihak membagi dua untuk Wilayah Batu Aum.

Model alternatif murni akademik (aspek sains, teknis dan teknologi) tidak selamanya dapat dipakai dalam dunia realitas. Dalam proses negosiasi diplomasi perundingan antar delegasi negara, maka aspek sains dan teknologi (aspek akademis) dapat dikalahkan oleh aspek politis.

Untuk dapat melanjutkan penelitian mengenai OBP antara Indonesia dan Malaysia berikut ini saran yang diberikan:

1. Dilaksanakan penelitian secara multitemporal terhadap aliran sungai Sinapad, sungai Simantipal, Sungai Buan dan Batu Aum dan daerah sekitarnya apakah terjadi pergeseran lokasi akibat dinamika bumi.
2. Dilaksanakan penelitian secara geomorfologi batuan apakah terjadi pergeseran muara sungai akibat sungai yang bersifat *myander* atau berubah-ubah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dittopad, Lapan dan BIG, atas dukungan dan ijin penggunaan data yang dibutuhkan. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan di Topografi TNI AD atas diskusinya yang bermanfaat.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z., 2001, *Geodesi Satelit*, PT. Pradya Paramita, Jakarta
- Abidin, H.Z., 2014, SRGI 2013, Karakteristik dan Implementasi, *Prosiding Seminar SRGI 2013, Menuju Sistem Referensi Tunggal Pemetaan Nasional*, Ikatan Surveyor Indonesia, Pekanbaru, 21 Mei 2014.
- Abidin, H. Z., Villanueva, K. J., Sutisna, S., dan Patmasari, T., 2005, Datum Geodetik Batas Maritim Indonesia - Singapura: Status Permasalahannya, *Proc. ITB Sains & Teknologi*, Volume 37 A, No.1, hal 23-47, Bandung.
- Adler, R., 1995, Positioning and Mapping International Land Boundaries, *IBRU Boundary & Territory Briefing*, Vol.2, No.1, Durham, UK.
- Adler, R., 2000, Geographical Information in Delimitation, Demarcation and Management of International Land Boundaries, *IBRU Boundary & Territory Briefing*, Vol.3, No.4, Durham, UK.

- Aghemelo, A. T. dan Ibhasebhor, S., 2006, Colonialism as a Source of Boundary Dispute and Conflict among African States: The World Court Judgement on the Bakassi Peninsula and its Implications for Nigeria, *J. Soc. Sci.* 13(3), Kamla-Raj,
- Akweenda, S., 1990, The Legal Significance of Maps in Boundary Questions: *British Year Book of International Law*, V. 16, p. 205-255, diakses dari <http://bybil.oxfordjournals.org/at> Gadjah Mada University on May 12, 2013.
- Al Sayel, M. A., Lohmann, P., dan Heipke, C., 2009, International Boundary Making- Three Case Study, *Proceeding ISPRS Hannover Workshop 2009: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, Hannover, Germany, 2-5 Juni 2009, http://www.isprs.org/proceeding/XXXVIII/1_4_7-W5.
- Amer, R., 1997, Border Conflicts between Cambodia and Vietnam, Artical Section, *IBRU Boundary and Security Bulletin Summer 1997*, pp.80-91, Durham, UK.
- Asmoro, P., 1980, Peta Topografi: Peta untuk Pembangunan atukah Peta Militer?, *Dokumen No.13/1980*, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, Cibinong.
- Aurousseau, M., 1957, *The Rendering of Geographical Names*, Hutchinson, London.
- Bakosurtanal, 2003, Spesifikasi Pemetaan Rupabumi, *Keputusan Kepala Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, No. HK.00.04/41-KA/XII/2003*, Cibinong, Indonesia.
- Bakosurtanal, 2010, *SNI Pemetaan Topografi skala 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, dan 1:250.000*, Cibinong.
- Banta, 1996, *Assessment in Practice*, Jossey Bass Publisher, San Fransisco.
- Blair, J. P., 1991, *Urban and Regional Economics*, Irwin Inc.
- Blake, G., 1995, The Depiction of International Boundaries on Topographic Maps: Articles Section, *IBRU Boundary and Security Bulletin Summer 1997*, Durham, UK.
- Brinker, R. C. dan Wolf, P. R., 1984, *Elementary Surveying*, Harper & Row Publisher Inc., New York.
- Brownlie, I., 1979, *African Boundaries: A Legal and Diplomatic Encyclopedia*, Hurst & Company, London.
- Bujra, A., 2002, African Conflicts: Their Causes and Their Political and Social Environment, *Development Policy Management Forum*, Addis Ababa.
- Caflisch, L., 2006, A Typology of Borders, *International Symposium on Land and River Boundaries Demarcation and Maintenance in Support of Borderland Development* Bangkok, Thailand, 6-11 November 2006, <http://www.dur.ac.uk/ibru/conferences/thailand2006>.
- Campbell, J., 2001, *Map Use and Analysis*, McGraw-Hill Companies, New York.
- Deeley, N., 2001, The International Boundaries of East Timor, *Boundary and Territory Briefing, Vol.3, No.5*, International Boundaries Research Unit, Department of Geography, University of Durham, UK.
- Dominguez, J. I., Mares, D., Orozco, M., Palmer, D. S., Aravena, F. R., and Serbin, A., 2003, Boundary Disputes in Latin America, United States Institutes of Peace, *Peaceworks No.50*, Washington DC.
- Donaldson, J. W., and Williams, A. J., 2008, Delimitation and Demarcation: Analysing the Legacy of Stephen B. Jone's Boundary Making, *Geopolitics*, 13:4,676-700, <http://dx.doi.org/10.1080/14650040802275503>
- Dittopad, (2022): *Laporan CPD Timur Kegiatan Survei OBP Sungai Sinapad-Sesai*
- Fahrurrazi, D., 2011, *Sistem Acuan Geodetik, dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Fatile, O. J., 2011, *Management of Inter and Intra States Boundary Conflicts in Nigeria, An Empirical Approach*, Dorrance Publishing Co. Inc., Pittsburgh.
- Fisher, S., Deha, I., Jawed, L., Richard, S., Williams, S., Williams, and Sue, 2001, *Mengelola Konflik, Ketrampilan dan Strategi Untuk Bertindak*, The British Council Indonesia, Cetakan Pertama, Jakarta
- Forbes, V. L., 2001, *Conflict and Cooperation in Managing Maritime Space in Semi-enclosed Seas*, Yusof Ishak House, Singapore University Press, Singapore
- Furlong, G.T., 2005, The Circle of Conflict, *The Conflict Resolution Toolbox, Model & Map for Analyzing, Diagnosing and Resolving Conflict*, Chapter 4, p.29-54, John Wiley and Sons, Ontario, Canada.
- Ghilani, C. D., and Wolf, R. P., 2007, *Elementary Surveying An Introduction to Geomatics*, Upper Saddle River, New Jersey, Hagget, P., Cliff and Frey, A., 1977, *Locational Analysis in Human Geography*, John Willey and Sons.
- Hyde, 1993, Maps as Evidence in International Boundary Disputes, *American Journal of International Law*, 27: 311-316, Washington.
- ICJ, 2013, Judgment in the case concerning the Request for Interpretation of the Judgment of 15 June 1962 in the Case concerning the Temple of Preah Vihear (Cambodia v. Thailand), www.icj-cij.org/homepage, diakses tanggal 5 Februari 2014.
- Ikawati, Y., dan Setiawati, D. R., 2009, Survei dan Pemetaan Nusantara, *Buku 40 tahun Bakosurtanal*, Penerbit Bakosurtanal bekerjasama dengan MAPIPTEK, Jakarta.
- Ikome, F. N., 2012, Africa's International Borders as Potential Sources of Conflict and Future Threats to Peace and Security, Paper No. 233, *Institute for Security Studies*, Addis Ababa.

KONVENSI BELANDA - INGGRIS 20 JUNI 1891: Konvensi Antara Britania Raya Dan Belanda Dalam Menentukan Garis Perbatasan Di Kalimantan Yang Ditandatangani Di London Pada Tanggal 20 Juni 1891.

Mabes TNI, (2014): *Wilayah Perbatasan Negara Republik Indonesia*. Staf Operasi Mabes TNI.

PERJANJIAN BELANDA - INGGRIS 26 SEPT. 1915 : Protokol antara Inggris Raya dan Negeri Belanda mengenai batas antara Negara Borneo Utara dan daerah-daerah milik Belanda (Dutch) di Kalimantan, ditandatangani di London {English Text - Lagemans, XVIII, 498; also T.S. 12 (1915), CD.8105 - Yarly. 1914 - 6, LXXXIV, 75 - Hertslet, XXVII, 970 - Brit. For., C[X, 856 De Martens, 3, XII, 264 - Oran, 1914 - S,SO}.

PERJANJIAN BELANDA - INGGRIS 26 MARET 1928 : Konvensi no.2516 antara Inggris Raya dan Irlandia Utara, dengan Negeri Belanda sehubungan dengan penentuan lebih lanjut batas-batas dari garis batas antara Negara (States) di Kalimantan (Borneo) di bawah protektorat Inggris dan wilayah Belanda di pulau tersebut. Ditandatangani di Den Haag tanggal 26 Maret 1925.

Perbandingan Nilai Kedalaman Relatif Sungai Brantas Kabupaten Jombang dengan Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel-2 dan *Digital Elevation Model* (DEM)

Niswah Selmi Kaffa¹, Muchammad Masykur², dan Yoga Kencana Nugraha¹

¹Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²KJSB Muchammad Masykur dan Rekan, Kota Sidoarjo, Indonesia

selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id, mmasykur@gmail.com, yoga.kencana@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Kedalaman relatif perairan dangkal dapat diperoleh melalui *Digital Elevation Model* (DEM). Seiring berkembangnya sains, banyak metode dikembangkan untuk memperoleh nilai kedalaman relatif salah satunya dengan mengolah citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Penulis bertujuan untuk membandingkan nilai kedalaman relatif yang didapatkan dari pengolahan citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan kedalaman relatif yang didapatkan melalui DEM. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah citra Sentinel-2 level 1C yang telah ter orthorektifikasi diunduh dari laman *Earth Explorer* dan DEM yang diunduh dari laman Tanah Air. Citra Sentinel-2 kemudian dikoreksi secara atmosferik dan radiometrik untuk mendapatkan nilai radiannya yang kemudian diolah dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel disebar dengan interval 25 meter sepanjang sungai Brantas Kabupaten Jombang. Penelitian ini hanya membandingkan perhitungan secara komputasi sehingga tidak dilakukan validasi lapangan. Hasil dari pengolahan citra Sentinel-2 dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* memberikan rata-rata kedalaman relatif sebesar 16,35m dan rata-rata kedalaman relatif DEM yaitu sebesar 17,98m. Hasil perhitungan statistik menunjukkan nilai koefisien determinasi kedalaman relatif citra Sentinel-2 yang diolah menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan DEM adalah sebesar 6,52%. Korelasi yang rendah tersebut diakibatkan tingginya kandungan sedimen dalam kolom air Sungai Brantas sehingga menimbulkan bias pada citra.

Kata kunci: *digital elevation model*, kedalaman relatif, sentinel 2A, *Van Hengel and Spitzer*

Abstract

Shallow water relative depth can be gained from the Digital Elevation Model (DEM). As science develops, methods are developed to gain the relative depth one is by processing the Sentinel-2 image using Van Hengel and Spitzer algorithm. The authors aim to compare the relative depth gained from the Sentinel-2 image using the Van Hengel and Spitzer algorithm to the relative depth gained from DEM. The data needed are orthorectified Sentinel-2 level 1C images downloaded from the Earth Explorer page and DEM downloaded from the Tanah Air page. Sentinel-2 image is then corrected atmospherically and radiometrically to get its radian value then processed using the Van Hengel and Spitzer algorithm. The sample points are spread at 25 meters intervals along the Jombang regency Brantas River. This study only compares the computational calculation therefore no field validation is carried out. Sentinel-2 Van Hengel and Spitzer provides an average relative depth of 16.35 m and DEM provides an average relative depth of 17.98 m with the determination coefficient (correlation value) of the two data is 6.52%. The low correlation is due to the high sediment content in the water column of Brantas River, causing the bias in the image.

Keywords: *digital elevation model*, relative depth, sentinel 2A, *Van Hengel and Spitzer*

1. Pendahuluan

Wilayah Sungai Brantas adalah Wilayah Sungai terbesar kedua di Pulau Jawa setelah Bengawan Solo. Sungai Brantas terletak di Provinsi Jawa Timur pada 112°03'45" dan 112°27'21" BT dan antara 07°20'37" dan 07°45'45" LS (Bappeda Kabupaten Jombang, 2013). Sungai Brantas mempunyai panjang kurang lebih 320 km dan *catchment area* kurang lebih 14.103 km² (Erlina, 2018). Wilayah Kabupaten Jombang merupakan daerah hilir dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. Selain itu Kabupaten Jombang juga dilalui oleh dua anak Sungai Brantas yaitu Sungai Konto dan Sungai Gunting (Bappeda Kabupaten Jombang, 2013).

Info Makalah:

Dikirim : 08-20-22;
Revisi 1 : 12-05-22;
Revisi 2 : 12-27-22;
Revisi 2 : 01-12-23;
Diterima : 01-16-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 857-4981-6147
e-mail : selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id

Dewasa ini, DAS tersebut dihadapkan pada masalah kerusakan lingkungan. Salah satu kerusakan yang jelas terlihat pada Sungai Brantas di Kabupaten Jombang ini adalah penurunan dasar sungai. Penurunan ini berdampak pada pergerakan tanah tanggul penampang sungai dan kerusakan infrastruktur bangunan sipil yang ada. Maraknya eksploitasi pasir secara liar menggunakan mesin merupakan penyebab utama fenomena tersebut (Yunas, 2015). Hal tersebut melatarbelakangi penulis untuk mengkaji perubahan temporal dasar sungai Brantas akibat dari

eksploitasi lingkungan. Beberapa metode yang memungkinkan untuk dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran langsung atau penginderaan jauh. Tidak adanya data pengukuran langsung dari waktu ke waktu serta mahal biaya akuisisi data *in situ*, mendorong penulis untuk memilih metode penginderaan jauh.

Akuisisi data *in situ* pada umumnya menggunakan metode *echo sounding*, *Lidar* dan *Radar Bathymetry*. Setiap metode dapat memberikan hasil yang beragam tergantung pada tingkat presisi yang dihasilkan. Contohnya *Airborne bathymetric LiDAR* memiliki resolusi spasial δ 1 meter dan resolusi vertikal δ 15 cm (Geyman, 2019). Namun, metode tersebut relatif mahal untuk sekali pengukuran (Setiawan, dkk; 2016). Hal tersebut membuat pendeteksian kedalaman perairan menggunakan penginderaan jauh menjadi metode yang menarik untuk menghasilkan estimasi data kedalaman perairan dengan biaya yang relatif lebih murah (Mateo-Perez, 2020). *Satellite derived bathymetry* (SDB) telah dipertimbangkan secara luas sebagai metode yang handal dan murah untuk mengestimasi perairan dangkal (Dewi dkk, 2021).

Salah satu cara mengetahui elevasi muka bumi dengan metode penginderaan jauh adalah dengan pengolahan *Digital Elevation Model*. *Digital Elevation Model* (DEM) adalah salah satu data set spasial yang penting dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). DEM didefinisikan sebagai himpunan *digital number* baik beraturan maupun tidak beraturan yang mewakili ketinggian suatu tempat yang sedang didefinisikan (Zhou, 2017). DEM adalah gambaran “nyata” permukaan tanah, yang mana bebas dari pohon, bangunan dan segala hal yang ada di muka tanah. DEM dapat dijadikan data dasar dalam pembuatan kontur. Kontur dan pola aliran ini dapat digunakan untuk memisahkan antara berbagai topografi muka tanah dalam *poligon* tidak beraturan yang lebih jauh dapat digunakan untuk analisis dan pemodelan hidrologi (Zhou, 2017). Fitur morfologi permukaan tanah dapat diekstrak dari DEM. Fitur morfologi ini juga dapat diproses kembali menggunakan algoritma *water-path* untuk memprediksi elemen hidrologi. Dalam fitur hidrologi, DEM memungkinkan untuk diketahuinya titik perpotongan aliran sungai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Taufik dkk (2015), DEM SRTM dengan resolusi 30 meter mampu memprediksi figur, kelerengan dan densitas badan air. Paul dkk (2019) juga menggunakan DEM SRTM dengan resolusi 1 *arc-second* atau 30 meter dan *ASTER Digital Elevation Model* dari *United States Geological Survey* untuk mengukur perubahan elevasi pada dasar sungai Jayanti, Bengal Barat, India. Chikodzi dkk (2016) menggunakan DEM SRTM untuk mengukur altitude sungai di Zimbabwe sebagai dasar analisis keberadaan air tanah. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa elevasi dasar sungai dapat diperoleh melalui DEM dengan resolusi 1 *arc-second*. Namun, salah satu kelemahan DEM adalah resolusi temporalnya yang terbatas sehingga tidak dapat digunakan untuk melakukan analisis perubahan morfologi Sungai Brantas dari waktu ke waktu.

Salah satu citra yang dapat digunakan dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal adalah citra Sentinel. Misi sentinel merupakan pengabdian GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) dalam melakukan observasi muka Bumi. Misi Sentinel-2 menyediakan data citra optis *multispectral* resolusi tinggi. Misi Sentinel-2 menawarkan kombinasi cakupan global yang sistematis yang belum tersedia pada pendahulunya. Sentinel-2 memiliki resolusi temporal 5 hari (melakukan perekaman kembali pada tempat yang sama dalam interval 5 hari) (Drusch dkk, 2012). Satelit Sentinel 2A dan 2B diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan Maret 2017. Sentinel-2 mengumpulkan data ketika mengorbit pada petak-petak lahan yang telah ditentukan. Data ini kemudian di interpolasi pada *military grid reference system* (MGRS) sehingga dapat diakses oleh publik. Citra Sentinel-2 dilengkapi dengan *single multispectral instrument* (MSI) yang memiliki tiga belas band spektral. Band-band tersebut memiliki resolusi spasial antara 10 hingga 60 meter. Resolusi spasial untuk B2, B3, B4, dan B8 adalah 10 meter, sedangkan untuk B5, B6, B7, B8A, B11 dan B12 adalah 20 meter. Sisanya memiliki resolusi spasial 60 meter (Mateo-Perez dkk, 2020). Sentinel-2 level 1C merupakan citra yang telah ter orthorektifikasi secara geometrik. *Pixel* yang disediakan merupakan *Top-of-Atmosphere* (TOA) (*The European Space Agency*, 2022).

Tabel 1. Band pada Sentinel-2.

Band	Wilayah Spektral	Resolusi [m]	Panjang Gelombang [nm]
B1	<i>Coastal aerosol</i>	60	443
B2	<i>Blue</i>	10	490
B3	<i>Green</i>	10	560
B4	<i>Red</i>	10	665
B5	<i>Vegetation red edge</i>	20	705
B6	<i>Vegetation red edge</i>	20	740
B7	<i>Vegetation red edge</i>	20	783
B8	NIR	10	842
B8A	<i>Narrow NIR</i>	20	865
B9	<i>Red Edge</i>	60	940
B10	<i>Water vapor</i>	60	1375
B11	<i>SWIR-Cirrus</i>	20	1610
B12	<i>SWIR</i>	20	2190

Mateo-Perez dkk (2020) menggunakan citra optis ESA Sentinel-2 untuk membuat pemetaan batimetri menggunakan *support vector machine* (SVM), sebuah teknik *machine learning*. Satelit Sentinel-2 dapat diunduh secara gratis dengan resolusi spasial 10 hingga 60 meter dengan resolusi temporal lima hari. Sentinel-2 memiliki enam band untuk *land monitoring* yang serupa dengan Landsat-8. Casal dkk (2018) melakukan estimasi kedalaman perairan menggunakan Citra Sentinel-2 berdasarkan metode model band linear dan rasio model band log-transformasi. Model linear band ini menunjukkan hasil yang lebih sesuai dibandingkan rasio model band log-transformasi dengan koefisien determinasi sebesar 0,83 – 0,88 pada kedalaman 0 – 10 m. Salah satu metode untuk mengekstraksi data batimetri melalui penginderaan jauh adalah melalui transformasi ritasi yang dikembangkan oleh *Hengel dan Spitzer* (Setiawan, 2016). Jaelani dkk (2019) menggunakan citra optik Landsat 8 dan Sentinel 2 dalam penentuan kedalaman perairan dangkal (kurang dari 80 meter). Citra optik tersebut diolah menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* untuk mendapat nilai kedalaman relatif perairan dangkal. Dewi dkk (2021) menggunakan band *blue, green, red* dan *near infrared* dari citra *Worldview 2*, Sentinel 2A dan Landsat 8 untuk mengestimasi kedalaman perairan pada Barat Daya Pulau Morotai, Indonesia. Citra Sentinel sendiri memiliki resolusi temporal dan spektral yang lebih baik dari DEM yaitu resolusi temporal 5 hari dan resolusi spektral 10 meter, 20 meter dan 60 meter (Oktaviani dkk, 2017). Semua algoritma untuk mengestimasi nilai kedalaman perairan pada dasarnya menggunakan prinsip fisika sederhana pelemahan gelombang cahaya di dalam air. Secara garis besar, algoritma batimetri dapat dikelompokkan menjadi dua kategori: metode empiris yang menggunakan pengamatan langsung kedalaman air di daerah studi untuk mengkalibrasi hubungan reflektansi kedalaman perairan dan algoritma inversi berbasis fisika yang menggunakan model transfer radiasi untuk mendapatkan kedalaman air tanpa data kalibrasi *in situ*. Keunggulan dari metode berbasis fisika, algoritma inversi berdasarkan spektral *unmixing*, adalah kedalaman air dan reflektansi dasar laut dapat diestimasi secara bersamaan untuk menghasilkan data untuk variasi tipe bawah (Geyman, 2019).

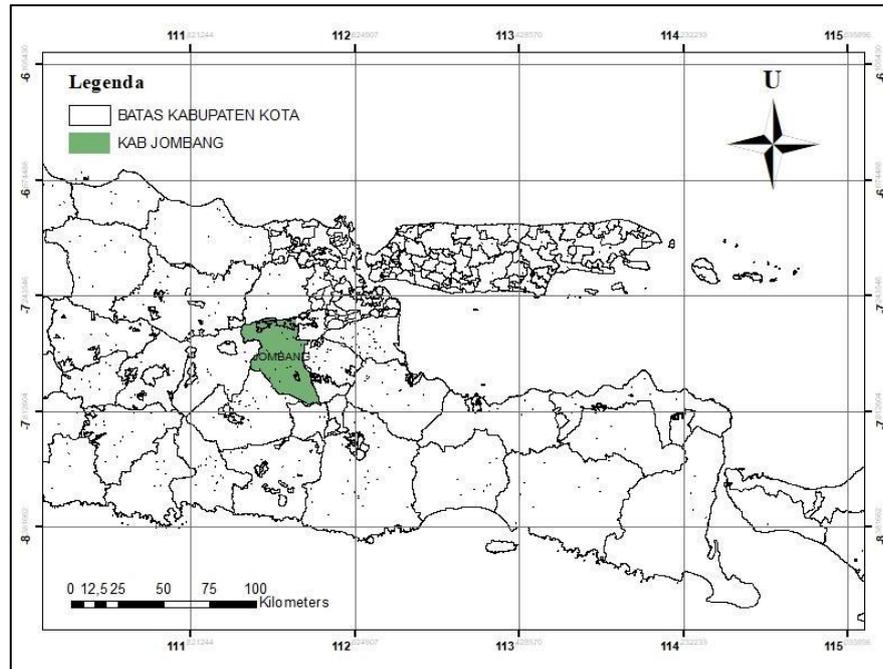
Kurangnya data *ground truth* untuk validasi seringkali menjadi tantangan utama dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal melalui penginderaan jauh (Geyman, 2019). Memetakan perairan dangkal dengan sonar, lidar memerlukan biaya yang mahal dan hanya bisa mencakup wilayah yang terbatas. Penggunaan penginderaan jauh baik pasif maupun aktif dapat dijadikan solusi untuk pemetaan batimetri. Pendekatan *spectral library* citra optis tidak memerlukan pengumpulan data *in situ* dalam pengolahan datanya sehingga estimasi dapat dilakukan tanpa menggunakan data *in situ* (Gholamalifard dkk, 2013). Xia dkk (2019) juga melakukan pengukuran batimetri menggunakan citra *multispectral* 4 band tanpa melakukan pengukuran *in situ*. Hal tersebut dilakukan karena sulit dan mahalnya memperoleh data *in situ*.

Berdasarkan kajian literatur yang dilakukan, estimasi data perairan dapat dilakukan melalui penginderaan jauh dengan pengolahan berdasarkan algoritma tertentu. Validasi data *in situ* yang mahal dan sulit menjadi tantangan pada metode penginderaan jauh. Sejauh ini, belum terdapat penelitian yang menggunakan DEM sebagai validator. Oleh karena itu, penulis ingin membuktikan apakah citra Sentinel 2A level 1C yang diolah menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* mampu mengestimasi dasar Sungai Brantas di Kabupaten Jombang. Hasil yang diperoleh akan divalidasi dengan data *Digital Elevation Model* (DEM). Apabila luaran yang dihasilkan memiliki korelasi yang tinggi dengan data DEM, maka kedepannya dapat dilakukan analisis perubahan morfologi dasar Sungai Brantas Kabupaten Jombang dari waktu ke waktu menggunakan citra Sentinel 2A.

2. Metode

Area studi pada penelitian ini adalah di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Kabupaten Jombang berada pada koridor bagian tengah wilayah Provinsi Jawa Timur, berada pada posisi silang yaitu pada jalur Surabaya-Madiun dan Malang-Babat. Adapun batas-batas administrasi Kabupaten Jombang adalah sebagai berikut (Bappeda kabupaten Jombang, 2013):

- Sebelah Utara : Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bojonegoro
- Sebelah Timur : Kabupaten Mojokerto
- Sebelah Selatan : Kabupaten Kediri dan Kabupaten Malang
- Sebelah Barat : Kabupaten Nganjuk



Gambar 1. Wilayah Studi.

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel 2A level 1C yang diunduh melalui laman *United States Geological Survey* (USGS). Citra ini digunakan untuk mengestimasi kedalaman sungai Brantas yang melalui Kabupaten Jombang. Citra Sentinel 2A yang dipakai dalam penelitian ini diakuisisi pada 27 Juni 2021. Citra Sentinel 2A level 1C telah terkoreksi geometrik dengan piksel radiometrik yang terletak pada *Top-of-Atmosphere*, sehingga hanya diperlukan koreksi radiometrik serta atmosferik pada *software open source QGIS Desktop 3.24.2* menggunakan *Semi-Automatic Classification Plugin*. Luaran dari proses ini adalah nilai reflektan dari masing-masing piksel citra. Nilai reflektan inilah yang akan digunakan sebagai masukan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel kemudian disebar dengan interval 25 meter sepanjang sungai Brantas Kabupaten Jombang lalu dilakukan *extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Values* pada *software QGIS* untuk mendapatkan nilai reflektan pada titik-titik sampel yang telah ditentukan. Nilai yang telah terekstraksi dari citra kemudian dilakukan perhitungan dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* untuk memperoleh nilai kedalaman relatifnya. *Van Hengel and Spitzer* (1991) sendiri memperkenalkan sebuah algoritma untuk menghasilkan informasi batimetri menggunakan data citra satelit optik dengan menggunakan matriks transformasi rotasi. Luaran dari proses tersebut kemudian dihitung nilai korelasinya dengan data *Digital Elevation Model* (DEM).

Studi literatur dilakukan untuk mencari penelitian terdahulu yang relevan. Setelah itu dilakukan pengumpulan data *open source* meliputi *Digital Elevation Model* (DEM) yang diunduh dari laman Tanah Air dan Citra Sentinel 2A yang diunduh melalui laman *United States Geological Survey* (USGS) *Earth Explorer*. Citra Sentinel 2 kemudian dilakukan kalibrasi radiometrik dan atmosferik menggunakan aplikasi *QGIS 3.24.2*. Hasil dari koreksi Citra Sentinel 2 merupakan data reflektan yang menjadi masukan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Algoritma ini mampu mentransformasi data citra satelit menjadi data kedalaman relatif perairan dangkal (Jaelani dkk, 2019). Pada tahap ini band merah, hijau dan biru menjadi masukan algoritma *Van Hengel and Spitzer* sebagai berikut:

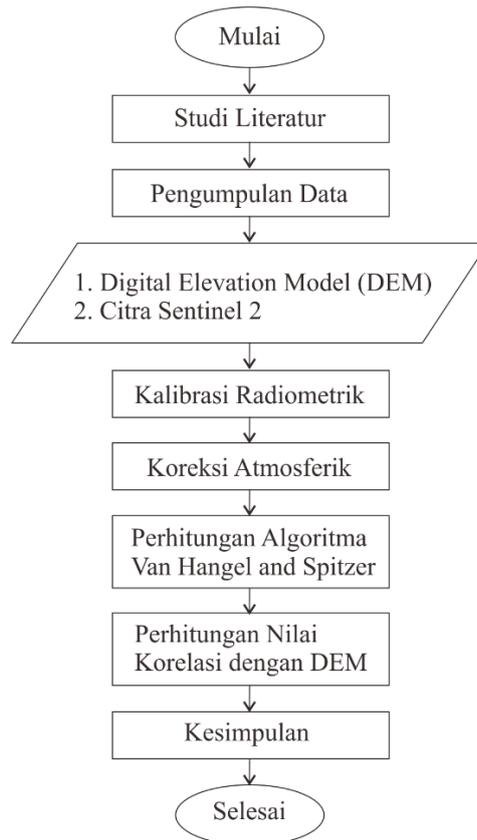
$$r = \text{Arctan} (Ur + \sqrt{Ur^2 + 1}) \quad (1)$$

$$s = \text{Arctan} (Us + \sqrt{Us^2 + 1}) \quad (2)$$

$$Ur = \frac{(\text{Var } X3 + \text{Var } X2)}{(2 \text{Cov } X2X3)} \quad (3)$$

$$Us = \frac{\text{Var } X4 + \text{Var } X2}{2 \text{Cov } X2X4} \quad (4)$$

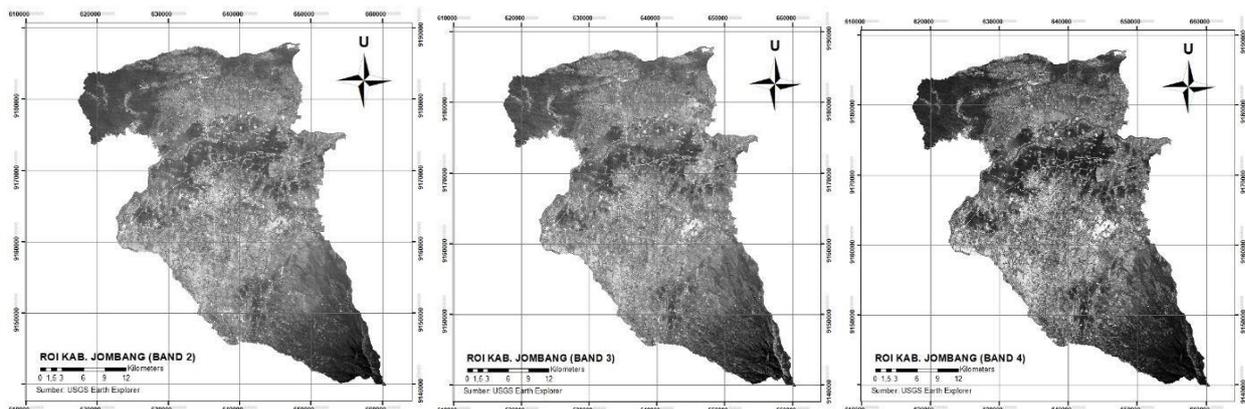
$$Y = [\cos(r) \cdot \sin(s) \cdot X2] + [\sin(r) \cdot \cos(s) \cdot X3] + [\sin(s) \cdot X4] \quad (5)$$



Gambar 2. Flowchart.

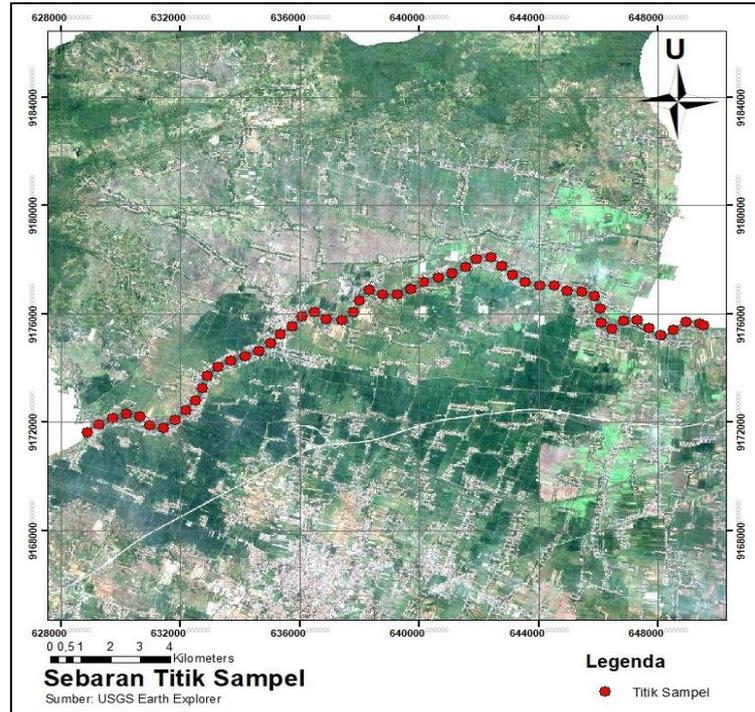
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan kalibrasi radiometrik dan atmosferik menggunakan *software QGIS Desktop 3.24.2* menggunakan *Semi-Automatic Classification Plugin* maka didapatkan model reflektan dari masing-masing band 2, 3 dan 4 (Gambar 3).



Gambar 3. Reflektan Band 2, 3, dan 4.

Nilai reflektan ini nantinya menjadi masukkan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel disebar sepanjang Sungai Brantas yang melalui Kabupaten Jombang dengan interval 25 meter. Titik sampel ini ditentukan melalui analisis spasial pada DAS Brantas. Titik sampel disusun dari Barat ke Timur seperti Gambar 4 berikut



Gambar 4. Sebaran Titik Sampel.

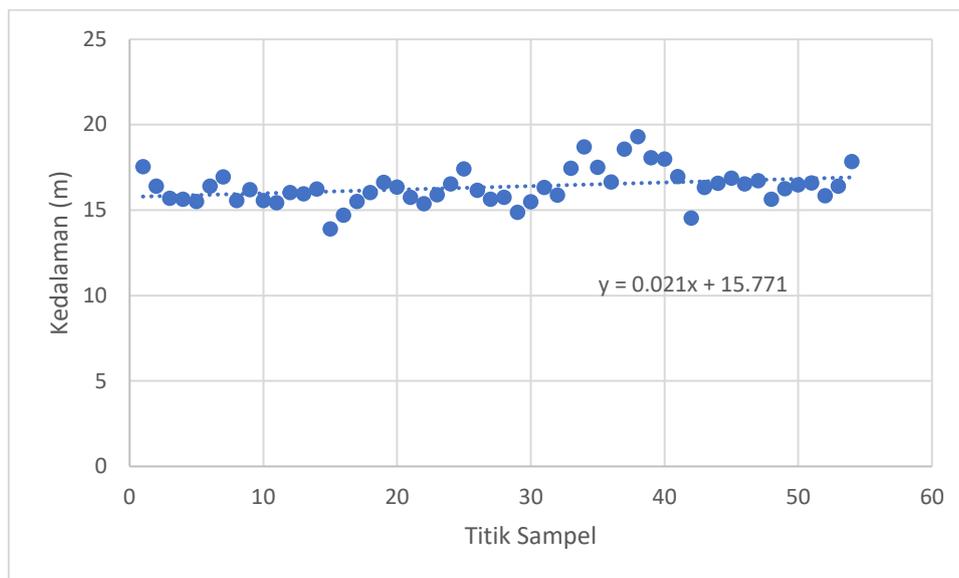
Nilai reflektan dari masing-masing band kemudian dilakukan *extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Value* pada QGIS. Nilai reflektan ini kemudian dihitung dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan hasil akhir seperti dijabarkan pada kolom Sentinel-2 di Tabel 2. *Extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Value* pada QGIS juga dilakukan pada DEM. Koordinat dan jumlah titik sampel pada penelitian ini merupakan variabel kontrol. Hasil dari ekstraksi nilai DEM dapat dilihat di Tabel 2 pada kolom DEM.

Tabel 2. Hasil Pengukuran.

Sentinel-2 (m)	DEM (m)
17,54	29
16,4	29
15,68	29
15,64	28
15,5	26
16,39	24
16,94	24
15,56	23
16,19	23
15,55	23
15,43	23
16,02	22
15,95	19
16,23	18
13,9	25
14,7	18
15,51	18
16,03	18
16,62	18
16,34	18
15,75	17
15,37	18
15,89	18
16,53	18
17,41	17
16,15	16
15,63	16

Sentinel-2 (m)	DEM (m)
15,75	16
14,87	16
15,49	16
16,33	16
15,88	16
17,45	15
18,7	15
17,5	15
16,64	15
18,57	16
19,29	16
18,06	16
17,99	15
16,96	15
14,53	15
16,33	14
16,57	14
16,86	14
16,52	14
16,71	14
15,64	14
16,25	14
16,48	13
16,58	13
15,83	12
16,39	13
17,84	14

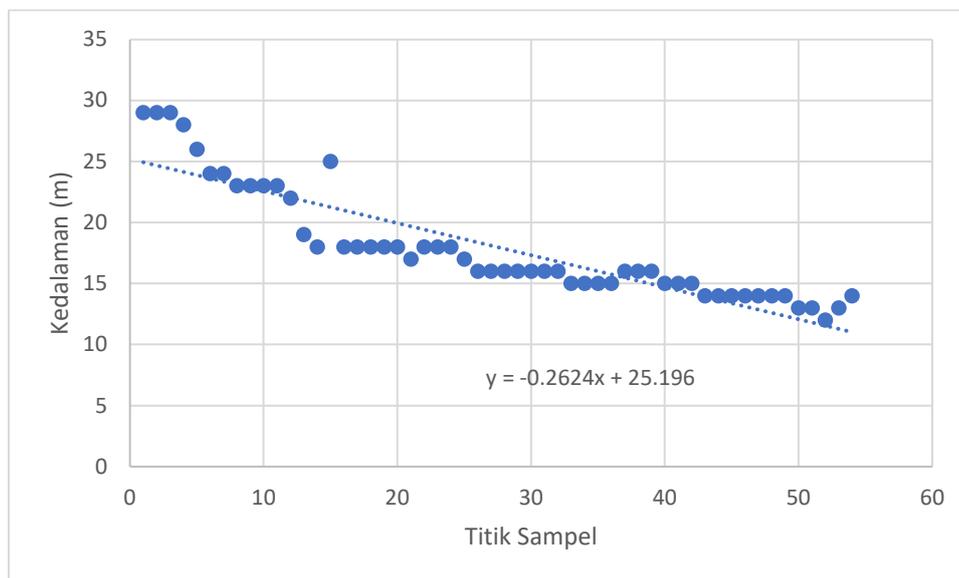
Hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* pada Tabel 2 kemudian dimodelkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Luaran Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer*.

Berdasarkan Gambar 5 didapatkan persamaan $Y = 0,021x + 15,771$. Garis imajiner pada Gambar 5 menunjukkan adanya kenaikan elevasi dari Barat ke Timur. Garis imajiner tersebut bertolak belakang dengan aliran Sungai Brantas yang mengalir dari Barat ke Timur. Titik elevasi juga dinilai kurang konstan dan memiliki banyak nilai pencilan. Nilai rata-rata kedalaman Sungai Brantas Kabupaten Jombang yang diperoleh melalui algoritma *Van Hengel and Spitzer* adalah 16,35 meter.

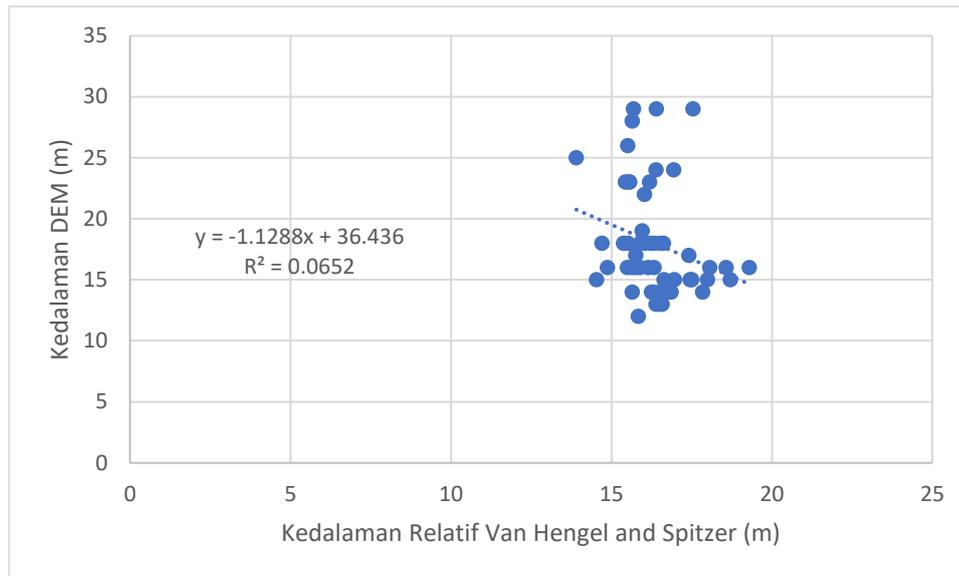
Dengan koordinat titik sampel yang sama, data elevasi juga diekstrak dari *Digital Elevation Model* (DEM) dengan hasil seperti yang ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Nilai Elevasi dari DEM.

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan persamaan $Y = -0,2624x + 25,196$. Garis imajiner pada Gambar 5 menunjukkan adanya penurunan elevasi dari Barat ke Timur. Garis imajiner tersebut sejalan dengan aliran air Sungai Brantas Kabupaten Jombang yaitu dari Barat ke Timur. Titik elevasi juga dinilai konstan dengan hanya satu nilai pencilan. Nilai rata-rata kedalaman Sungai Brantas Kabupaten Jombang berdasarkan data DEM adalah 17,98 meter.

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 maka dapat dihitung nilai korelasi antara kedua data. Hubungan antara dua data tersebut dapat dilihat di Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Nilai Kedalaman Hasil *Van Hengel and Spitzer* dan DEM.

Berdasarkan Gambar 7 didapatkan persamaan $Y = -1,1288x + 36,436$ dan R^2 sebesar 0,0652. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua data memiliki hubungan yang sangat lemah. Hal tersebut dapat dilihat dari perbedaan arah gradien garis imajiner Gambar 5 dan Gambar 6 yang menunjukkan arah berlawanan. Data yang didapatkan dari DEM terlihat lebih konstan dan logis apabila dibandingkan dengan hasil algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Pada bagian paling Barat berdasarkan perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* menunjukkan elevasi 17,54 meter sedangkan pada data DEM menunjukkan elevasi 29 meter. Pada bagian paling Timur berdasarkan perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* menunjukkan elevasi 17,84 meter sedangkan pada data DEM menunjukkan elevasi 14 meter. Walaupun selisih rata-rata kedalaman antara kedua data adalah 1,63 meter, namun berdasarkan koefisien determinasi yang diperoleh serta analisis data dapat disimpulkan hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* citra Sentinel 2 belum dapat mendekati data *Digital Elevation Model* (DEM). Korelasi yang rendah tersebut diduga karena kandungan sedimen dalam aliran sungai Brantas yang cukup tinggi mengakibatkan gelombang elektromagnetik citra satelit Sentinel-2A tidak dapat menembus kolom perairan sehingga menyebabkan bias. Hal tersebut sejalan dengan Dimara dkk (2020) dan Casal dkk (2018) yang menyatakan bahwa kemampuan penetrasi gelombang elektromagnetik citra di kolom air dipengaruhi oleh karakteristik perairan tersebut. Metode ini efektif diterapkan di air yang jernih dan semakin menurun seiring meningkatnya kekeruhan perairan.

Berdasarkan analisa yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa perhitungan nilai reflektan citra Sentinel-2 dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* belum dapat mengestimasi kedalaman perairan dangkal dengan baik. Hal ini dilihat dari korelasinya yang rendah terhadap data DEM dan hasil pemodelan yang tidak sesuai dengan keadaan lapangan.

Kesimpulan

Nilai kedalaman relatif yang didapatkan dari metode pengolahan citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan kedalaman relatif yang didapat melalui DEM menunjukkan korelasi yang lemah yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0652 atau 6,52%. Hasil analisis juga menunjukkan ketimpangan antara luaran hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan DEM. Sehingga, dapat disimpulkan hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel 2 belum mendekati data *Digital Elevation Model* (DEM). Korelasi yang rendah tersebut diduga karena kandungan sedimen yang tinggi dalam aliran sungai Brantas mengakibatkan gelombang elektromagnetik citra satelit Sentinel-2A tidak dapat menembus kolom perairan sehingga menyebabkan bias.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada KJSB Muchammad Masykur dan rekan atas bantuan data serta pemikiran dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Notasi

- X2 = Reflektan band 2
- X3 = Reflektan band 3
- X4 = Reflektan band 4
- Var X2 = Varians reflektan band 2

Var X3 = Varians reflektan band 3
Var X4 = Varians reflektan band 4
Cov X2X3 = Kovarian reflektan band 2 dan 3
Cov X2X4 = Kovarians band 2 dan 4
r = Parameter sudut rotasi
s = Parameter sudut rotasi
Y = Nilai kedalaman relatif

Daftar Pustaka

- Casal, G., dkk. (2018). "Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data." *International Journal of Remote Sensing* 40(8): 2855-2879.
- Casal, G., dkk. (2020). "Satellite-derived bathymetry in optically complex waters using a model inversion approach and Sentinel-2 data." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 241.
- Chikodzi, D. and G. Mutowo (2016). "Using River Altitude Determined from a SRTM DEM to Estimate Groundwater Levels of the Tokwe and Mutirikwi Watersheds in Zimbabwe." *Journal of Geographic Information System* 08(01): 65-72.
- Dewi, R. S., dkk. (2021). "Assessing the Accuracy of Shallow Water Depth Estimation by Using Multispectral Satellite Images." *Geographia Technica*(Special Issue): 180-197.
- Dimara, A., dkk. (2020). "Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-2A Untuk Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal (Studi Kasus: Teluk Humbolt, Kota Jayapura)." *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua* 3: 25-31.
- Drusch, M., dkk. (2012). "Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services." 120: 25-36.
- Erlina, E. J. J. T. S. (2018). "Analisis Banjir dan Sedimentasi Wilayah Sungai Brantas (Tinjauan Terhadap Metode Pengendalian)." 13(1): 1-14.
- Geyman, E. C., dkk. (2019). "A simple method for extracting water depth from multispectral satellite imagery in regions of variable bottom type." 6(3): 527-537.
- Gholamalifard, M., dkk. (2013). "Remotely sensed empirical modeling of bathymetry in the Southeastern Caspian Sea." 5(6): 2746-2762.
- Jaelani, L. and M. Bobsaid (2019). Bathymetric mapping of shallow water using Landsat 8 and Sentinel 2A Satellite Data. Case Study: East Madura's Waters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing.
- Mateo-Pérez, V., dkk. (2020). "Port bathymetry mapping using support vector machine technique and sentinel-2 satellite imagery." 12(13): 2069.
- Oktaviani, N. and H. A. J. O. Kusuma, XLII (2017). "Pengenalan Citra Satelit Sentinel-2 Untuk Pemetaan Kelautan." 3: 40-55.
- Paul, A., dkk. (2019). "Changes in river bed terrain and its impact on flood propagation—a case study of River Jayanti, West Bengal, India." 10(1): 1928-1947.
- Setiawan, K. T., dkk. (2017). "Bathymetry data extraction analysis using Landsat 8 Data." 13(2): 79-86.
- Taufik, M., dkk. (2015). "The utilization of global digital elevation model for watershed management a case study: Bungbuntu Sub Watershed, Pamekasan." 24: 297-302.
- Xia, H., dkk. (2019). "A bathymetry mapping approach combining log-ratio and semianalytical models using four-band multispectral imagery without ground data." 58(4): 2695-2709.
- Yunas, Novy Setia. (2015). Praktik Kekuasaan Persuasif dalam Perspektif Environmental Governance (Studi Kebijakan Pengamatan Tanggul Sungai Brantas Berbasis Partisipasi Masyarakat di Kabupaten Jombang. *Jurnal Politika*, Vol. 1, Nomor 1
- Zhou, Q. J. I. E. o. G. P., the Earth, Environment and Technology (2017). "Digital elevation model and digital surface model." 1-17.
- <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting> (Akses: 11 November 2022)
- <http://bappeda.jatimprov.go.id> (Akses: 11 November 2022)

Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (*Palm Oil Shell*)

Oki Alfernando^{1,2,3}, Lince Muis^{1,2,3}, Siti Junaida¹, Malem K. Ginting¹, dan Muhammad Haviz⁴

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

²Pusat Studi Energi dan Nanomaterial, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

³Pusat Unggulan IPTEKS Bio Geo Material dan Energi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

alfernandooki@unja.ac.id, ilincemuisismet@yahoo.com, stjunaida99@gmail.com,

malemkg130899@gmail.com, muhammadhaviz@eng.unila.ac.id

Abstrak

Cangkang kelapa sawit adalah limbah padat dihasilkan dari industri pengolahan minyak kelapa sawit, dimana dalam 1 ton kelapa sawit dapat menghasilkan 6,5% limbah cangkang. Limbah ini dapat diproses menjadi bahan bakar padat / biobriket sebagai alternatif bahan bakar melalui proses torefaksi dengan sedikit atau tanpa udara. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi waktu terhadap kualitas dan rendemen biobriket yang dihasilkan menggunakan metode *pretreatment* gabungan densifikasi (dengan tambahan pengikat) dan torefaksi pada temperatur 275 °C dan variasi waktu yaitu 30, 45, 60, 75 dan 90 menit. Torefaksi termasuk metode baru dalam proses pembriketan dimana metode ini berlangsung pada temperatur rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu torefaksi maka secara umum nilai kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, nilai *fixed carbon* serta waktu bakar juga semakin meningkat. Namun hal ini berbanding terbalik untuk nilai rendemen produk yang dihasilkan, sehingga untuk kualitas terbaik didapatkan pada waktu 75 menit dengan kadar air 0,86%, kadar abu 2,38%, kadar zat terbang 18,23%, nilai *fixed carbon* 78,51%, rendemen produk 36,3165 % dan nilai kalor sebesar 5964 Kcal/kg.

Kata kunci: cangkang kelapa sawit, biobriket, densifikasi, torefaksi

Abstract

Palm oil shells are solid waste from the palm oil processing industry. In 1 ton of palm oil produces 6.5% shell waste. Solid waste can be converted into fuel as a substitute for oil, namely bio-briquettes as an alternative fuel through a combustion process with less air. This study aims to determine the effect of time variations on the quality and yield of bio-briquettes produced using a combined pretreatment method of densification (with additional binder) and torrefaction at a temperature of 275 °C and time variations of 30, 45, 60, 75 and 90 minutes. Torrefaction is a new method in the briquetting process where this method takes place at low temperatures. The results showed that the longer the torrefaction time, in general, the value of water content, ash content, volatile matter content, fixed carbon value and burning time also increased. However, this is inversely proportional to the yield value of the resulting product, so the best quality is obtained in 75 minutes with a moisture content of 0.86%, ash content 2.38%, volatile matter content 18.23%, fixed carbon value 78.51 %, product yield is 36.3165% and calorific value is 5964 Kcal/kg.

Keywords: palm oil shell, biobriquette, densification, torrefaction

1. Pendahuluan

Indonesia termasuk negara tropis yang memiliki sumber daya biomassa melimpah. Mengacu data Kementerian Pertanian pada tahun 2017, luas area perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi dapat mencapai 1,8 juta Ha. Salah satu limbah pertanian potensial yang dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif adalah cangkang kelapa sawit. Limbah cangkang kelapa sawit ini merupakan bagian paling dalam dari buah kelapa sawit yang memiliki tekstur keras dan karena hal itu dalam pengolahannya cangkang kelapa sawit ini tidak diolah menjadi minyak dan hanya menjadi limbah buangan dari industri. Pemanfaatan cangkang kelapa sawit ini belum optimal jika melihat potensinya yang cukup besar. Pada tahun 2004, pengolahan 53,762 juta ton tandan buah segar kelapa sawit menjadi CPO menghasilkan limbah berupa cangkang dan serat yang cukup besar, yaitu 10,215 juta ton. Selain itu cangkang kelapa sawit merupakan limbah pertanian yang cocok dijadikan biobriket karena nilai kalor cangkang lebih tinggi jika di briketkan daripada cangkang kelapa sawit dibakar langsung sebagai bahan bakar boiler. (Aziz et al., 2019)

Info Makalah:

Dikirim : 03-14-22;

Revisi 1 : 07-08-22;

Revisi 2 : 01-03-23;

Diterima : 01-25-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-813-6670-5290

e-mail : alfernandooki@unja.ac.id

Briket bioarang yang berasal dari limbah memiliki potensi besar untuk diproses menjadi bahan bakar alternatif yaitu bahan bakar padat. Material bahan baku yang melimpah menjadikan biobriket sangat potensial dikembangkan di berbagai daerah yang penduduknya masih jarang dan memiliki topografi daerah yang sulit dijangkau jalur pendistribusian dari bahan bakar milik pemerintah. (Fitriana & Febrina, 2021) (Silvia & Maulina, 2017)

Pada umumnya, biomassa mempunyai kerapatan rendah, berukuran tidak seragam, memiliki sifat higroskopis atau mudah menyerap air, sulit pada penanganan, penyimpanan dan transportasi. Densifikasi merupakan salah satu cara yang dapat dipakai untuk mengatasinya dimana densifikasi sendiri merupakan teknik konversi biomassa untuk menghasilkan bahan bakar pelet/briket untuk menaikkan density yang diharapkan dapat memudahkan pada penanganan, penyimpanan dan transportasi. Pelet/briket yang didapatkan memiliki kandungan karbon, memiliki nilai kalori tinggi dan bisa menyala atau bertahan pada waktu yang relatif lama. Proses yang digunakan dengan memanaskan biomassa tanpa adanya udara atau sedikit udara. (Fitriana & Febrina, 2021)

Namun pelet/briket yang diperoleh biasanya memiliki densitas energi (jumlah kalor per massa) yang rendah, nilai kalor yang rendah, dan kadar air yang tinggi. Oleh karena itu perlu menggunakan proses termal untuk meningkatkan kualitas pelet/briket, salah satu proses termal yang dapat digunakan adalah torefaksi. Torefaksi merupakan bagian dari proses pirolisis dimana proses termal terjadi pada rentang 200-350°C didalam tanpa adanya udara atau sedikit udara, biasanya proses ini hanya menghasilkan produk berupa padatan. Proses thermal ini memerlukan konsumsi energi yang relatif rendah. (Syamsiro, 2016) (Bridgeman et al., 2008)(Gede Suastika, 2019)(Suganal & Hudaya, 2019)(Pestaño & Jose, 2016)(Zen et al., 2019)

Proses torefaksi mengubah komposisi kimia hidrokarbon atau dekomposisi termal fraksi hemiselulosa menjadi komponen volatil, yang selanjutnya menurunkan kadar O/C dan H/C, sehingga meningkatkan kandungan karbon cangkang sawit. Hal ini dapat meningkatkan nilai kalor sabut kelapa sawit, namun komponen energi dari bahan tersebut dapat hilang atau berkurang akibat torefaksi dalam jangka waktu yang lama. (Gede Suastika, 2019) (Lubwama et al., 2020)(Rani et al., 2020)(Azhar & Rustamaji, 2012)

Pembuatan briket membutuhkan arang sebagai bahan baku dan perekat untuk memperbaiki sifat fisik briket yang dihasilkan. Penambahan komposisi perekat yang tepat pada proses pembuatan briket dapat meningkatkan nilai kalori briket yang dihasilkan. Jenis perekat yang digunakan dapat mempengaruhi parameter mutu briket seperti berat jenis, kuat tekan, nilai kalor bahan bakar, kadar air dan kadar abu briket. Pembuatan pelet/briket membutuhkan penambahan perekat yang dirancang agar partikel arang tetap menyatu, tidak mudah hancur, dan mudah dibentuk. Jumlah perekat yang digunakan dalam produksi biobriket harus diperhitungkan, karena semakin banyak perekat yang digunakan dalam produksi biobriket, semakin banyak asap yang dihasilkan saat pembakaran biobriket. Sebaliknya jika jumlah perekat yang digunakan terlalu sedikit maka briket yang dihasilkan akan menjadi rapuh dan mudah hancur. Kelemahan lain dari briket adalah sulit terbakar karena kerapatan briket pada awal pembakaran. Ada dua jenis perekat yang digunakan untuk membuat briket, yaitu perekat asap seperti ter, tanah liat dan tetes tebu dan perekat asap rendah seperti tepung kanji, dekstrin dan tepung beras. (Nuwa & Prihanika, 2018) (Aziz et al., 2019)(Wicaksono & Nurhatika, 2019)(Dewi & Kholik, 2019)(Anizar et al., 2020)(Pane et al., 2015)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara waktu torefaksi dari biomassa limbah cangkang kelapa sawit terhadap kualitas produk bahan bakar padat/biobriket yang dihasilkan dan rendemen serta lamanya waktu bakar dari produk tersebut.

2. Metode

Variabel bebas pada penelitian ini berupa waktu proses torefaksi yang dimulai pada 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, dan 90 menit. Pada penelitian ini variabel terikat adalah pengujian kadar air, kadar zat terbang, nilai *fixed carbon* (karbon tetap), waktu bakar, dan rendemen produk yang dihasilkan. Variabel terikat memberikan gambaran kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan. Variabel tetap pada penelitian ini adalah temperatur torefaksi yaitu 275°C untuk mendapatkan produk biobriket yang diinginkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap ini dimulai dari pencucian dan pengeringan cangkang kelapa sawit yang didapat dari pabrik lokal, kemudian cangkang kelapa sawit dihaluskan lalu diayak dengan ukuran 30 mesh sedangkan tepung tapioka dibeli dari pemasok lokal. Gambar cangkang sawit dapat dilihat dibawah ini.

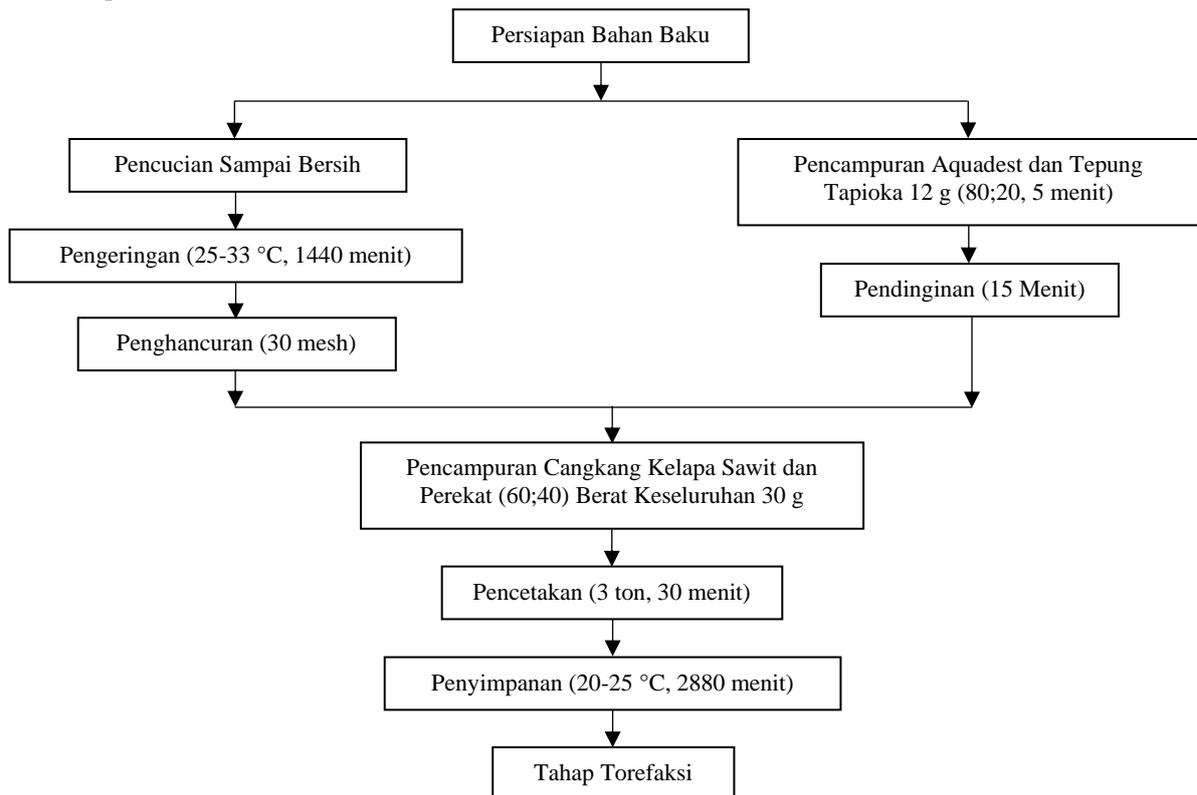


Gambar 1. Sampel Cangkang Kelapa Sawit.

2.2. Tahap Pembuatan Perekat dan Biobriket

Proses awalan tahap ini adalah pembuatan bahan perekat, untuk membuat bahan pengikat atau perekat aquadest dan tepung tapioka dicampur dengan perbandingan berat 80:20 dengan jumlah keseluruhan 12 g di dalam *breaker glass* diaduk hingga tercampur rata. Campuran tepung dan air kemudian dipanaskan diatas *hotplate* hingga larutan mengental dan terjadi perubahan warna dari yang putih menjadi bening. Perekat yang sudah membentuk gelatin didinginkan sebelum dicampur dengan cangkang kelapa sawit yang sudah dihaluskan.

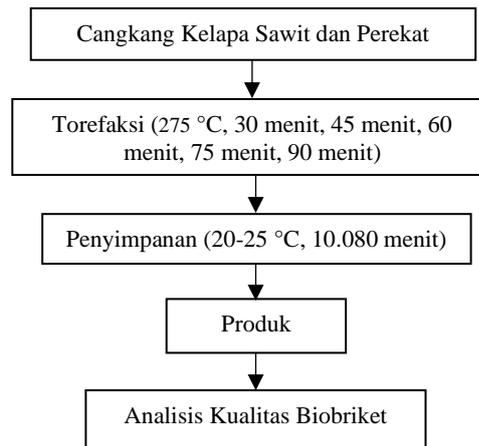
Pada proses kedua cangkang kelapa sawit yang telah dihaluskan dicampur dengan perekat, perbandingan 60:40 dengan berat keseluruhan bahan 30 g menggunakan *mixer* sampai homogen. Setelah semua bahan tercampur rata atau homogen, campuran cangkang dan perekat dimasukkan perlahan-lahan ke dalam cetakan dengan diameter silinder kira-kira 2-3 cm, kemudian di cetak dengan tekanan 3 ton selama 30 menit. Briket yang sudah dicetak kemudian disimpan dalam suhu ruang selama 2 hari guna mencapai stabilitas briket. Berikut adalah diagram alir tahap pembuatan perekat dan biobriket.



Gambar 2. Diagram Alir Persiapan dan Pembuatan Perekat dan Biobriket.

2.3. Tahap Torefaksi Biobriket

Dalam penelitian ini proses torefaksi dilakukan dalam *furnace*, briket di torefaksi dengan suhu 275 °C. Awalnya biobriket dimasukkan ke dalam kurs porselin dan tutup, kemudian tutup *furnace* secara rapat. Selanjutnya briket dipanaskan sesuai dengan variasi waktu torefaksi yang diinginkan selama 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit dan 90 menit. Setelah selesai, briket dikeluarkan dari *furnace* dan disimpan dalam suhu ruang selama seminggu untuk memastikan stabilitas dan kekakuan. Berikut adalah diagram alir tahap torefaksi biobriket.



Gambar 3. Diagram Alir Torefaksi Biobriket.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dianalisis sesuai dengan SNI 06-3730-1995 seperti *proximate*, nilai kalor, waktu bakar, waktu mendidihkan air dan *yield*. Hasil pengujian kualitas *biobriket* cangkang kelapa sawit yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1. Data hasil penelitian yang didapatkan selanjutnya dibandingkan dengan data standar kualitas biobriket SNI 01-6235-2000 pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Analisis Biobriket Cangkang Kelapa Sawit.

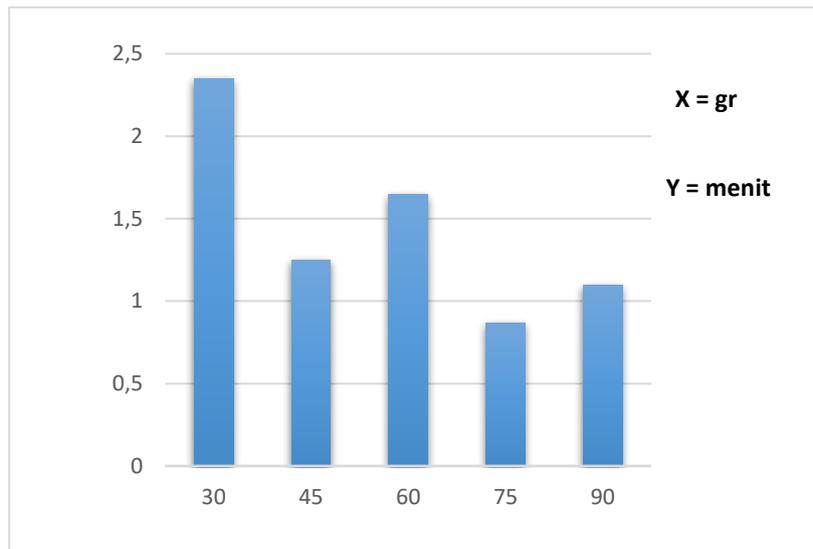
Waktu (Menit)	Parameter yang dianalisis						
	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Karbon Terikat (%)	Waktu Bakar (s)	Yield (%)	CV (Kcal/kg)
30	2,35	4,33	47,0883	46,23	1032	56,28	-
45	1,25	5,04	36,8693	56,83	1095	49,45	-
60	1,65	2,49	29,5525	66,31	1153,8	45,25	-
75	0,87	2,38	18,231	78,51	1293,6	36,32	5964
90	1,10	2,39	26,8442	69,66	120752	34,04	-

Tabel 2. Standar Mutu Briket Biomassa.

Sifat Briket	Permen ESDM No. 47 Tahun 2006	SNI No.1/6235 /2000	Jepang	Inggris	USA
Kadar Air (%)	≤ 15	≤ 8	6-	3-4	6
Kadar Abu (%)	≥ 10	≤ 8	5-7	8-10	6
Kadar Zat Terbang (%)	Sesuai Bahan Baku	≤ 15	15-30	16,4	19-28
Karbon Terikat (%)	Sesuai Bahan Baku	≥ 77	60-80	75	60
Nilai Kalor (Kcal/kg)	4400	≥ 5000	5000-6000	5870	4000-6500

3.1. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Kadar Air (*Moisture*) Biobriket

Kadar air merupakan parameter atau bagian penting yang harus diuji untuk menentukan kualitas biobriket. Kandungan airnya harus serendah mungkin, agar nilai kalornya tinggi dan mudah terbakar. Dari hasil analisis biobriket yang diberi perlakuan perubahan suhu, didapatkan kadar air terendah diamati pada waktu torefaksi 75 menit yaitu sebesar 0,86%, sedangkan kadar air tertinggi diamati pada periode 30 menit yaitu 2,35%, terlihat bahwa semua sampel memenuhi standar SNI yaitu kandungan air maksimum 8%.



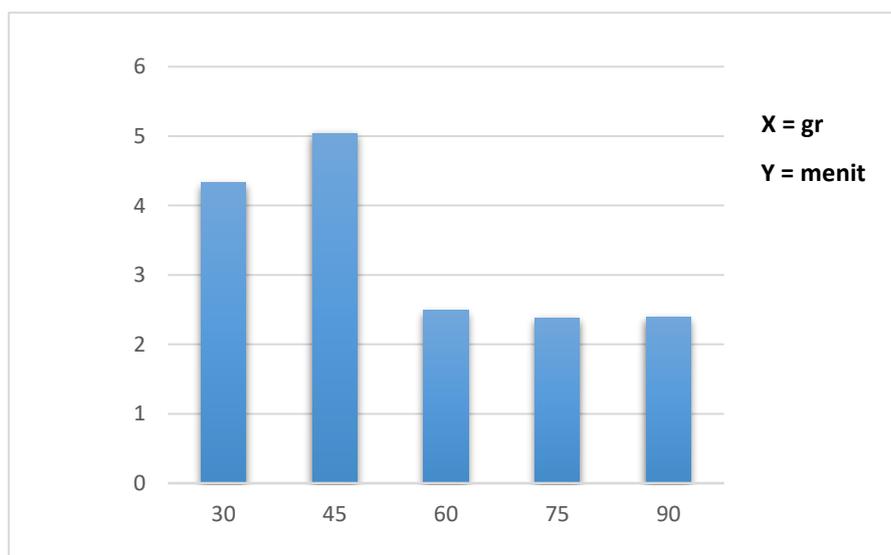
Gambar 4. Grafik Pengaruh dari Waktu Temperatur terhadap Kadar Air (*Moisture*) Biobriket.

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa biobriket hasil torefaksi pada waktu 90 menit memiliki kandungan air yang paling rendah, hal ini dikarenakan semakin lama waktu kemampuan menguapkan air lebih banyak. Sehingga biobriket yang dihasilkan kering dan kandungan air lebih rendah dari pada waktu 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit. Terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka kadar airnya semakin rendah. Kadar air biobriket bervariasi karena aksi yang tidak seragam dari campuran perekat tepung tapioka dan air dalam campuran biobriket selama pencampuran, menghasilkan perbedaan penyerapan dalam sampel biobriket. Pada literatur lain juga dijelaskan bahwa rendemen dan kualitas asap cair dipengaruhi oleh kadar air bahan baku.

Menurut Maulina (2017), hal ini juga dapat disebabkan karena semakin lama torefaksi, bahan baku semakin terurai karena lama waktu kontak panas dengan bahan baku. Namun, juga diamati bahwa data menurun seiring bertambahnya waktu. Penurunan kinerja disebabkan oleh kehilangan bobot yang lebih besar pada suhu tinggi dan dalam jangka waktu yang lebih lama.

3.2. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Kadar Abu (*Ash*) Biobriket

Kadar abu juga merupakan parameter penting yang harus diuji untuk mengetahui kualitas biobriket di bawah pengaruh fluktuasi suhu tertentu, yaitu 30-90 menit.



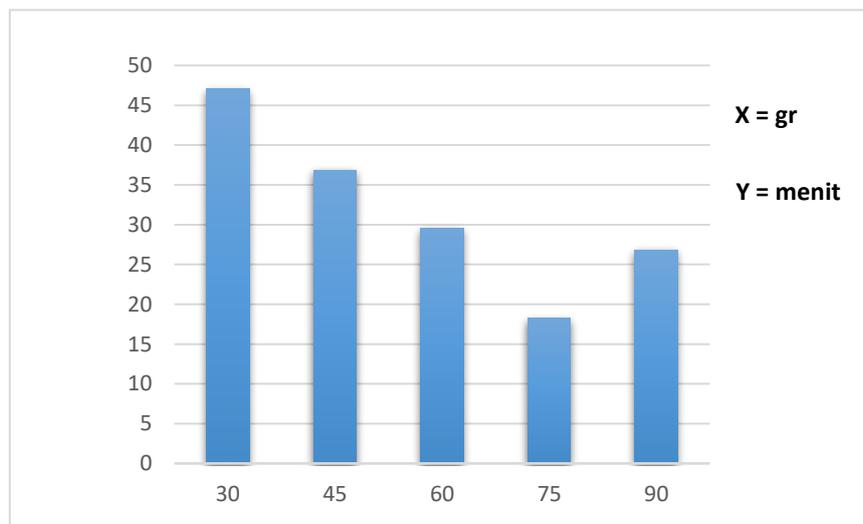
Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Kadar Abu (*Ash*) Biobriket.

Pada gambar diatas ditampilkan bahwa kadar abu terendah pada waktu torefaksi 75 menit sebesar 2,38%, sedangkan kadar abu tertinggi pada waktu torefaksi 30 menit sebesar 4,33% terlihat masih di bawah standar SNI 01-6235-2000. Standar yang digunakan adalah $\leq 8\%$. Tingginya kadar abu dipengaruhi oleh konsentrasi pengotor pada

bahan baku, sehingga kandungan mineral biomassa menjadi cukup tinggi dan banyak sisa abu yang diinsinerasi di dalam insinerator. Dipercayai bahwa kandungan abu yang tinggi dari biobriket kaya akan garam karbon kalium, kalsium, magnesium, dan silika. (Ristianingsih et al., 2015) (Wibowo Kurniawan, 2019)

3.3. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*) Biobriket

Kadar Zat terbang juga menjadi parameter penting yang harus diuji guna mengetahui kualitas biobriket dari pengaruh temperatur yang telah ditentukan yakni waktu 30-90 menit. Pada penelitian ini kadar zat terbang yang terendah yaitu pada waktu torefaksi 75 menit yaitu sebesar 18,23% sedangkan kadar zat terbang tertinggi terdapat pada waktu torefaksi 30 menit yakni sebesar 47,08%. Semua sampel belum memenuhi standar SNI untuk briket biomassa yakni kadar zat terbang maksimal 15%. Kadar zat terbang yang dihasilkan tidak sesuai harapan dimana pada penelitian ini diharapkan kadar zat terbang rendah. Tingginya kadar zat terbang dikarenakan bahan baku yang berupa cangkang kelapa sawit memiliki kandungan zat terbang sebesar 69,5%.

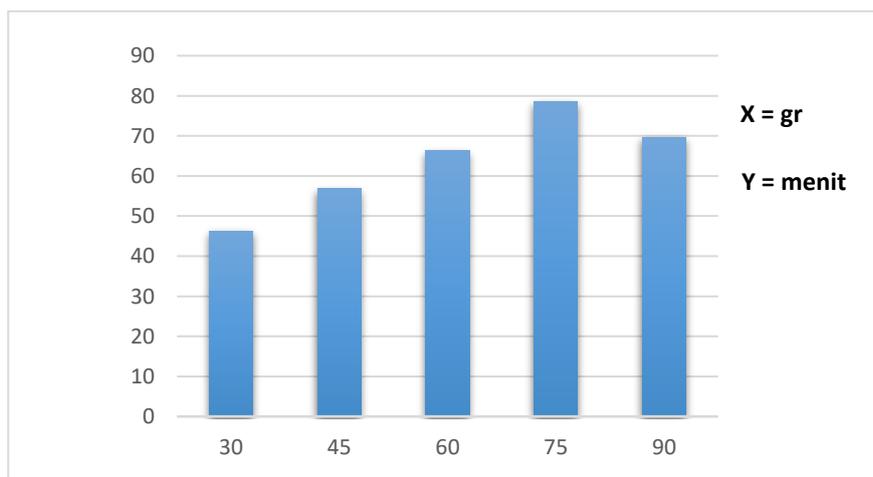


Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Torefaksi terhadap Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*) Biobriket.

Menurut Ristianingsih (2015), tingginya kandungan komponen volatil pada biobriket biomassa menyebabkan banyak asap pada saat biobriket dinyalakan yang tidak baik bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Konsentrasi zat volatil juga dapat dipengaruhi oleh waktu dan temperatur proses pengarangan, semakin tinggi temperatur dan waktu pengarangan maka semakin banyak zat volatil yang terbuang, sehingga pada saat pengujian diperoleh konsentrasi zat volatil yang rendah. Selain itu, karena sebagian bahan baku tidak melalui proses karbonisasi, jumlah volatil yang dihasilkan lebih banyak, sehingga jumlah volatil yang dihasilkan relatif lebih banyak dan menimbulkan banyak asap. (Ristianingsih et al., 2015) (Wibowo Kurniawan, 2019) (Rani et al., 2020)

3.4. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Nilai *Fixed Carbon* Biobriket

Nilai *Fixed Carbon* menjadi parameter penting yang harus diuji guna mengetahui kualitas biobriket dari pengaruh variasi waktu torefaksi yang telah ditentukan yakni waktu 30-90 menit. Kadar karbon tetap (*fixed carbon*) menunjukkan banyaknya unsur karbon yang tertahan atau terkandung dalam briket dan berpengaruh terhadap komponen volatil dan waktu torefaksi.

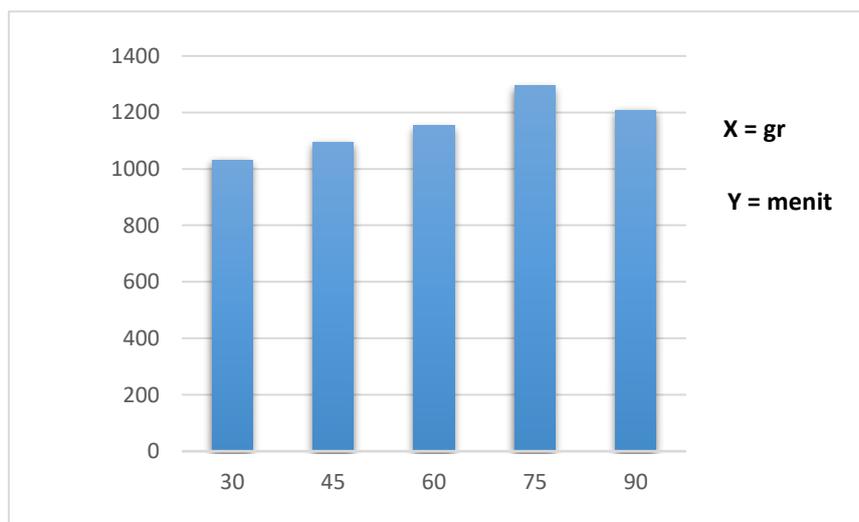


Gambar 7. Grafik Pengaruh Waktu Torefaksi terhadap Nilai *Fixed Carbon*.

Dapat dilihat pada gambar 7 nilai *fixed carbon* terendah pada waktu 30 menit sebesar 46,22% sedangkan nilai *fixed karbon* tertinggi pada waktu 75 menit sebesar 78,51%. Kandungan karbon terikat menunjukkan jumlah karbon yang terikat pada biobriket, yang mempengaruhi komponen volatil dan waktu torefaksi.

3.5. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Waktu Bakar Biobriket

Lama waktu bakar juga menjadi parameter penting yang harus diuji guna mengetahui kualitas biobriket dari pengaruh variasi waktu yang telah ditentukan yaitu waktu 30-90 menit. Dibawah ini dapat dilihat dari tabel pengaruh variasi waktu terhadap waktu bakar biobriket.

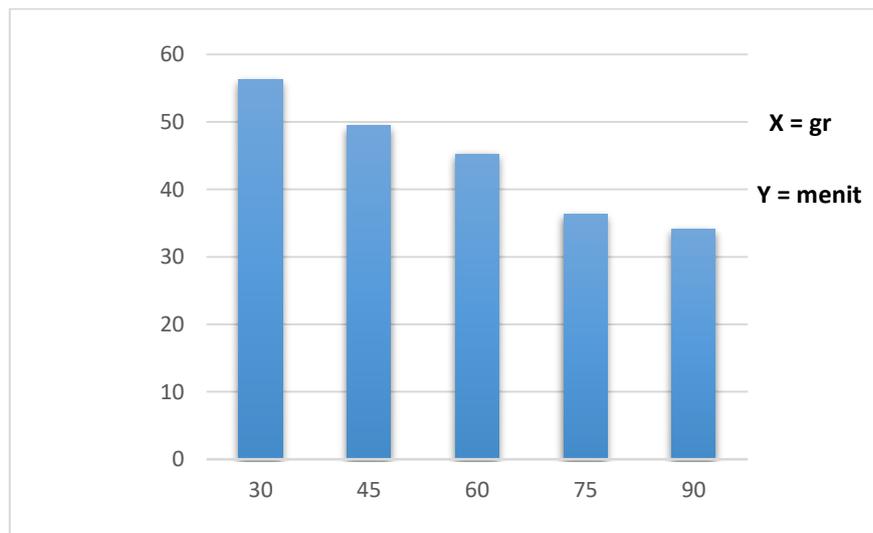


Gambar 8. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Waktu Bakar Biobriket.

Pada Gambar 8 di atas, waktu pembakaran maksimum adalah 75 menit, yang menyala selama 1293,6 detik, dan waktu pembakaran rendah adalah 30 menit selama 1032 detik. Semakin lama waktu pembakaran, semakin baik kualitas dan efisiensi pembakarannya. Waktu pembakaran sangat mempengaruhi kadar air. Semakin rendah kadar air maka semakin tinggi nilai kalor dan efisiensi pembakarannya, dan sebaliknya semakin tinggi kadar airnya maka semakin rendah nilai kalor dan efisiensi pembakarannya.

Waktu pembakaran briket arang tergantung pada berat briket, yaitu semakin besar ukuran dan berat briket maka semakin lama briket tersebut terbakar. Karena geometri material ditentukan oleh sudut dan garis yang menyusunnya. Semakin sedikit sudut dan garis yang terbentuk, maka luas permukaan semakin besar dan kecepatan pembakaran semakin cepat karena udara yang berperan sebagai energi selama proses pembakaran diserap lebih cepat dan sebaliknya. (Ristianingsih et al., 2015) (Wibowo Kurniawan, 2019) (Suryaningsih & Pahleva, 2020) (Vianney & Tera, 2017).

3.6. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Persen Yield Biobriket



Gambar 9. Grafik Pengaruh Waktu Torefaksi terhadap Persen Yield Biobriket.

Pada gambar 9 ditampilkan bahwa persen yield tertinggi pada waktu 30 menit sebesar 56,2831% dan yang terendah pada waktu 90 menit sebesar 34,0440%. Waktu mempengaruhi komposisi produk torefaksi. Semakin lama torefaksi, semakin kecil jumlah biobriket karbon dihasilkan (Ristianingsih et al., 2015) (Wibowo Kurniawan, 2019). Menurut Muhammad Zen dkk (2019) persen yield menurun seiring dengan meningkatnya waktu torefaksi. Hal ini dikarenakan hemiselulosa yang terdegradasi pada rentang suhu dan waktu torefaksi diikuti dengan selulosa dan lignin yang terdegradasi secara bertahap. Semakin lama waktu torefaksi maka akan semakin banyak lignin yang terdegradasi. (Zen et al., 2019)

3.7. Pengaruh Variasi Waktu Torefaksi terhadap Nilai Kalor Biobriket

Pada penelitian berdasarkan uji proksimat dan uji waktu bakar yang telah dilakukan, maka dilakukan uji nilai kalor pada satu sampel, yaitu pada waktu 75 menit sebagai parameter tambahan uji kualitas biobriket yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil Uji Nilai Kalor.

Parameter	Nilai Kalor (Kcal/Kg)
SNI 01-6235-2000	≥ 5000
Cangkang Sawit	4498
Biobriket	5964

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai kalor biobriket yang didapat sudah memenuhi SNI No. 1-6235-2000 yaitu sebesar 5965 Kcal/kg. Semakin rendah kadar air dan abu biobriket maka semakin rendah pula nilai kalor biobriket tersebut. Selain itu, nilai kalor juga dipengaruhi oleh jumlah karbon terikat pada biobriket yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan karbon terikat, semakin tinggi nilai kalor biobriket. Nilai kalori menentukan kualitas biobriket yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kalori maka semakin tinggi kualitas biobriket yang dihasilkan. Tinggi rendahnya nilai kalor biobriket dipengaruhi oleh jumlah karbon yang terikat. (Wibowo Kurniawan, 2019) (Ristianingsih et al., 2015)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian biobriket yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu maka kualitas biobriket semakin baik. Biobriket yang paling baik kualitasnya adalah pada waktu 75 menit dengan kadar air 0,86%, kadar abu 2,38%, kadar zat yang hilang 18,23% dan nilai *fixed carbon* 78,51%. Nilai kadar zat yang hilang (bobot sampel yang berkurang) pada semua sampel tidak ada yang sesuai standar SNI-01-6235-2000, hasil nilai zat yang hilang yang paling rendah adalah pada waktu 75 menit yaitu sebesar 18,23%. Semakin lama waktu maka % yield bahan baku biobriket yang dihasilkan semakin menurun atau semakin kecil. Didapat % yield yang paling rendah pada waktu 90 menit sebesar 34,04% dan yang paling besar pada waktu 30 menit sebesar 56,28%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih PT. Perkebunan Nusantara IV Bunut, Muaro Jambi yang telah bersedia mendukung kegiatan penelitian terutama dalam ketersediaan bahan baku dan Universitas Jambi.

Daftar Pustaka

- , N., Sari, N. M., & Mahdie, M. F. (2021). Pengaruh Persentase Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(2), 324. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i2.3343>
- Allo, J. S. T., Setiawan, A., & Sanjaya, A. S. (2018). Pemanfaatan Sekam Padi untuk Pembuatan Biobriket Menggunakan Metode Pirolisa. *Jurnal Chemurgy*, 2(1), 17. <https://doi.org/10.30872/cmg.v2i1.1633>
- Anizar, H., Sribudiani, E., & Somadona, S. (2020). Pengaruh Bahan Perekat Tapioka Dan Sagu Terhadap Kualitas keBriket Arang Kulit Buah Nipah. *Perennial*, 16(1), 11–17. <http://dx.doi.org/10.24259/perennial.v16i1.9159>
- Arbi, Y., & Irsad, M. (2018). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Menjadi Briket Arang Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Sains Dan Teknologi Sttind Padang*, 5(4), 1–9.
- Ayuningtyas, E., & Aridito, M. N. (2020). Studi Karakteristikproses Pirolisis Dan Arang Dari Briket Serbuk Kayu Dengan Variasi Laju Pemanasan Menggunakan Metode Pirolisis Single Rocket Stove. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 19(1), 1–14. <https://doi.org/10.37412/jrl.v19i1.12>
- Azhar, & Rustamaji, H. (2012). Bahan Bakar Padat dari Biomassa Bambu dengan Proses Torefaksi dan Densifikasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 3(2), 26–29.
- Aziz, M. R., Siregar, A. L., Rantawi, A. B., & Rahardja, I. B. (2019). Pengaruh Jenis Perekat pada Briket Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Waktu Bakar. *Jurnal Umj*, 04, 1–10.
- Bridgeman, T. G., Jones, J. M., Shield, I., & Williams, P. T. (2008). Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. *Fuel*, 87, 844–856. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.041>
- Dewi, R. P., & Kholik, M. (2019). Pengaruh Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket Arang Campuran Serbuk Gergaji Dan Tempurung Kelapa. *Jurnal SIMETRIS*, 10(2), 713–716.
- Fitriana, W., & Febrina, W. (2021). Analisis Potensi Briket Bio-Arang Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(2), 147. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v10i2.147-154>
- Gde Suastika. (2019). Proses Torefaksi Untuk Meningkatkan Nilai Kalor Cangkang Sawit dengan Metode COMB. *Risalah Fisika*, 3(2), 47–50. <https://doi.org/10.35895/rf.v3i2.159>
- Granado, M. P. P., Suhogusoff, Y. V. M., Santos, L. R. O., Yamaji, F. M., & De Conti, A. C. (2021). Effects of pressure densification on strength and properties of cassava waste briquettes. *Renewable Energy*, 167, 306–312. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.11.087>
- Lubwama, M., Yiga, V. A., Muhairwe, F., & Kihedu, J. (2020). Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources. *Renewable Energy*, 148, 1002–1016. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.10.085>
- Nuwa, N., & Prihanika, P. (2018). Tepung Tapioka Sebagai Perekat Dalam Pembuatan Arang Briket. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 34–38. <https://doi.org/10.33084/pengabdianmu.v3i1.26>
- Pane, J., Junary, E., & Herlina, N. (2015). PENGARUH KONSENTRASI PEREKAT TEPUNG TAPIOKA DAN PENAMBAHAN KAPUR DALAM PEMBUATAN BRIKET ARANG BERBAHAN BAKU PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4, 32–38. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i2.1468>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 5(2), 88–92.
- Pestaño, L. D. B., & Jose, W. I. (2016). Production of Solid Fuel by Torrefaction Using Coconut Leaves As Renewable Biomass. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(3), 187–197. <https://doi.org/10.14710/ijred.5.3.187-197>
- Pujasakti, D., & Widayat, W. (2018). Karakteristik Briket Cetak Panas Berbahan Kayu Sengon Dengan Penambahan Arang Tempurung Kelapa. *Saintekno : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(1), 21–32.
- Rahaman, S. A., & Salam, P. A. (2017). Characterization of cold densified rice straw briquettes and the potential use of sawdust as binder. *Fuel Processing Technology*, 158, 9–19. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2016.12.008>
- Rani, I. T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., & Hasanudin, U. (2020). Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v9i1.63-70>
- Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri, R. (2015). Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan. *Jurnal Konversi*, 4(2), 16–21.
- Silia, F., & Maulina, S. (2017). Pengaruh Suhu, Waktu, Dan Kadar Air Pada Pirolisis Pelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 14–18.
- Siwi, H., Sirun, A., & Arungpadang, T. A. R. (2017). Prosiding Seminar Nasional Briket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Enceng Gondok Hasil Pirolisis. *Rekayasa Proses Industri Kimia*, 1, 2580–6572.
- Song, X., Zhang, S., Wu, Y., & Cao, Z. (2020). Investigation on the properties of the bio-briquette fuel prepared from hydrothermal pretreated cotton stalk and wood sawdust. *Renewable Energy*, 151, 184–191. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.11.003>
- Suganal, S., & Hudaya, G. K. (2019). Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk

- briket (Skala laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(1), 31–48. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.971>
- Suryaningsih, S., & Pahleva, D. R. (2020). Analisis Kualitas Briket Tandan Kosong Dan Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polythelene (LDPE) sebagai Bahan Bakar *Jurnal Material Dan Energi ...*, 10(01), 27–35. <http://jurnal.unpad.ac.id/jmei/article/view/31867>
- Syamsiro, M. (2016). Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Torrefaksi. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(1), 7–13.
- Wibowo Kurniawan, E. (2019). Studi Karakteristik Briket Tempurung Kelapa dengan Berbagai Jenis Perekat Briket. *Buletin Loupe*, 15(01), 7. <https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v15i01.24>
- Wicaksono, W. R., & Nurhatika, S. (2019). Variasi Komposisi Bahan pada Pembuatan Briket Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) dan Limbah Biji Kelor (*Moringa oleifera*). *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37231>
- Wijaya AK, A. A., Yulianti, N. L., & Putu Gunadnya, I. B. (2021). Karakteristik Briket Biomassa dari Variasi Bahan Baku dan Persentase Perekat yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 9(2), 202. <https://doi.org/10.24843/jbeta.2021.v09.i02.p07>
- Zen, M., Helwani, Z., & Komalasari. (2019). Bahan Bakar Padat dari Tandan Kosong Sawit Menggunakan Proses Torefaksi dengan Variasi Suhu dan Waktu Torefaksi. *Jom Fteknik*, 6(1), 1–5.

Kajian Penggunaan Profil *Pultruded Fiber Reinforced Polymer* untuk Jembatan Pejalan Kaki

Muhammad Iqbal

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

muhammad.iqbal@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Minat pada material komposit telah meningkat secara signifikan karena rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi. Perencanaan struktur menggunakan material dasar *FRP* belum populer di Indonesia, penggunaannya masih didominasi untuk perkuatan elemen struktur. Kajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran desain menggunakan profil hipotesis persegi berongga dengan dimensi 150.130.10 pada jembatan bentang tunggal dengan variasi panjang bentang 12, 16, 20, dan 24 meter. Metode yang digunakan mengacu pada kriteria desain *AASHTO* berupa defleksi, vibrasi, serta tegangan ijin komponen. Hasil kajian menunjukkan dipenuhinya seluruh kriteria desain pada bentang 12 meter. Karena tidak cukupnya kekakuan jembatan pada bentang 20 dan 24 meter frekuensi fundamental vertikal masing-masing bernilai 4,33 Hz dan 3,3 Hz sehingga syarat ($> 5\text{Hz}$) tidak terpenuhi. Selain itu, kapasitas tekan kritis sumbu lemah profil *FRP* (68,95 kN) tidak dapat menahan beban kritis pada bentang 16, 20, dan 24 meter (masing-masing: 97,91 kN; 144,39 kN; 185,36 kN). Kajian ini menunjukkan bahwa respon dinamis dan pemilihan karakteristik material *FRP* adalah dua hal yang mungkin menjadi faktor penentu desain jembatan *FRP* pejalan kaki.

Kata kunci: material maju, profil *FRP* terpultrusi, jembatan pejalan kaki

Abstract

The interest in composite materials has increased significantly due to their high strength to weight ratio. Utilization of *FRP* as construction material is not yet popular in Indonesia as it's generally used for strengthening structural elements. This study aims to provide a design overview of a hypothetical hollow square profile 150.130.10 on a single span bridge with 12, 16, 20 and 24 meters span length variations. The method refers to the *AASHTO* design criteria in the form of deflection, vibration, and component allowable stress. The results show that all design criteria on a 12 meters span are fulfilled. Due to insufficient bridge stiffness in 20 and 24 meters span, the vertical fundamental frequency is 4.33 Hz and 3.3 Hz respectively, thus the requirements ($> 5\text{Hz}$) are not fulfilled. In addition, the *FRP* profile weak axis critical compressive capacity (68.95 kN) cannot withstand the critical load at spans of 16, 20 and 24 meters (respectively: 97.91 kN; 144.39 kN; 185.36 kN). This study shows that dynamic responses and material characteristics are two factors that may determine pedestrian *FRP* bridges design.

Keywords: advance material, pultruded *FRP* profile, pedestrian bridge

1. Pendahuluan

Struktur yang didesain dengan stabilitas dan daya tahan yang kuat menggunakan material maju dan berkelanjutan merupakan tantangan dalam Teknik Sipil (Amran et al., 2018). Jembatan penyeberangan biasanya dibangun menggunakan material beton, kayu, atau logam. Namun, kemajuan dalam teknologi pembuatan material telah menghasilkan ketersediaan bahan konstruksi alternatif yaitu polimer yang diperkuat serat atau biasa disebut *FRP* (*fiber reinforced polymer*). Penggunaan material *FRP* pada infrastruktur khususnya jembatan masih belum berkembang di Indonesia. Penggunaan bahan *FRP* biasanya banyak ditemui pada perkuatan gelagar atau kolom beton (Kim, 2019) (Nandhini et al., 2020), berupa lembaran yang diaplikasikan pada elemen yang diperkuat menggunakan *epoxy* sebagai perekat seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Komposit *FRP* merupakan salah satu material yang masih diteliti dan diuji dalam upaya membuat material struktur baru yang lebih unggul dari beton bertulang dan baja karena aplikasinya yang beragam (Moy, 2013) (Zhao et al., 2020). Kajian dengan menggunakan serangkaian pengujian baik pengujian yang sifatnya fisik atau mekanik guna mengetahui dasar-dasar perencanaan beserta karakteristik bahan polimer telah banyak dilakukan (Arke et al., 2016). Disamping aspek bahan, hal lain yang menjadi tantangan dalam perencanaan struktur berbahan dasar *FRP* adalah belum adanya *code* atau pedoman perancangan komposit yang baku di Indonesia. Hal ini dikarenakan variasi tipe

Info Makalah:

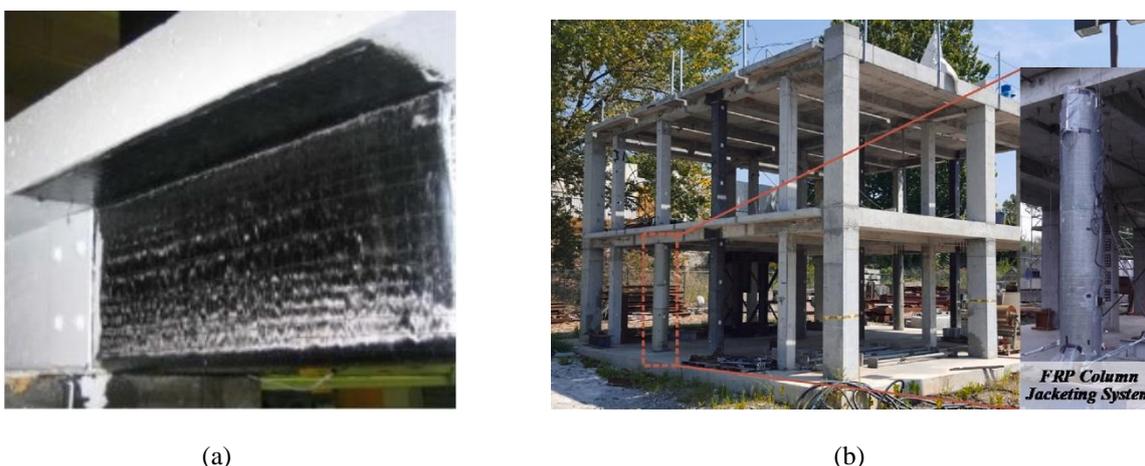
Dikirim : 11-20-22;
Revisi 1 : 01-03-23;
Revisi 2 : 01-12-23;
Revisi 3 : 01-26-23;
Diterima : 01-26-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : -
e-mail : muhammad.iqbal@lecture.unjani.ac.id

serat, arsitektur serat, matriks yang digunakan, kombinasi resin dan serat yang cukup besar sehingga sulit untuk dibuat *code* yang berlaku universal. Berbeda dengan bahan lain seperti baja atau beton yang memiliki variasi properties yang tidak terlalu besar, maka untuk *FRP* dengan perbedaan komposisi material akan memberikan perbedaan parameter desain (Riyono, A.W., 2013). Dua bahan bangunan tradisional sebelumnya terbukti tidak mampu memberikan ketahanan terhadap korosi, *fatigue*, kepadatan rendah, dan rasio kekuatan-

terhadap-berat yang tinggi yang dimiliki oleh komponen *FRP* (Li, Y. F. et al., 2013). Didorong oleh keadaan tersebut, dari hasil penelitian diketahui bahwa *FRP* menawarkan sifat yang lebih unggul (Lee & Jain, 2009)(Dahatre, 2019). Salah satu keunggulannya adalah kepadatannya yang rendah sehingga memiliki massa yang lebih kecil. Praktik hasil studi pada Tabel 3 menunjukkan rata-rata berat profil *FRP* yaitu sekitar setengah dari berat baja dan lima kali lebih ringan dari beton, artinya biaya transportasi, pengangkatan, perakitan struktur dan pondasi serta energi yang dibutuhkan dapat berkurang. Terdapat pula kelebihan dalam ketahanan yang tinggi terhadap korosi, sehingga kebutuhan pemeliharaan menjadi rendah (Smits, 2016). Dari sudut pandang volume produksi, pasar konstruksi merupakan sektor terbesar yang membutuhkan profil terpultrusi sehingga dianggap memberikan peluang yang baik di masa depan (Vedernikov et al., 2020).



Gambar 1. Perkuatan Elemen Struktur Menggunakan *FRP* ;(a) Perkuatan Gelagar (Gallal, 2016), (b) Perkuatan Kolom (Shin & Park, 2022).

Tabel 1. Perbandingan Sifat Mekanik Material *FRP* dengan Baja dan Aluminium (Smits, 2016).

Properti	Kepadatan (kg/m ³)	Modulus Young arah-x (N/mm ²)	Modulus Young arah-y (N/mm ²)	Kuat tarik/tekan arah-x (N/mm ²)	Kuat tarik/tekan arah-y (N/mm ²)
GFRP UD, V _f 50%	1.875	36.569	10.924	740	n/a
GFRP 625, V _f 50%, anisotropic lay-up (0/90/45/-45) (62,5%/12,5%/12,5%/12,5%)	1.850	27.600	15.200	33.100	182
CFRP UD, V _f 50%	1.450	120.000	60.000	1,56	n/a
Steel S355	7.850	210.000	210.000	355	355
Aluminum 6063	2.720	69.600	69.600	110	110

Metode pembuatan komponen jembatan *FRP* seperti ditunjukkan pada Gambar 2 terdiri dari pultrusi, *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM)*, dan *hand lay-up*. Pada profil *FRP* terpultrusi sifat mekanik sebagian besar mendominasi pada arah aksial, karenanya dalam hal detail, jembatan *FRP* yang dibuat dari komponen terpultrusi sangat mirip dengan jembatan baja. Profil dan lembaran terpultrusi dapat dirakit menjadi lengkungan, tiang, atau balok U seperti pada Gambar 3.

Pultrusi	VARTM	Hand Lay-up
Fiber: Glass & Kevlar Resin : Polyethylene, polyester and, isophthalic	Fiber: Glass & Carbon Resin : Epoxy	Fiber: Glass Resin: Polyester

Gambar 2. Metode Pembuatan dan Material Pembentuk *FRP* (Tauqeer et al., 2021).

Dalam merancang struktur menggunakan profil FRP, hal yang perlu diperhatikan adalah pengaruh jangka panjang dari cuaca dan *fatigue* (Mendes et al., 2011), perancangan sambungan (Feroldi & Russo, 2017)(Aksoyly et al., 2022), respon dinamik jembatan (Haw Shin et al., 2019), serta perilaku tekuk elastik jembatan yang didesain (Doan & Thai, 2020).

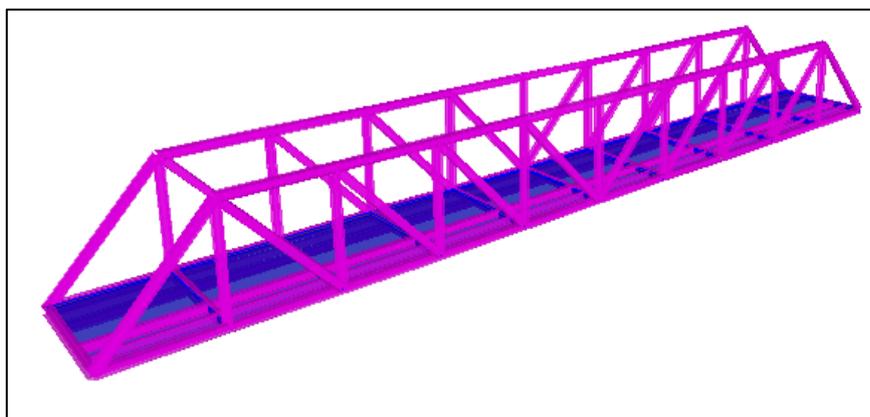


Gambar 3. Struktur Jembatan yang Menggunakan Material FRP Terpultrusi
(a) Bailey's Bay, Bermuda; (b) Lleida, Spanyol.

Pada kajian ini hanya dilakukan analisis pada struktur atas jembatan. Tujuan kajian ini untuk mengetahui besarnya defleksi, frekuensi fundamental struktur jembatan, gaya-gaya dalam profil FRP, serta kekuatan profil dalam mendesain jembatan FRP untuk pejalan kaki. Hasil kajian diharapkan juga memberikan masukan kepada instansi yang berfokus pada bidang jembatan dalam mendukung standardisasi dan penggunaan FRP sebagai alternatif material konstruksi jembatan di Indonesia.

2. Metode

Perencanaan jembatan dilakukan secara sederhana dan dilakukan generalisasi untuk menemukan model yang mewakili karakteristik jembatan. Beberapa parameter ditentukan dalam proses desain, termasuk jenis konstruksi, jumlah, dan profil penampang FRP. Tipe jembatan yang dipilih adalah jembatan rangka Tipe Pratt, ditunjukkan pada Gambar 4. Seluruh profil rangka menggunakan material FRP penampang tertutup (persegi).



Gambar 4. Perspektif Jembatan Rangka FRP.

Jembatan didesain menggunakan bentang tunggal dengan panjang bentang 12,16, 20, dan 24 meter serta memiliki lebar 2,5 meter. Jembatan didesain untuk menerima beban pejalan kaki, kendaraan untuk pemeliharaan, dan beban angin. Pemodelan pada rangka jembatan dilakukan *release* pada batang diagonal dan balok memanjang (*stringer*) jembatan. Beban gempa tergantung zona seismik spesifik dimana jembatan dibangun, sehingga beban gempa diasumsikan diabaikan. Pemeriksaan elemen struktur terhadap tekuk lokal dan global tidak dibahas karena dipengaruhi oleh distribusi tegangan yang berbeda dari setiap bentuk profil. Selain itu, analisis sambungan dan *fatigue* tidak dibahas karena dipengaruhi banyak variabel, seperti material, konfigurasi, serta dimensi sambungan dan struktur. Perencanaan komponen struktur jembatan FRP terpultrusi menggunakan pendekatan tegangan izin mengacu kepada "Guide Specifications for Design of FRP Pedestrian Bridges: First Edition, 2008" by the American Association of State Highway and Transportation Officials" (AASHTO).

A. Karakteristik Material FRP

Komponen jembatan FPR dibuat dari *E-glass* karena cenderung lebih ekonomis (El-salakawy et al., 2005). *E-glass* dibuat berkekuatan tinggi dan resin poliester isofalat kecuali ditentukan lain. Kandungan serat bahan komposit sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan yang diharapkan. Umumnya perbandingan serat terhadap resin bahan komposit adalah 50:50. Secara umum, FRP memiliki sifat anisotropi yang berarti memiliki karakteristik material yang berbeda di setiap arah sumbu yang berpengaruh pada proses desain elemen. Kekuatan material FRP dapat diketahui dengan melakukan pengujian tarik, tekan, dan lentur menggunakan sampel *dogbone*. Kekuatan dan sifat material minimum penampang FRP ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kekuatan Minimum Material Penampang FRP (AASHTO, 2008).

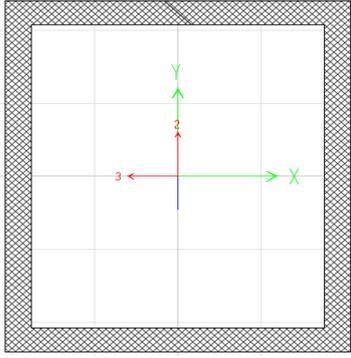
<i>Tension</i>	33.000 psi	(227,527 N/mm ²)
<i>Compression</i>	33.000 psi	(227,527 N/mm ²)
<i>Shear</i>	4.500 psi	(31,026 N/mm ²)
<i>Bending</i>	33.000 psi	(227,527 N/mm ²)
<i>Young's Modulus, x-direction</i>	2.800.000 psi	(19.305,320 N/mm ²)

Tebal profil elemen perlu diperhatikan agar elemen struktur terhindar dari kegagalan. Ketebalan minimum komponen berkisar antara 6,4 mm hingga 9,6 mm tergantung dari tipe penampang. Perilaku tekuk lokal FRP berbeda dengan logam dan material isotropik karena disertai dengan perambatan retak dan delaminasi, sehingga tekuk dapat terjadi sebelum batas kuat tercapai (Liu et al., 2019). Pemilihan penampang FRP menjadi tantangan karena variasi sifat mekanis yang tersedia sangat luas. Alternatif penentuan dimensi profil dapat diperkirakan dari inersia penampang berdasarkan batas layan akibat lendutan maksimum (L/400) seperti dicontohkan pada *Design Manual Fiberline* menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$\frac{\delta}{L} = \frac{k_{\delta M} \cdot q_k \cdot L^3}{E_0 \cdot I_{xx}} + \frac{k_{\delta V} \cdot q_k \cdot L}{G \cdot A_{k,y}} \quad (1)$$

Pada kajian ini profil rangka jembatan didesain menggunakan profil hipotesis persegi berlubang 150.130.10. Profil persegi berlubang dipilih karena diketahui relatif lebih kuat menahan tekuk lokal (Alhawamdeh et al., 2021). Karakteristik material didesain menggunakan data yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Karakteristik Material Penampang Desain.

Profil Persegi 150.130.10	
	
Modulus Young arah-x	20.000 N/mm ²
Modulus Young arah-y	10.000 N/mm ²
Modulus Geser, G	3000 N/mm ²
Angka Poisson, ν	0.2
Berat isi	18 kN/m ³
Luas bruto	5200 mm ²
Kuat Tarik, f_t	230 N/mm ²
Kuat Tekan, f_c	230 N/mm ²
Kuat Lentur, σ_b	230 N/mm ²
Kuat Geser, f_t	32 N/mm ²

B. Kriteria Pembebanan

Beban yang dipikul yaitu:

1. Beban Mati

Beban rencana yang diperhitungkan pada perencanaan jembatan ini terdiri dari beban permanen yang berasal dari berat sendiri komponen struktur maupun non struktural yang ada di dalam desain perencanaan, beban hidup, dan beban angin.

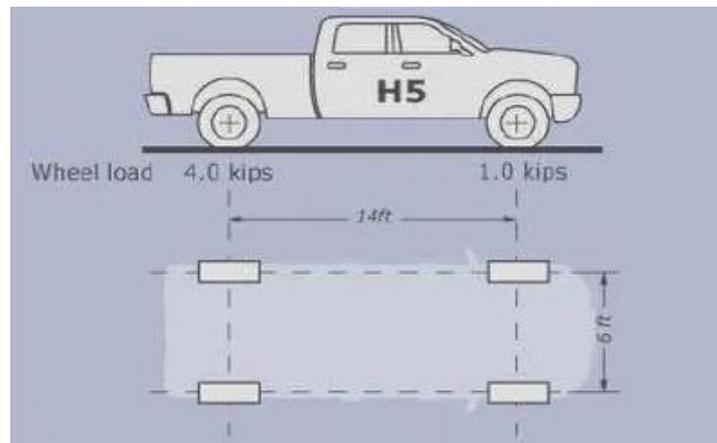
2. Beban Pejalan Kaki

Nilai besaran beban pejalan kaki untuk area jalan jembatan tergantung pada luas beban yang dipikul oleh komponen yang direncanakan. Namun tidak boleh kurang dari 65 psf (3,11 kN/m²). Jika area pengaruh dek lebih besar dari 400 kaki persegi (37,16 m²) beban pejalan kaki dapat dikurangi dengan persamaan (2).

$$w = 85 \left(0.25 + \left(15 / \sqrt{AI} \right) \right) \quad (2)$$

3. Beban Kendaraan

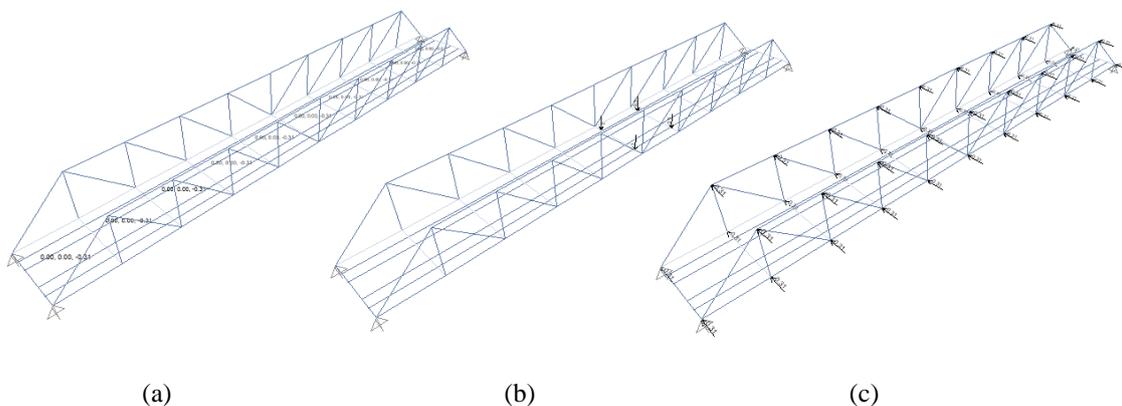
Jembatan harus didesain untuk menerima beban kendaraan pemeliharaan. Spesifikasi kendaraan untuk pemeliharaan dapat merujuk pada otoritas perhubungan setempat. Jika tidak ditentukan, beban standar Truk-H AASHTO dapat digunakan dengan memposisikan truk untuk mendapatkan beban maksimum. Untuk lebar lantai jembatan 2 hingga 3 meter digunakan Truk H-5 beban rencana dengan nilai 44,48 kN dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 5. Beban kendaraan pemeliharaan tidak dikombinasikan dengan beban pejalan kaki. Tinjauan beban dinamis tidak perlu diperhitungkan.



Gambar 5. Spesifikasi Truk H5 AASHTO.

4. Beban Angin

Beban angin diaplikasikan pada bidang proyeksi seluruh elemen bangunan atas jembatan, termasuk elemen rangka di sisi yang berlawanan dengan sisi datangnya angin. Besaran beban angin untuk struktur jembatan rangka yaitu 75 psf (3,59 kN/m²). Untuk jembatan tipe rangka terbuka, dimana angin dapat melewati sistem rangka, jembatan dapat dirancang dengan beban angin minimum sebesar 35 psf (1,68 kN/m²) terhadap bidang proyeksi bangunan atas jembatan.



Gambar 6. Input Beban (a) Beban Pejalan Kaki, (b) Beban Kendaraan, (c) Beban angin.

Tabel 4. Kombinasi Beban dan Faktor Beban.

No	Keadaan Batas	D	LL _p	LL _t	W
1	Kuat I	1,3	1,7		
2	Kuat II	1,3		1,7	
3	Kuat III	1,3			1,4
4	Layan I	1	1		
5	Layan II	1		1	
6	Layan III	1			0,3

5. Kombinasi Pembebanan

Beban desain yang bekerja seperti ditunjukkan pada Gambar 6 (a), (b), dan (c) selanjutnya dianalisis menggunakan kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi. Kombinasi yang digunakan mengacu pada SNI 1725 (2016) disajikan pada Tabel 4.

C. Kriteria Detail Desain

Parameter desain detail perlu dianalisa bertahap terhadap syarat yang berlaku. parameter desain detail ditentukan sebagai berikut.

1. Defleksi

Material *FRP* cenderung memiliki modulus elastisitas yang rendah, sehingga jembatan *FRP* cenderung berada pada tingkat tegangan yang rendah pula. Defleksi akibat beban pejalan kaki didesain tidak melebihi 1/400 dari panjang bentang.

2. Vibrasi

Potensi respon yang signifikan akibat beban dinamis dari pejalan kaki telah diakui bermasalah dalam beberapa analisis jembatan. Sehingga selain kekakuan, redaman dan massa menjadi pertimbangan untuk memastikan desain dapat diterima. Jembatan pejalan kaki *FRP* memiliki bobot yang relatif kecil karenanya frekuensi dibawah 3 Hz pada arah horizontal harus dihindari dan pada area di mana lompat dan lari dianggap terjadi di jembatan, desain harus memiliki frekuensi dasar minimum 5 Hz dalam arah vertikal untuk menghindari harmonik kedua.

3. Kelelahan (*fatigue*)

Masalah kelelahan tidak berlaku pada *FRP*. Nilai modulus elastisitas yang cenderung rendah akan menghasilkan jembatan yang memenuhi syarat layan terhadap kelelahan karena tingkat tegangan yang terjadi cenderung rendah bila dibandingkan dengan baja.

4. Tegangan izin

Perancangan tegangan izin digunakan untuk merancang seluruh elemen struktural. Kecuali ditentukan lain berdasarkan kekuatan bahan *FRP*, faktor keamanan yang digunakan dalam desain jembatan *FRP* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Faktor Keamanan Desain Elemen.

Tipe Elemen	Faktor Keamanan
Tarik	2,5
Tekan	2,5
Geser	2,5
Tekuk	2,5
Bantalan Ujung	2,5
Sambungan	2,5

Perhitungan kapasitas dilakukan berdasarkan komponen batang yang mengalami gaya maksimum. Analisis batang tarik dihitung menggunakan persamaan (3), analisis batang tekan menggunakan persamaan (4), (5), dan (6), desain tegangan geser menggunakan persamaan pada balok melintang (7), serta desain tegangan lentur menggunakan persamaan (8).

$$N_t = \frac{A_{net} \times f_{t0}}{SF} \quad (3)$$

$$F_d = \frac{A \times f_{c0}}{SF} \quad (4)$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \times E_0 \times I}{A \times L_K^2} \quad (5)$$

$$N_{cr} = \frac{F_d}{1 + \frac{F_d}{N_{el}}} \quad (6)$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{A} \quad (7)$$

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{S} \quad (8)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis struktur disajikan dalam nilai maksimum akibat kombinasi pembebanan yang diberikan, baik dalam kondisi layan maupun kuat. Analisis struktur meliputi parameter seperti defleksi, frekuensi fundamental, dan gaya-gaya dalam untuk menganalisis batang tarik dan tekan.

3.1 Defleksi

Lendutan dihitung pada kondisi pembebanan layan akibat beban pejalan kaki sepanjang jembatan dan satu unit kendaraan pemeliharaan.

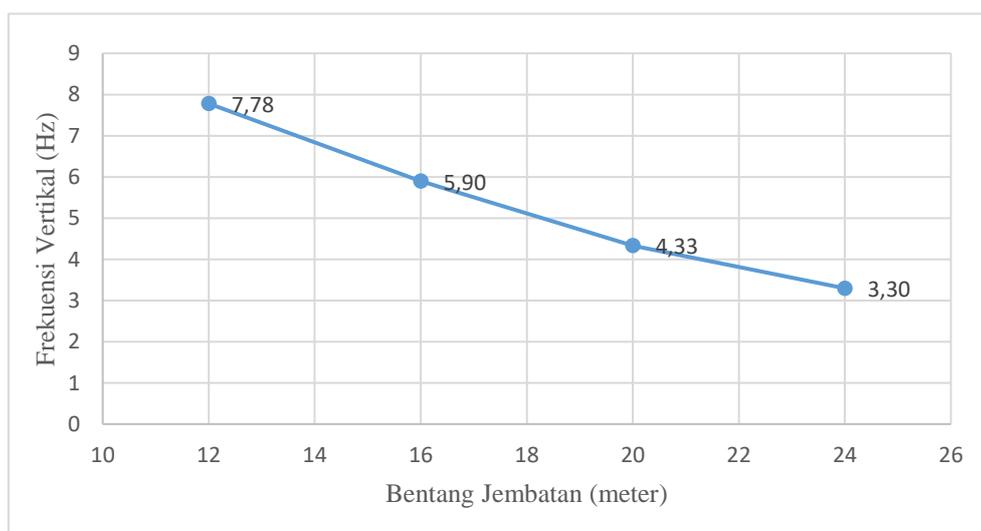
Tabel 6. Lendutan Maksimum pada Jembatan Akibat Beban Layan.

Bentang Jembatan (m)	Defleksi Maksimum (mm)	Syarat Batas Defleksi (mm)	Keterangan
24	49,858	60	memenuhi syarat
20	28,85	50	memenuhi syarat
16	16,85	40	memenuhi syarat
12	7	30	memenuhi syarat

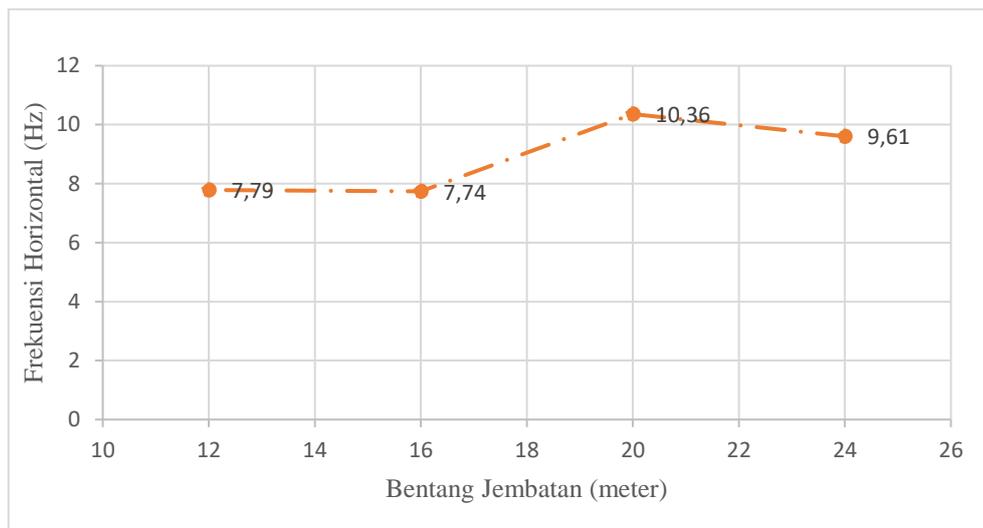
Hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 6 memperlihatkan defleksi yang terjadi di tengah bentang jembatan 12, 16, 20, dan 24 meter telah memenuhi syarat desain defleksi sebesar $1/400 L$.

3.2 Frekuensi Fundamental

Frekuensi fundamental dapat bergantung pada kekakuan dan kepadatan konstruksi jembatan. Hasil analisis frekuensi struktur jembatan FRP yang ditinjau ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Ditunjukkan dengan bertambahnya bentang jembatan, frekuensi fundamental jembatan menjadi rendah karena kekakuan struktur dipengaruhi pula oleh panjang bentang.



Gambar 7. Frekuensi Fundamental Vertikal Struktur Jembatan FRP.

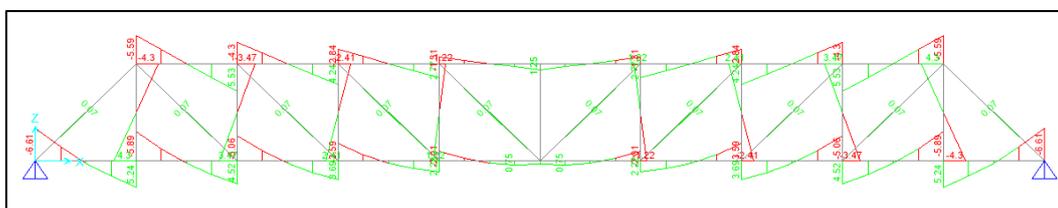


Gambar 8. Frekuensi Fundamental Horizontal Struktur Jembatan FRP.

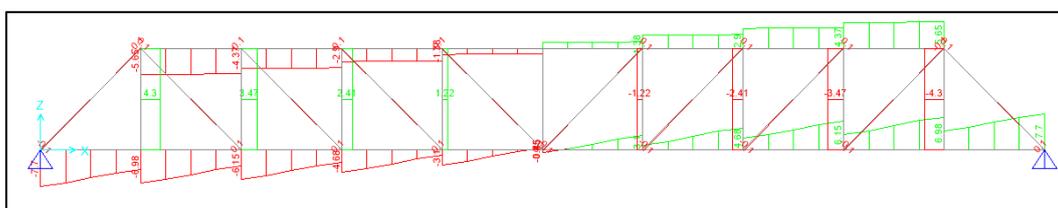
Penampang hipotesis yang digunakan telah memenuhi syarat nilai frekuensi lebih besar dari 3 Hz pada arah horizontal. Namun, hasil pengecekan frekuensi fundamental pada arah vertikal bentang 20 dan 24 meter memiliki frekuensi kurang 5 Hz. Hal tersebut menunjukkan besarnya pengaruh bentang (massa) dan kekakuan terhadap frekuensi. Jembatan yang relatif ringan memiliki frekuensi alami yang rendah sehingga memiliki risiko resonansi lebih besar yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur.

3.3 Gaya-Gaya Dalam

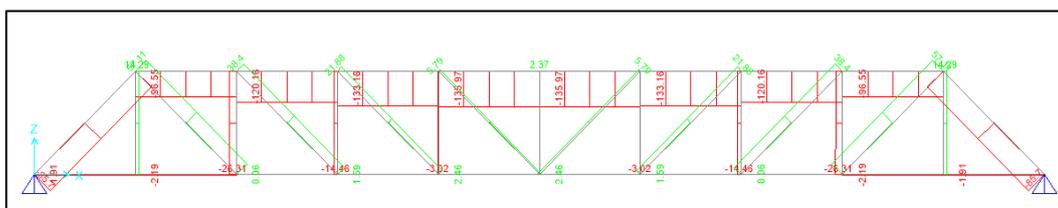
Pengecekan gaya-gaya dalam diperlukan untuk perancangan elemen struktur jembatan. Diagram gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur jembatan ditunjukkan dari Gambar 9 hingga Gambar 11.



Gambar 9. Diagram Momen pada Tipikal Tampak Arah Memanjang Jembatan.



Gambar 10. Diagram Geser pada Tipikal Tampak Arah Memanjang Jembatan.



Gambar 11. Diagram aksial pada tipikal tampak memanjang jembatan.

Kapasitas tarik dari profil ditunjukkan pada Tabel 7. Kapasitas tarik pada seluruh bentang memiliki faktor keamanan lebih besar dari syarat desain ($FK = 2,5$). Nilai tersebut menunjukkan kelebihan dari material FRP, yaitu tingginya kapasitas tarik profil.

Kapasitas tekan dihitung terhadap arah-x dan arah-y karena kapasitas tekan kritis dipengaruhi oleh nilai modulus arah sumbunya. Tabel 8 menunjukkan nilai kapasitas kritis pada sumbu lemah bentang 24, 20, dan 16 meter memiliki nilai yang sangat kecil sehingga tidak memenuhi kriteria desain. Karena itu, perlu diberikan pengaku di tengah batang sehingga panjang tekuk menjadi separuhnya $1/2 L$. Dengan diberikan pengaku di tengah batang faktor keamanan yang disyaratkan 2,5 terpenuhi.

Tabel 7. Kapasitas Tarik Profil FRP Terpultrusi.

Bentang Jembatan (m)	Gaya Tarik Maksimum (kN)	Kapasitas Tarik (kN)	Faktor Keamanan	Keterangan
24	72,62	1030,4	14,1	Memenuhi syarat
20	60,35	1030,4	17,0	Memenuhi syarat
16	44,1	1030,4	23,3	Memenuhi syarat
12	28,36	1030,4	36,3	Memenuhi syarat

Tabel 8. Kapasitas Tekan Profil FRP Terpultrusi.

Bentang Jembatan (m)	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Kapasitas Tekan Kritis (kN)		Faktor Keamanan			Keterangan
		Arah-x	Arah-y	Arah-x	Arah-y	Arah-y dengan pengaku	
24	185,365	317,8	68,95	3,6	0	5,7	Memenuhi syarat*
20	144,394	317,8	68,95	5,4	0	6,2	Memenuhi syarat*
16	97,91	317,8	68,95	9,4	0	10,1	Memenuhi syarat*
12	60,82	317,8	68,95	16,8	3,2	-	Memenuhi syarat

*Setelah diberi pengaku di tengah batang

Kapasitas tegangan geser dan lentur dianalisis pada balok melintang jembatan dengan menggunakan respon yang diperoleh dari beban mati dan pejalan kaki. Kapasitas tegangan geser dan lentur disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10. Hasil analisis menunjukkan balok melintang memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan tegangan yang bekerja akibat lentur dan geser, ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan tegangan geser dan lentur lebih besar dari 2,5.

Tabel 9. Kapasitas Tegangan Geser Profil FRP Terpultrusi.

Bentang Jembatan (m)	Tegangan Geser Maksimum (MPa)	Kapasitas Tegangan Geser (MPa)	Faktor Keamanan	Keterangan
24	2,21	32	14,4	Memenuhi syarat
20	2,21	32	14,4	Memenuhi syarat
16	2,21	32	14,4	Memenuhi syarat
12	2,21	32	14,4	Memenuhi syarat

Tabel 10. Kapasitas Tegangan Lentur Profil FRP Terpultrusi.

Bentang Jembatan (m)	Tegangan Geser Maksimum (MPa)	Kapasitas Tegangan Geser (MPa)	Faktor Keamanan	Keterangan
24	42,09	230	5,4	Memenuhi syarat
20	29,33	230	7,8	Memenuhi syarat
16	18,78	230	12,2	Memenuhi syarat
12	11,15	230	20,6	Memenuhi syarat

Berdasarkan hasil analisis pada struktur jembatan, penggunaan penampang hipotesis dapat memenuhi seluruh kriteria desain pada jembatan FRP bentang 12 meter. Pada bentang 20 dan 24 meter, frekuensi fundamental vertikal masing-masing bernilai 4,33 Hz dan 3,3 Hz sehingga syarat ($> 5\text{Hz}$) tidak terpenuhi. Frekuensi fundamental dapat dimodifikasi pada tingkat struktural dengan mengubah bobot dan kekakuan konstruksi, jika hal tersebut masih belum bisa mencapai frekuensi fundamental yang dituju, maka dapat diberikan tambahan peredam getaran. Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain jembatan FRP bentang panjang adalah kemungkinan dampak dari tambahan massa pejalan kaki. Tambahan massa pejalan memungkinkan frekuensi fundamental turun ke kisaran frekuensi berjalan manusia yang mungkin menyebabkan deformasi tinggi akibat terjadinya resonansi. Oleh karena itu, desain jembatan perlu dirancang untuk memastikan getaran akibat lalu lintas pejalan kaki dapat dikontrol, sehingga tidak muncul fenomena lock-in yang menyebabkan jembatan runtuh.

Sifat anisotropi material ditunjukkan oleh nilai modulus young berbeda pada arah sumbu profil. Tidak terpenuhinya kapasitas tekan kritis sumbu lemah profil FRP (68,95 kN) menahan beban kritis pada bentang 16 meter (97,91 kN),

20 meter (144,39 kN), dan 24 meter (185,36 kN) diakibatkan oleh rendahnya kekakuan profil pada arah sumbu lemahnya. Kekakuan aksial dipengaruhi nilai modulus dan luas penampangnya, sehingga jembatan bentang 16, 20, dan 24 meter akan dapat memenuhi kriteria desain kapasitas kritis jika dilakukan modifikasi pada tingkat komponen terlebih dahulu dengan cara diberi pengaku di tengah batang atau memperbesar dimensi penampang.

Kesimpulan

Kajian yang disajikan dengan penyederhanaan dan generalisasi cukup menggambarkan dapat dimanfaatkannya profil dengan material *FRP* terpultrusi untuk desain jembatan pejalan kaki di Indonesia. Hal tersebut dapat dilihat dari terpenuhinya seluruh kriteria desain dari penggunaan profil hipotesis pada jembatan bentang 12 meter. Sedangkan pada bentang 16, 20, dan 24 meter diperlukan modifikasi parsial, baik dengan cara diberikan pengaku pada komponen maupun peredam. Pemilihan karakteristik material *FRP* dan respon dinamik akibat beban pejalan kaki merupakan dua hal yang mungkin menjadi faktor penentu desain jembatan *FRP*. Adanya pedoman menjadi salah satu kunci berlanjutnya penggunaan material *FRP* terpultrusi pada desain jembatan pejalan kaki yang disesuaikan dengan perkembangan yang ada, serta dievaluasi, diverifikasi atau dirubah secara berkala.

Daftar Notasi

A	= Luas penampang (mm^2)
A_{net}	= Luas bersih penampang elemen (mm^2)
D	= Beban mati komponen struktur
δ	= Lendutan
E_0	= Modulus elastisitas <i>FRP</i> dalam arah sumbu pultrusi (MPa)
f_{c0}	= Kuat tekan bahan <i>FRP</i> dalam arah sumbu pultrusi (MPa)
F_d	= Kapasitas tekan kritis maksimum (kN)
f_{t0}	= Kuat tarik elemen dalam arah sumbu pultrusi (MPa)
G	= Modulus geser (MPa)
I	= Momen inersia elemen (mm)
$k_{\delta M}$	= Koefisien lendutan akibat momen maksimum
$k_{\delta V}$	= Koefisien lendutan akibat geser maksimum
L	= Panjang tekuk elemen (mm)
LL_P	= Beban pejalan kaki (kN/m^2)
LL_T	= Beban kendaraan (kN)
τ_{max}	= Tegangan geser maksimum (N/mm^2)
N_{el}	= Beban kritis Euler (kN)
SF	= Faktor keamanan
V_{max}	= Gaya geser maksimum (kN)
W	= Beban angin (kN/m^2)

Daftar Pustaka

- AASHTO. (2008). *Appendix B — Proposed Guide Specifications for the Design of FRP Pedestrian Bridges Guide Specifications For Design of FRP Pedestrian Bridges*. 55, 51–64.
- Aksoyulu, C., Özkılıç, Y. O., Madenci, E., & Safonov, A. (2022). Compressive Behavior of Pultruded GFRP Boxes with Concentric Openings Strengthened by Different Composite Wrappings. *Polymers*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/polym14194095>
- Alhawamdeh, M., Alajarmeh, O., Aravinthan, T., Shelley, T., Schubel, P., Kemp, M., & Zeng, X. (2021). *Modelling hollow pultruded FRP profiles under axial compression: Local buckling and progressive failure*. 262(December 2020), 113650. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113650>
- Arke, G. M., Hardono, S., Sipil, J. T., & Sipil, J. T. (2016). *Kajian Pemakaian Profil Fiber Reinforced Polymer (FRP) sebagai Elemen Struktur Jembatan Gantung Lalu Lintas Ringan*. Xx(x), 1–12.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–67.
- Dahatre, A. S. (2019). Experimental and Analytical Investigation of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Bridge Deck Structures. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(9), 459–464. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.9065>
- Doan, Q. H., & Thai, D. (2020). A Numerical Study of the Effect of Component Dimensions on the Critical Buckling Load of a GFRP Composite Strut under Uniaxial Compression. *Materials*, 13, 931.
- El-salakawy, E., Benmokrane, B., El-ragaby, A., & Nadeau, D. (2005). *Field Investigation on the First Bridge Deck Slab Reinforced with Glass FRP Bars Constructed in Canada Field Investigation on the First Bridge Deck Slab Reinforced with Glass FRP Bars Constructed in Canada*. 0268(January 2015).

- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2005\)9](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2005)9)
- Feroldi, F., & Russo, S. (2017). Mechanical Performance of Pultruded FRP Plates in Beam-to-Beam Connections. *Journal of Composites for Construction*, 21(4), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000779](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000779)
- Gallal, K. (2016). *FRP Retrofitting of Bridges*. 56. http://users.encs.concordia.ca/~galal/Publications_files/ICIMART'16 - Keynote Lecture - Khaled Galal.pdf
- Haw Shin, Y., Yee Yoong, Y., Hejazi, F., & Raizal Saifulnaz, M. R. (2019). Review on pultruded FRP structural design for building construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012006>
- Kim, Y. J. (2019). State of the practice of FRP composites in highway bridges. *Engineering Structures*, 179(April 2018), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.067>
- Lee, L. S., & Jain, Æ. R. (2009). *The role of FRP composites in a sustainable world*. 247–249. <https://doi.org/10.1007/s10098-009-0253-0>
- Li, Y. F. Chiu, Y. C. Badjie, S. (2013). Numerical analysis of FRP pedestrian bridge in Taijiang National Park. *Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures, APFIS 2013, December*.
- Liu, D., Bai, R., Wang, R., Lei, Z., & Yan, C. (2019). Experimental study on compressive buckling behavior of J-stiffened composite panels. *Optics and Lasers in Engineering*, 120(February), 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.02.014>
- Mendes, P. J. D., Barros, J. A. O., Sena-cruz, J. M., & Taheri, M. (2011). Development of a pedestrian bridge with GFRP profiles and fiber reinforced self-compacting concrete deck. *Composite Structures*, 93(11), 2969–2982. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.05.005>
- Moy, S. (2013). *Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering applications*. 177–204. <https://doi.org/10.1533/9780857098955.2.177>
- Mugahed Amran, Y. H., Alyousef, R., Rashid, R. S. M., Alabduljabbar, H., & Hung, C. C. (2018). Properties and applications of FRP in strengthening RC structures: A review. *Structures*, 16, 208–238. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.09.008>
- Nandhini, R., Saravanan, M. M., & A, K. G. (2020). *Retrofitting Of Concrete Structures Using Fiber- Reinforced Polymer (FRP): A Review*. 9(02), 1694–1700.
- Riyono, W. A. (2013). *Reinforced Polimer Karakterisasi Reinforced Polimer*.
- Shin, J., & Park, S. (2022). Optimum retrofit strategy of FRP column jacketing system for non-ductile RC building frames using artificial neural network and genetic algorithm hybrid approach. *Journal of Building Engineering*, 57(March), 104919. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104919>
- Smits, J. (2016). Fiber-Reinforced Polymer Bridge Design in the Netherlands : Architectural Challenges toward Innovative , Sustainable , and Durable Bridges. *Engineering*, 2(4), 518–527. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.004>
- Tauqeer, H., Akrami, R., Fotouhi, S., Bodaghi, M., Saeedifar, M., Yusuf, M., & Fotouhi, M. (2021). Fiber reinforced polymer composites in bridge industry. *Structures*, 30(December 2020), 774–785. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.092>
- Vedernikov, A., Safonov, A., Tucci, F., Carlone, P., & Akhatov, I. (2020). Pultruded materials and structures: A review. *Journal of Composite Materials*, 54(26), 4081–4117. <https://doi.org/10.1177/0021998320922894>
- Zhao, J., Mei, K., & Wu, J. (2020). Long-term mechanical properties of FRP tendon–anchor systems — A review. *Construction and Building Materials*, 230, 117017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117017>

Pemanfaatan Informasi Geospasial Dasar (IGD) untuk Analisis Penyimpangan Arah Kiblat Bangunan Masjid secara Masal

Yoga Kencana Nugraha¹, dan Aisah Hajar²

¹Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²Alumni Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

yoga.kencana@lecture.unjani.ac.id, aisahhajar@gmail.com

Abstrak

Informasi geospasial dasar yang telah menyebar luas kepada masyarakat umum perlu dimanfaatkan secara optimal untuk berbagai keperluan terkait analisis spasial. Kota Bandung merupakan salah satu kota dengan jumlah penduduk muslim dan bangunan masjid terbanyak di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara masal penyimpangan arah bangunan masjid, khususnya yang telah berdiri di Kecamatan Cibeunying Kidul, Kota Bandung. Metode yang digunakan adalah analisis geovisual dengan cara membandingkan arah kiblat masjid yang dihitung menggunakan metode *vincenty* terhadap arah bangunan masjid yang diperoleh dari peta RBI skala 1:1.000, *orthophoto* dan Sistem Informasi Masjid (SIMAS). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hanya bangunan Masjid Al Balad yang mengarah ke Kota Mekah. Rata-rata besarnya penyimpangan arah kiblat bangunan masjid ke ka'bah adalah sebesar $15^{\circ} 1' 0,365''$. Terdapat beberapa faktor yang teridentifikasi secara visual dan korelasi dapat mempengaruhi nilai penyimpangan arah bangunan masjid tersebut, diantaranya yaitu arah kepadatan bangunan sebesar 27,688 % dan koefisien dasar bangunan masjid sebesar 14,001 %.

Kata kunci: informasi geospasial dasar, analisis geovisual, arah kiblat masjid

Abstract

Basic geospatial information that has been widely disseminated to the general public needs to be utilized optimally for various purposes related to spatial analysis. The city of Bandung is one of the cities with the largest muslim population and the largest mosque building in Indonesia. This study aims to analyze the mass deviation of the direction of mosque buildings, especially those that have been established in Cibeunying Kidul District, Bandung City. The method used is geovisual analysis by comparing the direction of the mosque's qibla which is calculated using the *vincenty* method to the direction of the mosque building obtained from the 1:1.000 scale RBI map, *orthophoto* and Mosque Information System (SIMAS). The calculation results show that only the Al Balad Mosque building leads to the city of Mecca. The average magnitude of the deviation from the qibla direction of the mosque building to the Kaaba is $15^{\circ} 1' 0,365''$. There are several factors that are identified visually and the correlation can affect the deviation value of the direction of the mosque building, including the direction of building density of 27.688% and the basic coefficient of mosque building of 14.001%.

Keywords: basic geospatial information, geovisual analytics, mosque qibla direction

1. Pendahuluan

Ketepatan arah kiblat merupakan sesuatu yang penting pada salah satu kegiatan ibadah agama islam yaitu sholat. Syariat tersebut dipertegas oleh pendapat seorang imam dan ahli hadist yaitu Al-Qurthubi yang menjelaskan tentang kewajiban arah kiblat sholat untuk selalu menghadap bangunan ka'bah (Daud & Sunardy, 2019). Hal tersebut kemudian menuntut upaya untuk para kaum muslim agar selalu melakukan pengukuran dan perhitungan secara akurat dan teliti untuk menentukan arah kiblat yang tepat. Saat ini teknologi dibidang survei dan pemetaan telah berkembang dengan munculnya berbagai metode pemetaan baru seperti penginderaan jarak jauh dan fotogrametri. Adanya metode baru tersebut memungkinkan berbagai pihak untuk memperoleh data dan informasi geospasial secara lebih cepat dengan cakupan yang lebih luas tanpa harus melakukan pengukuran langsung dilapangan. Informasi geospasial sendiri merupakan informasi berbasis keruangan yang menunjukkan lokasi dan bentuk suatu objek yang terletak di permukaan bumi pada suatu sistem referensi koordinat tertentu (Fawzi & Husna, 2021).

Kota Bandung adalah salah satu kota terbesar dengan jumlah penduduk muslim terbanyak di Indonesia. Data dari Badan Pusat Statistik Kota Bandung tahun 2020 yang dirilis pada website resminya menunjukkan bahwa jumlah penduduk muslim di Kota Bandung adalah sebesar 2.269.680. Banyaknya jumlah penduduk Muslim tersebut juga

Info Makalah:

Dikirim : 08-16-22;

Revisi 1 : 11-01-22;

Revisi 2 : 01-08-23;

Diterima : 01-25-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 822-4339-4559

e-mail : yoga.kencana@lecture.unjani.ac.id

telah didukung oleh ketersediaan masjid yang tersebar di 2.143 tempat (Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2020). Masjid adalah ruang peribadatan muslim yang fungsi utamanya digunakan untuk sholat. Bangunan masjid sebagai produk arsitektur umumnya memiliki desain dasar bangunan yang memiliki ciri khusus tertentu, diantaranya yaitu memiliki orientasi atau arah bangunan ke ka'bah di Kota Mekah (Andiyan & Aldyanto, 2021). Saat ini pemerintah daerah Kota Bandung

telah memiliki Peraturan Daerah (Perda) nomor 14 Tahun 2018 tentang bangunan gedung yang juga mengatur arah bangunan masjid. Teknologi terkait informasi geospasial dasar diharapkan mampu mendukung kinerja pemerintahan daerah dalam melakukan fungsi pengawasan dan evaluasi terhadap arah bangunan masjid di kawasan Kota Bandung.

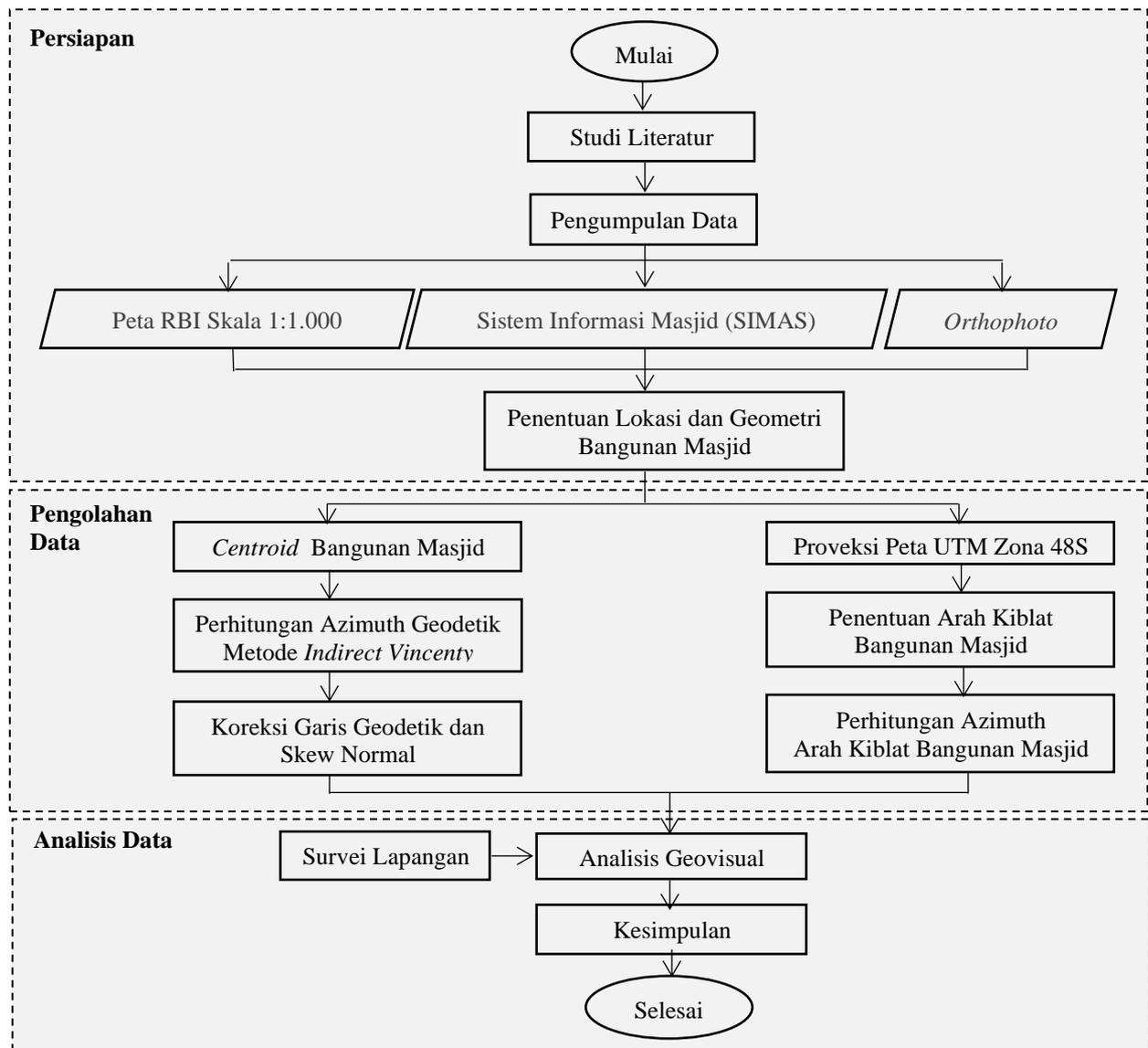
Beberapa penelitian yang mendasari konsep dan mendukung metode pada penelitian ini diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Gumilar dkk (2019) mengenai kajian penentuan arah kiblat secara teliti dengan melakukan perhitungan azimuth geodetik dalam model matematis ellipsoid bumi WGS'84 menggunakan rumus *indirect vincenty*. Metode penghitungan yang paling akurat dan presisi tersebut dapat menghasilkan ketelitian hingga mencapai level sentimeter. Penelitian lain evaluasi arah kiblat masjid pernah dilakukan di 27 Masjid Jami yang berada Kecamatan Bandung Wetan, Kota Bandung. Informasi geospasial terkait arah bangunan masjid diperoleh melalui citra satelit dalam aplikasi *google earth* yang memiliki resolusi spasial pada tingkat rendah yaitu sebesar 60 cm. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pola arah saf sholat yang cenderung lurus dengan bangunan utama masjid dengan nilai rata-rata arah bangunan masjid mengarah ke ka'bah sebesar 276° (Hamdani, 2020). Azimuth tersebut dihitung menggunakan rumus trigonometri bola atau dalam model matematis bumi yang kurang akurat yaitu bola bumi. Penggunaan informasi geospasial dasar yang memiliki ketelitian tingkat tinggi berupa Peta Rupa Bumi skala 1:1000 kelas 1 dan orthophoto dengan resolusi spasial 10 cm merupakan sesuatu metode yang baru yang berpotensi besar untuk digunakan dalam menganalisis arah kiblat bangunan masjid.

Penulis fokus melakukan analisis spasial dan statistik pada arah bangunan masjid secara masal menggunakan berbagai data IGD tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan masukan kepada instansi pemerintah yang bertugas mengevaluasi arah kiblat masjid dengan akurat dan cepat serta mendukung *One Maps Policy* dan *Smart City Policy* yang diusung dalam program kebijakan pemerintahan pusat dan daerah.

2. Metode

Secara umum penelitian ini tergolong pada jenis penelitian deskriptif kuantitatif dan komparatif dengan melakukan perbandingan antara arah kiblat yang dihasilkan dari perhitungan azimuth geodetik metode *vincenty* terhadap arah kiblat bangunan masjid. Penelitian dilakukan dalam 3 tahapan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data dan tahap analisis data. Tahap pertama yang dilakukan adalah tahap persiapan. Tahap ini dimulai dengan studi literatur untuk mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan penelitian. Pengumpulan data spasial dan non spasial yang diperoleh dari layanan penyedia data spasial berbasis web atau geoportal. Penentuan lokasi dan geometri bangunan masjid akan menghasilkan data dasar yang digunakan dalam tahap selanjutnya yaitu pengolahan data.

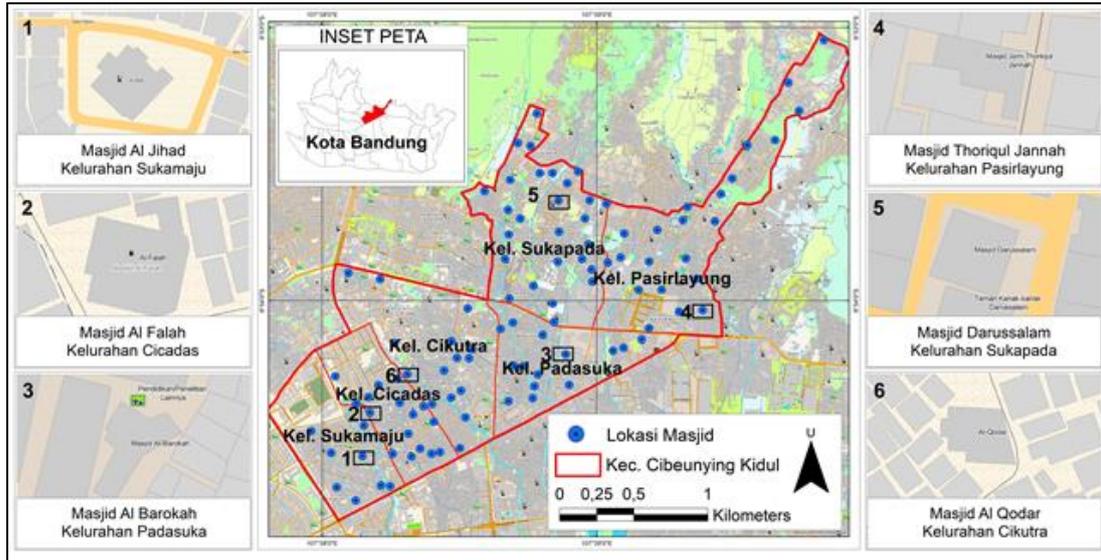
Tahap kedua yang dilakukan adalah tahap pengolahan data. Data penelitian diolah untuk mengetahui azimuth arah kiblat masjid dan azimuth arah kiblat bangunan masjid. Azimuth geodetik dalam penelitian ini merupakan sudut yang terbentuk antara centroid (titik tengah) bangunan masjid terhadap titik tengah bangunan ka'ba dengan metode *indirect vincenty*, dan melakukan koreksi garis geodetik serta *skew normal*. Azimuth tersebut dibandingkan dengan arah bangunan masjid yang diperoleh dari peta RBI skala 1:1.000, *orthophoto* dan Sistem Informasi Masjid (SIMAS). Tahap ketiga yang dilakukan adalah tahap analisis data menggunakan analisis geovisual. Analisis geovisual memberikan gambaran suatu objek diruang spasial menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisis secara visual. Analisis geovisual bertujuan untuk menganalisis penyimpangan arah bangunan masjid secara masal. Tahap ini juga menyertakan survei lapangan untuk validasi terhadap hasil penelitian sehingga dapat ditarik kesimpulan pada penelitian.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian.

A. Informasi Geospasial Dasar (IGD)

Informasi Geospasial Dasar atau disingkat IGD berdasarkan Undang-Undang nomor 4 tahun 2011 didefinisikan sebagai informasi geospasial yang berisi tentang objek yang dapat dilihat secara langsung atau diukur dari kenampakan fisik di permukaan bumi dan yang tidak berubah dalam waktu yang relatif lama. IGD yang digunakan dalam penelitian ini terkait dengan posisi dan geometri bangunan, khususnya bangunan masjid. IGD diperoleh melalui Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1:1.000 yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada layanan Ina - SDI geoportal di alamat web <http://portal.ina-sdi.or.id>.



Gambar 2. Persebaran Lokasi Masjid pada Peta RBI Skala 1:1.000 di Lokasi Penelitian.

Peta RBI merupakan peta dasar yang memberikan informasi secara detail untuk wilayah darat dalam bentuk peta garis seperti pada Gambar 2 diatas, sedangkan *orthophoto* merupakan peta dasar dalam bentuk peta foto seperti pada Gambar 3. Peta RBI skala 1:1.000 dan *orthophoto* Kota Bandung dibuat oleh Dinas Tata Ruang (DISTARU) pada tahun 2017 dengan metode fotogrametri. *Orthophoto* yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari hasil orthorektifikasi menggunakan 150 titik ikat tanah yang menyebar merata dengan tingkat ketelitian tinggi. Foto udara dihasilkan dari kamera metrik digital sehingga mempunyai kualitas gambar yang sangat baik dengan nilai Ground Control Distance (GSD) sebesar 10 cm . Sistem koordinat yang digunakan pada keduanya adalah World Geodetic System 1984 (WGS'84). Berdasarkan hasil uji ketelitian oleh BIG, peta tersebut masuk dalam kategori peta dasar dengan kelas tertinggi atau kelas 1 dengan ketelitian planimetrik sebesar 11 cm dari hasil uji yang dilakukan pada titik independen (Haryanto dkk, 2019). *Orthophoto* dan data Sistem Informasi Masjid (SIMAS) yang diperoleh melalui layanan web geoportel yang dibuat oleh Kementerian Agama di alamat web <https://simas.kemenag.go.id> dan layanan peta dasar yang dibuat oleh Badan Pertanahan Nasional di alamat web <https://xyz.atrbpn.go.id>. Kedua data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi lokasi dan bentuk geometri bangunan masjid serta melengkapi informasi geospasial pada peta RBI.

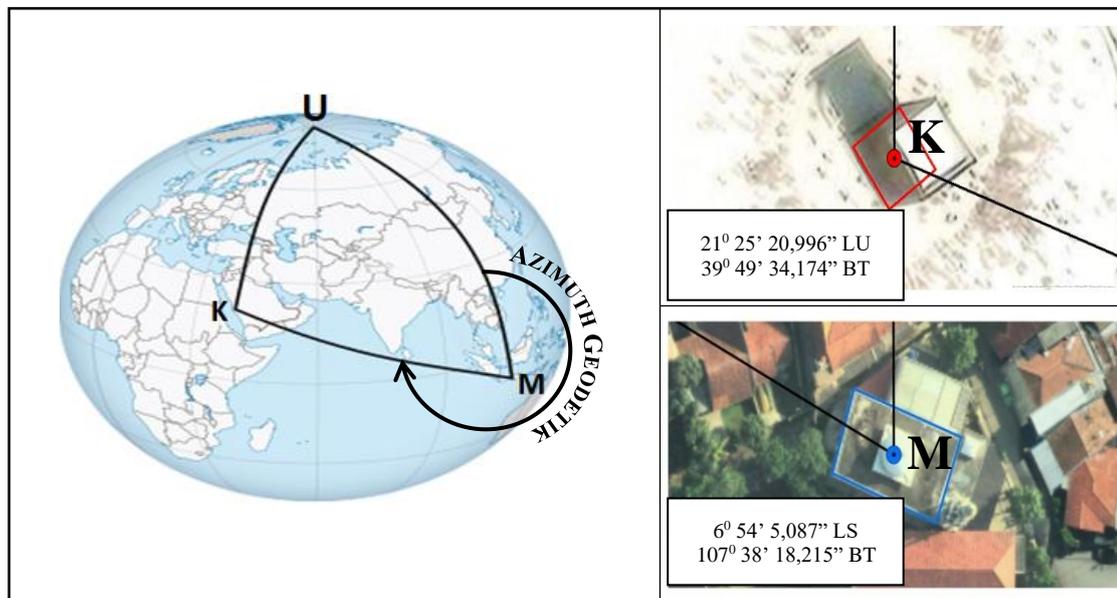


Gambar 3. Proses Identifikasi Lokasi dan Geometri Bangunan Masjid menggunakan *Orthophoto* dan data pada Sistem Informasi Masjid (SIMAS).

B. Arah Kiblat

Kiblat adalah arah yang dituju oleh umat islam dalam konteks ibadah sholat. Didalam penelitian ini penentuan kiblat dilakukan melalui perhitungan azimuth geodetik. Definisi dari azimuth geodetik adalah besaran sudut horizontal yang terbentuk antara dua buah titik yang berada diatas permukaan bumi didalam sebuah model ellipsoid bumi (Muradlo & Yuwono, 2017). Azimuth geodetik dalam penelitian ini merupakan sudut yang terbentuk antara titik tengah bangunan masjid terhadap titik tengah bangunan ka'bah sebagai arah kiblat sholat umat islam, seperti pada gambar 4. Sistem koordinat yang digunakan pada perhitungan azimuth geodetik yaitu WGS'84. Koordinat posisi

ka'bah yang digunakan merupakan hasil dari interpretasi bangunan ka'bah menggunakan peta dasar di *software* ArcGIS.



Gambar 4. Penentuan Azimuth Geodetik Masjid Al Huda ke Ka'bah.

Metode *vincenty* merupakan salah satu teknik perhitungan matematis yang dapat digunakan untuk menentukan besaran azimuth geodetik (Awaluddin dkk., 2016). Teknik tersebut diklaim lebih teliti dibandingkan teknik perhitungan seperti konsep segitiga bola (Gumilar dkk., 2019). Prinsip dasar dari perhitungannya adalah menggunakan teknik *inverse problem*. Untuk awal perhitungan diperlukan data mengenai koordinat pada dua buah titik didalam sistem koordinat geodetik tertentu. Pada penelitian ini data koordinat tersebut diperoleh melalui pengolahan data IGD. Penghitungan azimuth geodetik dilakukan secara bertahap dengan rumus matematis berikut

$$U_M = \tan^{-1}((1-f) \tan \varphi_M) \quad (1)$$

$$U_K = \tan^{-1}((1-f) \tan \varphi_K) \quad (2)$$

$$\sin^2 \sigma = (\cos U_K \cdot \sin \lambda)^2 + (\cos U_K \cdot \sin U_K - \sin U_M \cdot \cos U_K - \sin U_M \cdot \cos U_K \cdot \cos \lambda)^2 \quad (3)$$

$$\cos \sigma = \sin U_M \cdot \sin U_K + \cos U_K \cdot \sin U_K \cdot \cos \lambda \quad (4)$$

$$\tan \sigma = \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma} \quad (5)$$

$$\sin \sigma = \frac{\cos U_M \cdot \cos U_K \cdot \sin \lambda}{\sin \sigma} \quad (6)$$

$$\cos 2\sigma_m = \frac{\cos \sigma - 2 \sin U_M \cdot \sin U_K}{\cos^2 \alpha} \quad (7)$$

$$C = \frac{f}{16} \cdot \cos^2 \alpha [4 + f(4 - 3 \cdot \cos^2 \alpha)] \quad (8)$$

$$LL = \lambda - (1-C) \cdot f \cdot \sin \alpha [\sigma + C \cdot \sin \sigma [\cos 2\sigma_m + C \cdot \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m)]] \quad (9)$$

Ketelitian tinggi dapat dihasilkan dengan melakukan proses perhitungan secara berulang hingga memperoleh nilai LL yang lebih kecil dari 10^{-12} atau sekitar 0,06 mm (Gumilar dkk., 2019). Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung azimuth geodetik berikut.

$$\alpha_{MK} = \tan^{-1} \left(\frac{\cos U_M \cdot \sin LL}{\cos U_M \cdot \sin U_K - \sin U_M \cdot \cos U_K \cdot \cos \lambda} \right) \quad (10)$$

Peneliti memanfaatkan layanan *Geodetic Calculatro* yang disediakan oleh Geosience Australia di alamat web <https://geodesyapps.ga.gov.au>. karena perhitungan azimuth geodetik dilakukan pada masjid secara masal. Azimuth geodetik tersebut perlu dikoreksi untuk meminimalisir kesalahan yang disebabkan jauhnya jarak masjid dari Kecamatan Cibeunying Kidul di Kota Bandung ke ka'bah di Kota Mekah terhadap irisan garis normal geodetik menggunakan rumus berikut.

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi)}} \quad (11)$$

$$\delta g = \frac{e^2 \cdot s^2 \cdot \cos^2 \varphi_m \cdot \sin 2\alpha_{MK}}{12N_m^2} \quad (12)$$

C. Arah Bangunan Masjid

Masjid merupakan kata yang menunjukkan tempat, maksudnya tempat untuk sujud dengan penuh keta'atan dan kepatuhan (Rifa'i, 2016). Kata tersebut kemudian diistilahkan terhadap tempat yang digunakan oleh umat islam untuk melakukan ibadah sholat. Pengertian masjid sebagai sebuah bangunan merupakan perwujudan dari aspek fisik didalam kebudayaan islam. Menurut Soraya dkk. (2017) menunjukan bahwa bangunan masjid didalam perspektif arsitektur umumnya memiliki empat elemen pokok bangunan berupa:

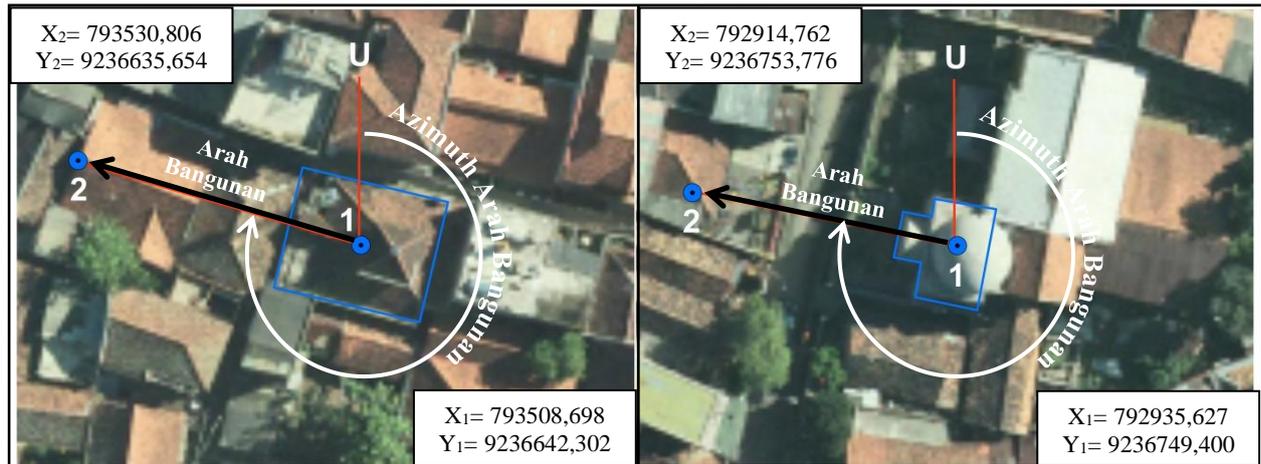
1. Mihrab, merupakan ruangan yang umumnya berbentuk cekungan yang digunakan sebagai tempat imam dalam memimpin sholat berjamaah. Tempat ini umunya menghadap ke kiblat atau ke arah ka'bah.
2. Ruang Sholat, merupakan ruangan yang umumnya berbentuk persegi panjang dengan bentuk ruang terbuka sebagai tempat makmum melakukan sholat berjamaah. Tempat ini umunya menghadap ke kiblat.
3. Kubah, merupakan bagian atap masjid yang bentuknya bulat atau limas bersusun, dimana semakin atas semakin kecil dan meruncing. Bagian yang digunakan untuk membedakan bangunan masjid dengan bangunan lainnya.
4. Menara, merupakan bagian elemen tambahan masjid berupa bangunan yang menjulang tinggi yang pada sejarahnya berfungsi sebagai simbol keberadaan islam disuatu tempat.

Masjid Agung Demak merupakan Masjid bersejarah dan salah satu masjid tertua yang ada di Indonesia. Masjid Agung Demak berada di tengah kota atau alun-alun kota Demak, Jawa Tengah (Senoprabowo A, dkk, 2020). Beberapa ciri khas masjid Demak seperti denah bangunan berbentuk bujur sangkar, atap berbentuk limas yang bertumpang (tajug), adanya ruang tambahan diluar ruang mihrab dan ruang sholat yang disebut dengan serambi serta orientasi bangunan yang umumnya mengarah kiblat. Pada penelitian ini beberapa elemen pokok dan desain dasar bangunan masjid tersebutlah yang digunakan sebagai pertimbangan dalam mengidentifikasi arah bangunan masjid, seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi Desain Dasar Bangunan Masjid di Indonesia.

Besarnya arah bangunan masjid diukur pada peta dasar yang telah diproyeksikan kedalam bidang datar (2D) dengan proyeksi peta model *Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 48 South*. Didalam penelitian ini arah bangunan masjid dilakukan melalui perhitungan azimuth peta, yaitu merupakan besaran sudut yang terbentuk antara utara pada peta dengan garis arah bangunan. Diilustrasikan seperti pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pengukuran Azimuth Arah Bangunan Masjid Nurul Hikmah dan Al Mukaromah.

Penghitungan azimuth peta untuk mencari sudut arah setiap bangunan masjid dilakukan dengan rumus trigonometris (Lesawengan dkk., 2019). Karena perhitungan azimuth peta dilakukan pada seluruh masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul secara masal maka peneliti memanfaatkan tool COGO pada *software* ArcGIS.

$$\alpha_{12} = \tan^{-1} \left(\frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \right) \quad (13)$$

D. Analisis Geovisual

Analisis geovisual merupakan suatu metode untuk menganalisis informasi geospasial yang dibentuk dalam berbagai visualisasi data seperti peta, grafik dan diagram (Wu & Zhang, 2016). Fungsinya adalah memberikan gambaran suatu objek diruang spasial menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisis secara visual. Perangkat lunak yang digunakan perlu berbasiskan pada Sistem Informasi Geografis (SIG) seperti ArcGIS.

Analisis secara visual dilakukan pada peta penyimpanan arah bangunan masjid terhadap peta kepadatan bangunan dengan resolusi spasial 100 meter. Peta tersebut dibuat dengan pengolahan menggunakan algoritma *point density* yang merupakan tool pada *software* ArcGIS untuk menghitung kerapatan point dalam sebuah luasan yang dikonversi menjadi data raster. Hal itu dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh kepadatan bangunan terhadap nilai penyimpangan arah bangunan masjid.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Jumlah Bangunan Masjid

Jumlah bangunan masjid ditentukan berdasarkan 3 jenis data IGD yaitu Peta RBI, orthophoto dan SIMAS. Data IGD tersebut dimanfaatkan untuk mengidentifikasi posisi dan geometri bangunan masjid guna mengurangi kegiatan survei bangunan masjid secara masal di lapangan. Pada peta RBI diperoleh jumlah masjid sebanyak 103 bangunan yang tersebar diseluruh wilayah Kecamatan Cibeunying Kidul, Kota Bandung. Pada orthophoto dilakukan identifikasi bangunan masjid dengan beberapa elemen pokok bangunan masjid seperti menara dan kubah masjid melalui tampilan atap masjid, sehingga masjid yang teridentifikasi sebesar 149 masjid. Pada proses identifikasi menggunakan dua data tersebut, terdapat selisih jumlah masjid sebesar 46 masjid yang tidak teridentifikasi pada peta RBI.

Hasil proses interpretasi *orthophoto* dalam mengidentifikasi bangunan masjid dan lokasinya yang tidak teridentifikasi pada peta RBI, sehingga diperoleh 46 masjid lainnya yang tersebar di Kecamatan Cibeunying Kidul. Diagram tersebut juga menunjukkan adanya masjid yang tidak dapat diidentifikasi menggunakan *orthophoto* sebesar 18%. Hal tersebut dapat terjadi karena atap bangunan masjid yang tertutup vegetasi pohon atau tidak teridentifikasinya elemen pokok masjid. Kedua hal tersebut menjadi kelemahan saat peneliti mengidentifikasi bangunan masjid melalui interpretasi *orthophoto*.

Tahap selanjutnya dalam proses pengumpulan data masjid dilakukan dengan cara menggabungkan informasi geospasial terhadap data atribut yang diperoleh melalui SIMAS. Hasil pengumpulan data menunjukkan bahwa Kelurahan Sukapada memiliki jumlah bangunan masjid terbanyak sebesar 33 masjid. Hal tersebut dapat terjadi karena Kelurahan Sukapada memiliki luas wilayah yang sangat besar berdasarkan peta RBI yaitu sebesar 83,351 Ha. Sebaliknya Kelurahan Sukamaju memiliki jumlah bangunan masjid paling sedikit sebanyak 14 masjid karena memiliki luas wilayah yang sangat kecil berdasarkan peta RBI yaitu hanya sebesar 51,105 Ha. Pada tabel 1 terdapat rekap data akhir jumlah masjid yang teridentifikasi dalam penelitian ini, jadi 147 jumlah total masjid yang akan diteliti.

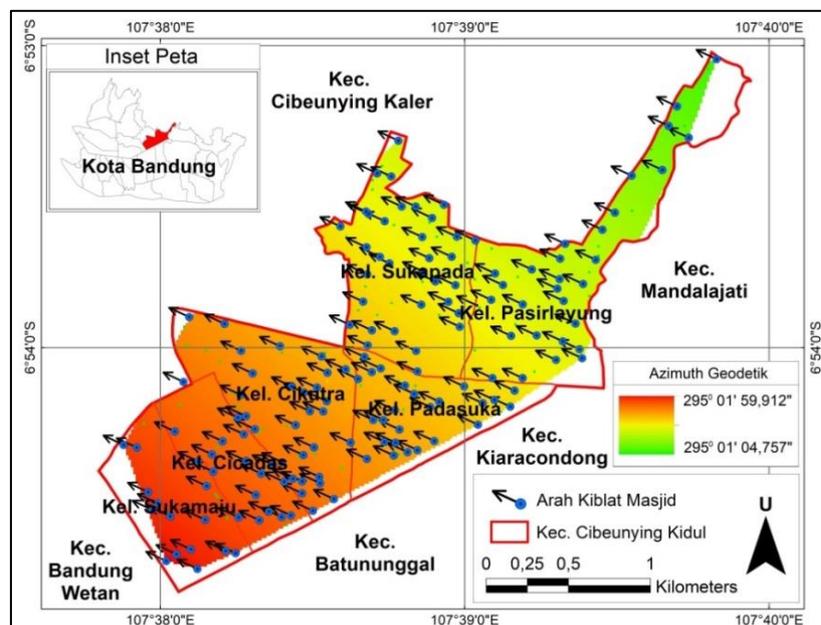
Tabel 1. Rekap Jumlah Bangunan Masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul.

No	Kelurahan	Peta RBI	Orthophoto	SIMAS	Teridentifikasi
1	Cicadas	16	17	12	16
2	Cikutra	15	31	30	30
3	Padasuka	14	25	21	25
4	Pasirlayung	23	29	17	29
5	Sukamaju	8	14	14	14
6	Sukapada	27	33	30	33
Jumlah		103	149	124	147

B. Perhitungan Arah Kiblat Masjid

Arah kiblat masjid dihitung dengan metode *vincenty* pada 147 lokasi masjid diperoleh rata – rata azimuth geodetik sebesar $295^{\circ} 1' 38,298''$. Hasil tersebut berbeda cukup jauh dibandingkan dengan arah kiblat Kota Bandung yang dihitung oleh Dery & Sutiksna (2011) menggunakan rumus persamaan segitiga bola (*spherical trigonometri*) yaitu sebesar $295^{\circ} 10' 00''$. Perbedaan arah kiblat masjid tersebut dapat terjadi karena hasil perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan metode berbeda dan cakupan wilayah yang lebih kecil. Berdasarkan pengukuran jarak melalui peta RBI, wilayah Kota Bandung sendiri masih terbentang cukup jauh ke arah barat dan ke arah timur dari Kecamatan Cibeunying Kidul sejauh 9,679 Km dan 8,071 Km.

Nilai azimuth arah kiblat terbesar dari hasil perhitungan pada penelitian ini adalah sebesar $295^{\circ} 1' 59,912''$, yang terdapat di Masjid Bahrul Ilmi SMP 22 Bandung. Masjid tersebut berada di Kelurahan Sukamaju yang lokasinya paling barat dan paling utara di wilayah Kecamatan Cibeunying Kidul. Sedangkan nilai azimuth arah kiblat terkecil dari hasil perhitungan pada penelitian ini adalah sebesar $295^{\circ} 1' 4,757''$, terdapat di Masjid Baitull Ilmi SMP 22 Bandung. Masjid tersebut berada di Kelurahan Sukamaju yang lokasinya paling timur dan paling selatan di wilayah Kecamatan Cibeunying Kidul. Melalui analisis geovisual menunjukkan bahwa semakin ke arah barat dan ke selatan lokasi masjid maka nilai azimuth arah kiblat akan semakin besar. Hasil perhitungan koreksi garis geodetik menunjukkan nilai rata-ratanya sebesar $2,397''$. Lokasi masjid yang berada di wilayah selatan cenderung memiliki koreksi garis geodetik lebih besar dibandingkan masjid yang berada di wilayah utara di Kecamatan Cibeunying Kidul. Peta arah kiblat masjid yang telah dikoreksi terhadap garis geodetik ditunjukkan pada gambar 7.

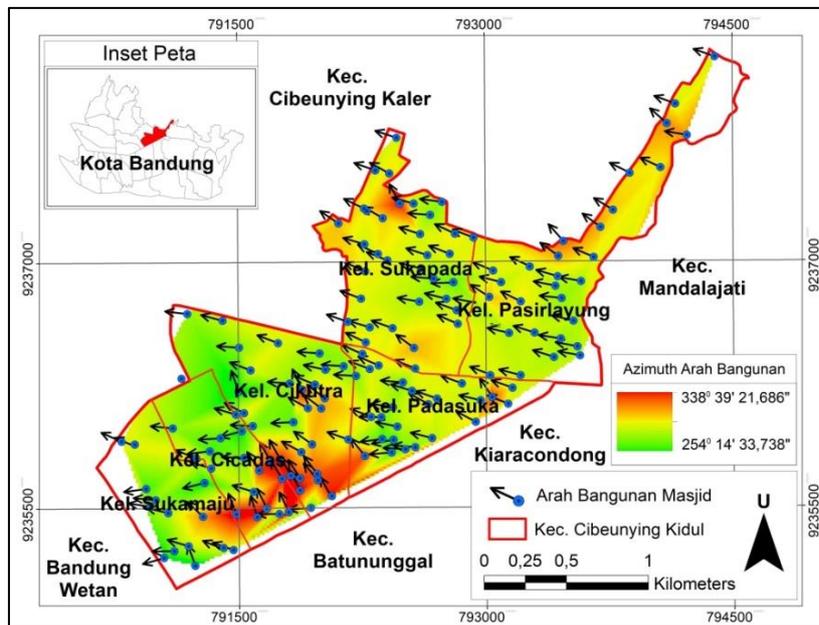


Gambar 7. Peta Arah Kiblat Masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul.

C. Perhitungan Arah Bangunan Masjid

Hasil perhitungan arah bangunan masjid secara masal menggunakan rumus trigonometri pada 147 bangunan masjid diperoleh rata-rata arah bangunan masjid adalah sebesar $291^{\circ} 59' 16,919''$. Hasil tersebut berbeda cukup besar dibandingkan dengan rata-rata azimuth arah bangunan 27 masjid di Kecamatan Bandung Wetan yang dihitung oleh Hamdani (2020) menggunakan citra satelit dalam aplikasi *google earth* yaitu sebesar $279^{\circ} 33'$. Perbedaan arah bangunan masjid tersebut dapat terjadi karena hasil perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan informasi geospasial dengan kualitas resolusi spasial dan wilayah yang berbeda. Kemudian rentang nilai azimuth arah bangunan terbesar dan yang terkecil selisihnya sangat besar yaitu $88^{\circ} 46' 27,149''$. Hal tersebut dapat terjadi karena pada tahap

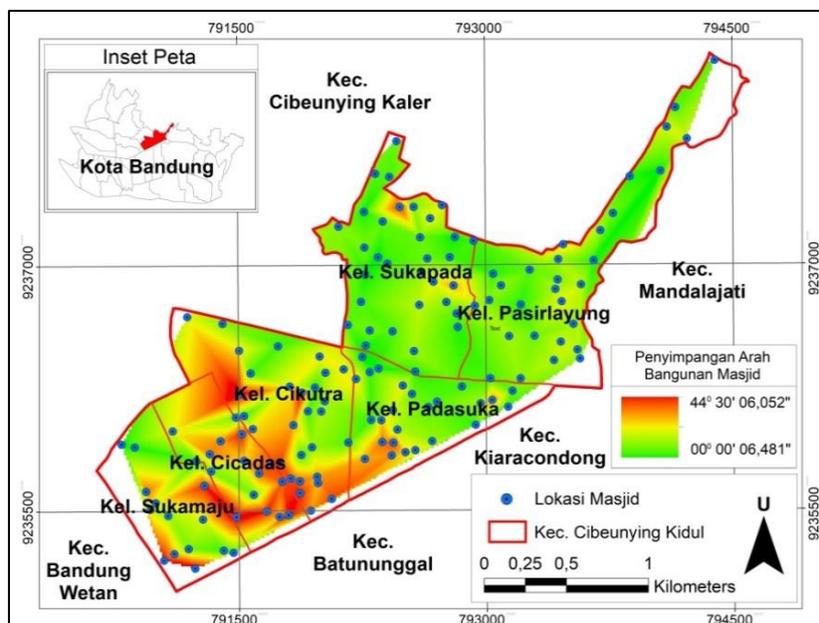
perancangan bangunan awal masjid umumnya masyarakat menggunakan metode yang berbeda-beda dalam menentukan arah bangunan masjidnya. Peta arah bangunan masjid di seluruh Kecamatan Cibeunying Kidul ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Peta Arah Bangunan Masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul.

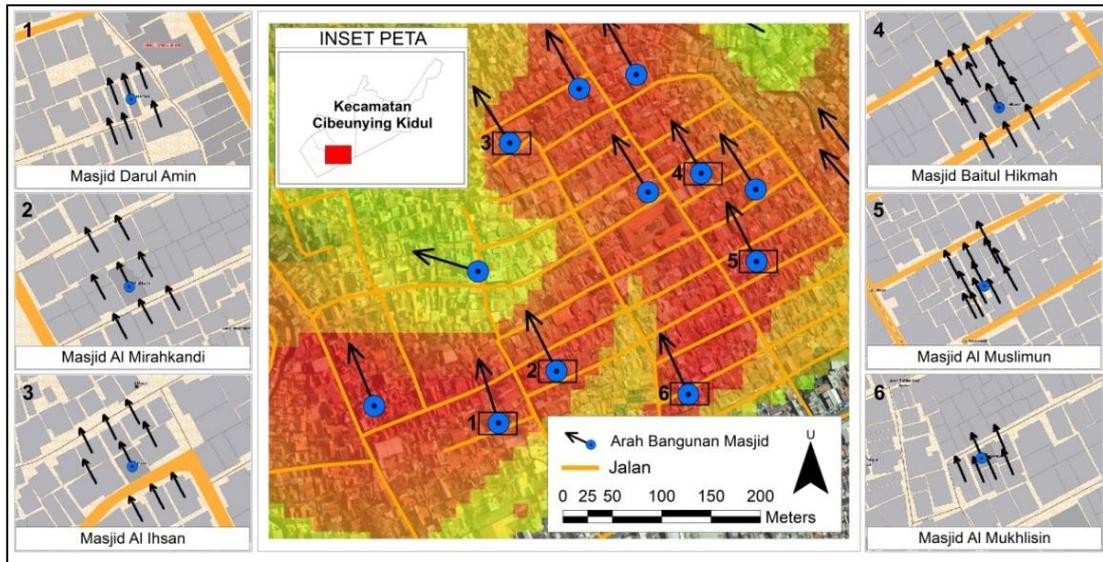
D. Penyimpangan Arah Bangunan Masjid Terhadap Arah Kiblat Masjid

Sesuai Peraturan Daerah (Perda) Nomor 14 Tahun 2018 tentang bangunan gedung dan desain dasar bangunan masjid di Jawa, bahwa arah bangunan masjid seharusnya adalah mengarah ke kiblat. Pada penelitian ini analisis dilakukan dengan membandingkan azimuth geodetik dari masjid ke ka'bah dengan azimuth arah bangunan masjid. Peta penyimpangan arah bangunan masjid di seluruh Kecamatan Cibeunying Kidul ditunjukkan pada gambar 9.



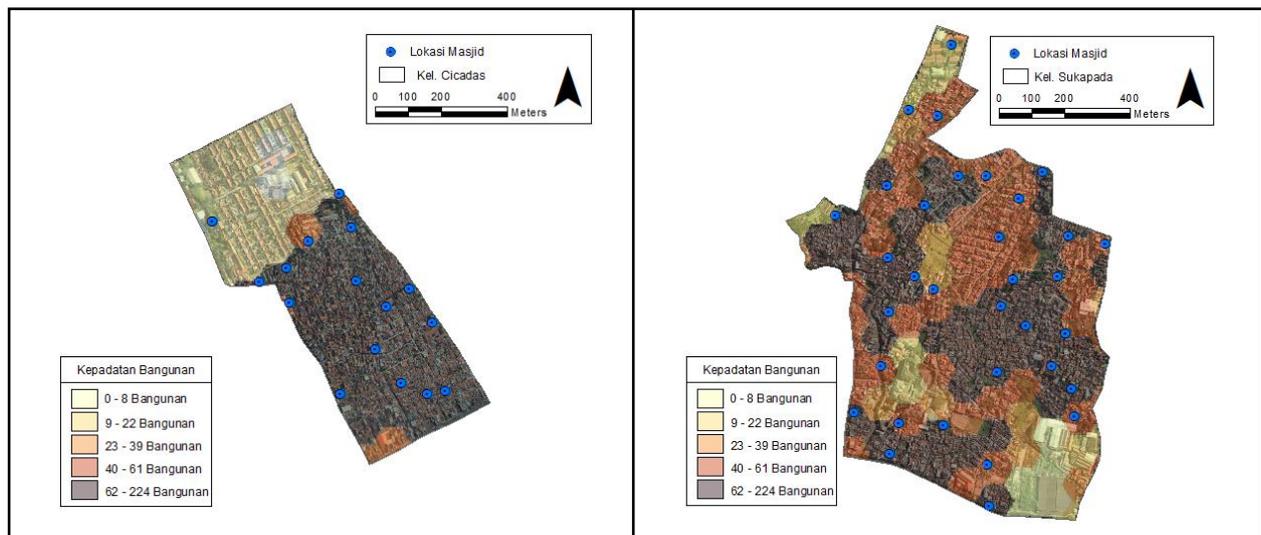
Gambar 9. Peta Penyimpangan Arah Bangunan Masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul.

Hasil analisis secara visual dengan peta RBI dan *orthophoto* menunjukkan adanya pola kelompok penyimpangan arah masjid yang banyak terjadi di wilayah selatan yaitu Kelurahan Cikutra, Kelurahan Cicadas dan Kelurahan Sukamaju. Hasil menunjukkan bahwa arah bangunan masjid di wilayah tersebut cenderung mengikuti arah bangunan disekitar masjid atau tegak lurus dengan arah jalan ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Identifikasi Pengaruh Arah Bangunan Sekitar Masjid dan Arah Jalan.

Selanjutnya dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa penyimpangan arah bangunan masjid terbesar dan yang terkecil terdapat di Kelurahan Cicadas dan Kelurahan Sukapada dengan rata-rata penyimpangan arah bangunan masjid sebesar $26^{\circ} 8' 37,046''$ dan $8^{\circ} 46' 12,114''$. Hasil analisis korelasi menunjukkan adanya pengaruh yang terjadi bersifat positif dengan nilai yang cukup besar yaitu sebesar 27,688 %. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin padat bangunan disuatu wilayah maka akan cukup memperbesar tingkat potensi penyimpangan arah bangunan masjid yang terjadi di wilayah tersebut ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Identifikasi Pengaruh Kepadatan Bangunan.

Dari hasil perhitungan juga diperoleh nilai penyimpangan arah bangunan masjid yang terbesar terdapat pada Masjid Al Mu'zizat yaitu sebesar $44^{\circ} 30' 6,052''$. Berdasarkan data dari SIMAS menunjukkan bahwa masjid tersebut dibangun dengan ukuran masjid yang kecil yaitu sebesar 90 m^2 dengan luas lahan hanya sebesar 93 m^2 . Sedangkan nilai penyimpangan arah bangunan masjid dengan nilai kecil salah satunya terdapat pada Masjid Asy Syuhada yaitu sebesar $26^{\circ} 32,645''$. Dimana berdasarkan data dari RBI dan *orthophoto* menunjukkan bahwa masjid tersebut memiliki ukuran masjid yang cukup besar yaitu sebesar 505 m^2 dan dibangun diatas lahan seluas 2.223 m^2 . Perhitungan korelasi dan analisis secara visual juga dapat dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh koefisien dasar bangunan (KDB) terhadap penyimpangan arah bangunan masjid. Definisi KDB berdasarkan Perda nomor 5 tahun 2020 tentang bangunan gedung Kota Bandung adalah koefisien perbandingan antara luas lantai dasar bangunan gedung dengan luas persil/lahan. Hasil analisis korelasi menunjukkan adanya tingkat pengaruh yang bersifat positif dengan nilai yang cukup kecil yaitu sebesar 14,001 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar KDB disuatu lokasi masjid maka akan sedikit memperbesar tingkat penyimpangan arah bangunan masjid yang terjadi. Hal tersebut terkait dengan

ketersediaan lahan untuk pembangunan masjid yang kemudian akan dapat mempengaruhi penentuan arah bangunan masjid, ditunjukkan pada gambar 12.

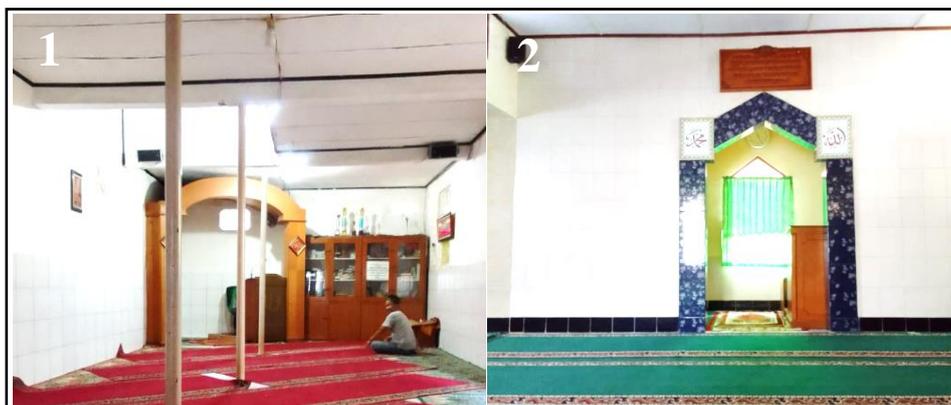


Gambar 12. Identifikasi Pengaruh Koefisien Dasar Bangunan Masjid.

Secara umum besarnya nilai rata-rata penyimpangan arah kiblat pada seluruh bangunan masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul adalah sebesar $15^{\circ} 1' 0,365''$. Nilai penyimpangan tersebut dinilai sangat besar jika dibandingkan dengan nilai toleransi ketelitian arah kiblat masjid. Nilai toleransi pada penelitian ini dihitung berdasarkan arah ke Kota Mekah. Berdasarkan penelitian Awaluddin dkk. (2016) menunjukan bahwa wilayah Kota Mekah terbentang dari titik paling utara di koordinat geodetik $21^{\circ} 28' 38,21''$ LU dan $39^{\circ} 49' 57,14''$ BT, hingga menuju ke titik paling selatan di koordinat geodetik $21^{\circ} 23' 8,56''$ LU dan $39^{\circ} 49' 20,06''$ BT. Melalui hasil perhitungan azimuth geodetik diperoleh nilai rata-rata toleransi arah penyimpangan sebesar $+3' 27,607''$ dan $-2' 15,089''$. Hasil uji toleransi tersebut menunjukan bahwa hanya ada satu masjid yang arah bangunannya mengarah ke Kota mekah yaitu Masjid Al Balad di Kelurahan Sukapada. Masjid tersebut memiliki penyimpangan arah bangunan terkecil dari seluruh masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul yaitu sebesar $6,481''$. Banyaknya masjid yang mengalami penyimpangan arah bangunan masjid tersebut dapat terjadi karena tidak diperhitungkannya dengan teliti arah bangunan masjid saat pembangunan awal. Berdasarkan data dari SIMAS, pembangunan masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul rata-rata dilakukan pada tahun 1963. Pada tahun tersebut metode pengukuran dan teknologi penentuan arah kiblat secara geodetik menggunakan alat-alat modern seperti GPS geodetik tentu belum berkembang, sehingga penyimpangan arah bangunan pada setiap masjid masih sangat memungkinkan terjadi.

E. Survei Lapangan

Survei di lapangan dilakukan untuk memvalidasi posisi masjid dan menganalisis pola arah saf sholat masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul. Pada penelitian ini survei dilakukan pada 75 masjid atau sekitar 50% dari seluruh masjid yang tersebar di seluruh wilayah Kecamatan Cibeunying Kidul. Penentuan lokasi masjid dilakukan secara acak atau *random sampling*. Hasil survei lapangan menunjukan bahwa 100% lokasi masjid yang diidentifikasi melalui data IGD sesuai dengan posisi yang sebenarnya. Selanjutnya dari hasil pengamatan secara visual pada arah kiblat masjid di lapangan menunjukan adanya dua kondisi yang berbeda. Kondisi yang pertama terjadi pada 10 masjid, dimana arah kiblat sholat tidak lurus dengan arah bangunan masjid. Sedangkan kondisi yang kedua terjadi pada 65 masjid yang arah kiblat sholat lurus dengan arah bangunan masjid, ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Kondisi Arah Saf Sholat di Masjid Darul Amin dan Masjid Al Barokah.

Berdasarkan hasil survei lapangan tersebut menunjukkan bahwa mayoritas pola arah saf masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul adalah sesuai dengan arah bangunan masjidnya. Hasil tersebut sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hamdani (2020) di Kecamatan Bandung Wetan. Sehingga evaluasi untuk mengidentifikasi penyimpangan arah kiblat masjid secara umum dapat dilakukan dengan cara mengukur arah bangunan masjid. Dengan begitu penggunaan IGD akan cukup efektif untuk mengurangi beban kerja instansi pemerintah yang bertugas mengevaluasi dan memverifikasi arah kiblat masjid secara masal, khususnya yaitu Badan Hisab dan Rukyat (BHR) Kota Bandung.

Kesimpulan

Pemanfaatan data IGD dengan skala tinggi terbukti cukup efektif untuk digunakan dalam mengidentifikasi posisi dan geometri bangunan secara akurat. Pada penelitian ini dapat diidentifikasi jumlah bangunan masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul sebanyak 147 bangunan. Nilai rata-rata arah kiblat yang dihitung menggunakan metode *vincenty* pada semua masjid adalah sebesar $295^{\circ} 1' 38,298''$. Nilai tersebut terpaut cukup jauh dibandingkan dengan rata-rata arah bangunan masjid yaitu sebesar $291^{\circ} 59' 16,919''$. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata penyimpangan arah bangunan masjid terhadap arah kiblat sebesar $15^{\circ} 1' 0,365''$. Terdapat dua faktor yang teridentifikasi dapat mempengaruhi besarnya arah penyimpangan tersebut yaitu arah kepadatan bangunan sekitar masjid sebesar 27,688 % dan koefisien dasar bangunan masjid sebesar 14,001 %. Kemudian dari hasil perhitungan toleransi penyimpangan arah kiblat menunjukkan bahwa hanya Masjid Al Balad yang arah bangunannya sesuai dengan arah kiblat sholat. Dengan asumsi bahwa arah saf sholat masjid di Kecamatan Cibeunying Kidul lurus dengan arah bangunan masjid.

Daftar Notasi

φ, λ = koordinat geodetik pada ellipsoid referensi [$^{\circ}$ " " Lintang, $^{\circ}$ " " Bujur]
 U = lintang reduksi [$^{\circ}$ " "]
 α = azimuth [$^{\circ}$ " "]
 e^2 = konstanta eksentrisitas pertama pada ellipsoid referensi
 f = konstanta pengepengan pada ellipsoid referensi
 σ = jarak busur dari equator [$^{\circ}$ " "]
 s = jarak geodetik [meter]
 N = Radius Lengkung Normal [meter]
 δg = Koreksi Irisan Normal Geodetik [$^{\circ}$ " "]
 X, Y = koordinat peta [meter, meter]

Daftar Pustaka

- Andiyan, C., & Aldyanto, I. (2021). Kajian Arsitektur Pada Massa Bangunan Masjid Cipaganti. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 7(2), 189–199. <https://doi.org/10.35326>
- Awaluddin, M., Yuwono, B. D., Hani'ah, H., & Wicaksono, S. (2016). Kajian Penentuan Arah Kiblat Secara Geodetis. *Teknik*, 37(2), 84–87. <https://doi.org/10.14710>
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung. (2020). Retrieved August 13, 2022, from <https://bandungkota.bps.go.id/statictable/2020/12/03/1276/jumlah-muslim&tempat-peribadatan-di-kota-bandung-2019.html>
- Daud, M. K., & Sunardy, I. (2019). Pengukuran Arah Kiblat Menggunakan Alat Modern menurut Perspektif Ulama Dayah (Studi Kasus di Kabupaten Pidie). *Syariah dan hukum*. 2(1), 3-4. <http://dx.doi.org/10.22373/ujhk.v2i1.7639>
- Dery, T., & Sutiksna, H. (2011). Arah Kiblat Umat Islam Kota Bandung. In R. Ceha (Ed.), *SNaPP2011: Sosial, Ekonomi, dan Humaniora* (pp. 497–504). Universitas Islam Bandung. <https://adoc.pub/arah-kiblat-umat-islam-kota-bandung.html>
- Fawzi, N. I., & Husna, V. N. (2021). Pemanfaatan Informasi Geospasial untuk Ketahanan Pangan Saat Pandemi Covid-19. *Geografi*, 19(1).
- Gumilar Nur Fajar; Bramanto, Brian; Andreas, Heri; Abidin, Hasanuddin Zainal; Gamal, Mohamad, I. T. (2019). Algoritma Penentuan Dan Rekontruksi Arah Kiblat Teliti Menggunakan Data GNSS. *Geomatika*, 25(2), 73–84. <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/article/view/974/974>
- Hamdani, F. F. R. S. (2020). Verifikasi dan Pemetaan Arah Kiblat Bangunan Masjid dan Musola. *Hayula: Indonesian Journal of Multidisciplinary Islamic Studies*, 4(2), 245–262. <https://doi.org/10.21009/004.2.06>
- Haryanto, A., Ega, M., Ayu, S., Setiawan, A., & Softyan. Asep. (2019). *27 Inovasi Pemanfaatan Informasi Geospasial* (Suprajaka (Ed.)). Badan Informasi Geospasial. https://simojang.big.go.id/assets/inovasi_13okt19.pdf
- Lesawengan, V. F., Jansen, F., & Manoppo, F. J. (2019). Minimalisasi Kesalahan Survey Topografi Dalam Pemetaan

- Digital Dengan Koordinat Global Menggunakan Autocad Land Desktop Dan Geographic Information System. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/21409>
- Murtadlo, M. L., & Yuwono, Y. (2017). Studi Perbandingan Ketelitian Nilai Azimut Melalui Pengamatan Matahari dan Global Positioning System (GPS) Terhadap Titik BM Referensi (Studi Kasus: Kampus ITS Sukolilo). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), A202–A206. <https://doi.org/10.12962>
- Rifa'i, A. (2016). Revitalisasi Fungsi Masjid dalam Kehidupan Masyarakat Modern. *Jurna IAIN Kediri*. 10(2), 155-163. <https://jurnal.iainkediri.ac.id/index.php/universum/article/download/256/220>.
- Senoprabowo, A., Laksana, D. A. W., & Putra, T., P. (2020). Inovasi Ornamen Masjid Agung Demak untuk Motif Batik Kontemporer Khas Demak. *Jurnal Seni Rupa dan Desain*. <https://journal.isi.ac.id/index.php/ars/article/view/4097/1776>
- Soraya, M., Kirana, C., Iqbal, M., & Karsono, B. (2017). *Persepsi Elemen Arsitektural Masjid terkait Konsep Arsitektur Islami*. I101–I108. <https://doi.org/10.32315/TI.6.I101>
- Wu, B., & Zhang, S. (2016). Integration Of Gis And Bim For Indoor Geovisual Analytics. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B2, 455–458. <https://doi.org/10.5194>