

**Widyayuni Nur Harjanti, Suseno Darsono, dan Suripin**

Analisis Distribusi Sedimen pada Waduk Raknamo dengan Metode Empiris Pengurangan Luas

**Steven Humena, Frengki E.P. Surusa, Yusrianto Malago, dan Taufik Libunelo**  
Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis *Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory*

**Syah Alam, Nadia Media Rizka, Indra Surjati, Pipit Dewi Marlina, dan Gunawan Tjahjadi.**

Desain Antena Mikrostrip dengan *Multi Band* Frekuensi Menggunakan Metode Parasitik

**Deryl Baharudin S., Salwa Salsabila, dan Nitta Fitria Anggraeni**

Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Air Minum Kemasan Galon Menggunakan Metode *Saving Matrix* di Depot Air Minum Isi Ulang Banyu Belik Purwokerto

**Muhammad Faizal Nurritzky, Sofia Dwiagnes, dan Nitta Fitria Anggraeni**

Pencarian Rute Terpendek pada Distribusi *Raw Material* Metode Dijkstra di PT. SHP

**Chandra Desparaja, R. Faris Gumelar, dan Nitta Fitria Anggraen**

Pendistribusian Produk Kartu Seluler untuk Alternatif Rute Terpendek Menggunakan Metode *Branch and Bound* di PT. T

**Istnaeny Hudha M., Kartika Dewi R., Janna Fitri R, dan Nabilah Ayu M.**

Potensi Limbah Keju (*Whey*) sebagai Bahan Pembuatan Plastik Pengemas yang Ramah Lingkungan

**M. Reza Hidayat dan Adhitya Ari Poetra**

Purwarupa Mode Konverter *Rectangular Waveguide* Menggunakan *Double-Trench*

**Wrastawa Ridwan, Dienul H. Haryanto, dan Iskandar Z. Nasibu**

Rancang Bangun Model Pengendali Katup Cerdas Bak Penampungan Air PDAM

**Hajiar Yuliana, Rady Yusaniar, dan Yuda Bakti Zainal**

Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting* di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik *Array*

## TIM REDAKSI

- Pimpinan Redaksi : Dr. Putu Teta Prihartini, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 56951380600)
- Dewan Redaksi : • Dr. Ir. Ferry Rusgiarto, M.T  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 56688583600)  
• Dr. Hendriyana, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57189732631)  
• Yuda Bakti Zainal, ST., MT  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 6083767)  
• Agus Juhara, S.T.,M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani)  
• Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.  
(Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) - Bandung,  
Scopus ID: 6507211795)
- Editor Teknis : • Deny Bayu Saefudin, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 133135)  
• Atik Charisma, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57188567470)  
• Giri Angga Setia, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57194215122)  
• Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57188573899)  
• Andri Rahmat Kumalasian, S.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)  
• Xbal Meiprastyo, S.T., M.Eng.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6722189)  
• Tiara Ariani Putri, S.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
-

**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 2020

- Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Dipl. Ing. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 6506054959)
- Prof. I. N. Suprpta Winaya, S.T., M.A.Sc., Ph.D. (Universitas Udayana, Indonesia, Scopus ID: 18635759300)
- Dr. Suhartono, S.T., M.Si. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57189075734)
- Dr. Damawidjaya Biksono, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 55919091000)
- Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D. (Politeknik Negeri Semarang, Indonesia, Scopus ID: 57194209980)
- Dr. P. Y. M. Wibowo Nd, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, SCOPUS ID: 55983351800)
- Dr. Sutrisno, Ir., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57205031839)
- Dr. Nita Puspita Hidayat, Ir., M.T. (Universitas Islam Bandung, Indonesia, Scopus ID: 57201677362)\*
- Dr. Rinto Yusriski, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 56582391600)
- Dr. Eng. Christina Wahyu K., S.T., M.T. (Universitas Brawijaya, Indonesia, Scopus ID: 56688583600)
- Dr. Ir. Iskandar Muda, M.Eng. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57195229456)
- Putu Doddy Sutrisna S.T., M.Sc., Ph.D. (Universitas Surabaya, Indonesia, Scopus ID: 6504553709)\*
- Ir. Kusharjanto, M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57193392775)
- Sofyan Basuki, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Ir. Emi Prasetyawati Umar, S.Si., M.T., IPP (Universitas Muslim Indonesia, Makasar, Scopus ID: 57201065526)
- Dr, Ir. Ariani Budi Safarina, M.T., (Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 57200635517)
- Ir. Nana Heryana, IPM (Institut Teknologi Bandung, Scopus ID: 35174665300)\*

- Prof. Ir. Lilik Sudiajeng, M.Erg. (Politeknik Negeri Bali, Scopus ID: 55189864100)
- Dr. Hendriyana, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57189732631)
- Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. (Institut Pertanian Bogor, Scopus ID: 57195301854)
- Dr. Charles Sitompul, ST., MT., MIM (Universitas Khatolik Parahyangan, Scopus ID: 23975188900)
- Ir. Harry Ramza, M.T., Ph.D (Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Scopus ID: 55189898100)\*
- Dr. Ir. Endang Prasetyaningsih, M.T. (Universitas Islam Bandung, Scopus ID: 57189580587)\*
- Annisa Uswatun Khasanah, S.T., MBA., M.Sc (Universitas Islam Indonesia, Scopus ID: 57195477115)\*
- Syah Alam, S.Pd., M.T. (Universitas Trisakti, Scopus ID: 57191903622)\*
- Dr. Imroatul Chalimah Juliana, S.T., M.T. (Universitas Sriwijaya, Scopus ID: 57193694034)\*

## DAFTAR ISI

<b>Analisis Distribusi Sedimen pada Waduk Raknamo dengan Metode Empiris Pengurangan Luas</b> Widyayuni Nur Harjanti, Suseno Darsono, dan Suripin	01-09
<b>Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis <i>Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory</i></b> Steven Humena, Frengki E.P. Surusa, Yusrianto Malago, dan Taufik Libunelo	10-17
<b>Desain Antena Mikrostrip dengan <i>Multi Band</i> Frekuensi Menggunakan Metode Parasitik</b> Syah Alam, Nadia Media Rizka, Indra Surjati, Pipit Dewi Marlina, Gunawan Tjahjadi	18-23
<b>Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Air Minum Kemasan Galon Menggunakan Metode <i>Saving Matrix</i> di Depot Air Minum Isi Ulang Banyu Belik Purwokerto</b> Deryl Baharudin S., Salwa Salsabila, dan Nitta Fitria Anggraeni	24-33
<b>Pencarian Rute Terpendek pada Distribusi <i>Raw Material</i> Metode Dijkstra di PT. SHP</b> Muhammad Faizal Nurrizky, Sofia Dwiagnes, dan Nitta Fitria Anggraeni	34-39
<b>Pendistribusian Produk Kartu Seluler untuk Alternatif Rute Terpendek Menggunakan Metode <i>Branch and Bound</i> di PT. T</b> Chandra Desparaja, R. Faris Gumelar, dan Nitta Fitria Anggraeni	40-45
<b>Potensi Limbah Keju (<i>Whey</i>) sebagai Bahan Pembuatan Plastik Pengemas yang Ramah Lingkungan</b> Istnaeny Hudha M., Kartika Dewi R., Janna Fitri R, dan Nabilah Ayu M.	46-52
<b>Purwarupa Mode Konverter <i>Rectangular Waveguide</i> Menggunakan <i>Double-Trench</i></b> M. Reza Hidayat dan Adhitya Ari Poetra	53-59
<b>Rancang Bangun Model Pengendali Katup Cerdas Bak Penampungan Air PDAM</b> Wrastawa Ridwan, Dienul H. Haryanto, dan Iskandar Z. Nasibu	60-68
<b>Rancang Bangun Sistem <i>Energy Harvesting</i> di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik <i>Array</i></b> Hajiar Yuliana, Rady Yusaniar, dan Yuda Bakti Zainal	69-78

## DARI REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Kuasa atas perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Teknik (JT) Volume 19 Nomor 1, bulan Mei 2020. Dalam edisi ini disajikan 10 (sepuluh) makalah berkaitan dengan bidang Ilmu Teknik, yang mencakup Teknik Kimia, Teknik Elektro, Teknik Mesin, Teknik Sipil, Teknik Metalurgi, dan Teknik Industri lingkungan yang meliputi: (1) Analisis Distribusi Sedimen pada Waduk Raknamo dengan Metode Empiris Pengurangan Luas, (2) Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis *Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory*, (3) Desain Antena Mikrostrip dengan *Multi Band* Frekuensi Menggunakan Metode Parasitik, (4) Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Air Minum Kemasan Galon Menggunakan Metode *Saving Matrix* di Depot Air Minum Isi Ulang Banyu Belik Purwokerto, (5) Pencarian Rute Terpendek pada Distribusi *Raw Material* Metode Dijkstra di PT. SHP, (6) Pendistribusian Produk Kartu Seluler untuk Alternatif Rute Terpendek Menggunakan Metode *Branch and Bound* di PT. T, (7) Potensi Limbah Keju (*Whey*) sebagai Bahan Pembuatan Plastik Pengemas yang Ramah Lingkungan, (8) Purwarupa Mode Konverter *Rectangular Waveguide* Menggunakan *Double-Trench*, (9) Rancang Bangun Model Pengendali Katup Cerdas Bak Penampungan Air PDAM, dan (10) Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting* di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik *Array*.

Redaksi menyampaikan rasa terima kasih kepada peneliti-peneliti untuk mempublikasikan hasil penelitiannya dalam Jurnal Teknik edisi 19(1) 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, 31 Mei 2020

Dewan redaksi

## Analisis Distribusi Sedimen pada Waduk Raknamo dengan Metode Empiris Pengurangan Luas

<sup>1</sup>Widyayuni Nur Harjanti, <sup>2</sup>Suseno Darsono, dan <sup>3</sup>Suripin

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>1</sup>[widyayuni.nh@gmail.com](mailto:widyayuni.nh@gmail.com), <sup>2</sup>[sdarsono@hotmail.com](mailto:sdarsono@hotmail.com), <sup>3</sup>[suripin.ar@gmail.com](mailto:suripin.ar@gmail.com)

### Abstrak

Waduk Raknamo merupakan salah satu waduk yang terletak di Propinsi Nusa Tenggara Timur. Waduk dengan kapasitas tampungan air sebesar 14,09 juta m<sup>3</sup> diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat Desa Raknamo. Namun dalam pengelolaan waduk sering ditemukan masalah, salah satunya yaitu masalah sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi sedimen pada Waduk Raknamo. Metode yang digunakan menggunakan Metode Pengurangan Luas (*Area Reduction Method*). Berdasarkan hasil analisis dengan usia guna waduk 50 tahun, dari total jumlah sedimen yang mengendap, kapasitas tampungan mati waduk yang berada pada elevasi +94 m terisi sedimen sebesar 55,21% dari total yang disediakan. Maka dapat disimpulkan bahwa Waduk Raknamo setelah operasional 50 tahun relatif tidak terganggu oleh sedimentasi dan tetap dapat operasional melebihi usia waduk yang direncanakan.

Kata kunci: distribusi sedimen, waduk Raknamo, metode pengurangan luas, usia guna waduk

### Abstract

Raknamo Reservoir is one of the reservoirs located in East Nusa Tenggara Province. The reservoir with a water storage capacity of 14.09 million m<sup>3</sup> is expected to meet the water needs of the people of Raknamo Village. But in the management of reservoirs, problems are often found, one of which is sedimentation. This study aims to determine the distribution of sediment in the Raknamo Reservoir. The method used is the Area Reduction Method. Based on the analysis with a reservoir life span of 50 years, from the total amount of sediment that has settled, dead storage capacity at +94 m elevation is only filled at 55.21% of the total provided. It can be concluded that the Raknamo Reservoir after 50 years of operation is relatively undisturbed by sedimentation and can still be operational beyond the planned reservoir life.

Keywords: distribution of sediment, Raknamo reservoir, area reduction method, reservoir useful life

### 1. Pendahuluan

Tantangan terbesar dalam pengelolaan waduk diantaranya adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi yang terjadi pada waduk dapat disebabkan salah satunya akibat erosi pada lahan kritis yang terdapat pada daerah hulu DAS. Material sedimen yang berasal dari erosi lahan akan mengalir dan terbawa arus dan mengendap di waduk. Hal ini menyebabkan kapasitas tampungan waduk menurun sehingga akan mengurangi umur rencana waduk.

Dalam pembangunan waduk, umur layanan waduk telah direncanakan berdasarkan umur rencana. Pada umumnya waduk dibangun dengan umur layanan lebih dari 50 tahun. Usia waduk ditentukan oleh berapa lama volume tampungan mati (*dead storage*) terisi oleh sedimen (Mukti, 2019). Besarnya sedimentasi yang mungkin terjadi selama umur layanan waduk diperhitungkan dengan menyediakan kapasitas tampungan untuk sedimen pada daerah endapan yang biasa disebut tampungan mati (*dead storage*). Namun demikian, meskipun tampungan mati telah penuh dengan sedimen, waduk tersebut masih dapat difungsikan selama bangunan pengeluaran belum tertutup sedimen dan masih tersedia volume tampung efektif. Penentuan distribusi sedimen yang terakumulasi di waduk sangat diperlukan pada tahap perencanaan waduk (Michalec, 2014).

Dengan diketahuinya laju sedimentasi serta sebaran endapan sedimen waduk dalam daerah genangan maka upaya pemeliharaan waduk lebih mudah dilakukan. Upaya tersebut lebih optimal apabila didukung dengan hasil analisis distribusi sedimen, sehingga umur layanan waduk dapat tercapai sesuai dengan yang direncanakan. Prediksi distribusi sedimen adalah permasalahan penting operasi waduk untuk tindakan pencegahan yang tepat dalam keamanan bendungan (Chaudhuri, 2017).

Penelitian dilakukan dengan mengambil lokasi pada Waduk Raknamo, yang berada di Desa Raknamo, Kecamatan Amabi Oefeto, Kabupaten Kupang, Provinsi NTT. Daerah Aliran Sungai Raknamo seluas 38,34 km<sup>2</sup>. Panjang sungai utama, Sungai Noel Puames adalah 15,71 km. Tata guna lahan di sekitar waduk berupa semak belukar, tegalan/tanah kosong, pemukiman, hutan jati dan kebun. Waduk ini mempunyai kapasitas tampungan sebesar 14,09 juta m<sup>3</sup>. Manfaat dibangun bendungan ini adalah untuk memenuhi kebutuhan irigasi, memenuhi kebutuhan air baku, pengendali banjir dan PLTMH (BWS, 2015).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung distribusi sedimen selama masa operasi waduk Raknamo sehingga diketahui presentase sedimen yang

#### Info Makalah:

Dikirim : 04-15-20;

Revisi 1 : 05-02-20;

Revisi 2 : 05-18-20;

Diterima : 06-10-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-815-8463-3216

e-mail : [widyayuni.nh@gmail.com](mailto:widyayuni.nh@gmail.com)

mengendap di area kapasitas waduk. Metode Empiris Penambahan Luas dan Pengurangan luas (*area increment and area reduction method*) adalah metode untuk menduga distribusi sedimen di waduk (Achsani, *et al.*, 2015). Diantara semua metode yang ada saat ini, hanya metode pengurangan luas dan penambahan luas yang dianggap sebagai metode utama untuk prediksi distribusi sedimen (Hosseinjanjanzah, Hosseini, Kaveh, & Mousavi, 2015). Dalam penelitian ini, digunakan *Area Reduction Method* karena metode ini dianggap memiliki simpangan lebih kecil dibandingkan dengan *Area Increment Method* (Setyono & Putri, 2017).

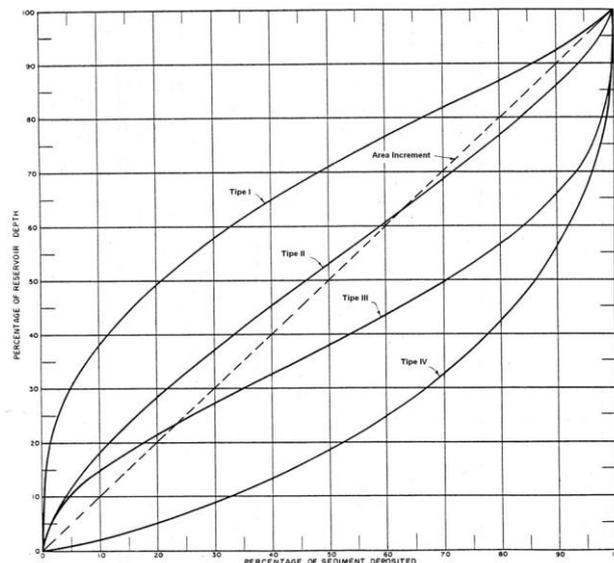
Distribusi sedimentasi waduk ialah penyebaran partikel sedimen pada elevasi permukaan waduk dalam periode tertentu. Masing-masing waduk mempunyai pola tersendiri dalam distribusi sedimentasi, dengan pengertian lain bahwa semua waduk mempunyai karakteristik dan sistem yang berbeda antara satu dengan yang lainnya (Setyono, 2011). Menurut Priyantoro (1987), pola distribusi waduk dipengaruhi oleh: jenis muatan sedimen; ukuran dan bentuk waduk; dan lokasi dan ukuran outlet.

Prediksi Distribusi Sedimen di Waduk:

- Penyebaran partikel sedimen di seluruh permukaan dasar waduk dalam periode tertentu.
- Tiap waduk mempunyai pola distribusi sedimen yang berbeda karena karakteristik dan sistem yang berbeda.
- Bentuk waduk, sistem operasi waduk dan ukuran butiran sedimen mempengaruhi distribusi sedimen di waduk.
- Diperlukan untuk memprediksi/mengetahui akumulasi sedimen pada tiap – tiap elevasi waduk.

## 2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Empiris Pengurangan Luas (*Empirical Area Reduction Method*). Metode ini dikemukakan oleh Whitney M. Borland dan Carl L. Miller (1960) yang kemudian diperbaiki oleh Lara pada tahun 1962 (Yang, 1976). Tahap awal yang dilakukan adalah pemilihan salah satu tipe kurva pada Gambar 1 yang digunakan metode empiris pengurangan luas untuk mengestimasi pengurangan kapasitas waduk akibat sedimentasi (Morris & Fan, 1997). Pemilihan kurva berdasarkan bentuk waduk, sistem operasi waduk atau ukuran butiran sedimen.



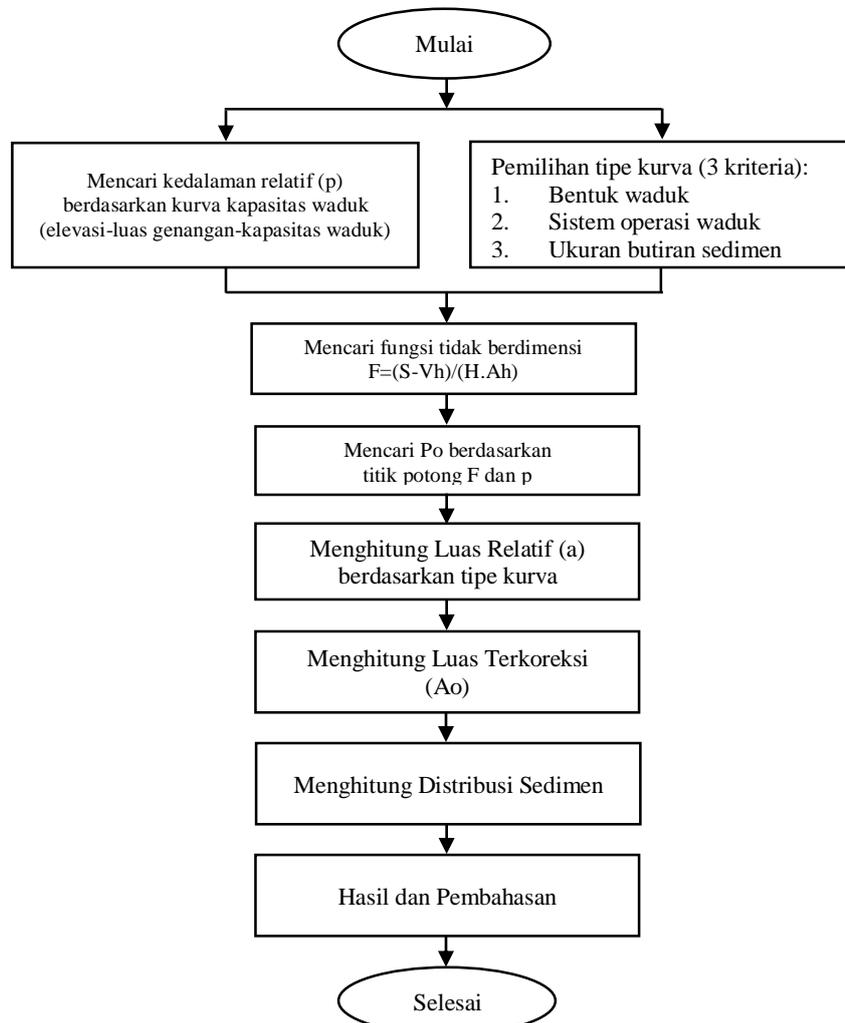
Gambar 1. Kurva untuk Metode Empiris Pengurangan Luas

Langkah-langkah perhitungan distribusi sedimen dengan metode empiris pengurangan luas adalah sebagai berikut:

- Menentukan bentuk waduk yang sesuai
- Menghitung faktor tak berdimensi
- Menghitung elevasi dari endapan sedimen yang mencapai bendungan yang merupakan titik dasar kedalaman baru (*new zero elevation*) berdasarkan hasil perpotongan antara garis yang terbentuk melalui hubungan titik-titik harga F dengan lengkung harga kedalaman *relative* (p) untuk tipe bentuk waduk yang sesuai (pada langkah 1) dengan menggunakan grafik.
- Menentukan luas sedimen *relative* ( $A_p$ ) pada setiap kedalaman waduk yang diperoleh dari rumus sebagai berikut:
  - Type I :  $A_p = 5,074 P^{1,85} (1-P)^{0,35}$
  - Type II :  $A_p = 2,487 P^{0,57} (1-P)^{0,41}$
  - Type III :  $A_p = 16,967 P^{1,15} (1-P)^{2,32}$
  - Type IV :  $A_p = 1,486 P^{-0,25} (1-P)^{1,34}$
- Menghitung luas sedimen pada setiap elevasi waduk yang diperoleh dari harga  $A_p$  pada elevasi yang bersangkutan dikalikan dengan harga Z. Harga Z diperoleh dari luas mula-mula waduk pada *new zero elevation* dibagi dengan harga  $A_p$  pada elevasi tsb.
- Menghitung volume sedimen pada setiap elevasi waduk setelah luas sedimen diketahui

- g. Berdasarkan perhitungan distribusi sedimen di Waduk tersebut, apabila volume sedimen kumulatif tidak sama dengan volume sedimen terendap, maka harga Z dikoreksi terus sampai mendekati hasil jumlah sedimen yang terendapkan sama dengan sedimen kumulatif.

Bagan Alir Penelitian Distribusi Sedimen dengan metode Pengurangan Luas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



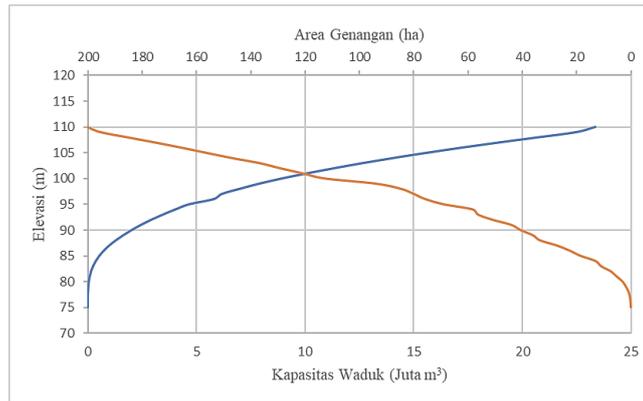
Gambar 2. Bagan Alir Distribusi Sedimen dengan Metode Pengurangan Luas

### 3. Hasil dan Pembahasan

Analisis distribusi sedimen memerlukan data teknis yang berupa data tampungan waduk Tabel 1 dan kurva kapasitas tampungan waduk awal Gambar 3.

Tabel 1. Tampang Waduk Raknamo  
(Sumber: BWS Nusa Tenggara II)

<b>Elevasi</b>	<b>Luas (Ha)</b>	<b>Luas (juta m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (juta m<sup>3</sup>)</b>
75	0	0	0
76	0,143	0,00143	0
77	0,338	0,00338	0,003
78	0,868	0,00868	0,009
79	1,826	0,01826	0,022
80	3,077	0,03077	0,047
81	5,272	0,05272	0,089
82	7,465	0,07465	0,152
83	11,009	0,11009	0,245
84	13,092	0,13092	0,369
85	18,59	0,1859	0,532
86	22,535	0,22535	0,737
87	27,269	0,27269	0,986
88	33,461	0,33461	1,29
89	36,14	0,3614	1,638
90	40,671	0,40671	2,022
91	44,056	0,44056	2,446
92	51,022	0,51022	2,921
93	56,323	0,56323	3,458
94	58,324	0,58324	4,031
95	68,982	0,68982	4,667
96	75,708	0,75708	5,791
97	79,934	0,79934	6,169
98	84,737	0,84737	6,992
99	93,977	0,93977	7,886
100	112,672	1,12672	8,919
101	120,962	1,20962	10,087
102	129,274	1,29274	11,339
103	136,939	1,36939	12,67
104	147,306	1,47306	14,091
105	156,538	1,56538	15,61
106	165,734	1,65734	17,222
107	175,366	1,75366	18,927
108	185,543	1,85543	20,732
109	195,37	1,9537	22,47
110	200,309	2,00309	23,348



Gambar 3. Kurva Tampungan Waduk Raknamo

### Estimasi distribusi sedimen di Waduk Raknamo

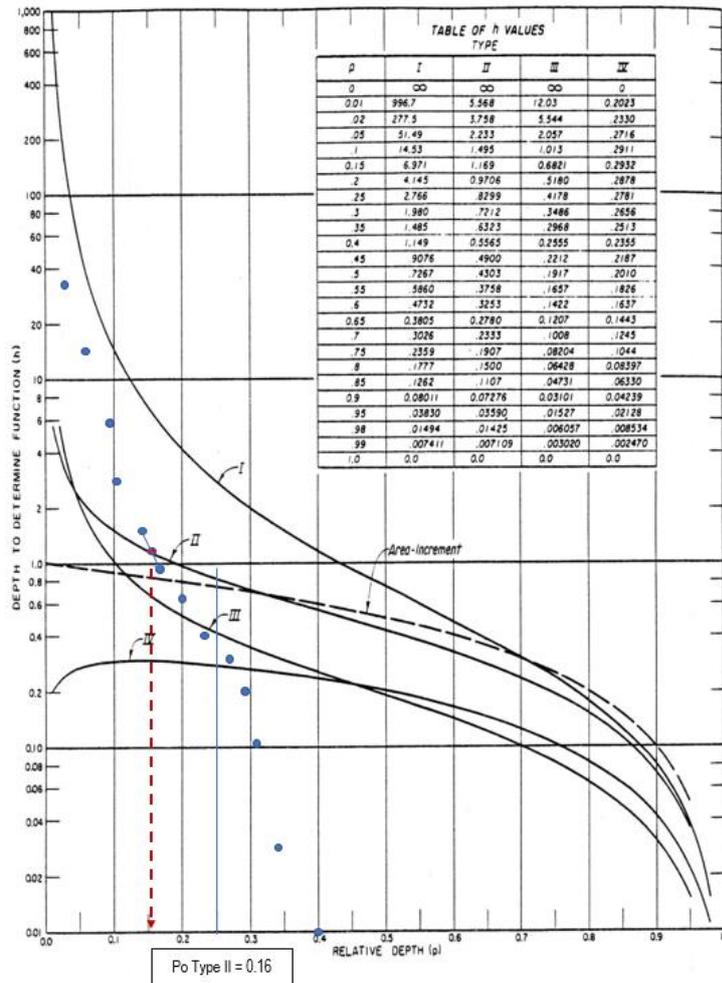
1. Jumlah sedimen yang mengendap di waduk selama 50 tahun sebesar  $1.591.332,9 \text{ m}^3$
2. Mencari Kedalaman Relatif  $p$  dengan menggunakan data kurva tampungan waduk.
3. Dasar pemilihan kurva dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Pemilihan Tipe Kurva

No.	Deskripsi	Tipe Kurva	Keterangan
1	Bentuk Waduk	III	Bentuk waduk bukit-pegunungan
2	Sistem Operasi Waduk	II	Surutan muka air waduk sedang
3	Ukuran Butiran Sedimen	II	Lanau
Kurva yang digunakan		II	

Sehingga dalam perhitungan kedalaman nol baru pada waduk, kurva yang digunakan adalah kurva Tipe II.

4. Mencari Fungsi tidak berdimensi  $F$
5. Plot  $F$  dan  $p$  untuk mendapatkan  $p_0$  berdasarkan titik potongnya pada Tipe kurva waduk pada Gambar 3. Dari kurva Gambar 3 didapatkan  $P_0$  (kurva Tipe II) = 0,16



Gambar 4. Penentuan Po berdasarkan Kurva Hubungan F dan p

- Menghitung luas relatif a berdasarkan tipe Kurva design luas waduk Kurva Tipe II dengan rumus:  $a = 2,487p^{0,57} (a-p)^{0,41}$
  - Menghitung luas terkoreksi  $A_0 =$  Luas pada kedalaman nol baru dibagi dengan luas relatif pada kedalaman nol baru
  - Menghitung distribusi sedimen.
  - Menghitung luas dan kapasitas waduk sesudah sedimentasi
- Perhitungan secara lengkap disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Sedimen di Waduk Raknamo untuk masa operasi 50 tahun

No.	Elevasi	Kedalaman (H) m	Luas (Ah) juta m <sup>2</sup>	Kapasitas (Vh) juta m <sup>3</sup>	Kedalaman Relatif (p)	Sedimen Mengendap 2006-2016 (S) Juta m <sup>3</sup>	F = (S-Vh)/(H.Ah)	Luas Relatif (Type II)	Luas Terdistribusi Juta m <sup>2</sup>	Penambahan Volume Juta m <sup>3</sup>	Vol Kumulatif Juta m <sup>3</sup>	Luas Revisi Juta m <sup>2</sup>	Vol Revisi Juta m <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	110	35	2,003	23,348	1,00	1,59	-0,31	0,0000	0,000	0,015	1,793	2,003	21,555
2	109	34	1,954	22,470	0,97		-0,31	0,5694	0,031	0,035	1,778	1,923	20,692
3	108	33	1,855	20,732	0,94		-0,29	0,7438	0,040	0,043	1,742	1,815	18,990
4	107	32	1,754	18,927	0,91		-0,28	0,8631	0,047	0,049	1,699	1,707	17,228

No.	Elevasi	Kedalaman (H) m	Luas (Ah) juta m <sup>2</sup>	Kapasitas (Vh) juta m <sup>3</sup>	Kedalaman Relatif (p)	Sedimen Mengendap 2006- 2016 (S) Juta m <sup>3</sup>	$F = (S-Vh)/(H.Ah)$	Luas Relatif (Type II)	Luas Terdistribusi Juta m <sup>2</sup>	Penambahan Volume Juta m <sup>3</sup>	Vol Kumulatif Juta m <sup>3</sup>	Luas Revisi Juta m <sup>2</sup>	Vol Revisi Juta m <sup>3</sup>
5	106	31	1,657	17,222	0,89		-0,27	0,9537	0,052	0,053	1,650	1,606	15,572
6	105	30	1,565	15,610	0,86		-0,26	1,0257	0,055	0,057	1,596	1,510	14,014
7	104	29	1,473	14,091	0,83		-0,24	1,0842	0,059	0,060	1,539	1,415	12,552
8	103	28	1,369	12,670	0,80		-0,23	1,1320	0,061	0,062	1,480	1,308	11,190
9	102	27	1,293	11,339	0,77		-0,22	1,1712	0,063	0,064	1,417	1,229	9,922
10	101	26	1,210	10,087	0,74		-0,20	1,2030	0,065	0,066	1,353	1,145	8,734
11	100	25	1,127	8,919	0,71		-0,19	1,2283	0,066	0,067	1,288	1,060	7,631
12	99	24	0,940	7,886	0,69		-0,19	1,2479	0,067	0,068	1,221	0,872	6,665
13	98	23	0,847	6,992	0,66		-0,18	1,2622	0,068	0,068	1,153	0,779	5,839
14	97	22	0,799	6,169	0,63		-0,16	1,2717	0,069	0,069	1,085	0,731	5,084
15	96	21	0,757	5,791	0,60		-0,16	1,2766	0,069	0,069	1,016	0,688	4,775
16	95	20	0,690	4,667	0,57		-0,13	1,2772	0,069	0,069	0,947	0,621	3,720
17	94	19	0,583	4,031	0,54		-0,12	1,2737	0,069	0,069	0,878	0,514	3,153
18	93	18	0,563	3,458	0,51		-0,09	1,2661	0,068	0,068	0,809	0,495	2,649
19	92	17	0,510	2,921	0,49		-0,07	1,2546	0,068	0,067	0,741	0,442	2,180
20	91	16	0,441	2,446	0,46		-0,06	1,2392	0,067	0,066	0,674	0,374	1,772
21	90	15	0,407	2,022	0,43		-0,03	1,2198	0,066	0,065	0,607	0,341	1,415
22	89	14	0,361	1,638	0,40		0,00	1,1964	0,065	0,064	0,542	0,297	1,096
23	88	13	0,335	1,290	0,37		0,03	1,1690	0,063	0,062	0,478	0,271	0,812
24	87	12	0,273	0,986	0,34		0,06	1,1374	0,061	0,060	0,416	0,211	0,570
25	86	11	0,225	0,737	0,31		0,11	1,1015	0,059	0,058	0,356	0,166	0,381
26	85	10	0,186	0,532	0,29		0,16	1,0608	0,057	0,056	0,297	0,129	0,235
27	84	9	0,131	0,369	0,26		0,27	1,0152	0,055	0,053	0,241	0,076	0,128
28	83	8	0,110	0,245	0,23		0,35	0,9641	0,052	0,051	0,188	0,058	0,057
29	82	7	0,075	0,152	0,20		0,55	0,9068	0,049	0,047	0,137	0,026	0,015
30	81	6	0,053	0,089	0,17		0,81	0,8426	0,046	0,018	0,090	0,007	-0,001
<b>Nol baru</b>	<b>80,6</b>	<b>5,6</b>	<b>0,044</b>	<b>0,072</b>	<b>0,16</b>		<b>0,99</b>	<b>0,8147</b>	<b>0,044</b>	<b>0,072</b>	<b>0,072</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
31	80	5	0,031	0,047	0,14		1,43	0,7701	0,031	0,047	0,047	0,000	0,000
32	79	4	0,018	0,022	0,11		2,46	0,6873	0,018	0,022	0,022	0,000	0,000
33	78	3	0,009	0,009	0,09		5,21	0,5910	0,009	0,009	0,009	0,000	0,000
34	77	2	0,003	0,003	0,06		13,43	0,4750	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000
35	76	1	0,001	0,000	0,03		31,79	0,3239	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
36	75	0	0	0	0,00		0,00	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Penjelasan dari tiap kolom pada Tabel 3 adalah sebagai berikut:

- (1) Nomor = Nomor urut dari 1 dst.
- (2) Elevasi = Data elevasi didapatkan dari data tampungan waduk pada Tabel 1 dan diisi dari elevasi yang tertinggi
- (3) Kedalaman = (2) – elevasi terendah (75 m)
- (4) Luas = Data luas didapatkan dari data luas tampungan waduk pada Tabel 1

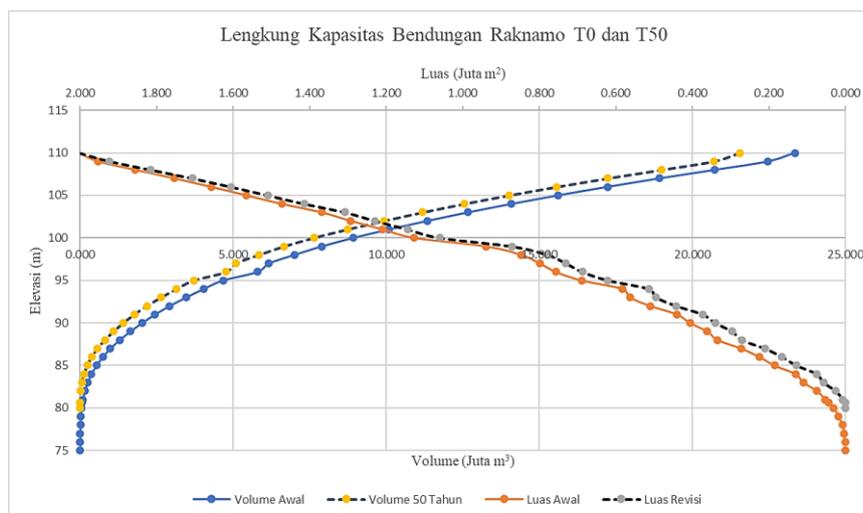
- (5) Kapasitas = Data kapasitas didapatkan dari data volume tampungan waduk pada Tabel 1
- (6) Kedalaman Relatif = (3) / kedalaman pada elevasi tertinggi (35 m)
- (7) Sedimen mengendap = Perhitungan volume sedimen untuk 50 tahun
- (8) Fungsi tak berdimensi =  $((7)-(5)) / ((3)*(4))$
- (9) Luas Relatif =  $2,487*(6)^{0,57} (1-(6))^{0,41}$
- (10) Luas Terdistribusi = (9)\*luas terkoreksi
- (11) Penambahan volume =  $((10)_{n+1} + (10)_{n+1}/2) * (2)_n - (2)_{n+1}$
- (12) Volume kumulatif = Dihitung dari kedalaman nol baru :  $(12)_{n-1} + (11)_n$
- (13) Luas Revisi = (4) – (10)
- (14) Volume Revisi = (5) – (12)

Perbandingan antara perubahan kapasitas tampungan setelah 50 tahun dan kapasitas awal waduk disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Kapasitas Awal dan Kapasitas setelah 50 tahun

Elevasi (m)	Volume (juta m <sup>3</sup> )		Besarnya Sedimen (juta m <sup>3</sup> )	Pengurangan Kapasitas (%)
	T <sub>0</sub> (Awal)	T <sub>50</sub>		
NWL (+104 m)	14,091	12,501	1,59	11,28
LWL (+94 m)	4,031	3,153	0,878	55,21

Dari Tabel 4, terjadi pengurangan kapasitas tampungan waduk pada elevasi muka air normal sebesar 11,28% setelah 50 tahun akibat sedimentasi. Sedangkan pada elevasi muka air minimum, terjadi pengurangan kapasitas tampungan sebesar 55,21%. Hal ini menunjukkan bahwa setelah 50 tahun, pada elevasi muka air normal tampungan waduk masih mempunyai kapasitas sebesar  $(100\% - 11,28\% = 88,72\%)$  dan pada elevasi muka air minimum tampungan waduk masih mempunyai kapasitas sebesar  $(100\% - 55,21\% = 44,79\%)$ . Sedangkan perbandingan Kurva Tampungan Waduk Raknamo awal operasi dan setelah masa operasi 50 tahun disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Lengkung Kapasitas Waduk Raknamo

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan distribusi sedimen, volume sedimen di Waduk Raknamo pada masa operasi 50 tahun sebesar 1,59 juta m<sup>3</sup> dengan elevasi nol baru waduk yaitu pada elevasi +80,6 m. Pengurangan kapasitas tampungan pada elevasi muka air minimum sebesar 55,21% sehingga tampungan mati masih mempunyai kapasitas sebesar 44,79%. Dikarenakan setelah masa operasi 50 tahun tampungan mati masih belum 100% terisi maka dari hasil studi ini dapat disimpulkan bahwa waduk dapat beroperasi sesuai umur yang direncanakan.

Rekomendasi yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu perlunya tambahan data pengukuran sedimen layang di lapangan sehingga hasil prediksi laju erosi total dapat lebih menggambarkan kondisi lapangan dan hasilnya lebih akurat.

### Ucapan Terima Kasih

Kami sebagai penulis makalah penelitian ini mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II atas dukungan data dan informasi untuk penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Achsan, A., Bisri, M., & Suhartanto, E. (2015). Analisis Kecenderungan Sedimentasi Waduk Bili-bili Dalam Upaya Keberlanjutan Usia Guna Waduk. *Teknik Pengairan*, 6(Nomor 1), 30–36.
- BWS, N. I. (2015). *Review Design Bendungan Raknamo*. Kupang.
- Chaudhuri, D. (2017). Trend in Reservoir Sediment Distribution. In *Third National Dam Safety Conference*. Roorke, India.
- Hosseinjanzah, H., Hosseini, K., Kaveh, K., & Mousavi, S. . (2015). New Proposed Method for Prediction of Reservoir Sedimentation Distribution. *International Journal of Sediment Research*, 30(3), 235–240.
- Michalec, B. (2014). The Use of Modified Annandale's Method in the Estimation of the Sediment Distribution in Small Reservoirs—A Case Study. *Water*, 6(October), 2993–3011. <https://doi.org/10.3390/w6102993>
- Morris, G. ., & Fan, J. (1997). *Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*. Mc Graw Hill, USA.
- Mukti, H. A. (2019). Erosion analysis in efforts to sustain the age of use of the kedungombo reservoir. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(10), 1931–1940.
- Priyantoro, D. (1987). *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang: Fakultas Teknik Brawijaya.
- Setyono, E. (2013). Kajian Distribusi Sedimentasi Waduk Wonorejo, Tulungagung-Jawa Timur. *Media Teknik Sipil*, 9(2), 132–141. <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i2.1199>
- Setyono, E., & Putri, A. I. (2017). Kajian Distribusi Sedimentasi Waduk Bening Kabupaten Madiun (Emperical Area Reduction Method Dan Area Increment Method). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 15(1), 34. <https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4490>
- Yang, C. T. (1976). *Sedimentasi Transportasi*. New York: Mc. Graw Hill Companies, Inc.

# Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis *Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory*

Steven Humena<sup>1</sup>, Frengki E.P. Surusa<sup>2</sup>, Yusrianto Malago<sup>3</sup>, dan Taufik Libunelo<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Ichsan Gorontalo, Indonesia

<sup>1</sup>[steven.humena@unisan.ac.id](mailto:steven.humena@unisan.ac.id), <sup>2</sup>[kiki.alaska@gmail.com](mailto:kiki.alaska@gmail.com), <sup>3</sup>[yusrianto\\_malago@live.com](mailto:yusrianto_malago@live.com),

<sup>4</sup>[elektroteknik118@gmail.com](mailto:elektroteknik118@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian ini mempelajari pengaruh peningkatan beban terhadap sistem ketenagalistrikan pada jaringan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV di PT.PLN (Persero) Gorontalo. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software Power System Analysis Toolbox* (PSAT) yang terintegrasi pada *Matrix Laboratory* (MATLAB). Proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT.PLN (Persero) tahun 2019-2028, di mana beban puncak mengalami pertumbuhan rata – rata sebesar 7,5% pertahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan total beban tertinggi terjadi pada tahun ke-5 dengan daya aktif sebesar 179,73 MW. Dibandingkan dengan total beban awal, yaitu daya aktif sebesar 118,64 MW, peningkatan daya aktif pada tahun ke-5 adalah sebesar 66%. Rugi – rugi daya juga mengalami peningkatan dengan rata – rata kenaikan daya aktif sebesar 1,31 MW atau 23% pertahun. Sementara itu, profil tegangan mengalami penurunan dengan rentang batas atas 0,97 pu dan batas bawah 0,91 pu. Rentang tersebut mendekati batas tegangan yang di iijinkan, yaitu +5% (1,05 pu) dan -10% (0,90) dari tegangan nominal 1 pu.

Kata kunci: Analisis aliran daya, Power System Analysis Toolbox, Sistem 150 kV Gorontalo

## Abstract

This research studied the effect of increased load on the electricity system of the 150 kV high voltage line network at PT PLN (Persero) Gorontalo. The analysis was performed using the Power System Analysis Toolbox (PSAT) software integrated with Matrix Laboratory (MATLAB). The projected demand for electricity in Gorontalo Province was related to the PT. PLN (Persero) Electric Power Supply (RUPTL) Business Plan for 2019-2028, where the peak loads had an average growth of 7.5% per year. The simulation results showed that the highest total load occurred in the 5th year with an active power of 179.73 MW. Compared to the initial total load value, i.e. active power of 118.64 MW, the increase in active power in the 5th year was 66%. The power losses also increased with an average rise in active power of 1.31 MW or 23% per year. Meanwhile, the stress profile was decreased with an upper limit of 0.97 pu and a lower limit of 0.91 pu. The mentioned range was close to the allowable voltage limit, i.e +5% (1.05 pu) and -10% (0.90) of the nominal voltage of 1 pu.

Keywords: Power flow analysis, Power System Analysis Toolbox, System 150 kV Gorontalo

## 1. Pendahuluan

Beban listrik Provinsi Gorontalo pada tahun 2017 masih berada dalam kondisi surplus dengan daya mampu sistem Gorontalo yaitu 114 MW dengan beban puncak 90 MW. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat cadangan daya listrik di Provinsi Gorontalo sebesar 24 MW (Solihin, 2017). Akan tetapi, kondisi beban puncak pada sistem kelistrikan Gorontalo tidak akan stabil secara terus menerus karena peningkatan beban yang terjadi di setiap tahunnya. Pada tahun 2015, rasio pelanggan rumah tangga berlistrik PLN di Provinsi Gorontalo adalah sebesar 79,18% (PT. PLN (Persero), 2017).

Analisis aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan analisis yang penting. Untuk menganalisis aliran daya, langkah awal yang harus dilakukan adalah membentuk matriks admitansi bus, dimana impedansinya dinyatakan dalam perunit MVA dan mengabaikan resistansi. Analisis aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya untuk keadaan tertentu yang bekerja pada sistem tunak (*steady state*). Analisis aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) diberbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal (Suharko dkk, 2017). Nigara & Primadiyono (2015) menjelaskan bahwa hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya rugi daya (*losses*) dan tegangan, serta alokasi daya reaktif dan kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban.

Pada penelitian ini, analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan simulasi *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) yang terintegrasi pada *software Matrix Laboratory* (MATLAB). Milano, (2005) menjelaskan bahwa

### Info Makalah:

Dikirim : 09-18-19;  
Revisi 1 : 02-18-20;  
Revisi 2 : 04-11-20;  
Revisi 3 : 04-30-20;  
Revisi 4 : 05-15-20;  
Diterima : 05-16-20.

### Penulis Korespondensi:

e-mail : [steven.humena@gmail.com](mailto:steven.humena@gmail.com)

PSAT merupakan *software* yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mendesain sistem tenaga listrik, yang mencakup aliran daya, *continuations* aliran daya, aliran daya optimal, analisis stabilitas *small-signal*, dan simulasi *time-domain*, serta beberapa model statis dan dinamis, termasuk beban non-konvensional, mesin sinkron dan asinkron, regulator, dan FACTS. PSAT juga dilengkapi dengan set lengkap antarmuka grafis yang mudah digunakan dan editor berbasis Simulink untuk diagram jaringan satu-*line*. Metode *Newton-Raphson* menjadi alternatif pada simulasi ini karena sudah digunakan secara luas dalam analisis pada sistem tenaga listrik (Gunadin dkk., 2019).

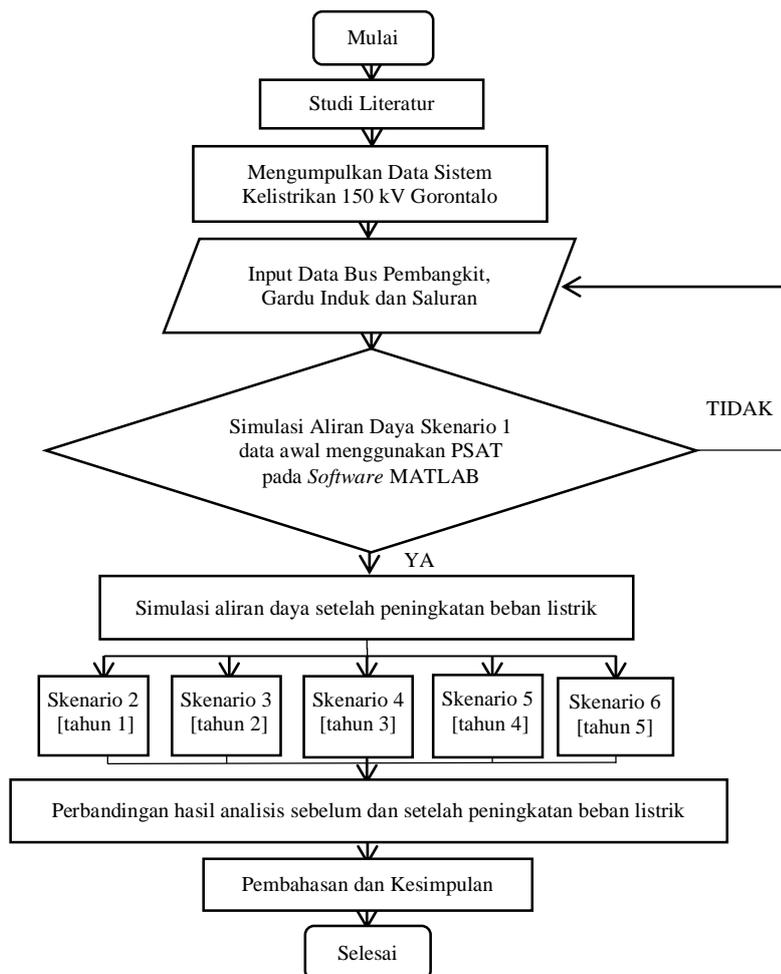
Diketahui bahwa proyeksi kebutuhan tenaga listrik di Provinsi Gorontalo sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT.PLN (Persero) tahun 2019-2028, dimana beban puncak mengalami pertumbuhan rata – rata 7,5 % pertahun (PT. PLN (Persero), 2019). Humena dkk (2018) mengatakan bahwa peningkatan beban yang terjadi akan menyebabkan perubahan pada sistem tenaga listrik. Pola aliran daya juga akan berubah sehingga perlu analisis untuk dapat mengetahui kondisi atau performa sistem ketika terjadi peningkatan beban pada 1 (satu) sampai 5 (lima) tahun kedepan. Penelitian ini menganalisis peningkatan beban untuk mengetahui pengembangan sistem yang diperlukan dimasa yang akan datang. Perlu adanya analisis aliran daya seiring dengan meningkatnya beban di setiap tahunnya, melalui desain dan input data sistem ketenagalistrikan gorontalo 150 kV pada *software* PSAT. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode aliran daya *Newton-Raphson* sebelum dan setelah peningkatan beban listrik dari tahun ke 1 hingga tahun ke 5.

## 2. Metode

Pada penelitian ini, sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo akan dianalisis dalam beberapa skenario peningkatan beban listrik menggunakan metode *Newton-Raphson* yang disimulasikan menggunakan PSAT 2.1.9 dan terintegrasi pada *software* MATLAB R2014a. Hasil dari simulasi tersebut pada dasarnya dapat menjawab tantangan pertumbuhan beban listrik untuk menemukan solusi performansi sistem kelistrikan Gorontalo dimasa mendatang. Tahapan penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, sebagai berikut:

- a. Tahapan pertama dimulai dengan pengumpulan data awal berupa data pembangkitan, gardu induk, saluran transmisi, dan beban pada tanggal 1 Maret 2019.
- b. Tahap kedua melakukan validasi data yang telah ada, selanjutnya skenario pertama data awal disimulasikan dalam PSAT menggunakan penyelesaian aliran daya metode *Newton Raphson*. Hasil analisis digunakan untuk sebelum peningkatan beban.
- c. Tahap ketiga melakukan simulasi skenario 2 – skenario 6 dengan peningkatan beban puncak pertahun sebesar 7,5% sesuai proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo pada RUPTL PLN 2019-2028. Hasil simulasi digunakan untuk setelah peningkatan beban tahun ke 1 sampai ke 5.
- d. Setelah didapatkan hasil sebelum dan setelah peningkatan beban pertahun, kemudian dilakukan analisis perbandingan sebelum dan setelah peningkatan beban dan hasil perbandingan tersebut dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dalam rencana pengembangan sistem kelistrikan dimasa yang akan datang.

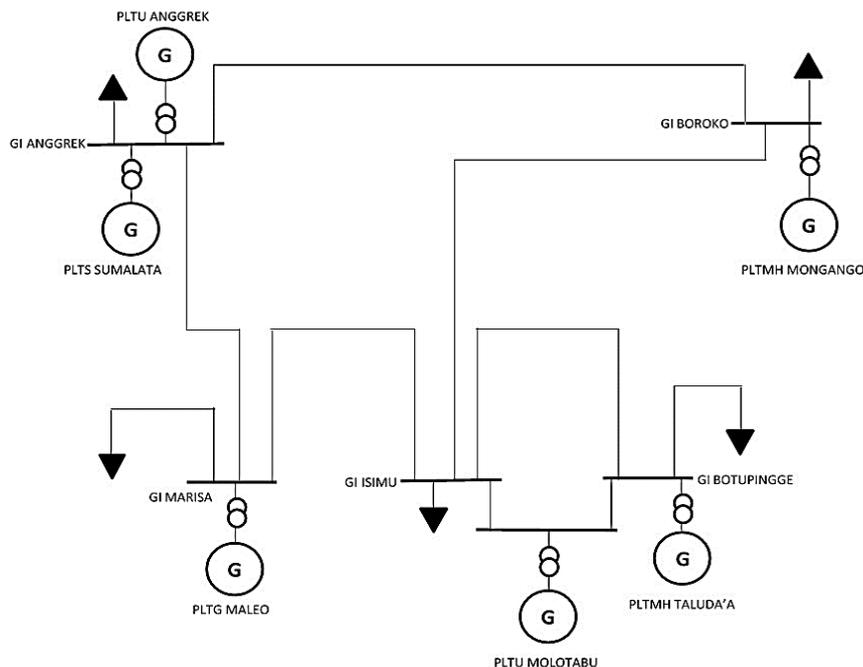


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Pengumpulan data awal berupa data *single line* diagram sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo, data pembangkit beserta parameter mesinnya, data saluran transmisi, data gardu induk dan data beban. Data generator berupa daya mampu, tegangan, faktor daya dan data tipikal. Data trafo diambil dari data pada gardu induk berupa daya trafo, frekuensi, tegangan primer dan sekunder. Data saluran yang dibutuhkan adalah tegangan, jenis kabel, luas penampang, kuat penghantar arus, panjang saluran dan impedansi saluran. Data beban yang dibutuhkan adalah beban pada masing-masing Gardu Induk berupa tegangan, daya aktif dan daya reaktif. Data-data tersebut dianalisis dan divalidasi. Selanjutnya dilakukan permodelan *single line* dan kondisi sistem daya sebelum peningkatan beban listrik untuk mengetahui aliran daya (*load flow*) pada sistem. Permodelannya menggunakan bantuan perangkat lunak PSAT versi 2.1.9 yang terintegrasi dengan program MATLAB R.2014a dengan menggunakan metode penyelesaian aliran daya *Newton-Raphson* dan menyimulasikannya. Hasil dari *load flow* dievaluasi untuk mengetahui profil tegangan dan rugi-rugi daya (*losses*). Peningkatan beban listrik dilakukan dalam 5 skenario yaitu 1-5 tahun yang akan datang, sehingga dilakukan permodelan kondisi sistem daya kembali dan menyimulasikannya. Setelah mengetahui hasil dari *load flow* kelima skenario tersebut maka hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi sebelum adanya peningkatan beban listrik. Hasil perbandingan tersebut dievaluasi dan disimpulkan dalam rangka rencana pengembangan sistem tenaga listrik di Provinsi Gorontalo dimasa yang akan datang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sistem tenaga listrik Gorontalo 150 kV dipasok dari beberapa pusat pembangkit yang tersebar di Provinsi Gorontalo. Berdasarkan Gambar 2. *single line* diagram sistem kelistrikan Gorontalo memiliki 5 (lima) Gardu Induk (GI) yaitu GI Angrek, GI Boroko, GI Botupingge, GI Isimu dan GI Marisa, serta 6 (enam) Pembangkit yaitu PLTU Angrek, PLTS Sumalata, PLTMH Mongango, PLTMH Taludaa, PLTU Molotabu dan PLTG Maleo yang saling terhubung melalui saluran transmisi 150 kV. Data Gardu Induk dan Pembangkit terlihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Single Line Sistem Kelistrikan 150 kV Gorontalo

Tabel 1. Data Daya Terpasang Pembangkit dan Beban Gardu Induk

Bus	V (kV)	Arus (A)	$P_g$ (MW)	$Q_g$ (MVar)	$P_b$ (MW)	$Q_b$ (MVar)
GI Anggrek	150	321	-	-	10,56	3,47
GI Boroko	150	320	-	-	10,53	3,46
GI Botupingge	150	1688	-	-	55,55	18,26
GI Isimu	150	807	-	-	26,56	8,73
GI Marisa	150	468	-	-	15,40	5,06
PLTG Maleo	150	-	100	75	-	-
PLTMH Mongango	150	-	1,00	0,75	-	-
PLTMH Taludaa	150	-	3,20	2,40	-	-
PLTS Sumalata	150	-	1,60	1,20	-	-
PLTU Anggrek	150	-	50,00	37,50	-	-
PLTU Molotabu	150	-	25,00	18,75	-	-

Pada Tabel 1. terlihat bahwa beban terbesar terlihat pada GI Botupingge yaitu  $P_b$  sebesar 55,55 MW dan  $Q_b$  sebesar 18,26 MVar, sedangkan daya terbesar yang dibangkitkan terlihat ada pada pembangkit PLTG Maleo yaitu sebesar  $P_g$  100 MW dan  $Q_g$  75 MVar.

Saluran transmisi tenaga listrik Gorontalo merupakan saluran udara (*overhead line*) tiga fasa dengan tegangan kerja 150 kV. Data saluran transmisinya diperlihatkan pada Tabel 2. Saluran transmisi terpanjang yaitu antara GI Marisa ke GI Anggrek sebesar 143 KM dan saluran Transmisi terpendek antara GI Isimu ke GI Botupingge sebesar 36,28 KM.

Tabel 2. Data Saluran Transmisi

Dari Bus	Ke Bus	Panjang Saluran (Km)	Impedansi Urutan Positif (pu)	
			R	X
GI Isimu	GI Botupingge	36,28	0,018437	0,065623
GI Isimu	GI Marisa	110,25	0,056028	0,199420
GI Isimu	GI Buroko	72,92	0,037057	0,131898
GI Marisa	GI Anggrek	143,44	0,072894	0,259454
GI Anggrek	GI Buroko	59,54	0,030257	0,107696

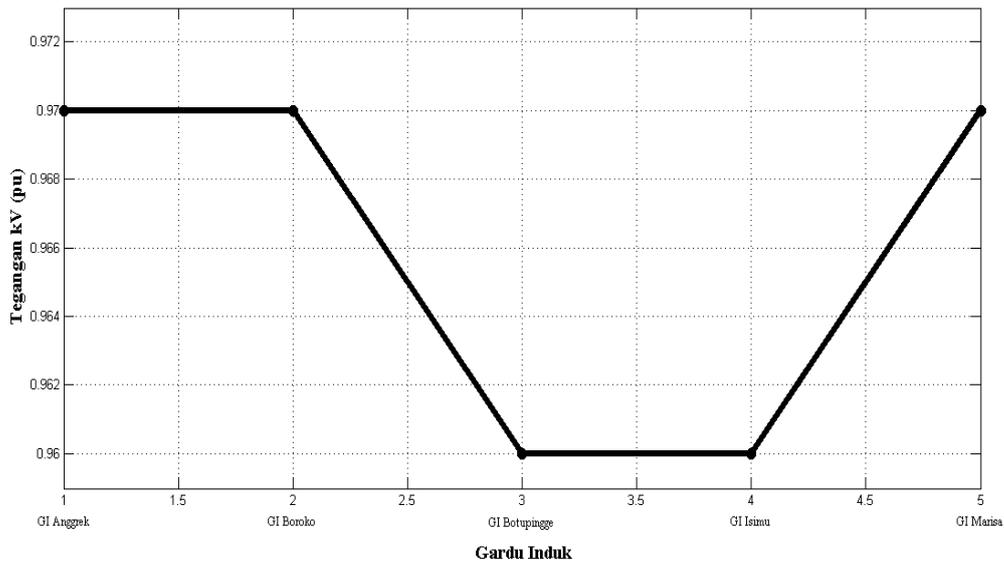
### 3.1 Skenario Pembebanan Awal

Hasil simulasi aliran daya sebelum adanya peningkatan beban terlihat pada Tabel 3. Tampak bahwa total beban daya aktif adalah sebesar 118,64 MW, daya reaktif sebesar 38,71 MVar, total pembangkit daya aktif sebesar 122,22 MW dengan daya reaktif sebesar 84,11 MVar, dan total rugi-rugi daya aktif adalah sebesar 3,58 MW (3%) dengan daya reaktif sebesar 45,39 MVar (54%),

Tabel 3. Hasil Simulasi Aliran Daya Beban Awal

Bus	V p,u	P <sub>g</sub> MW	Q <sub>g</sub> MVar	P <sub>b</sub> MW	Q <sub>b</sub> MVar
GI Anggrek	0,97	-	-	10,56	3,45
GI Boroko	0,97	-	-	10,53	3,44
GI Botupingge	0,96	-	-	55,55	18,13
GI Isimu	0,96	-	-	26,60	8,68
GI Marisa	0,97	-	-	15,40	5,03
PLTG Maleo	1	41,42	11,24	-	-
PLTMH Mongango	1	1,00	7,64	-	-
PLTMH Taludaa	1	3,20	43,11	-	-
PLTS Sumalata	1	1,60	6,85	-	-
PLTU Anggrek	1	50,00	9,46	-	-
PLTU Molotabu	1	25,00	5,81	-	-
<b>Total Beban</b>	P (MW)	<b>118,64</b>			
	Q (MVar)	<b>38,71</b>			
<b>Total Pembangkit</b>	P (MW)	<b>122,22</b>			
	Q (MVar)	<b>84,11</b>			
<b>Rugi – Rugi Daya</b>	P (MW)	<b>3,58 (3%)</b>			
	Q (MVar)	<b>45,39 (54%)</b>			

Pada Tabel 3 terlihat bahwa beban tertinggi terdapat pada GI Botupingge yaitu sebesar 55,55 MW dan yang terendah terdapat pada GI Marisa 15,40 MW, Profil tegangan pada GI Anggrek, GI Boroko, GI Marisa sebesar 0,97 pu dan tegangan paling rendah berada pada GI Botupingge, GI Isimu sebesar 0,96 pu seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil Tegangan Pada Beban Awal

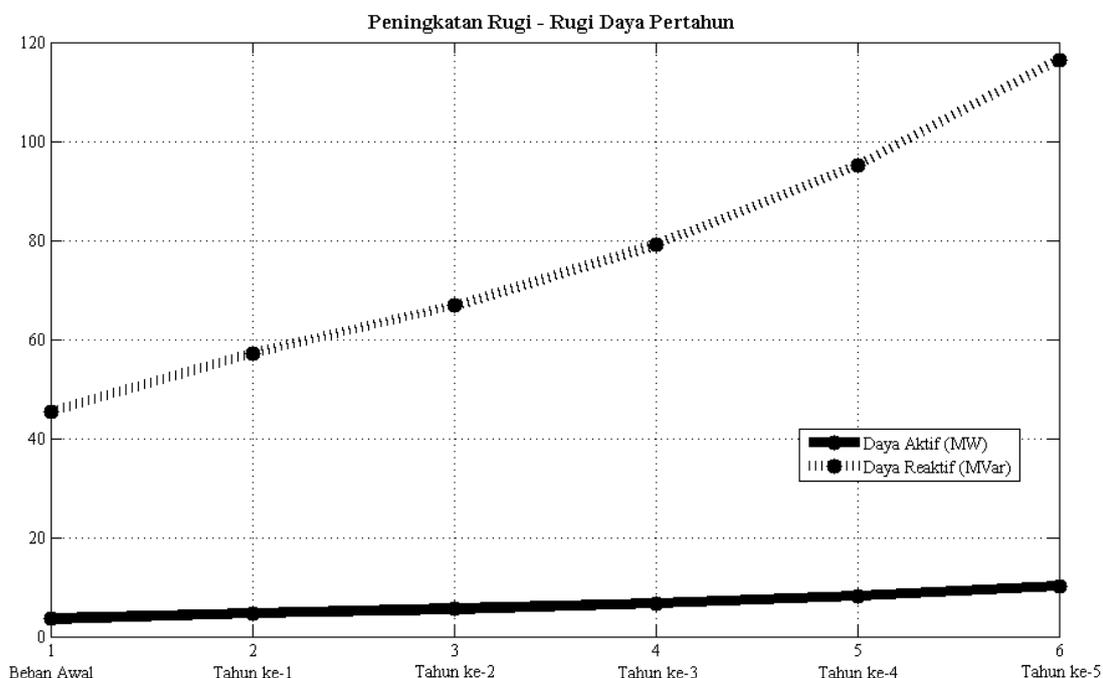
### 3.2 Skenario Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Skenario simulasi setelah adanya peningkatan beban ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil simulasi dari tahun ke 1 sampai ke 5, total beban tertinggi terjadi pada tahun ke 5 dengan daya aktif sebesar 179,73 MW dan daya reaktif sebesar 58,65 MVar. Dibandingkan dengan total beban saat pembebanan awal yaitu daya aktif sebesar 118,64 MW dan daya reaktif sebesar 38,71 MVar maka tahun ke 5 terjadi peningkatan beban daya aktif dan reaktif sebesar 66 %.

Tabel 4. Beban Gardu Induk saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Bus	Tahun ke-1		Tahun ke-2		Tahun ke-3		Tahun ke-4		Tahun ke-5	
	P <sub>b</sub> MW	Q <sub>b</sub> MVar								
GI Anggrek	11,99	3,91	12,89	4,20	13,85	4,52	14,89	4,86	16,01	5,22
GI Boroko	11,95	3,90	12,85	4,19	13,81	4,51	14,84	4,84	15,96	5,21
GI Botupingge	63,03	20,57	67,76	22,11	72,84	23,77	78,31	25,55	84,18	27,47
GI Isimu	30,14	9,83	32,40	10,57	34,83	11,36	37,44	12,22	40,24	13,13
GI Marisa	17,48	5,70	18,79	6,13	20,20	6,59	21,71	7,08	23,34	7,62
<b>Total Beban</b>	P (MW)	<b>134,58</b>	<b>144,68</b>	<b>155,53</b>	<b>167,19</b>	<b>179,73</b>				
	Q (MVar)	<b>43,92</b>	<b>47,21</b>	<b>50,75</b>	<b>54,56</b>	<b>58,65</b>				
<b>Total Rugi – Rugi Daya</b>	P (MW)	<b>4,65 (3%)</b>	<b>5,52 (4%)</b>	<b>6,65 (4%)</b>	<b>8,14 (5%)</b>	<b>10,13 (5%)</b>				
	Q (MVar)	<b>57,24 (57%)</b>	<b>66,77 (59%)</b>	<b>79,07 (61%)</b>	<b>95,11 (64%)</b>	<b>116,43 (67%)</b>				

Pada pengamatan simulasi dari pembebanan awal hingga adanya peningkatan beban dari tahun ke 1 sampai ke 5, terjadi peningkatan rugi-rugi daya dengan rata – rata kenaikan daya aktif sebesar 1,31 MW atau 23 % pertahun dan daya reaktif sebesar 14,21 MVar atau 21 % pertahun. Total rugi – rugi daya tertinggi terjadi pada tahun ke-5, yaitu daya aktif sebesar 10,13 MW dan daya reaktif sebesar 116,43 MVar (Gambar 4),



Gambar 4. Peningkatan Rugi – Rugi Daya Pertahun

Pada Tabel 5 tampak bahwa peningkatan beban tahun ke 5 mengalami kelebihan 9,06 MW daya aktif dari kapasitas daya aktif terpasang pembangkit yaitu sebesar 180,80 MW. Karena itu perlu adanya penambahan pembangkit pada saat beban tahun ke 5 tersebut.

Tabel 5, Daya Pembangkit saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

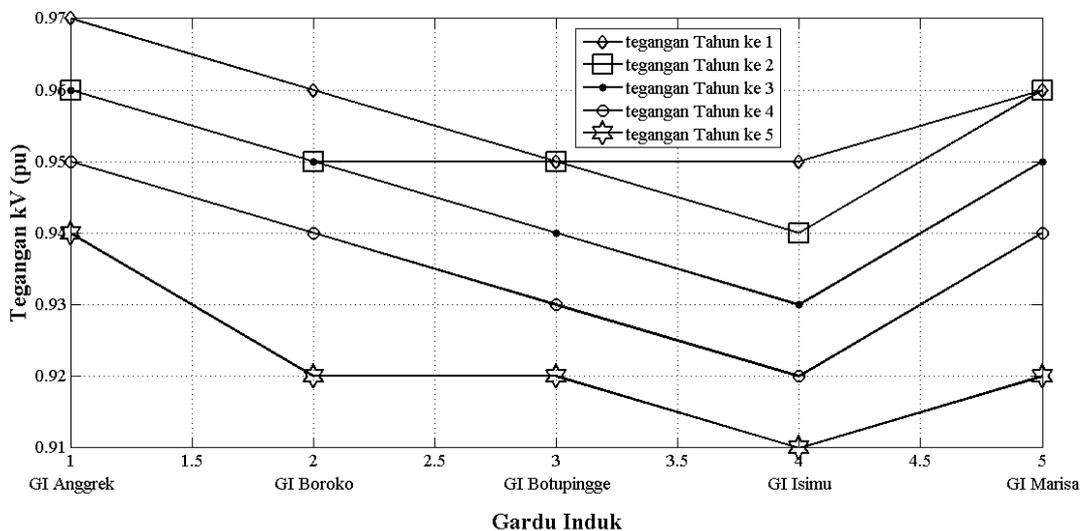
Pembangkit	Tahun ke-1		Tahun ke-2		Tahun ke-3		Tahun ke-4		Tahun ke-5	
	P <sub>g</sub> MW	Q <sub>g</sub> MVar								
PLTG Maleo	58,43	15,42	69,40	19,04	81,38	23,90	94,53	30,43	109,06	39,31
PLTMH Mongango	1,00	9,10	1,00	10,14	1,00	11,37	1,00	12,85	1,00	14,67
PLTMH Taludaa	3,20	51,26	3,20	57,01	3,20	63,80	3,20	71,95	3,20	81,94
PLTS Sumalata	1,60	8,20	1,60	9,15	1,60	10,29	1,60	11,66	1,60	13,35
PLTU Anggrek	50,00	10,66	50,00	11,59	50,00	12,77	50,00	14,27	50,00	16,24
PLTU Molotabu	25,00	6,51	25,00	7,04	25,00	7,69	25,00	8,51	25,00	9,56
<b>Total Pembangkitan</b>	P (MW)	<b>139,23</b>	<b>150,20</b>	<b>162,18</b>	<b>175,33</b>	<b>189,86</b>				
	Q (MVar)	<b>101,15</b>	<b>113,98</b>	<b>129,82</b>	<b>149,66</b>	<b>175,08</b>				

Berdasarkan profil tegangan yang ditunjukkan pada Tabel 6. tampak bahwa terjadi penurunan profil tegangan seiring dengan peningkatan beban dengan rentang batas atas sebesar 0,97 pu dan batas bawah sebesar 0,91 pu, yang tidak lebih atau kurang dari batas tegangan yang di ijin +5 % (1,05 pu) dan -10 % (0,90 pu) dari tegangan nominal 1 pu.

Tabel 6. Profil Tegangan saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Bus	Tahun ke-1	Tahun ke-2	Tahun ke-3	Tahun ke-4	Tahun ke-5
	V p,u				
GI Anggrek	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94
GI Boroko	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92
GI Botupingge	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92
GI Isimu	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
GI Marisa	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92

Pada Gambar 5. terlihat simulasi tahun ke-5 yang mengalami penurunan tegangan sangat drastis yaitu tegangan GI Anggrek sebesar 0,94 pu, GI Boroko 0,92 pu, GI Botupingge 0,92 pu, GI Isimu 0,91 pu dan GI Marisa 0,92 pu, Sehingga besar tegangan yang ada pada GI Isimu yang paling terendah dari semua GI yaitu sebesar 0,91 pu.



Gambar 5. Profil Tegangan saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

## Kesimpulan

Studi tentang pengaruh peningkatan beban listrik terhadap sistem ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo dilakukan untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik, Analisis dilakukan untuk mengetahui profil tegangan, besarnya daya, dan rugi – rugi daya pada setiap tahunnya, Hasil simulasi skenario – skenario peningkatan beban pertahun sebesar 7,5% sesuai proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo pada RUPTL PLN 2019-2028, total beban daya aktif pada skenario tahun ke 5 mencapai 179,73 MW dan daya reaktif 58,68 MVar, dengan rugi – rugi daya aktif sebesar 10,13 MW dan daya reaktif 116,43 MVar, Total daya aktif yang disuplai oleh pembangkit pada skenario tahun ke 5 melebihi kapasitas daya aktif terpasang yaitu sebesar 180,80 MW dan daya reaktif terpasang sebesar 135 MVar, Untuk itu disarankan kepada penyedia tenaga listrik yaitu PT, PLN (Persero) untuk melakukan pengembangan sistem kelistrikannya yang berada di Provinsi Gorontalo sesuai dengan keperluan dimasa yang akan datang, Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi stabilitas sistem kelistrikan seiring dengan meningkatnya beban, sehingga dimasa yang akan datang kondisi sistem kelistrikan dalam keadaan mantap dan handal,

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM RISTEKDIKTI atas dukungannya finansialnya pada skema Penelitian Dosen Pemula Tahun 2018-2019 dengan nomor kontrak 115/SP2H/LT/DRPM/2019, kemudian Universitas Ihsan Gorontalo atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini dan PT, PLN (Persero) SULBAGUT telah memberikan data kelistrikan Gorontalo sehingga tahapan proses penelitian terselesaikan dengan baik, Penulis juga berterima kasih kepada teman - teman Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Ihsan Gorontalo atas diskusinya yang bermanfaat,

## Daftar Pustaka

- Gunadin, I, C., Putra Az, E, S., Akil, Y, S., & Humena, S, (2019), The impact of the injection of wind power plant on the steady state condition and the dynamics of SULSELBAR power system, *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, 8(6), 327–333, <https://doi.org/10.18178/ijeetc.8.6.327-333>
- Humena, S., Surusa, F, E, P., & Anang, H, (2018), DAMPAK MASUKNYA PLTS ISIMU 10 MW TERHADAP PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 KV GORONTALO, *Dielektrika*, 5(2), 125–132, <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/170>
- Milano, F, (2005), An open source power system analysis toolbox, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199–1206, <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.851911>
- Nigara, A, G., & Primadiyono, Y, (2015), Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4,0, *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 7–10,
- PT, PLN (Persero), (2017), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT,PLN (Persero) Tahun 2017 s/d 2026, In *Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, [http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL PLN 2017-2026.pdf](http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL%20PLN%202017-2026.pdf)
- PT, PLN (Persero), (2019), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT,PLN (Persero) Tahun 2019 s/d 2028, In *Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, <http://www.djk.esdm.go.id/index.php/rencana-ketenagalistrikan/ruptl-pln>
- Solihin, A, (2017), *PLN \_ Suplai Listrik Di Gorontalo Masih Cukup*, ANTARA News Gorontalo, <https://gorontalo.antaranews.com/berita/39461/pln-suplai-listrik-di-gorontalo-masih-cukup>
- Suharko, Taqiyyuddin, H, M., & Sugiono, (2017), ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN PADA BUS 6,3 KV SUBSTATION 2A DAN SUBSTATION 2B DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12,6, *SCIENCE ELECTRO*, 6(2), 40–51, <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/jte/article/view/1672>

## Desain Antena Mikrostrip dengan *Multi Band* Frekuensi Menggunakan Metode Parasitik

Syah Alam<sup>1</sup>, Nadia Media Rizka<sup>2</sup>, Indra Surjati<sup>3</sup>, Pipit Dewi Marlina<sup>4</sup>, Gunawan Tjahjadi<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, DKI Jakarta, Indonesia

<sup>2,4</sup>Program Studi Teknik Telekomunikasi, Akademi Telkom Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia

<sup>1</sup>[syah.alam@trisakti.ac.id](mailto:syah.alam@trisakti.ac.id), <sup>2</sup>[medriz29@gmail.com](mailto:medriz29@gmail.com), <sup>3</sup>[indra@trisakti.ac.id](mailto:indra@trisakti.ac.id), <sup>4</sup>[pipitdewi676@gmail.com](mailto:pipitdewi676@gmail.com),

<sup>5</sup>[gunawandea@trisakti.ac.id](mailto:gunawandea@trisakti.ac.id)

### Abstrak

Dalam makalah ini, perancangan dan realisasi antena mikrostrip berbentuk persegi dioptimasi menggunakan kaidah parasitik untuk menghasilkan multi frekuensi. Metode parasitik menghasilkan rentang frekuensi yang berbeda dalam satu antena. Antena di rancang menggunakan jenis substrat FR4 Epoxy dengan nilai konstanta dielektrik sebesar 4,3, ketebalan sebesar 1,6 mm, dan *tangent loss* sebesar 0,0265. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena persegi dengan metode parasitik menghasilkan tiga frekuensi kerja. Pada frekuensi 1815 MHz, 1935 MHz, dan 2060 MHz menghasilkan *bandwidth* masing-masing 2,4 %, 2,8 % dan 4,36 %. Hasil ini menunjukkan bahwa antena yang diusulkan dapat direkomendasikan sebagai kandidat antena penerima pada sistem komunikasi nirkabel.

Kata kunci: Antena mikrostrip, parasitik, *bandwidth*, *triple band*, komunikasi *wireless*.

### Abstract

In this paper, design and realization of a square microstrip antenna was optimized using the parasitic method to produce multiple frequencies. The parasitic method produced different frequency ranges in one antenna device. The antenna was designed using FR4 Epoxy substrate type with dielectric constant value of 4.3, thickness of 1.6 mm, and *tangent loss* of 0.0265. The measurement results showed that the *rectangular* antenna with parasitic method produced three working frequencies. At a working frequency of 1815 MHz, 1935 MHz and 2060 MHz. developed *bandwidth* of 2.4%, 2.8% and 4.36%, respectively. These results indicated that the proposed antenna can be recommended as an alternative to receiving antenna for a wireless communication system.

Keywords: microstrip antenna, parasitic, bandwidth, triple band, wireless communication.

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat akan komunikasi nirkabel atau *wireless* belakangan ini semakin meningkat, namun ketersediaan spektrum frekuensi berbanding terbalik dengan kebutuhan masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka diperlukan antena penerima yang mampu bekerja di beberapa rentang frekuensi kerja berbeda. Salah satu antena yang memiliki kemampuan bekerja di beberapa frekuensi kerja adalah antena mikrostrip (Surjati, 2012). Berdasarkan regulasi yang ditetapkan oleh (Postel, 2006) beberapa alokasi frekuensi tersebut adalah: DCS berlaku pada pita frekuensi (1710-1885 MHz), PCS pada pita frekuensi (1907,5–1912,5 MHz), UMTS pada pita frekuensi (1920-2170MHz), WLAN 2,4 GHz pada pita frekuensi (2400-2483,5 MHz), LTE 2,3 GHz.

Antena mikrostrip adalah jenis antena dengan banyak keunggulan, sehingga banyak digunakan dalam berbagai komunikasi *wireless*, diantaranya bentuk yang kecil, mampu bekerja pada beberapa rentang frekuensi berbeda dan *low cost* (Alam, S., Wibisana, I. G. N. Y., & Surjati, I., 2017). Pada umumnya, dimensi dari antena konvensional bergantung terhadap frekuensi kerja dan panjang gelombangnya sehingga tidak dapat digunakan untuk rentang frekuensi kerja berbeda (Balanis, 2016). Beberapa metode telah dipaparkan untuk menghasilkan rentang frekuensi kerja berbeda pada antena mikrostrip antara lain slot yaitu frekuensi 2,382-2,434 GHz dan frekuensi 3,563-3,638 (Yosefariko, Y., Riza, T. A., & Wahyu, Y., 2015), slit pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz (Elba, P., & Alam, S., 2017) dan parasitik pada frekuensi kerja 2,396 GHz and at 2,543 GHz (Nornikman, H., Ahmad, B. H., Aziz, M. A., & Bakar, H. A., 2018). Pada penelitian ini digunakan metode parasitik dengan menambahkan dua *patch* dibagian kiri dan kanan dari elemen peradiasi yang dihubungkan dengan saluran pencatu *microstrip line*. Tujuan penambahan elemen parasitik adalah untuk menghasilkan tiga rentang frekuensi kerja yang berbeda dari antena yang diusulkan sebelumnya. Dalam penelitian sebelumnya (Bag, B., & Sarkar, P. P., 2017) penggunaan metode parasitik dengan penambahan L Slot digunakan untuk membangkitkan frekuensi ganda pada frekuensi resonansi 2,35 GHz dan 5,28

GHz untuk aplikasi WLAN dan 4G/LTE. Penelitian ini bertujuan menghasilkan antena mikrostrip yang dapat bekerja lebih dari dua rentang frekuensi kerja yang berbeda (*multi band*) sehingga dapat digunakan untuk aplikasi komunikasi nirkabel.

## 2. Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip

Proses perancangan antena dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari menentukan frekuensi kerja yang diinginkan. Kemudian menentukan substrat yang

### Info Makalah:

Dikirim : 04-15-20;

Revisi 1 : 04-25-20;

Revisi 2 : 05-09-20;

Diterima : 05-11-20.

### PenulisKorespondensi:

Telp : +62-857-1003-4984

e-mail : [syah.alam@trisakti.ac.id](mailto:syah.alam@trisakti.ac.id)

akan digunakan. Setelah beberapa hal diatas telah dilakukan maka perancangan antena sudah dapat dilakukan, yaitu menentukan dan menghitung dimensi *patch*, menghitung dimensi pencatu, melakukan simulasi perancangan antena yang telah dirancang, melakukan rancang bangun antena dan melakukan pengukuran antena dengan perangkat *Vector Network Analyzer* untuk melihat rentang frekuensi kerja dari antena yang diusulkan.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan awal antena tunggal berbentuk persegi pada frekuensi 1800 MHz tanpa diberikan parasitik selanjutnya baru dilakukan uji coba metode parasitik dengan iterasi melalui perangkat lunak komputer. Setelah diperoleh bentuk yang *compact* dan memiliki *bandwidth* yang lebar dengan *return loss*  $\leq -10$  dB dan *VSWR*  $\leq 2$  maka dilakukan tahapan berikutnya dengan melakukan iterasi posisi parasitik untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang maksimal. Untuk memperoleh hasil yang optimal dilakukan iterasi terhadap ukuran saluran catu, panjang dan lebar beban parasitik serta jarak antar *patch* antena dengan beban parasitik. Adapun indikator parameter antena mikrostrip yang akan dicapai adalah antara lain meliputi parameter *return loss*, *VSWR*, lebar pita frekuensi. Parameter rugi-rugi balik (*return loss*) yang diharapkan adalah  $\leq -10$  dB dan *VSWR*  $\leq 2$  pada frekuensi kerja 1800 MHz dengan menggunakan parasitik.

Dari hasil simulasi maka antena akan difabrikasi dan dilakukan pengujian kinerja di laboratorium. Hasil kinerja antena nantinya akan dibandingkan dengan simulasi untuk melihat probabilitas kesalahannya sehingga dapat dilakukan analisa untuk mengembangkan penelitian selanjutnya. Diharapkan dari penelitian ini diperoleh desain baru antena mikrostrip yang dapat bekerja pada rentang frekuensi kerja berbeda yang digunakan untuk komunikasi nirkabel.

## 2.1 Perhitungan Dimensi Desain Awal Antena Mikrostrip

Antena yang dirancang adalah antena mikrostrip yang berbentuk bujur sangkar dengan substrat *FR-4 epoxy*. Spesifikasi dari substrat jenis *FR4 Epoxy* yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1 (WIYANTO, E., ALAM, S., & HARSONO, B, 2018).

Tabel 1. Spesifikasi Substrat Jenis *FR-4 Epoxy*

Paramater	Simbol	Nilai
Konstanta Dielektrik	$\epsilon_r$	4,3
Ketebalan substrat (h)	h	1,6 mm
Loss <i>tangen</i>	$\tan \delta$	0,0265
Konstanta Permeabilitas Relatif	$\mu_r$	1

Dalam perancangan desain antena awal antena mikrostrip terlebih dahulu diketahui karakteristik dari komponen bahan penyusun antena diantaranya spesifikasi papan substrat yang digunakan, frekuensi yang ditentukan, panjang dan lebar elemen *patch* antena. Dari nilai tersebut diperoleh dimensi antena mikrostrip (W dan L). Dimensi W dan L diperoleh dengan menggunakan persamaan (1),(2),(3) dan (4) (Surjati, 2012), diantaranya:

1. Lebar dan Panjang *patch* dihitung dengan persamaan (1).

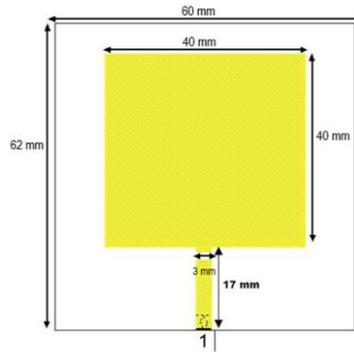
$$W = L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (1)$$

2. Lebar pencatu saluran mikrostrip ( $W_0$ ) tergantung dari impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan (2) (Surjati, 2012):

$$W_0 = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2)$$

Untuk nilai B sebagai konstanta impedansi dapat diperoleh menggunakan persamaan (3).

$$B = \frac{60\pi^2}{z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

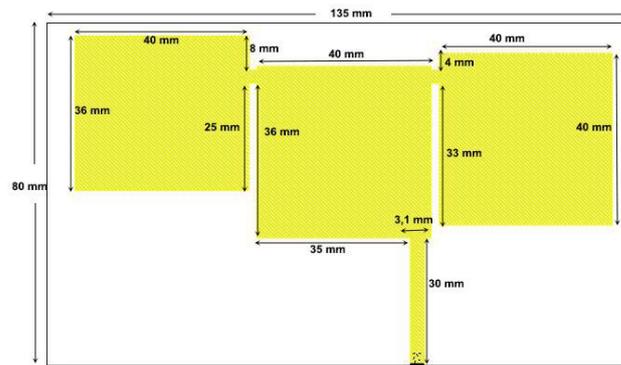


Gambar 1. Desain Awal Antena Mikrostrip

Gambar 1 menunjukkan desain awal antena mikrostrip dengan nilai  $W = L = 50$  mm dengan lebar saluran pencatu  $W_o$  sebesar 3 mm dan panjang saluran pencatu 17 mm. Dimensi panjang dan lebar dari substrat yang digunakan adalah 60 mm x 62 mm.

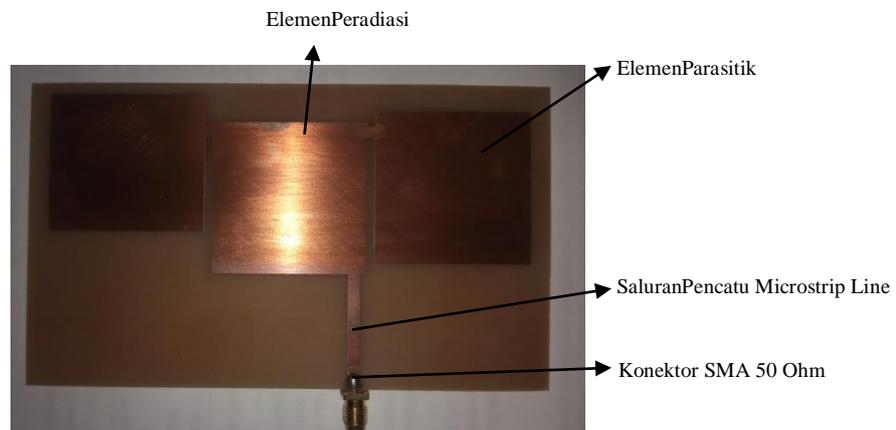
### 2.2 Rancangan Antena Mikrostrip Beban Parasitik Dua Elemen

Pada tahap antena utama yang telah dirancang kemudian diberi beban parasitik dengan maksud untuk menghasilkan rentang frekuensi berbeda pada antena yang diusulkan. Beban parasitiknya berada pada satu layer dengan antena utama dengan rancangan menyerupai *rectangular patch*. Desain antena rancangan ditunjukkan pada Gambar 2 sedangkan Gambar 3 menunjukkan hasil fabrikasi dari antena rancangan.



Gambar 2. Desain Antena Mikrostrip dengan Beban Parasitik

Gambar 2 menunjukkan desain antena mikrostrip yang telah ditambahkan elemen parasitik di bagian kanan dan kiri elemen peradiasi yang berada di bagian tengah dan terhubung dengan saluran pencatu *microstrip line*. Dimensi dari antena diperoleh dari hasil iterasi menggunakan perangkat lunak EM *simulation* untuk memperoleh nilai parameter yang optimal. Desain dari antena yang telah dipabrikasi ditunjukkan pada Gambar 3.



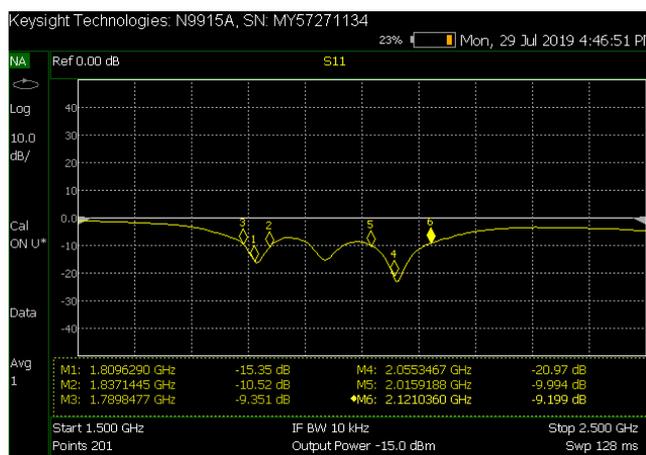
Gambar 3. Desain Antena Mikrostrip dengan beban Parasitik

### 3. Hasil dan Pembahasan

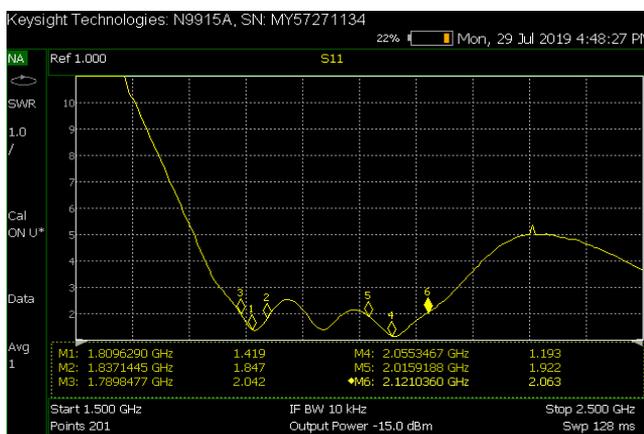
Setelah sebelumnya didapatkan rancangan dari antena mikrostrip *rectangular patch* dengan metode parasitik. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah proses fabrikasi. Setelah antena difabrikasi kemudian tahapan selanjutnya adalah pengukuran. Pengukuran dilakukan untuk membandingkan hasil fabrikasi dengan hasil simulasi yang diperoleh sebelumnya untuk kemudian dianalisis. Pengukuran karakteristik antena yang dilakukan adalah pengukuran *return loss*, *VSWR*, dan lebar pita (*bandwidth*) dari antena yang diusulkan.

#### 3.1 Pengukuran *Return Loss* dan *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*)

Pengukuran *return loss* dan *VSWR* dilakukan di dalam ruangan, karena faktor lingkungan tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan antena yang akan diukur / *Antenna Under Test* (AUT) secara langsung tanpa bantuan alat lain. Pengukuran ini menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA). Antena yang akan diukur dihubungkan pada salah satu *port* pada *Vector Network Analyzer*. Hasil pengukuran terhadap antena yang diuji berupa grafik rugi-rugi balik (*return loss*) dan *VSWR*.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Rugi Rugi Balik (*Return Loss*) Antena Mikrostrip Parasitik Dua Elemen



Gambar 5. Hasil Pengukuran *VSWR* Antena Mikrostrip Parasitik Dua Elemen

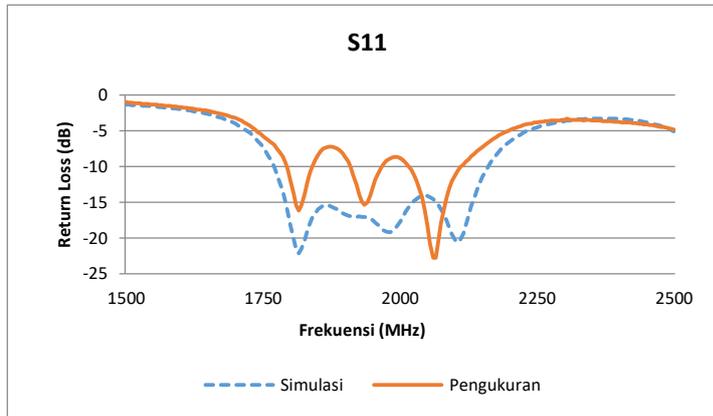
Dari gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran dari *return loss*, dapat dilihat nilai -15,35 dB pada frekuensi 1809 MHz, sedangkan untuk frekuensi 1800 MHz nilai *return loss* adalah -12 dB, hasil ini sesuai dengan spesifikasi parameter yang diharapkan yaitu sebesar (*return loss*  $\leq$  -10dB). Pada gambar 5 menunjukkan grafik hasil pengukuran dari *VSWR*, pada gambar dapat dilihat nilai *VSWR* adalah 1,419 pada frekuensi 1809 MHz, sedangkan untuk frekuensi 1800 MHz didapatkan nilai *VSWR* 1,679, hasil ini sesuai dengan spesifikasi parameter yang diharapkan yaitu sebesar (*VSWR*  $\leq$  2).

#### 3.2 Analisis Hasil Pengukuran

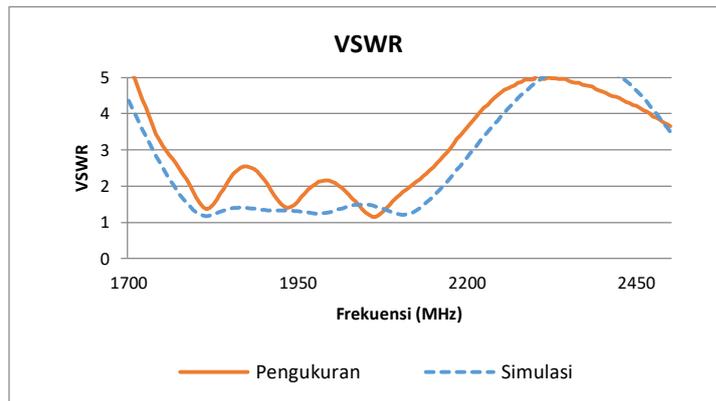
Hasil simulasi dan hasil pengukuran, dilihat dari Gambar 6 dan Gambar 7 untuk grafik grafik rugi rugi balik (*return loss*) dan grafik *VSWR* memiliki pola yang sama antara pengukuran dengan simulasi. Namun, pada hasil pengukuran didapatkan hasil dengan bentuk *triple band*, untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 2, di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip *Parasitic* Dua Elemen

Parameter	Hasil Pengukuran		
	Frekuensi 1	Frekuensi 2	Frekuensi 3
Frekuensi Kerja	1795 – 1840 MHz	1910 – 1965 MHz	2020 – 2110 MHz
Frekuensi Kerja	1815 MHz	1935 MHz	2060 MHz
Rugi Rugi Balik ( <i>Return Loss</i> )	-16,19 dB	-15,37 dB	-22,83 dB
VSWR ( <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> )	1,36	1,4	1,147
Lebar Pita ( <i>Bandwidth</i> )	45 MHz	55 MHz	90 MHz



Gambar 6. Perbandingan Grafik Rugi Rugi Balik (*Return Loss*) Hasil Simulasi dan Pengukuran



Gambar 7. Perbandingan Grafik VSWR Hasil Simulasi dan Pengukuran

Hasil pengukuran diperoleh hasil *triple band* dan dapat digunakan di beberapa aplikasi telekomunikasi, seperti pada frekuensi 1815 MHz dapat digunakan untuk aplikasi GSM (*Global System for Mobile Communication*) atau untuk DCS (*Digital Cellular System*), pada frekuensi 1935 MHz dapat digunakan untuk aplikasi PCS (*Personal communication system*) dan CDMA (*Code-Division Multiple Access*), dan pada frekuensi 2060 MHz dapat digunakan untuk sistem bergerak untuk IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication-2000*).

### Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang antena mikrostrip dengan menggunakan metode *parasitic* pada *patch* persegi yang bekerja pada tiga frekuensi berbeda yaitu frekuensi pertama 1815 MHz dengan *return loss* -16,19 dB dan nilai VSWR 1,679, frekuensi kedua 1935 MHz dengan *return loss* -15,37 dB dan nilai VSWR 1,4 dan frekuensi ketiga 2060 MHz dengan *return loss* -22,83 dB dan nilai VSWR 1,147. Dari hasil pengukuran diperoleh *bandwidth* masing-masing frekuensi kerja adalah 2,4 %, 2,8 % dan 4,36 % dan dapat bekerja untuk aplikasi GSM (*Global System for Mobile Communication*) dan DCS (*Digital Cellular System*) pada frekuensi 1815 MHz, Untuk CDMA(*Code-Division Multiple Access*) dan PCS (*Personal communication system*) pada frekuensi 1935 MHz, serta untuk IMT 2000 pada frekuensi 2060 MHz .

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Trisakti atas dukungannya finansialnya pada penelitian ini dan Akademi Telkom Jakarta atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini.

### Daftar Notasi

W	= Lebar <i>patch</i> antena mikrostrip
L	= Panjang <i>patch</i> antena mikrostrip
$\epsilon_r$	= konstanta dielektrik
$\tan \delta$	= <i>loss tangen</i>
$\mu_r$	= Konstanta Permeabilitas Relatif
$W_0$	= Lebar saluran pencatu
B	= Konstanta impedansi

### Daftar Pustaka

- Alam, S., Wibisana, I. G. N. Y., & Surjati, I. . (2017). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Peripheral Slits Linear Array Untuk Aplikasi Wi-Fi. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 13(1), 18-26.
- Bag, B., & Sarkar, P. P. (2017). Dual Band Parasitic Element Patch Antenna for LTE/WLAN Applications. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 10(1), 21.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons, 2016.
- Elba, P., & Alam, S. (2017). Perancangan Antena Mikrostrip Bentuk Segiempat Dual Frequency untuk Aplikasi WLAN 2400 Mhz dan 5000 Mhz. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 29-39.
- Nornikman, H., Ahmad, B. H., Aziz, M. A., & Bakar, H. A. (2018). Dual Frequencies Band and Enhanced Wideband Effect of Dual Layer Microstrip Patch Antenna with Parasitic. *Journal of Physics: Conference Series*. 1049, p. p. 012012. IOP Publishing.
- Postel, D. (2006). *Penataan Frekuensi Radio Layanan Akses Pita Lebar Berbasis Nirkabel*. DKI Jakarta: Ditjen Postel.
- Surjati, I. (2012). *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. DKI Jakarta: Universitas Trisakti.
- WIYANTO, E., ALAM, S., & HARSONO, B. (2018, Juli). Realisasi dan Pengujian Antena Mikrostrip Array 4 Elemen dengan Polarisasi Melingkar untuk Aplikasi 4G/LTE. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 6(2), 244.
- Yosefariko, Y., Riza, T. A., & Wahyu, Y. . (2015). Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Dual Band Menggunakan Slot Berbentuk U Untuk Aplikasi Wifi. *eProceedings of Engineering*, 2(2).

# Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Air Minum Kemasan Galon Menggunakan Metode *Saving Matrix* di Depot Air Minum Isi Ulang Banyu Belik Purwokerto

Deryl Baharudin S.<sup>1</sup>, Salwa Salsabila<sup>2</sup>, dan Nitta Fitria Anggraeni<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>[derylbaharudin29@gmail.com](mailto:derylbaharudin29@gmail.com), <sup>2</sup>[salwasalsabila28@gmail.com](mailto:salwasalsabila28@gmail.com), <sup>3</sup>[nitta.fa@gmail.com](mailto:nitta.fa@gmail.com)

## Abstrak

Penentuan rute distribusi merupakan hal yang penting bagi perusahaan untuk meminimalkan biaya distribusi. Sebagai penjual galon air minum isi ulang, pemilihan rute yang optimal perlu menjadi perhatian Depot Banyu Belik karena mempengaruhi biaya pengiriman galon tersebut. *Saving Matrix* adalah salah satu metode untuk penentuan rute distribusi yang optimal. Metode *Saving Matrix* dapat menentukan rute gabungan yang optimal dengan mempertimbangkan kapasitas armada distribusi dan karakteristik matriks jarak yang tidak simetris. Penelitian ini berhasil mendapatkan rute distribusi menggunakan metode *Saving Matrix* yang lebih baik dari segi jarak, waktu, dan biaya. Hasil yang diperoleh adalah penggabungan 10 rute distribusi, penghematan jarak sebesar 38,44%, penghematan waktu 29,52%, dan penghematan biaya distribusi sebesar 32,01%.

Kata kunci: rute distribusi, matriks penghematan, rute asimetris

## Abstract

Determination of distribution routes is important for companies to minimize distribution costs. As a seller of refill drinking water gallons, the optimal route selection needs to be a concern of the Banyu Belik Depot because it affects the shipping costs of the gallon. The Saving Matrix is one method for determining the optimal distribution route. The Saving matrix method can determine the optimal combined route by considering the distribution fleet capacity and asymmetrical distance matrix characteristics. This study succeeded in getting a distribution route using the Saving Matrix method which is better in terms of distance, time, and cost. The results obtained are the merging of 10 distribution routes, distance savings of 38.44%, time savings of 29.52%, and savings in distribution costs of 32.01%.

Keywords: distribution routes, saving matrix, asymmetric route

## 1. Pendahuluan

Pengiriman produk dengan kondisi barang yang baik, tepat waktu dan tempat yang telah ditentukan dipengaruhi oleh proses distribusi dan transportasi yang baik, sehingga distribusi dan transportasi merupakan hal yang penting dalam suatu perusahaan (Ikfan & Ilyas, 2013). Distribusi merupakan bagian dari tahapan *supply chain* yang mana distribusi merupakan suatu kunci dari keuntungan yang akan diperoleh perusahaan karena distribusi akan mempengaruhi secara langsung biaya dari *supply chain* dan kebutuhan konsumen (Ikhsan et al., 2013). Salah satu penentu distribusi yang baik adalah pemilihan rute yang tepat (Rahayu & Yuliana, 2017)

Penentuan rute sendiri diputuskan oleh seorang manajer dalam menentukan rute dan jenis kendaraan apa yang digunakan agar tidak ada kelebihan kapasitas dan pengiriman berlangsung sesuai waktu. Pemilihan rute ini tentu saja digunakan agar terbentuk kombinasi yang tepat dan biaya yang minim dengan cara mengurangi jarak tempuh kendaraan, waktu pengiriman, serta mengurangi kesalahan yang mungkin akan terjadi. Penentuan rute sendiri didasarkan atas sistem pengiriman (Muhammad et al., 2017). Salah satu metode untuk memperoleh rute terpendek dengan kapasitas angkut yang maksimal adalah dengan metode *Saving Matrix*, metode ini digunakan untuk mengetahui urutan rute distribusi yang harus dilalui dan jumlah alat angkut berdasarkan kapasitas dari alat angkut tersebut (Indrawati et al., 2016).

Permasalahan mengenai rute distribusi sudah pernah diselesaikan di penelitian sebelumnya. Rizky et al., 2019 melakukan penelitian untuk menentukan rute distribusi pada salah satu pabrik material bangunan di medan dengan batasan kapasitas pengiriman dan waktu pengiriman namun dengan jarak antar tujuan yang simetris (Rizky et al., 2019).

Beberapa penelitian telah menunjukkan cara pemilihan rute distribusi optimal menggunakan metode *Saving Matrix* dengan karakteristik data jarak antar tujuan yang diasumsikan simetris, namun pada kenyataannya distribusi barang menuju pelanggan belum tentu menggunakan jalur yang sama dengan jalur kembali ke depot, sehingga pertimbangan jarak yang tidak simetris perlu dilakukan. Pada penelitian pemilihan rute distribusi ini akan digunakan metode *Saving Matrix* dengan dipertimbangkan kondisi jarak antar tujuan yang tidak simetris. Tujuan penelitian ini untuk menentukan rekomendasi rute distribusi pengiriman produk pada depot dengan matriks jarak asimetris

### Info Makalah:

Dikirim : 04-17-20;

Revisi 1 : 05-23-20;

Diterima : 06-08-20.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8132-4359-150

e-mail : [derylbaharudin29@gmail.com](mailto:derylbaharudin29@gmail.com)

sehingga didapatkan penghematan jarak, waktu dan biaya distribusi setelah dilakukan perbaikan dengan metode *Saving Matrix*.

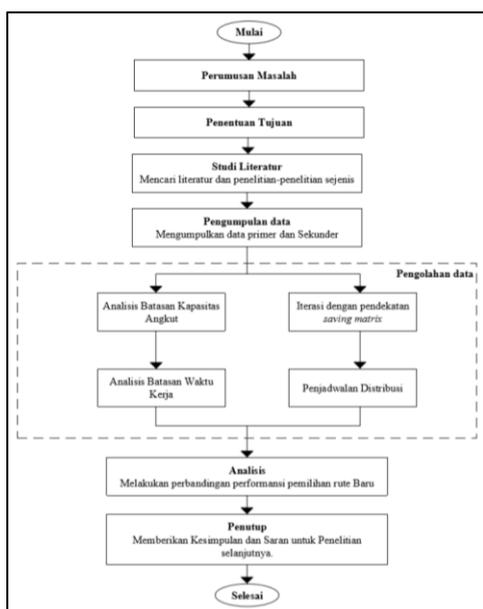
## 2. Metode

Distribusi merupakan kegiatan memindahkan produk dari pemasok kepada konsumen dalam satu *supply chain*. Dalam *supply chain* sendiri diperlukan adanya kelayakan, keunggulan serta kelemahan pada setiap alat transportasi yang digunakan dalam pendistribusian produk itu sendiri. (Rahayu & Yuliana, 2017). Dalam menyelesaikan masalah distribusi dan operasional, *Saving Matrix* dapat dijadikan alternatif yang baik. Metode ini digunakan untuk menentukan rute distribusi produk ke wilayah pemasaran. Iterasi metode ini dilakukan dengan cara menentukan rute distribusi yang harus dilalui dan jumlah kendaraan berdasarkan kapasitas dari kendaraan tersebut agar mendapatkan rute terpendek sehingga meminimalkan biaya transportasi (Demez, 2013).

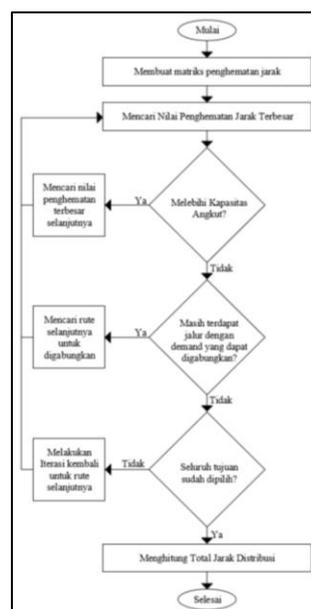
*Saving Matrix* sendiri memiliki tujuan untuk pengiriman barang dilakukan dengan efektif dan efisien sehingga adanya penghematan dalam aspek biaya, tenaga serta waktu pengiriman. (Suparjo, 2017).

Pada penggunaannya, *Saving Matrix* memiliki asumsi yang perlu diperhatikan, yang pertama adalah jalan dengan dua arah, sehingga jarak dari asal ke tujuan serta tujuan ke asal dianggap sama, jalan diasumsikan dapat dilalui armada dengan kapasitas yang berbeda, serta kondisi lalu lintas tidak mempengaruhi kecepatan kendaraan. (Muhammad et al., 2017).

Penelitian ini diawali dengan perumusan masalah dan tujuan, dilanjutkan dengan studi literatur dan pengumpulan data. Setelah itu dilakukan pengolahan data dengan melakukan iterasi dengan menggunakan metode *Saving Matrix* bersamaan dengan menganalisis batasan kapasitas angkut, kemudian dilakukan penjadwalan distribusi dengan memperhatikan batasan waktu kerja, dilakukan analisis perbandingan performa rute distribusi sebelum dan setelah perbaikan, kemudian diambil kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dibuat. Alur pengerjaan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian



Gambar 2. Prosedur Iterasi Saving Matrix

Penelitian ini menggunakan pendekatan dengan metode *Saving Matrix* untuk menentukan rute gabungan distribusi barang dengan mempertimbangkan kapasitas angkut barang dan jam kerja supir dengan karakteristik jarak antar tujuan yang tidak simetris. Penelitian ini dilakukan di depot air minum isi ulang Banyu Belik di Kabupaten Banyumas, Purwokerto dengan tujuan pengiriman galon ke 20 tujuan pengiriman.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

1. Data primer, data primer yang penulis kumpulkan yaitu: data harga bahan bakar pertalite, kapasitas mobil angkutan, harga servis kendaraan dan penggantian ban, konsumsi bahan bakar mobil, dan kecepatan rata-rata kendaraan.
2. Data Sekunder, data sekunder yang kami kumpulkan yaitu: data *demand* dan jarak tujuan rute, jumlah dan jenis armada yang tersedia.

Prosedur iterasi untuk penentuan rute distribusi menggunakan *Saving Matrix* ditunjukkan pada Gambar 2.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Depot air minum isi ulang Banyu Belik yang berada di Kabupaten Banyumas melakukan distribusi galon air ke 20 tujuan dengan masing-masing *demand* galon air minum yang berbeda. Tabel 1. menunjukkan 20 pelanggan dan masing-masing *demand* tujuan per bulan Februari 2015. *Node* Tujuan merupakan posisi pelanggan dimana terdapat aktivitas pengiriman galon air minum sesuai dengan permintaan dan pengambilan galon kosong untuk dikirim kembali ke depot. *Node* tujuan memiliki jarak yang berbeda-beda terhadap posisi depot Banyu Belik.

Tabel 1. *Demand* Pelanggan Depot Banyu Belik

No.	Alamat Depot	Delivery	Pick Up
1	Kec. Cilongok	45	45
2	Ds. Pasir Kec Karang lewas	35	35
3	Ds. Kedungbanteng Kecamatan Kedung banteng	30	30
4	Kec. Rawalo	35	35
5	Kec. Jatilawang	35	35
6	Kec. Banyumas	45	45
7	Kec. Sumpiuh	50	50
8	Kec. Kalibagor	45	45
9	Kec. Sokaraja	15	15
10	Kec. Somagede	30	30
11	Perumahan Teluk Purwokerto	45	45
12	Tanjung, Purwokerto	25	25
13	Karang Jambu, Purwokerto	40	40
14	Grendeng, purwokerto	40	40
15	Banjar sari, Purbalingga	50	50
16	Pengadegan, Purbalingga	60	60
17	Jl lombok - kel. gunung simping	35	35
18	Jl ternate - kel. gunung simping	45	45
19	Teritih lor, kec jeruk legi	30	30
20	Jl sri gunting - kel. Sidanegara	30	30
Total Galon		765	765

*Node* tujuan merupakan posisi pelanggan yang terdapat aktivitas pengiriman galon air minum sesuai dengan permintaan dan pengambilan galon kosong untuk dikirim kembali ke depot. *Node* tujuan memiliki jarak yang berbeda-beda terhadap posisi depot Banyu Belik. Tabel 2 menunjukkan matriks jarak antara depot dan *node* tujuan dan jarak antar *node* tujuan.

Tabel 2. Matriks Jarak (Satuan km)

	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D	0	18	11	8	29	33	27	42	20	15	30	12	8,8	45	6,4	21	35	54	54	45	56
1	18	0	14	22	23	35	20	48	27	22	38	19	25	56	19	26	50	52	52	36	52
2	11	13	0	15	20	28	17	38	21	15	27	12	8	49	12	37	42	49	49	42	51
3	8	22	15	0	33	40	30	48	27	22	38	19	15	47	15	32	42	59	59	52	61
4	29	23	20	33	0	9,8	5	35	25	29	31	22	21	69	27	54	35	34	34	45	50
5	33	35	28	40	9,9	0	14	37	30	34	39	27	26	74	32	59	61	25	25	23	33
6	27	20	17	30	5	14	0	37	25	27	31	21	19	56	24	53	43	39	39	36	41
7	42	49	39	49	35	37	37	0	23	28	14	32	35	66	36	49	43	46	47	49	48
8	20	26	21	27	25	30	25	22	0	5,4	11	9,6	14	13	13	29	30	49	49	49	51
9	15	23	16	23	26	31	28	27	5,4	0	16	5,7	9,6	41	9,1	27	29	51	51	49	53
10	30	38	28	38	32	38	32	14	12	17	0	21	24	58	25	39	33	49	49	51	51
11	12	19	12	19	22	27	21	32	10	6,1	21	0	4,4	47	6,3	31	34	47	47	44	49
12	8,8	17	9,9	17	23	28	21	35	13	8,3	24	4,4	0	98	6,6	34	37	48	48	44	50
13	44	60	53	47	47	76	57	67	14	42	55	48	48	0	42	48	45	93	93	93	94
14	6,4	18	11	15	27	32	24	35	13	8,2	24	7,2	6,8	42	0	27	30	52	52	49	54
15	21	26	19	26	32	37	31	28	6,6	4,8	17	9	13	38	12	0	24	54	55	54	56
16	35	50	43	42	55	60	55	40	30	28	34	33	36	45	31	30	0	78	78	80	83
17	54	52	48	60	34	25	39	48	48	54	49	47	46	91	52	75	80	0	1	13	1,3
18	54	52	48	60	34	25	39	48	48	55	49	48	47	93	52	77	82	1	0	15	3,3
19	45	36	39	49	25	16	26	52	45	49	53	42	41	88	46	74	79	9,9	9,1	0	15
20	56	52	50	62	36	27	40	49	50	56	51	49	48	94	54	78	83	2,3	2,4	15	0

Kendaraan yang dimiliki depot Air Minum isi ulang Banyu Belik adalah 2 unit Mobil Grandmax dengan kapasitas 90 Galon dan 2 unit Motor Tossa dengan kapasitas 16 Galon. Dalam perhitungan biaya, penelitian ini hanya

menggunakan 2 unit mobil Grandmax karena mengasumsikan motor Tossa digunakan untuk keperluan layanan antar galon air minum ke tujuan perumahan. Dalam metode *Saving Matrix*, rute distribusi sebelumnya diasumsikan dilakukan dengan 1 *Node* tujuan per rute pengiriman, sehingga terdapat 20 rute pengiriman untuk memenuhi *demand* pelanggan. Tabel 4 menunjukkan rute-rute distribusi sebelum dilakukan perbaikan menggunakan metode *Saving Matrix*.

Tabel 3. Rute Distribusi Sebelum Perbaikan

Rute ke-	Armada	Jalur Rute	Total Jarak (km)
1	Mobil Grandmax Kapasitas 90 Galon	D - 1 - D	36
2		D - 2 - D	22,4
3		D - 3 - D	16
4		D - 4 - D	57
5		D - 5 - D	66,8
6		D - 6 - D	53,4
7		D - 7 - D	84,4
8		D - 8 - D	39
9		D - 9 - D	29,4
10		D - 10 - D	60,4
11		D - 11 - D	23,2
12		D - 12 - D	17,6
13		D - 13 - D	88,8
14		D - 14 - D	12,8
15		D - 15 - D	42,2
16		D - 16 - D	69,6
17		D - 17 - D	108
18		D - 18 - D	108,3
19		D - 19 - D	90,4
20		D - 20 - D	111,8
Total			1137,5

Tabel 4. Biaya Variabel

No.	Variabel Cost	Biaya/Km
1	Bahan Bakar	Rp720
2	Servis Mobil dan Ganti Oli	Rp92
3	Ganti Ban	Rp12
Total Biaya Variabel		Rp825

Proses pendistribusian galon air minum memerlukan biaya yang terdiri dari *Fixed Cost* dan *Variable Cost*. Tabel 4 menunjukkan komposisi dari biaya variabel yang terdiri dari biaya bahan bakar jenis pertalite, biaya ganti oli, servis mobil, dan biaya ganti ban. Komposisi dan jumlah biaya tetap dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Biaya Variabel

Depresiasi Kendaraan	Harga Beli Mobil	Umur Pakai (Bulan)	Harga Jual Mobil	Depresiasi/ Bulan	Depresiasi/ Hari
	Rp150.000.000	120	Rp45.000.000	Rp875.000	Rp35.000
Gaji Supir dan Kuli Angkut	Gaji Supir/ Bulan	Gaji Supir/ Hari + Uang Makan (Rp10.000)	Gaji Kuli/ Bulan	Gaji Kuli/ Hari + Uang Makan (Rp10.000)	Total Gaji/ Hari
	Rp1.000.000	Rp50.000	Rp750.000	Rp40.000	Rp180.000

Langkah awal dalam menentukan rute distribusi menggunakan metode ini adalah membuat matriks penghematan (*Saving Matrix*) untuk setiap tujuan.  $S_{ij}$  merupakan jarak tempuh dengan rute distribusi ke tujuan  $i$  dan  $j$ . Nilai  $S_{ij}$  sebelum perbaikan merupakan rute distribusi dari depot ke tujuan  $i$  dan kembali ke depot, setelah itu menuju tujuan  $j$  dan kembali ke depot sehingga dapat diungkapkan dengan persamaan (1).

$$S_{ij} = S_{depot-i} + S_{i-depot} + S_{depot-j} + S_{j-depot} \quad (1)$$

Nilai  $S'_{ij}$  merupakan rute distribusi setelah perbaikan dari depot ke tujuan  $i$ , dilanjutkan distribusi ke tujuan  $j$ , setelah itu kembali ke depot sehingga dapat diungkapkan dengan persamaan (2).

$$S'_{ij} = S_{depot-i} + S_{i-j} + S_{j-depot} \quad (2)$$

Penghematan jarak merupakan pengurangan jarak dari  $S_{ij}$  sebelum perbaikan dan setelah perbaikan.

$$Saving_{ij} = S_{ij} - S'_{ij}$$

$$Saving_{ij} = (S_{depot-i} + S_{i-depot} + S_{depot-j} + S_{j-depot}) - (S_{depot-i} + S_{i-j} + S_{j-depot})$$

$$Saving_{ij} = S_{i-depot} + S_{depot-j} - S_{i-j} \quad (3)$$

Dilakukan perhitungan penghematan biaya untuk setiap tujuan distribusi galon. Tabel 66 Menunjukkan hasil perhitungan penghematan jarak untuk setiap tujuan.

Tabel 6. Matriks Penghematan Biaya

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		15	4,5	23,5	16,2	24,8	11,8	10,7	10,7	10,7	10,3	1,8	7,6	5,9	12,9	3,2	20,3	20,3	27,6	21,5
2	16,1		4,6	20	16,9	21,4	15,3	10,2	10,8	14,2	10,5	12	7,1	6	-5,1	4	16,4	16,4	14,9	16,5
3	4,5	4,6		3,3	1,7	4,7	1,8	0,7	0,7	0,7	0,3	1,8	6,3	-0,2	-3,3	1,2	2,7	2,7	1,2	2,7
4	23,5	20	3,3		52,1	50,2	35,6	23,3	14,5	27,3	18,5	16,6	4,5	8,4	-4,1	28,7	48,4	48,4	28,9	34,4
5	16,2	16,8	1,6	52		45,7	38,7	22,9	14,1	25,1	18,1	16,3	4,3	8,1	-4,3	7,3	62,1	62,1	55,4	56,8
6	24,8	21,4	4,7	50,2	45,8		31,9	21,7	14,7	25,7	16,9	16,9	16	8,7	-5,6	19	41,6	41,6	36,4	41,7
7	11	14,5	1	35,6	38,8	31,7		38,8	29	58,3	21,7	15,7	21,6	13,1	14	33,6	50,2	49,3	38,7	50,2
8	11,7	10,2	0,7	23,1	23,1	21,7	39,6		28,8	38,6	21,5	14,8	51,9	12,9	12	24,7	24,7	24,7	15,9	24,7
9	9,8	10	-0,2	16,9	16,9	13,9	29,8	28,8		28,7	20,6	13,9	18,9	12	9	20,6	18,1	18,1	11,3	18,1
10	9,9	13,4	-0,1	26,3	25,3	24,9	58,3	37,7	27,9		20,6	14,6	17,9	12	11,9	31,9	35,4	35,4	24	35,5
11	11,1	11,3	1,1	18,3	18,3	16,9	22,1	21,1	20,2	21		16	9,9	11,7	1,3	12,9	18,4	18,5	13	18,5
12	10	10,1	0	14,5	14,4	14,9	16,3	15,3	15,2	15,2	16		-44,3	8,6	-4,5	7,1	15,2	15,3	9,7	15,2
13	1,8	1,9	4,5	25,5	1,4	13,3	19	48,7	16,2	18,4	7,6	4,3		7,7	16,8	33,4	4,9	4,9	-3,8	5
14	6,1	6,3	-0,2	8,4	8,3	8,8	13,9	12,9	12,9	12,8	10,8	8,4	9,4		0,8	11,1	8,6	8,6	3,1	8,6
15	12,9	13,1	2,9	17,8	17,7	16,4	35,1	34	31	34	23,7	17	28,8	15,1		31,8	21,1	20,2	12,4	21,1
16	3,1	3,2	1,1	7,9	7,9	6,5	36,6	24,2	21,1	30,8	13,9	7,2	34,9	10,6	26,2		11	11	-0,1	7,9
17	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	8,7	8,2	0	8,8		107,1	86,3	108,6
18	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	6,9	8,2	-1,8	7	107,2		84,5	106,8
19	27,6	17,6	4,6	49,2	62,5	45,6	35,9	20,1	11,3	22,3	15,3	13,5	3	6	-7,3	0,9	89,3	90,2		86,5
20	21,5	16,9	1,7	48,5	62,1	42,2	48,7	25,7	14,3	35,1	18,3	16,5	7,7	8,2	-0,9	7,9	107,6	107,6	86,6	

Tabel 7. Inisialisasi Iterasi 1 untuk Rute 1

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		15	4,5	23,5	16,2	24,8	11,8	10,7	10,7	10,7	10,3	1,8	7,6	5,9	12,9	3,2	20,3	20,3	27,6	21,5
2	16,1		4,6	20	16,9	21,4	15,3	10,2	10,8	14,2	10,5	12	7,1	6	-5,1	4	16,4	16,4	14,9	16,5
3	4,5	4,6		3,3	1,7	4,7	1,8	0,7	0,7	0,7	0,3	1,8	6,3	-0,2	-3,3	1,2	2,7	2,7	1,2	2,7
4	23,5	20	3,3		52,1	50,2	35,6	23,3	14,5	27,3	18,5	16,6	4,5	8,4	-4,1	28,7	48,4	48,4	28,9	34,4
5	16,2	16,8	1,6	52		45,7	38,7	22,9	14,1	25,1	18,1	16,3	4,3	8,1	-4,3	7,3	62,1	62,1	55,4	56,8
6	24,8	21,4	4,7	50,2	45,8		31,9	21,7	14,7	25,7	16,9	16,9	16	8,7	-5,6	19	41,6	41,6	36,4	41,7
7	11	14,5	1	35,6	38,8	31,7		38,8	29	58,3	21,7	15,7	21,6	13,1	14	33,6	50,2	49,3	38,7	50,2
8	11,7	10,2	0,7	23,1	23,1	21,7	39,6		28,8	38,6	21,5	14,8	51,9	12,9	12	24,7	24,7	24,7	15,9	24,7
9	9,8	10	-0,2	16,9	16,9	13,9	29,8	28,8		28,7	20,6	13,9	18,9	12	9	20,6	18,1	18,1	11,3	18,1
10	9,9	13,4	-0,1	26,3	25,3	24,9	58,3	37,7	27,9		20,6	14,6	17,9	12	11,9	31,9	35,4	35,4	24	35,5
11	11,1	11,3	1,1	18,3	18,3	16,9	22,1	21,1	20,2	21		16	9,9	11,7	1,3	12,9	18,4	18,5	13	18,5
12	10	10,1	0	14,5	14,4	14,9	16,3	15,3	15,2	15,2	16		-44,3	8,6	-4,5	7,1	15,2	15,3	9,7	15,2
13	1,8	1,9	4,5	25,5	1,4	13,3	19	48,7	16,2	18,4	7,6	4,3		7,7	16,8	33,4	4,9	4,9	-3,8	5
14	6,1	6,3	-0,2	8,4	8,3	8,8	13,9	12,9	12,9	12,8	10,8	8,4	9,4		0,8	11,1	8,6	8,6	3,1	8,6
15	12,9	13,1	2,9	17,8	17,7	16,4	35,1	34	31	34	23,7	17	28,8	15,1		31,8	21,1	20,2	12,4	21,1
16	3,1	3,2	1,1	7,9	7,9	6,5	36,6	24,2	21,1	30,8	13,9	7,2	34,9	10,6	26,2		11	11	-0,1	7,9
17	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	8,7	8,2	0	8,8		107,1	86,3	108,6
18	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	6,9	8,2	-1,8	7	107,2		84,5	106,8
19	27,6	17,6	4,6	49,2	62,5	45,6	35,9	20,1	11,3	22,3	15,3	13,5	3	6	-7,3	0,9	89,3	90,2		86,5
20	21,5	16,9	1,7	48,5	62,1	42,2	48,7	25,7	14,3	35,1	18,3	16,5	7,7	8,2	-0,9	7,9	107,6	107,6	86,6	

Rute awal ditentukan dengan mencari nilai terbesar dari matriks penghematan jarak. Kemudian menganalisis jumlah barang yang distribusi dengan batasan kapasitas angkut (Tabel 6). Tujuan 17 dan 20 mempunyai *demand* gabungan 65 galon sehingga memenuhi Batasan kapasitas angkut (90 galon). Sehingga iterasi 1 menghasilkan rute 17-20 (Tabel 7). Iterasi dilanjutkan dengan mencari nilai *Saving Matrix* terbesar selanjutnya, kemudian menganalisis jumlah *demand* gabungan dan kapasitas angkut distribusi (90 galon). Didapatkan rute selanjutnya 9-17 dengan total *demand* gabungan rute tersebut (9-17-20) adalah 80 galon (Tabel 8). Iterasi dimulai kembali untuk Rute selanjutnya dengan tahapan iterasi yang sama namun tidak mempertimbangkan tujuan yang sudah dipilih pada iterasi rute sebelumnya. Tabel 9 Menunjukkan ringkasan hasil Iterasi rute distribusi galon.

Tabel 8. Iterasi 1 untuk Rute 1

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		15	4,5	23,5	16,2	24,8	11,8	10,7	10,7	10,7	10,3	1,8	7,6	5,9	12,9	3,2	20,3	20,3	27,6	21,5
2	16,1		4,6	20	16,9	21,4	15,3	10,2	10,8	14,2	10,5	12	7,1	6	-5,1	4	16,4	16,4	14,9	16,5
3	4,5	4,6		3,3	1,7	4,7	1,8	0,7	0,7	0,7	0,3	1,8	6,3	-0,2	-3,3	1,2	2,7	2,7	1,2	2,7
4	23,5	20	3,3		52,1	50,2	35,6	23,3	14,5	27,3	18,5	16,6	4,5	8,4	-4,1	28,7	48,4	48,4	28,9	34,4
5	16,2	16,8	1,6	52		45,7	38,7	22,9	14,1	25,1	18,1	16,3	4,3	8,1	-4,3	7,3	62,1	62,1	55,4	56,8
6	24,8	21,4	4,7	50,2	45,8		31,9	21,7	14,7	25,7	16,9	16,9	16	8,7	-5,6	19	41,6	41,6	36,4	41,7
7	11	14,5	1	35,6	38,8	31,7		38,8	29	58,3	21,7	15,7	21,6	13,1	14	33,6	50,2	49,3	38,7	50,2
8	11,7	10,2	0,7	23,1	23,1	21,7	39,6		28,8	38,6	21,5	14,8	51,9	12,9	12	24,7	24,7	24,7	15,9	24,7
9	9,8	10	-0,2	16,9	16,9	13,9	29,8	28,8		28,7	20,6	13,9	18,9	12	9	20,6	18,1	18,1	11,3	18,1
10	9,9	13,4	-0,1	26,3	25,3	24,9	58,3	37,7	27,9		20,6	14,6	17,9	12	11,9	31,9	35,4	35,4	24	35,5
11	11,1	11,3	1,1	18,3	18,3	16,9	22,1	21,1	20,2	21		16	9,9	11,7	1,3	12,9	18,4	18,5	13	18,5
12	10	10,1	0	14,5	14,4	14,9	16,3	15,3	15,2	15,2	16		-44,3	8,6	-4,5	7,1	15,2	15,3	9,7	15,2
13	1,8	1,9	4,5	25,5	1,4	13,3	19	48,7	16,2	18,4	7,6	4,3		7,7	16,8	33,4	4,9	4,9	-3,8	5
14	6,1	6,3	-0,2	8,4	8,3	8,8	13,9	12,9	12,9	12,8	10,8	8,4	9,4		0,8	11,1	8,6	8,6	3,1	8,6
15	12,9	13,1	2,9	17,8	17,7	16,4	35,1	34	31	34	23,7	17	28,8	15,1		31,8	21,1	20,2	12,4	21,1
16	3,1	3,2	1,1	7,9	7,9	6,5	36,6	24,2	21,1	30,8	13,9	7,2	34,9	10,6	26,2		11	11	-0,1	7,9
17	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	8,7	8,2	0	8,8		107,1	86,3	108,6
18	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	6,9	8,2	-1,8	7	107,2		84,5	106,8
19	27,6	17,6	4,6	49,2	62,5	45,6	35,9	20,1	11,3	22,3	15,3	13,5	3	6	-7,3	0,9	89,3	90,2		86,5
20	21,5	16,9	1,7	48,5	62,1	42,2	48,7	25,7	14,3	35,1	18,3	16,5	7,7	8,2	-0,9	7,9	107,6	107,6	86,6	

Tabel 9. Iterasi Selesai untuk Rute 1

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		15	4,5	23,5	16,2	24,8	11,8	10,7	10,7	10,7	10,3	1,8	7,6	5,9	12,9	3,2	20,3	20,3	27,6	21,5
2	16,1		4,6	20	16,9	21,4	15,3	10,2	10,8	14,2	10,5	12	7,1	6	-5,1	4	16,4	16,4	14,9	16,5
3	4,5	4,6		3,3	1,7	4,7	1,8	0,7	0,7	0,7	0,3	1,8	6,3	-0,2	-3,3	1,2	2,7	2,7	1,2	2,7
4	23,5	20	3,3		52,1	50,2	35,6	23,3	14,5	27,3	18,5	16,6	4,5	8,4	-4,1	28,7	48,4	48,4	28,9	34,4
5	16,2	16,8	1,6	52		45,7	38,7	22,9	14,1	25,1	18,1	16,3	4,3	8,1	-4,3	7,3	62,1	62,1	55,4	56,8
6	24,8	21,4	4,7	50,2	45,8		31,9	21,7	14,7	25,7	16,9	16,9	16	8,7	-5,6	19	41,6	41,6	36,4	41,7
7	11	14,5	1	35,6	38,8	31,7		38,8	29	58,3	21,7	15,7	21,6	13,1	14	33,6	50,2	49,3	38,7	50,2
8	11,7	10,2	0,7	23,1	23,1	21,7	39,6		28,8	38,6	21,5	14,8	51,9	12,9	12	24,7	24,7	24,7	15,9	24,7
9	9,8	10	-0,2	16,9	16,9	13,9	29,8	28,8		28,7	20,6	13,9	18,9	12	9	20,6	18,1	18,1	11,3	18,1
10	9,9	13,4	-0,1	26,3	25,3	24,9	58,3	37,7	27,9		20,6	14,6	17,9	12	11,9	31,9	35,4	35,4	24	35,5
11	11,1	11,3	1,1	18,3	18,3	16,9	22,1	21,1	20,2	21		16	9,9	11,7	1,3	12,9	18,4	18,5	13	18,5
12	10	10,1	0	14,5	14,4	14,9	16,3	15,3	15,2	15,2	16		-44,3	8,6	-4,5	7,1	15,2	15,3	9,7	15,2
13	1,8	1,9	4,5	25,5	1,4	13,3	19	48,7	16,2	18,4	7,6	4,3		7,7	16,8	33,4	4,9	4,9	-3,8	5
14	6,1	6,3	-0,2	8,4	8,3	8,8	13,9	12,9	12,9	12,8	10,8	8,4	9,4		0,8	11,1	8,6	8,6	3,1	8,6
15	12,9	13,1	2,9	17,8	17,7	16,4	35,1	34	31	34	23,7	17	28,8	15,1		31,8	21,1	20,2	12,4	21,1
16	3,1	3,2	1,1	7,9	7,9	6,5	36,6	24,2	21,1	30,8	13,9	7,2	34,9	10,6	26,2		11	11	-0,1	7,9
17	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	8,7	8,2	0	8,8		107,1	86,3	108,6
18	20,3	17	1,8	48,5	62,2	42,2	48,7	25,8	14,3	35,2	18,3	16,5	6,9	8,2	-1,8	7	107,2		84,5	106,8
19	27,6	17,6	4,6	49,2	62,5	45,6	35,9	20,1	11,3	22,3	15,3	13,5	3	6	-7,3	0,9	89,3	90,2		86,5
20	21,5	16,9	1,7	48,5	62,1	42,2	48,7	25,7	14,3	35,1	18,3	16,5	7,7	8,2	-0,9	7,9	107,6	107,6	86,6	

Tabel 10. Hasil Iterasi Penentuan Rute Distribusi Galon

RUTE	ARMADA	RUTE ARMADA	Total Demand tiap Rute
1	GRANDMAX 1	DEPOT - 9 - 17 - 20 - DEPOT	80
2	GRANDMAX 2	DEPOT - 19 - 18 - DEPOT	75
3	GRANDMAX 1	DEPOT - 7 - 10 - DEPOT	80
4	GRANDMAX 2	DEPOT - 4 - 5 - DEPOT	70
5	GRANDMAX 1	DEPOT - 8 - 13 - DEPOT	85
6	GRANDMAX 2	DEPOT - 1 - 6 - DEPOT	90
7	GRANDMAX 1	DEPOT - 15 - 12 - DEPOT	75
8	GRANDMAX 2	DEPOT - 11 - 14 - DEPOT	85
9	GRANDMAX 1	DEPOT - 3 - 2 - DEPOT	65
10	GRANDMAX 2	DEPOT - 16 - DEPOT	60

Waktu tempuh untuk distribusi dihitung dari total jarak tiap rute dikalikan dengan kecepatan rata-rata kendaraan yang diasumsikan 30 km/jam. Waktu *loading* dan *unloading* barang diperhitungkan dalam waktu total distribusi. Mengacu pada jurnal Dicky Moriza, dkk dengan judul "Rute Pendistribusian Air Mineral Dalam Kemasan Menggunakan Metode *Nearest Neighbour* Dan *Branch And Bound* di PT Agronesia BMC" bahwa waktu baku untuk *loading* galon berisi air adalah 0.1 menit/galon dan *unloading* 0.5 menit/galon, sementara untuk galon kosong memiliki waktu baku *loading* 0.15/galon dan *unloading* 0.5 menit/galon. (Moriza et al., 2016)

Tabel 11. Waktu Distribusi untuk Rute sebelum Perbaikan

Rute ke-	Armada	Jalur Rute	Total Jarak (km)	Kecepatan rata-rata Armada	Waktu Tempuh (jam)	Jumlah Muatan (Galon)	Waktu Loading + Unloading (menit)		Waktu Pengiriman (jam)
							Depot *)	Node Tujuan **)	
1	Mobil Grandmax Kapasitas 90 Galon	D - 1 - D	36	30 km/jam	1,20	45	11,25	29,25	1,88
2		D - 2 - D	22,4		0,75	35	8,75	22,75	1,28
3		D - 3 - D	16		0,53	30	7,50	19,50	0,98
4		D - 4 - D	57		1,90	35	8,75	22,75	2,43
5		D - 5 - D	66,8		2,23	35	8,75	22,75	2,76
6		D - 6 - D	53,4		1,78	45	11,25	29,25	2,46
7		D - 7 - D	84,4		2,81	50	12,50	32,50	3,56
8		D - 8 - D	39		1,30	45	11,25	29,25	1,98
9		D - 9 - D	29,4		0,98	15	3,75	9,75	1,21
10		D - 10 - D	60,4		2,01	30	7,50	19,50	2,46
11		D - 11 - D	23,2		0,77	45	11,25	29,25	1,45
12		D - 12 - D	17,6		0,59	25	6,25	16,25	0,97
13		D - 13 - D	88,8		2,96	40	10,00	26,00	3,56
14		D - 14 - D	12,8		0,43	40	10,00	26,00	1,03
15		D - 15 - D	42,2		1,41	50	12,50	32,50	2,16
16		D - 16 - D	69,6		2,32	60	15,00	39,00	3,22
17		D - 17 - D	108		3,60	35	8,75	22,75	4,13
18		D - 18 - D	108,3		3,61	45	11,25	29,25	4,29
19		D - 19 - D	90,4		3,01	30	7,50	19,50	3,46
20		D - 20 - D	111,8		3,73	30	7,50	19,50	4,18
Total			1137,5	Total		37,92	765	191,25	497,25

Tabel 12. Waktu Distribusi untuk Rute setelah Perbaikan

Rute ke-	Armada	Jalur Rute	Total Jarak (km)	Kec. rata-rata Armada	Waktu (jam)	Jml Galon	Waktu Loading + Unloading (menit)		Waktu Kirim (jam)
							Di Depot *)	Di Node Tujuan **)	
1	Mobil Grandmax Kapasitas 90 Galon	D - 9 - 17- 20 - D	122,5	30 km/jam	4,08	80	20,00	52,00	5,28
2		D - 19 - 18 - D	108,5		3,62	75	18,75	48,75	4,745
3		D - 7 - 10 - D	86,5		2,88	80	20,00	52,00	4,08
4		D - 4 - 5 - D	71,7		2,39	70	17,50	45,50	3,44
5		D - 8 - 13 - D	75,9		2,53	85	21,25	55,25	3,805
6		D - 1 - 6 - D	64,6		2,15	90	22,50	58,50	3,5
7		D - 15 - 12 - D	42,8		1,43	75	18,75	48,75	2,555
8		D - 11 - 14 - D	24,3		0,81	85	21,25	55,25	2,085
9		D - 3 - 2 - D	33,8		1,13	65	16,25	42,25	2,105
10		D - 16 - D	69,6		2,32	60	15,00	39,00	3,22
Total			1137,5	Total	23,34	700,2	23,34	765	191,25

Pemilihan penjadwalan dilakukan dengan mempertimbangkan waktu kerja supir dan kuli angkut, yaitu 8 jam per hari. Tabel 12 dan Tabel 13 menunjukkan jadwal distribusi galon air minum sebelum dan setelah perbaikan.

Tabel 13. Jadwal Distribusi Barang sebelum Perbaikan

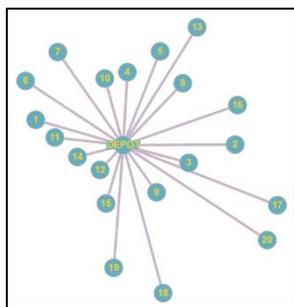
Rute ke-	Rute Distribusi	Waktu Distribusi per Rute (jam)	Waktu distribusi per armada (jam)	Armada yang digunakan	Jadwal Pengiriman
12	D - 12 - D	0,965	7,41	Mobil Grandmax 1	Hari ke-1
15	D - 15 - D	2,16			
18	D - 18 - D	4,285			
3	D - 3 - D	0,98	7,59	Mobil Grandmax 2	Hari ke-1
4	D - 4 - D	2,425			
20	D - 20 - D	4,18			
6	D - 6 - D	2,455	7,61	Mobil Grandmax 1	Hari ke-2
14	D - 14 - D	1,03			
17	D - 17 - D	4,125			
9	D - 9 - D	1,205	7,23	Mobil Grandmax 2	Hari ke-2
10	D - 10 - D	2,46			
13	D - 13 - D	3,56			
2	D - 2 - D	1,275	7,59	Mobil Grandmax 1	Hari ke-3
5	D - 5 - D	2,755			
7	D - 7 - D	3,56			
1	D - 1 - D	1,875	6,78	Mobil Grandmax 2	Hari ke-3
11	D - 11 - D	1,445			
19	D - 19 - D	3,46			
8	D - 8 - D	1,975	5,20	Mobil Grandmax 1	Hari ke-4
16	D - 16 - D	3,22			
Total Waktu Distribusi (jam)			49,40	Total Hari	4 hari

Dari kedua tabel tersebut menunjukkan bahwa jumlah hari yang dibutuhkan untuk distribusi sebelum perbaikan adalah 4 hari dan setelah perbaikan menjadi 3 hari.

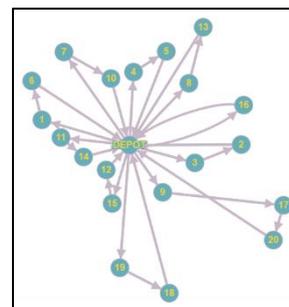
Tabel 14. Jadwal Distribusi Barang setelah Perbaikan

Rute ke-	Rute Distribusi	Waktu Distribusi per Rute (jam)	Waktu distribusi per armada (jam)	Armada yang digunakan	Jadwal Pengiriman
1	D - 9 - 17 - 20 - D	5,28	7,84	Mobil Grandmax 1	Hari ke-1
7	D - 15 - 12 - D	2,555			
2	D - 19 - 18 - D	4,745			
8	D - 11 - 14 - D	2,085	6,83	Mobil Grandmax 2	Hari ke-1
3	D - 7 - 10 - D	4,08			
9	D - 3 - 2 - D	2,105			
4	D - 4 - 5 - D	3,44	6,66	Mobil Grandmax 2	Hari ke-2
10	D - 16 - D	3,22			
5	D - 8 - 13 - D	3,805			
6	D - 1 - 6 - D	3,5	7,31	Mobil Grandmax 1	Hari ke-3
Total Waktu Distribusi (jam)					

Performansi pemilihan rute distribusi yang optimal adalah waktu yang dibutuhkan untuk distribusi barang, Total jarak yang ditempuh, dan biaya distribusi yang dikeluarkan. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan rute distribusi sebelum dan setelah perbaikan. Rute sebelum perbaikan merupakan distribusi dengan rute dari depot ke tujuan dan langsung kembali lagi ke depot tanpa pengiriman ke tujuan lain, sementara rute pada Gambar 4 merupakan rute penggabungan distribusi pada beberapa tujuan sekaligus.

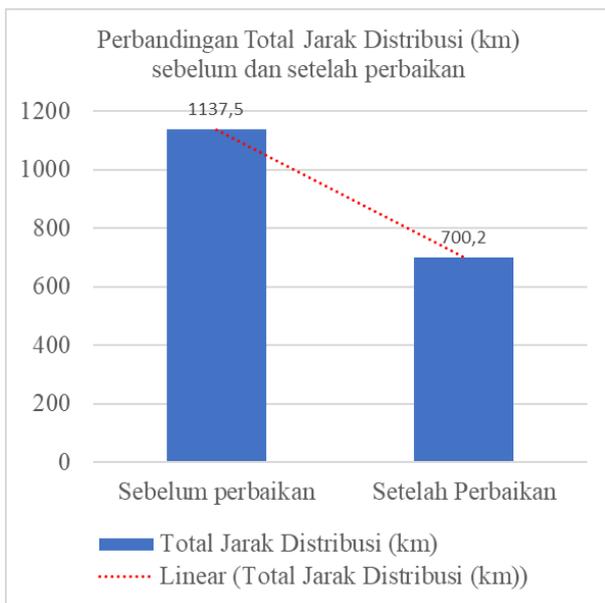


Gambar 3. Rute Distribusi sebelum Perbaikan

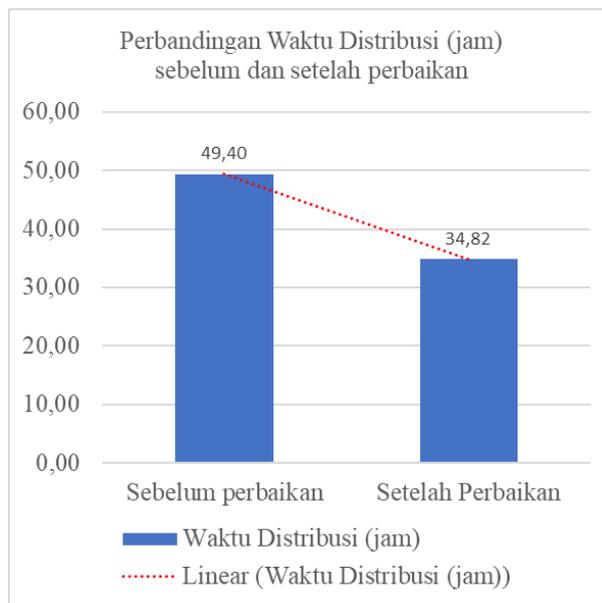


Gambar 4. Rute Distribusi setelah Perbaikan

Perbandingan total jarak distribusi mengalami perbaikan dengan penurunan 38,44% dan waktu distribusi juga mengalami perbaikan dengan penurunan 29,52% yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 dibawah ini:



Gambar 5. Perbandingan Total Jarak Distribusi sebelum dan setelah Perbaikan



Gambar 6. Perbandingan Waktu Distribusi sebelum dan setelah Perbaikan

Perbandingan biaya distribusi sebelum dan setelah perbaikan ditunjukkan pada Tabel 14 dengan mempertimbangkan *fixed cost* dan *variable cost* yang sudah dijelaskan pada Tabel 3 dan Tabel 4 pada bagian sebelumnya.

Tabel 15. Perbandingan Biaya Distribusi sebelum dan setelah Perbaikan

Rute	Jumlah hari distribusi	Total Jarak (km)	Biaya Tetap	Biaya Variabel	Total Biaya
Sebelum Perbaikan	4	1137,5	Rp860.000	Rp937.884	Rp 1.797.884
Setelah Perbaikan	3	700,2	Rp645.000	Rp577.324	Rp 1.222.324

Terjadi penurunan biaya distribusi Rp 575.560 atau sekitar 32,01%.

### Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Dapat dilakukan penggabungan rute distribusi galon air minum isi ulang Banyu Belik menggunakan metode *Saving Matrix* dari sebelumnya 20 rute menjadi 10 rute distribusi yaitu:

Tabel 16. Rute Distribusi

RUTE	ARMADA	RUTE ARMADA	Muatan Galon
1	GRANDMAX 1	DEPOT - 9 - 17 - 20 - DEPOT	80
2	GRANDMAX 2	DEPOT - 19 - 18 - DEPOT	75
3	GRANDMAX 1	DEPOT - 7 - 10 - DEPOT	80
4	GRANDMAX 2	DEPOT - 4 - 5 - DEPOT	70
5	GRANDMAX 1	DEPOT - 8 - 13 - DEPOT	85
6	GRANDMAX 2	DEPOT - 1 - 6 - DEPOT	90
7	GRANDMAX 1	DEPOT - 15 - 12 - DEPOT	75
8	GRANDMAX 2	DEPOT - 11 - 14 - DEPOT	85
9	GRANDMAX 1	DEPOT - 3 - 2 - DEPOT	65
10	GRANDMAX 2	DEPOT - 16 - DEPOT	60

2. Perbaikan jalur distribusi galon air minum isi ulang Banyu Belik menggunakan metode *Saving Matrix* menghasilkan penghematan jarak 38,44%, penghematan waktu 29,52%, dan penghematan biaya sebesar 32,01%.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muhammad Fauzi, S.T., M.Log. atas bimbingan dan *review* pada penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Demez, H. (2013). *Combinatorial Optimization: Solution Methods of Traveling Salesman Problem* [Eastern Mediterranean University]. <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11129/654/Demez.pdf?sequence=1>
- Ikfan, N., & Ilyas, M. (2013). Penentuan rute Transportasi Terpendek untuk Meminimalkan Biaya Menggunakan Metode Saving Matriks. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 12(2), 165–178. ISSN 1412-6869
- Ikhsan, A. N., Oesman, T. I., & Yusuf, M. (2013). Optimalisasi distribusi produk menggunakan daerah penghubung dan metode *Saving Matrix*. *Jurnal Rekayasa Dan Inovasi Teknik Industri*, 1(1), 1–10. ISSN: 2338-7750
- Indrawati, I., Eliyati, N., & Lukowi, A. (2016). Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Palembang dengan Menggunakan Metode *Saving Matrix*. *Jurnal Penelitian Sains*, 18(3), 105–110. <https://media.neliti.com/media/publications/168493-ID-penentuan-rute-optimal-pada-pengangkutan.pdf>
- Moriza, D., Adiyanto, H., & Nurdiansyah, Y. (2016). Rute Pendistribusian Air Mineral Dalam Kemasan Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Branch and Bound Di PT Agronesia BMC. *Reka Integra Itenas*, 4(2), 195–205. <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaintegra/article/view/1101>
- Muhammad, Bakhtiar, & Rahmi, M. (2017). Penentuan Rute Transportasi Distribusi Sirup Untuk Meminimalkan Biaya. *Industrial Engineering Journal*, 6(1), 10–15.
- Rahayu, S., & Yuliana, P. (2017). Perencanaan Jadwal Dan Penentuan Rute Distribusi Produk Otomotif Dengan Metode Saving Matriks. *Jurnal Teknik Industri*, 20(01).
- Rizkya, I., Matondang, N., Yahya, M. D., & Ningsih, M. S. (2019). *Design of Distribution Routes Using Saving Matrix Method to Minimize Transportation Cost. 2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, 48–51. <https://doi.org/10.1109/ICSECC.2019.8907004>
- Suparjo, S. (2017). Metode *Saving Matrix* Sebagai Alternatif Efisiensi Biaya Distribusi (Studi Empirik Pada Perusahaan Angkutan Kayu Gelondongan Di Jawa Tengah). *Media Ekonomi Dan Manajemen*, 32(2), 137–153. e-ISSN: 2503-446X

## Pencarian Rute Terpendek pada Distribusi *Raw Material* Metode Dijkstra di PT. SHP

Muhammad Faizal Nurriky<sup>1</sup>, Sofia Dwiagnes<sup>2</sup>, dan Nitta Fitria Anggraeni<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>[faizalnurky@gmail.com](mailto:faizalnurky@gmail.com), <sup>2</sup>[sofiadwiagnes@gmail.com](mailto:sofiadwiagnes@gmail.com), <sup>3</sup>[nitta.fa@gmail.com](mailto:nitta.fa@gmail.com)

### Abstrak

Perusahaan dapat memilih jasa makloon untuk memproduksi produknya. Jasa ini akan membantu perusahaan dalam memangkas modal usaha. Paling tidak, perusahaan tidak perlu mengalokasikan dana besar untuk membangun pabrik sehingga perusahaan dapat langsung menjalankan bisnisnya. Dengan menggunakan jasa makloon, beberapa kebijakan perusahaan mengirimkan bahan bakunya kepada perusahaan yang menyediakan jasa makloon. Dalam proses pengiriman bahan baku, perusahaan harus mempertimbangkan jalur transportasi yang akan dilewati untuk meminimumkan biaya transportasi. Maka harus dicari jalur transportasi terpendek agar jarak yang ditempuh menjadi optimal dan ongkos yang harus dikeluarkan dapat diminimalisir. PT. SHP yang berlokasi di daerah Cikampek kabupaten Karawang akan menggunakan jasa makloon di PT. UJA yang berlokasi di Padalarang Bandung. Metode yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah menggunakan algoritma Dijkstra. Dari banyaknya jalur alternatif yang dimiliki perusahaan, dicari jarak terpendek yang nanti menjadi solusi paling optimal bagi perusahaan.

Kata kunci: Dijkstra, Transportasi, Biaya

### Abstract

Companies can choose macloon services to produce their products. This service will help companies in cutting business capital. At least, the company does not need to allocate large funds to build a factory so that the company can directly run its business. By using macloon services, several company policies send raw materials to companies that provide macloon services. Sending raw materials, companies must consider the transportation route to be passed to fulfill the purpose function of the transportation itself, which is the minimum cost. Then the shortest transportation route must be sought so that the distance traveled is optimal and the costs incurred can be minimized. PT. SHP, which is located in Cikampek, Karawang regency, will use the services of a telephone at PT. UJA located in Padalarang, Bandung. The method used to overcome this problem is using Dijkstra's algorithm. Of the many alternative paths owned by the company, the shortest distance is sought, which then becomes the most optimal solution for the company.

Keywords: Dijkstra, Transportation, Cost

### 1. Pendahuluan

PT. SHP merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dibidang industri makanan. Perusahaan ini memproduksi makanan bernutrisi yang berbahan dasar susu. Perusahaan ini berdomisili di Kawasan Industri di daerah Cikampek Kabupaten Karawang. Biaya *overhead* yang tinggi serta permintaan yang terus meningkat, menjadikan PT. SHP harus menggunakan jasa makloon kepada perusahaan lain dalam rangka penyelesaian produksi produk-produk makanan berbahan dasar susu tersebut. Perusahaan yang menjadi penyedia jasa adalah PT UJA yang berdomisili di Padalarang, Bandung. PT. SHP harus memastikan setiap produk yang dibuat merupakan produk-produk berkualitas. Maka dari itu, PT. SHP memilih untuk mengirimkan bahan baku produknya ke PT. UJA.

Untuk meminimalisir ongkos transportasi pengiriman bahan baku, PT. SHP harus menentukan jalur-jalur yang memadai dengan mempertimbangkan optimalisasi biaya transportasi. Salah satu variabel yang mempengaruhi biaya transportasi adalah jarak. Sehingga perusahaan harus memilih jalur dengan jarak terpendek. Diasumsikan jarak terpendek merupakan jalur paling optimal bagi perusahaan untuk mengeluarkan biaya transportasi dengan menggunakan metode Dijkstra.

Metode pengujian dengan melibatkan teori djikstra ini telah dilakukan oleh beberapa pneliti dan menghasilkan hasil jarak yang cukup baik. Penentuan rute terpendek yang dilakukan oleh (Kusuma et al., 2019), digunakan untuk pengantaran barang di wilayah jabodetabek. Pengujian ini dikontrol dengan menggunakan beberapa koordinat di setiap wilayah yang akan dituju sehingga memudahkan dalam mendapatkan hasil rute terpendek yang paling baik

### 2. Metode

Jaringan merupakan sebuah sistem yang terdiri dari rangkaian noda dan kegiatan yang disimbolkan kedalam sebuah titik dan tanda panah dengan titik awal atau *origin* (*O*), arah atau *path* (*P*) dan tujuan atau destinasi (*D*). Jaringan-jaringan ini memiliki sejumlah garis dan noda dengan pasangan-pasangan tertentu (Munir, 2005). Noda disebut dengan simpul (*vertice*) dan garis disebut busur atau cabang (*link*). Garis tersebut diberi label menggunakan nama kedua

#### Info Makalah:

Dikirim : 04-16-20;

Revisi 1 : 04-17-20;

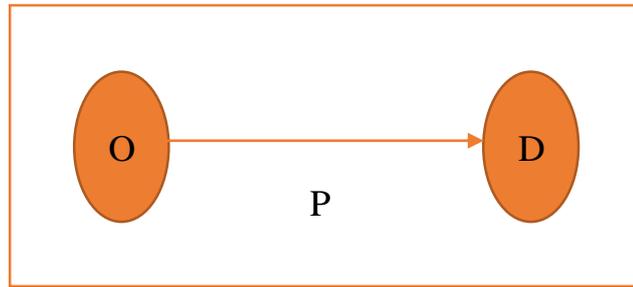
Diterima : 06-08-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-821-2461-1078

e-mail : [faizalnurky@gmail.com](mailto:faizalnurky@gmail.com)

simpul yang terdapat pada kedua ujungnya. Sumber atau *origin* merupakan noda awal bagi busur-busurnya. Tujuan atau *destination* sebagai noda yang dituju oleh busurnya.



Gambar 1. *Origin ke Destination* (Munir, 2005)

Transportasi berarti perpindahan yang dialami suatu barang atau manusia dari suatu tempat ke tempat yang lain. Secara harafiah, transportasi berarti mengangkut atau membawa sesuatu ke sebelah lain, dari suatu tempat ke tempat yang lain. Artinya, transportasi merupakan suatu jasa yang dipergunakan sebagai alat untuk memperoleh keuntungan-keuntungan ekonomis dalam berbagai kegiatan usaha dan hubungan kemasyarakatan, begitu pula dalam distribusi bagi perusahaan (Miro, 2012).

Metode yang tepat dalam penentuan jalur transportasi terpendek adalah dengan menggunakan algoritma Dijkstra. Algoritma Dijkstra ditemukan oleh Edsger W. Dijkstra dan dipublikasi pada tahun 1959 pada sebuah jurnal *Numerische Mathematik* yang berjudul "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs". Algoritma ini sering digambarkan sebagai algoritma *greedy*. Algoritma ini digunakan dalam memecahkan permasalahan untuk jarak terpendek (*shortest path problem*) untuk *graph* berarah dimana setiap arahnya memiliki nilainya masing-masing sesuai dengan panjangnya jarak yang ditempuh. Metode ini membentuk sebuah jaringan yang terdiri dari rangkaian noda (*node*) dan arah (*arrow*). Algoritma Dijkstra bekerja dengan cara menghitung semua *vertex* atau titik yang tersedia. Algoritma Dijkstra dapat menemukan jalur terpendek pada *graph* yang memiliki *vertex* dan jarak antar *vertex* yang memiliki bobot positif. (Wibowo & Wicaksono, 2012).

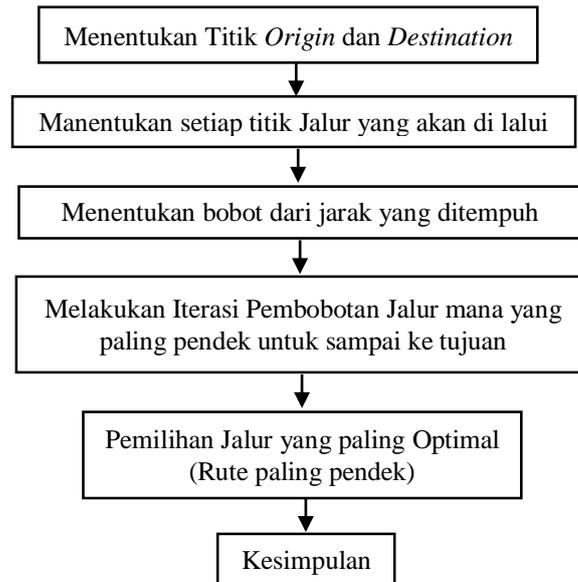
Cara kerja algoritma Dijkstra memakai strategi *greedy*, dimana pada setiap langkah dipilih sisi dengan bobot terkecil yang menghubungkan sebuah simpul lain yang belum terpilih. Algoritma Dijkstra membutuhkan parameter berupa tempat asal dan tempat tujuan (Junanda et al., 2016). Algoritma Dijkstra akan menentukan titik node yang menjadi awalan (*origin*) dan memberikan nilai atau bobot ke node yang terdekat hingga node selanjutnya satu persatu (Munir, 2005) Logika pada Algoritma Dijkstra sebagai berikut:

1. Dari titik awal ke setiap titik lainnya diberikan nilai bobot (jarak), dengan cara menset nilai 0 pada node awal dan nilai tak hingga terhadap node lain yang belum memiliki bobot nilai.
2. Set node awal sebagai node keberangkatan kemudian ukur jarak dari node awal ke setiap node yang ada.
3. Dari node keberangkatan, pertimbangkan node lain yang belum dihitung jaraknya dari titik keberangkatan. Misalnya, dengan nilai keberangkatan O ke A memiliki nilai bobot jarak 3 dan dari A ke node D berjarak 2, maka jarak ke D melewati A menjadi  $3+2=5$ .
4. Hitung setiap jarak terhadap node lain. Nilai jarak yang telah tersimpan merupakan nilai jarak terpendek terakhir sehingga tidak perlu mengulang data kebelakang.
5. Set node belum terjangkau dengan jarak terkecil (dari node keberangkatan) sebagai node keberangkatan selanjutnya dan lanjutkan dengan kembali ke step 3.

Penelitian penentuan jalur terpendek dari PT.SHP menuju PT.UJA tentunya terdiri dari beberapa tahapan penelitian, diantaranya dengan pencarian rute dan visualisasi pada *maps*. Jalur terpendek pengiriman bahan baku untuk makloon didasarkan pada pencarian jalur terpendek menggunakan metode Dijkstra. Metode ini dapat menentukan jalur-jalur mana saja yang dapat dilalui oleh truk, sehingga dapat dibuat rekomendasi pemilihan jalur terpendek untuk meminimalisasi pengiriman biaya bahan baku tersebut.

Proses pertama yaitu menentukan titik awal atau *origin* sebagai node awal yaitu PT. SHP itu sendiri dan juga *destination* yang hendak dituju yaitu PT. UJA. Selanjutnya dilakukan penentuan titik-titik atau node yang jalurnya dapat mencapai ke tempat tujuan dengan memperhatikan jarak tempuhnya. Truk akan berangkat dari origin melalui node-node hingga sampai ke tujuan akhir. Didapatkan nilai dari setiap jalur yang dilalui kemudian diambil nilai dari bobot terkecil yakni jarak terpendek dari setiap jalur yang dilalui oleh truk untuk sampai ke *destination*.

Gambaran alur proses pencarian jalur terpendek pengiriman bahan bangunan seperti gambar berikut:



Gambar 2. Flowchart Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Origin - Destination

Pemetaan setiap jalur distribusi dari PT.SHP sebagai origin, yaitu sumber dikirimnya barang *raw material* menuju *destination* yaitu PT. UJA merujuk pada tabel berikut:

Tabel 1. Origin, Destination dan Jalur Distribusi

Noda	Tempat	Keterangan
O	PT.SHP	Origin
A	Gerbang Tol Cikampek	Jalur Distribusi
B	Kantor Kepala Desa Babakan Cikao, Purwakarta	Jalur Distribusi
C	Alun Alun Purwakarta	Jalur Distribusi
D	Gerbang Tol Sadang	Jalur Distribusi
E	Gerbang Tol Jatiluhur	Jalur Distribusi
F	Kantor Kepala Desa Sawit, Purwakarta	Jalur Distribusi
G	Kantor Kepala Desa Cipada Kab. Bandung Barat	Jalur Distribusi
H	Gerbang Tol Padalarang	Jalur Distribusi
I	PT. UJA	Destination

#### 3.2 Paramter Jenis Kendaraan Angkut

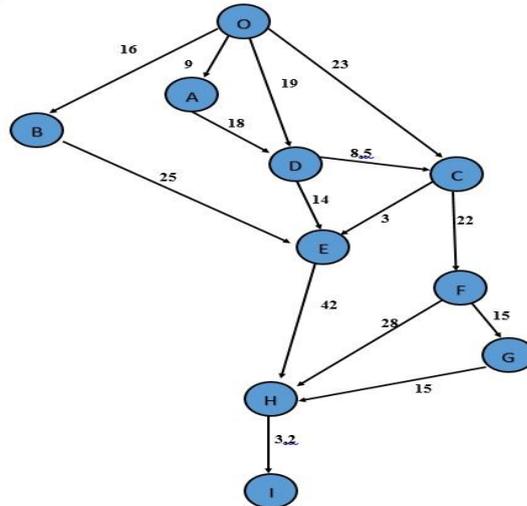
Proses pengiriman *raw material* yang dilakukan oleh PT. SHP tidak lepas dari penggunaan armada. Armada yang digunakan oleh PT. SHP adalah jenis kendaraan truk *CDD Box* dengan 2 gandar. Truk dengan kapasitas angkut 8 Ton ini mengkonsumsi BBM sebanyak 3L perkilometer.



Gambar 3. Truk CDD Box

### 3.3 Proses Metode Dijkstra

Langkah pertama dalam menentukan jalur transportasi terpendek yaitu melakukan pemetaan awal setiap jalur transportasi dari origin menuju destinasi. Pemetaan setiap jalur terlihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4. Pemetaan Awal Jalur Distribusi *Origin Menuju Destination*.

Tabel 2. Ringkasan Jalur Tempuh yang Terlewati

Jalur Distribusi	Jarak (Km)
O-A	9
O-B	16
O-C	23
O-D	19
A-D	18
B-E	25
D-E	14
D-C	8,5
C-E	3
E-H	42
C-F	22
F-G	16
F-H	28
G-H	15
H-I	3,2

Perhitungan metode djikstra dilakukan secara *looping* dari awal keberangkatan sampai dengan lokasi terakhir (Ardana & Saputra, 2016). Iterasi algoritma djikstra dilakukan dengan memperhatikan jalur terpendek serta parameter ongkos tol serta konsumsi BBM setiap kilometer.

Tabel 3. Iterasi Algoritma Dijkstra

Iterasi	Jalur	Jarak (Km)
Iterasi I	O-A	9
	O-B	16
	O-C	23
	O-D	19
Iterasi II	O-B-E	41
	O-A-D-E	41
	O-D-E	33
	O-D-C-E	30,5
	O-C-E	26

Iterasi	Jalur	Jarak (Km)
Iterasi III	O-B-E-H	83
	O-A-D-E-H	83
	O-D-E-H	75
	O-D-C-E-H	72,5
	O-C-E-H	68
	O-C-F-H	73
	O-C-F-G-H	73
Iterasi IV	O-B-E-H-I	86,2
	O-A-D-E-H-I	86,2
	O-D-E-H-I	78,2
	O-D-C-E-H-I	75,7
	O-C-E-H-I	71,2
	O-C-F-H-I	76,2
	O-C-F-G-H-I	79,2

Perhitungan Iterasi menunjukkan Jalur O-C-E-H-I merupakan jalur terpendek yang dapat di tempuh oleh truk dari titik awal untuk sampai ke destinasi. Maka jalur yang ditempuh truk mulai dari:

1. Alun – Alun Purwakarta
2. Masuk Tol Jatiluhur
3. Keluar Tol Padalarang

Penelitian ini juga memperhatikan biaya total baik bensin maupun biaya tol untuk sampai ke destinasi tersebut. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

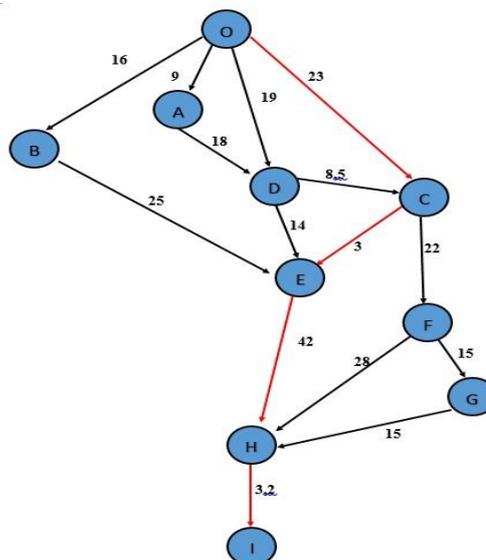
Tabel 4. Ringkasan Jalur Tempuh *Origin* ke *Destination*

Jalur Distribusi	Jarak (Km)	Biaya Bensin (Rp)	Biaya Tol (Rp)	Biaya Total (Rp)
O-B-E-H-I	86,2	1.978.290	40.500	2.018.790
O-A-D-E-H-I	86,2	1.978.290	59.500	2.037.790
O-D-E-H-I	78,2	1.794.690	49.000	1.843.690
O-D-C-E-H-I	75,7	1.737.315	40.500	1.777.815
O-C-E-H-I	71,2	1.634.040	40.500	1.674.540
O-C-F-H-I	76,2	1.748.790	-	1.748.790
O-C-F-G-H-I	79,2	1.817.640	-	1.817.640

Jalur O-C-E-H-I menunjukkan biaya yang paling kecil dalam proses pengiriman dari *origin* menuju destinasi. Jalur O-C-E-H-I menunjukkan perjalanan dari *origin* menuju *destination* dengan jarak total 71,2 KM. Jalur yang dapat dilalui seperti pada tabel dan gambar sebagai berikut:

Tabel 5. Kesimpulan Jalur Tempuh *Origin* ke *Destination*

Jalur Distribusi	Keterangan
Jarak Tempuh	71,2 Km
Kendaraan Angkut	Truk CDD Box
Rute Jalan	O-C-E-H-I
Biaya Transportasi	Rp. 1.674.540



Gambar 5. Jalur Tercepat *Origin* ke *Destination* Metode Dijkstra

### Kesimpulan

Penentuan jalur terpendek proses pengiriman *raw material makloon* dari PT. SHP menuju PT. UJA dapat dilakukan dengan menentukan titik pada setiap jalur yang akan ditempuh. Titik yang telah dibuat digunakan untuk menyelesaikan penentuan rute terpendek dengan menggunakan metode Dijkstra. Jalur terpendek yang didapat dapat memberikan keuntungan bagi perusahaan dalam pengiriman barang dari sisi waktu menjadi lebih cepat dan dari segi biaya pengiriman menjadi lebih optimal. Kedepannya diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi, karena masih terdapat parameter yang blm dimasukkan seperti faktor kemacetan dan jumlah *raw material* yang diangkut.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Widyatama Bandung atas dukungan, serta keterlibatan para ahlinya dalam diskusi pada penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Ardana, D., & Saputra, R. (2016). Penerapan Algoritma Dijkstra pada Aplikasi Pencarian Rute Bus Trans Semarang. *Seminar Nasional Ilmu Komputer (SNIK 2016)*, 1(Snik), 299–306.
- Junanda, B., Kurniadi, D., Huda, Y., Studi, P., Teknik, P., Teknik, F., & Negeri, U. (2016). PENCARIAN RUTE TERPENDEK MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA PADA SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN STASIUN PENGISIAN BAHAN BAKAR UMUM. *Jurnal Vokasional Teknik Elektronika & Informatika*, 4(1), 89–93. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/article/view/6014/4686>
- Kusuma, E., Jefri, & Halim Agung. (2019). Aplikasi Perhitungan Dan Visualisasi Jarak Terpendek Berdasarkan Data Coordinate Dengan Algoritma Dijkstra Dalam Kasus Pengantaran Barang. *Jurnal SISFOKOM*, 08(1), 14–23.
- Miro, F. (2012). *Pengantar Sistem Transportasi*. Erlangga.
- Munir, R. (2005). *Matematika Diskrit*. CV Informatika.
- Wibowo, A. G., & Wicaksono, A. P. (2012). Rancang Bangun Aplikasi untuk Menentukan Jalur Terpendek Rumah Sakit di Purbalingga dengan Metode Algoritma Dijkstra. *Jurnal Informatika*, II(1), 21–35. <https://media.neliti.com/media/publications/92729-ID-rancang-bangun-aplikasi-untuk-menentukan.pdf>

## Pendistribusian Produk Kartu Seluler untuk Alternatif Rute Terpendek Menggunakan Metode *Branch and Bound* di PT. T

Chandra Desparaja<sup>1</sup>, R. Faris Gumelar<sup>2</sup>, dan Nitta Fitria Anggraeni<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>[chandradesparaja@gmail.com](mailto:chandradesparaja@gmail.com), <sup>2</sup>[faris.gumelar@widyatama.ac.id](mailto:faris.gumelar@widyatama.ac.id), <sup>3</sup>[nitta.fitria@widyatama.ac.id](mailto:nitta.fitria@widyatama.ac.id)

### Abstrak

PT. T merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang operator seluler. Dalam aktivitas setiap harinya tentu perusahaan akan melakukan pendistribusian produk kepada konsumen yang dilakukan setiap hari. Sistem distribusi barang merupakan salah satu pendukung utama dalam pemasaran produk, tidak adanya kontrol yang baik dalam proses pendistribusian barang dapat berdampak buruk bagi perusahaan. Dilihat dari jumlah *distribution center* nya dengan data jarak terhadap rute distribusi menimbulkan kondisi yang tidak optimal. Masalah yang dihadapi perusahaan saat ini yaitu rute distribusi yang tidak optimal karena lokasi jarak jauh dari sumber dikarenakan pengiriman antar titik distribusi yang *random* sehingga berdampak pada biaya distribusi yang menjadi tidak optimal. Dalam menyelesaikan permasalahan perusahaan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Branch and Bound*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perusahaan dapat menggunakan 2 alternatif jalur terpendek dimana masing-masing alternatif menghasilkan jarak tempuh sebesar 84,3 km. Metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan jalur terpendek yang digunakan untuk meminimalkan waktu distribusi dengan cara mencari jarak dan rute terdekat.

Kata kunci: *branch and bound*, distribusi, rute terpendek

### Abstract

PT. T is a company engaged in cellular operators. The company will distribute products to consumers every day. Goods distribution system is one of the main supporters in product marketing, not having good control in the process of distributing goods can have a bad impact on the company. Judging from the number of distribution centers with distance data to the distribution route that is not optimal. The problem that requires companies today is that the distribution route is not optimal because of the distance from the source because the delivery between random distribution points thus affecting the distribution costs that are not optimal. In resolving company problems can be done using the Branch and Bound method. The results showed the company could use 2 alternative shortest paths where each alternative produced a distance of 84.3 km. This method can be used to solve the shortest path problem used to adjust distribution time by finding the closest distance and route.

Keywords: branch and bound, distribution, shortest route

### 1. Pendahuluan

Ilmu pengetahuan dan teknologi informasi berkembang begitu pesat yang disertai dengan peralatan canggih dan modern. Berkembangnya teknologi informasi, berpengaruh begitu besar dalam kehidupan masyarakat. Dahulu, alat komunikasi seperti telepon seluler hanya kebutuhan tersier yang jarang orang miliki. Namun tingkat informasi semakin tinggi dan penting, lambat laun telepon seluler menjadi kebutuhan primer yang harus dimiliki setiap orangnya.

Semakin tingginya tingkat kebutuhan primer untuk telepon seluler, menjadikan peluang besar bagi industri kartu seluler untuk ikut berkembang dalam media komunikasi. Perlahan tapi pasti, mulai banyak perusahaan kartu seluler di Indonesia yang tumbuh dan bersaing ketat untuk mendapatkan peluang pasar. Berbagai jenis produk menarik serta keunggulan masing-masing kartu seluler yang ditawarkan, mulai dari gratis telepon, *sms* hingga kuota *unlimited*.

PT. T adalah operator telekomunikasi seluler *GSM* pertama di Indonesia. Mulai dari berbagai macam produk dan harga yang berbeda pun telah siap dipasarkan dan ditawarkan oleh produsen kepada konsumen. Adanya fitur *social media* yang mudah diakses secara gratis dari berbagai macam paket internet yang disediakan PT. T dalam sistem komunikasi *smartphone* tentunya semakin mempermudah untuk berkomunikasi.

Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yang tinggi, PT. T memiliki *Distribution Center* yang tersebar di seluruh Indonesia, salah satunya di kota Bandung. Terdapat *Distribution Center* yang aktif dengan titik lokasi yang berbeda-beda, diantaranya *Distribution Center* Cipadung Kidul, *Distribution Center* Ciparay, *Distribution Center* Taman Kopo Indah, dan *Distribution Center* Soreang. *Distribution Center* ini akan memudahkan pelanggan untuk mendapatkan produk dengan harga yang kompetitif. Proses distribusi biasanya dilakukan dimulai dari PT. T sebagai sumber pusat yang kemudian didistribusi

#### Info Makalah:

Dikirim : 04-18-20;  
Revisi 1 : 05-28-20;  
Revisi 2 : 06-11-20;  
Revisi 3 : 06-13-20;  
Revisi 4 : 06-15-20;  
Diterima : 06-17-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-896-8300-7454  
e-mail : [chandradesparaja@gmail.com](mailto:chandradesparaja@gmail.com)

ke setiap *Distribution Center*. Distribusi dimulai dari *Distribution Center* Soreang kemudian ke *Distribution Center* Taman Kopo Indah, dilanjut ke *Distribution Center* Ciparay, dan terakhir ke *Distribution Center* Cipadung Kidul. Dalam proses distribusi, produk PT. T dinilai masih kurang efektif disebabkan oleh faktor distribusi yang masih *random* sehingga dalam pelaksanaan di lapangan menghambat dan memakan waktu maupun jarak untuk proses pendistribusiannya. Maka dari itu dilakukan metode *Branch and Bound* agar didapatkan rute terpendek dari berbagai alternatif kemungkinan di tiap titik *Distribution Center*. Masalah utama dalam pendistribusian produk adalah bagaimana caranya agar produk tersebut dapat melewati jalur-jalur tertentu dari sumber yang menyediakan produk ke tempat-tempat tujuan sehingga biaya yang dikeluarkan seminimal mungkin dan waktu yang digunakan dapat efisien.

Metode *Branch and Bound* diaplikasikan dalam kasus penyusunan jaringan komunikasi, dimana tarif jaringan komunikasi tiap-tiap operator diurutkan secara rekursif sehingga diperoleh tarif minimum (Fitriadi et al., 2010). Metode *Branch and Bound* sering digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan program integer karena hasil yang diperoleh dalam penyelesaian optimal lebih teliti dan lebih baik dari metode lain (Angeline et al., 2014). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka metode *Branch and Bound* diaplikasikan pada persoalan pengiriman barang kartu seluler PT. T di kota Bandung sehingga diperoleh rute terpendek dan biaya pengangkutan dapat dioptimalkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode *Branch and Bound* dalam menentukan rute terpendek berdasarkan jumlah persediaan barang, jumlah dalam setiap pengiriman dan permintaan pasar dalam setiap pendistribusian yang optimal di PT. T. Dengan menggunakan metode *Branch and Bound* ini diharapkan bisa didapatkan solusi titik terpendek dengan biaya terendah sehingga pendistribusian menjadi efektif.

## 2. Metode

### Distribusi dan Transportasi

Distribusi dapat diartikan sebagai kegiatan pemasaran yang berusaha memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dan jasa dari produsen kepada konsumen, sehingga penggunaannya sesuai dengan yang diperlukan (jenis, jumlah, harga, tempat, dan saat dibutuhkan). Proses pendistribusian produk terdapat beberapa kendala yang sering dihadapi oleh perusahaan, baik kendala secara internal maupun kendala eksternal. Kendala internal dapat berupa kebijakan yang dikeluarkan oleh perusahaan yang menyangkut distribusi dan pelayanan, serta sarana-prasarana penunjang dalam proses distribusi. Sedangkan kendala eksternal dapat berasal dari cara pendistribusian dan tempat yang dituju yaitu konsumen (Tjiptono, 2008). Transportasi merupakan salah satu komponen penting dalam logistik karena transportasi merupakan proses pemindahan barang dari satu titik ke titik lainnya dalam suatu rantai distribusi. Pemilihan transportasi juga mempunyai dampak yang besar dalam tingkat efisiensi rantai distribusi. Jika transportasi tidak berjalan dengan baik maka permintaan pasar tidak dapat terpenuhi sehingga produk atau barang akan rusak dan dikembalikan lagi ke perusahaan (*return*) karena tidak ada pendistribusian barang ke konsumen (Chopra & Meindl, 2007).

### *Branch and Bound*

Metode analisis yang paling bagus untuk menyelesaikan persoalan alokasi sumber ialah metode program linier. Pokok pikiran yang utama dalam menggunakan program linier ialah merumuskan masalah dengan jelas dengan menggunakan sejumlah informasi yang tersedia. Sesudah masalah terumuskan dengan baik, maka langkah berikut ialah menerjemahkan masalah ini ke dalam bentuk model matematika, yang mempunyai cara pemecahan yang lebih mudah dan rapi guna menemukan jawaban terhadap masalah yang dihadapi. Metode simpleks dikembangkan oleh George Dantzig pada tahun 1947 dan telah terbukti sebagai metode yang sangat efisien yang dipakai secara rutin untuk menyelesaikan masalah-masalah besar dengan komputer masa kini (Lieberman & Hillier, 1994). Metode simpleks berbeda dengan metode grafik karena hanya dapat menyelesaikan kasus dengan variabel keputusan sama dengan 2 sedangkan metode simpleks dapat digunakan untuk memecahkan kasus dengan banyak variabel keputusan.

Adapun proses penyusunan model matematik untuk fungsi tujuan dan kendala pada metode simpleks sama dengan proses pada metode grafik. Namun, proses perhitungan pada metode simpleks dilakukan secara rutin (berulang) dengan menggunakan pola yang sistematis hingga penyelesaian terbaik dicapai. Proses perhitungan yang rutin ini menunjukkan nilai fungsi tujuan akan sama atau lebih besar dari penyelesaian pada iterasi sebelumnya. Hal ini memberi jaminan bahwa proses ini bergerak kearah penyelesaian optimal. Metode *Branch and Bound* pertama kali diperkenalkan oleh A.H Land dan A.G. Doig dan dikembangkan lebih lanjut oleh peneliti-peneliti lain. Teknik ini dapat diterapkan baik untuk masalah *pure* maupun *mixed integer programming* (Mulyono, 2017). Sesuai dengan namanya metode ini membatasi penyelesaian optimum yang akan menghasilkan bilangan pecahan dengan cara membuat cabang atas atau bawah bagi masing-masing variabel keputusan yang bernilai pecahan agar bernilai bulat sehingga setiap pembatasan akan menghasilkan cabang baru (Maslihah, 2015). Pencabangan (*branching*) berarti memecah soal menjadi 2 soal baru (masing-masing ditambah dengan kendala baru) dan menyelesaikan keduanya (Siang, 2014).

*Branch and Bound* merupakan metode algoritma yang umum dalam mencari solusi optimal atas masalah optimasi yang beragam, khususnya dalam optimasi diskrit dan kombinatorial. Metode *Branch and Bound* terdiri dari penghitungan sistematis semua kandidat solusi. Metode *Branch and Bound* adalah salah satu metode untuk

menghasilkan penyelesaian optimal program linier yang menghasilkan variabel-variabel keputusan bilangan bulat. Dalam *branch and bound* terdapat tiga tahap dasar yaitu percabangan (*branching*), pembatasan (*bounding*), dan pengukuran (*fathoming*) (Pattawala & Suhandi, 2013). Penjelasan ketiga tahap tersebut adalah sebagai berikut:

1. Percabangan (*Branching*)

Percabangan berhubungan dengan pemilihan sub masalah yang belum dicabangkan dan memecahnya menjadi sub masalah yang lebih kecil.

2. Pembatasan (*Bounding*)

Pembatasan dilakukan untuk menentukan suatu batas yang digunakan untuk melihat seberapa baik solusi untuk suatu sub masalah

3. Pengukuran (*Fathoming*)

Pengukuran dilakukan untuk menentukan apakah suatu sub masalah perlu untuk ditelusuri lebih lanjut.

### Rancangan Penelitian

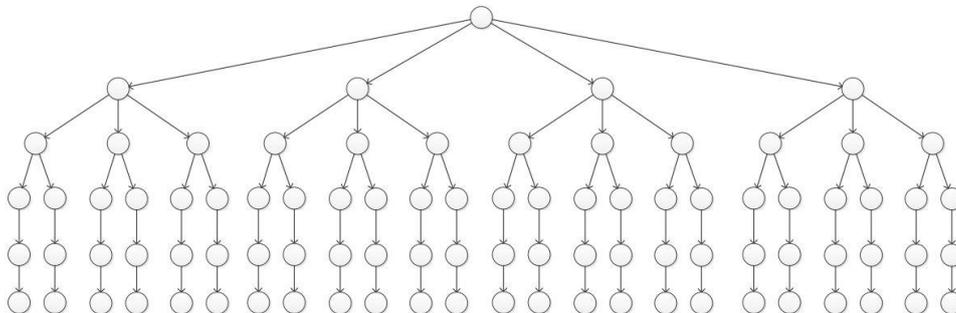
Penelitian ini dilakukan pada pendistribusian kartu seluler di PT. T dengan menggunakan metode penelitian deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Analisis kuantitatif yaitu mengidentifikasi metode kerja *alternatif* terbaik berdasarkan faktor faktor yang dapat menghambat proses pendistribusian. Selanjutnya dilakukan penilaian terhadap metode alternatif terbaik berdasarkan rute terpendek yang diperoleh melalui analisis metode *Branch and Bound*.

### Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari perusahaan adalah 4 *Distribution Center* yang tersebar di kota Bandung, serta jarak antara sumber dengan tiap *Distribution Center* yang diperoleh menggunakan aplikasi *maps*.

### Pengolahan Data

Dalam tahap ini yang dijadikan sebagai fungsi tujuannya adalah mencari rute terpendek yang diolah menggunakan metode *Branch and Bound* menggunakan pohon keputusan, dimana disetiap cabang terdapat jarak dengan satuan kilometer untuk setiap *Distribution Center* sehingga mendapatkan rute terpendek dari beberapa alternatif yang didapatkan dan biaya maupun jarak pengangkutan dapat dipilih seminimal mungkin. Dari pengumpulan data terdapat 4 *distribution center* terpilih yang selanjutnya dihitung jumlah alternatifnya dan dibuat matriks, lalu dituangkan seperti pada gambar 1 dalam bentuk pohon keputusan (*Decision Tree*) yang menunjukkan sumber dan tujuan masing masing *Distribution Center*.



Gambar 1. Contoh *Decision Tree*

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan cara mencari jarak dari sumber (PT. T, Jl. Soekarno-Hatta No.707, Jatisari, Kec. Buahbatu, Kota Bandung, Jawa Barat 40232) ke 4 tujuan *Distribution Center* yang berada di kota Bandung. Gambar 2 menjelaskan rute dari titik sumber ke 4 tujuan *Distribution Center* yang berlokasi sebagai berikut:

1. *Distribution Center* 1, Jl. Soekarno Hatta No.612, Cipadung Kidul, Kec. Panyileukan, Kota Bandung, Jawa Barat 40614
2. *Distribution Center* 2, Jl. Dayeuh Kolot Ciparay No.479, Ciheulang, Kec. Ciparay, Bandung, Jawa Barat 40381
3. *Distribution Center* 3, Jl. Taman Kopo Indah 3 Blk. C4 No.3, Rahayu, Kec. Margaasih, Bandung, Jawa Barat 40218
4. *Distribution Center* 4, Jl. Raya Soreang Kopo, Cingcin, Kec. Soreang, Bandung, Jawa Barat 40922



Gambar 2. Rute dari Titik Sumber ke 4 Tujuan

Untuk menentukan rute jarak terpendek yang optimal menggunakan metode *Branch and Bound* dengan perhitungan jumlah alternatif rute sebagai berikut:

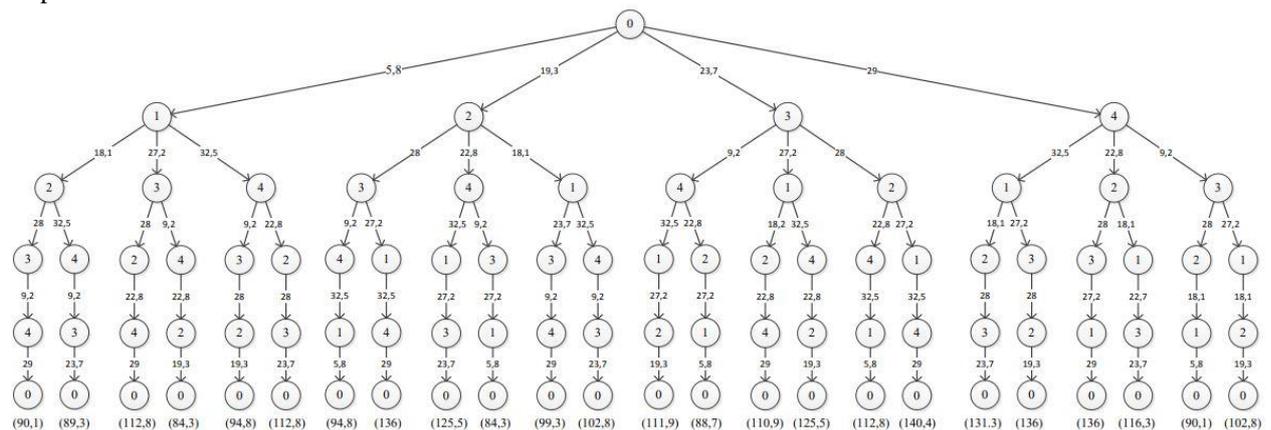
$$\begin{aligned} \text{Jumlah alternatif rute} &= (n-1)! \\ \text{Jumlah alternatif rute} &= (5-1)! = 4.3.2.1 = 24 \end{aligned}$$

Untuk mencapai ke setiap tujuan yang akan dilalui ternyata memiliki 24 alternatif rute yang dapat dilewati, tetapi pada penyelesaian kali ini akan dilakukan pemilihan rute terpendek agar dapat lebih cepat dalam segi waktu dan dalam segi biaya. Penyelesaian selanjutnya setelah mengetahui ada berapa alternatif rute yang dapat dilewati, dibuatnya matriks jarak antar node atau tujuan agar lebih mempermudah dalam perhitungan setiap jaraknya.

Tabel 1. Matriks Jarak Antar Node (km)

	PTT	DC 1	DC 2	DC 3	DC 4
PTT		5,8	19,3	23,7	29
DC 1			18,1	27,2	32,5
DC 2				28	22,8
DC 3					9,2
DC 4					

Tabel 1 ini menjelaskan setiap jarak antar *node* atau tujuan masing-masingnya dalam satuan kilometer. Hal yang dilakukan setelah mengetahui jarak antar tujuan yaitu membuat pohon keputusan (*decision tree*) sesuai dengan perhitungan jumlah alternatif rute sebanyak 24 rute. Berikut gambar keputusan (*decision tree*) agar lebih mudah dipahami melewati rute mana saja yang harus dilakukan dari titik awal hingga tujuan akhir yang memiliki jarak terpendek.



Gambar 3. Alternatif Rute

Gambar 3 menjelaskan 24 alternatif rute yang bisa dilakukan untuk proses distribusi dengan setiap angka menunjukkan jarak dalam satuan kilometer, dimana setiap rute ini menghasilkan jumlah jarak akhir dari setiap titik *Distribution Center*. Titik 0 mewakili sumber, dan titik 1 sampai 4 mewakili *Distribution Center*. Titik 1 mewakili *Distribution Center* Cipadung Kidul, titik 2 mewakili *Distribution Center* Ciparay, titik 3 mewakili *Distribution Center* Taman Kopo Indah, dan titik 4 mewakili *Distribution Center* Soreang. Alternatif dari masing-masing rute dihasilkan sebagai berikut:

Alternatif 1	: 0-1-2-3-4-0 : 5,8+18,1+28+9,2+29= 90,1 km
Alternatif 2	: 0-1-2-4-3-0 : 5,8+18,1+32,5+9,2+23,7= 89,3 km
Alternatif 3	: 0-1-3-2-4-0 : 5,8+27,2+28+22,8+29= 112,8 km
Alternatif 4	: 0-1-3-4-2-0 : 5,8+27,2+9,2+22,8+19,3= 84,3 km
Alternatif 5	: 0-1-4-3-2-0 : 5,8+32,5+9,2+28+19,3= 94,8 km
Alternatif 6	: 0-1-4-2-3-0 : 5,8+32,5+22,8+28+23,7= 112,8 km
Alternatif 7	: 0-2-3-4-1-0 : 19,3+28+9,2+32,5+5,8= 94,8 km
Alternatif 8	: 0-2-3-1-4-0 : 19,3+28+27,2+32,5+29= 136 km
Alternatif 9	: 0-2-4-1-3-0 : 19,3+22,8+32,5+27,2+23,7= 125,5 km
Alternatif 10	: 0-2-4-3-1-0 : 19,3+22,8+9,2+27,2+5,8= 84,3 km
Alternatif 11	: 0-2-1-3-4-0 : 19,3+18,1+23,7+9,2+29= 99,3 km
Alternatif 12	: 0-2-1-4-3-0 : 19,3+18,1+32,5+9,2+23,7= 102,8 km
Alternatif 13	: 0-3-4-1-2-0 : 23,7+9,2+32,5+27,2+19,3= 111,9 km
Alternatif 14	: 0-3-4-2-1-0 : 23,7+9,2+22,8+27,2+5,8= 88,7 km
Alternatif 15	: 0-3-1-2-4-0 : 23,7+27,2+18,2+22,8+29= 110,9 km
Alternatif 16	: 0-3-1-4-2-0 : 23,7+27,2+32,5+22,8+19,3= 125,5 km
Alternatif 17	: 0-3-2-4-1-0 : 23,7+28+22,8+32,5+5,8= 112,8 km
Alternatif 18	: 0-3-2-1-4-0 : 23,7+28+27,2+32,5+29= 140,4 km
Alternatif 19	: 0-4-1-2-3-0 : 29+32,5+18,1+28+23,7= 131,3 km
Alternatif 20	: 0-4-1-3-2-0 : 29+32,5+27,2+28+19,3= 136 km
Alternatif 21	: 0-4-2-3-1-0 : 29+32,5+27,2+28+19,3= 136 km
Alternatif 22	: 0-4-2-1-3-0 : 29+22,8+18,1+27,2+23,7= 116,3 km
Alternatif 23	: 0-4-3-2-1-0 : 29+9,2+28+18,1+5,8= 90,1 km
Alternatif 24	: 0-4-3-1-2-0 : 29+9,2+27,2+18,1+19,3= 102,8 km

Dari alternatif rute di atas, terdapat jarak untuk masing-masing rute alternatif yang bervariasi tergantung jarak antar tiap titik distribusinya. Alternatif yang dipilih adalah alternatif 4 dan alternatif 10 karena memiliki jarak tempuh terpendek yaitu 84,3 Km. Alternatif 4 menghasilkan rute 0-1-3-4-2-0 yaitu menjelaskan dari titik sumber ke *Distribution Center* Cipadung Kidul, kemudian ke *Distribution Center* Taman Kopo Indah, kemudian ke *Distribution Center* Soreang, diakhiri di *Distribution Center* Ciparay dan kembali lagi ke titik 0 yaitu titik sumber. Alternatif 10 menghasilkan rute 0-2-4-3-1-0 yaitu menjelaskan dari titik sumber ke *Distribution Center* Ciparay, kemudian ke *Distribution Center* Soreang, kemudian ke *Distribution Center* Taman Kopo Indah, diakhiri di *Distribution Center* Cipadung Kidul dan kembali lagi ke titik 0 yaitu titik sumber. Alternatif 4 dan 10 ini dipilih karena sesuai perhitungan alternatif ini merupakan rute terpendek dari semua alternatif yang ada, dan dijadikan acuan distribusi oleh perusahaan.

## Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah dapat menentukan rute terpendek dari banyaknya alternatif rute yang tersedia dengan memperhatikan dalam segi jaraknya saja. Rute terpendek yang terpilih yaitu rute 4 yang memiliki rute dari titik sumber ke *Distribution Center* Cipadung Kidul, kemudian ke *Distribution Center* Taman Kopo Indah, kemudian ke *Distribution Center* Soreang, diakhiri di *Distribution Center* Ciparay dan kembali lagi ke titik sumber dengan jarak tempuh sebesar 84,3 km. Selanjutnya, alternatif 10 yang memiliki rute dari titik sumber ke *Distribution Center* Ciparay, kemudian ke *Distribution Center* Soreang, kemudian ke *Distribution Center* Taman Kopo Indah, diakhiri di *Distribution Center* Cipadung Kidul dan kembali lagi titik sumber, dengan total jarak tempuh sebesar 84,3 km.

## Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam melakukan penelitian. Selanjutnya ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada PT. T atas bantuan dalam mengumpulkan data, Universitas Widyatama atas dukungannya yang menjadi ruang untuk penulis menuntut ilmu, Dosen dan Asisten Dosen yang selalu membimbing dan terlibat langsung dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Angeline., Iryanto., & Tarigan, G. (2014). Penerapan Metode Branch and Bound Dalam Menentukan Jumlah Produksi Optimum Pada CV. XYZ. *Jurnal saintia Matematika*, 2(2), 137-145. Retrieved June 12, 2020 from <https://www.neliti.com/id/publications/221479/penerapan-metode-branch-and-bound-dalam-menentukan-jumlah-produksi-optimun-pada>
- Chopra, S. & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, 2nd or 3rd Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Fitriadi., Susanti, D. S., & Nur, S. (2010). Penggunaan Metode Branch and Bound untuk Menyelesaikan Masalah Penugasan pada Kasus Penyusunan Jaringan Komunikasi. *Jurnal Matematika Murni dan Terapan*, 4(1), 42-56. Retrieved March 5, 2020, from <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon/article/view/47>
- Lieberman, G. J., & Hillier, F. S. (1973). *Operations Research*, edisi ke-2. San Fransisco: Holden Day, Inc.
- Maslihah, S. (2015). Metode Pemecahan Masalah Integer Programming. *Jurnal at-taqaddum*, 7(2), 212-226. Retrieved June 12, 2020 from DOI: <http://dx.doi.org/10.21580/at.v7i2.1203>
- Mulyono, S. (2017). *Riset Operasi Edisi 2*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Pattawala, A. A. & Suhandi, V. (2013). Analisis dan Usulan Rute Optimum dengan Menggunakan Algoritma Generate and Test di PT. Agronesia Divisi AMDK (Agroplas). *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, 3(1), 1-14. Retrieved Apr 1, 2020 from <https://repository.maranatha.edu/20833/>
- Siang, J. J. (2014). *Riset Operasi dalam pendekatan Algoritmis*, edisi ke-2. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Tjiptono, F. (2008). *Strategi Pemasaran*. Yogyakarta: Penerbit andi

## Potensi Limbah Keju (*Whey*) sebagai Bahan Pembuatan Plastik Pengemas yang Ramah Lingkungan

Istnaeny Hudha M., Kartika Dewi R., Janna Fitri R, dan Nabilah Ayu M.  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITN Malang, Indonesia  
[istnaeny.hudha@gmail.com](mailto:istnaeny.hudha@gmail.com), [istnaeny.hudha@lecturer.itn.ac.id](mailto:istnaeny.hudha@lecturer.itn.ac.id)

### Abstrak

Pengemasan merupakan salah satu parameter yang perlu diperhatikan untuk mempertahankan kualitas bahan pangan. Saat ini, plastik *biodegradable* mulai banyak digunakan sebagai alternatif pengganti plastik konvensional untuk pengemasan makanan, karena ramah lingkungan dan mudah terurai oleh adanya aktivitas bakteri. Salah satu bahan pembentuk plastik *biodegradable* adalah protein *whey* dengan penambahan bahan lain, seperti hidrokoloid (protein dan polisakarida), lemak maupun kombinasi dari dua atau tiga bahan, untuk memperbaiki karakteristik bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi terbaik penggunaan *whey* dan volume sorbitol dalam pembuatan plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* dibuat dengan melarutkan *whey* dalam akuades, yang kemudian ditambahkan sorbitol dan  $\text{CaCO}_3$ . Variasi rasio volume *whey* adalah sebesar (25, 30 dan 35) mL, sedangkan variasi sorbitol adalah 10, 12, 14, 16, dan 18 % (v/v). Karakteristik plastik *biodegradable* diuji dengan metode uji kuat tarik, *elongasi*, dan uji biodegradasi. Hasil karakterisasi plastik *biodegradable* yang memiliki kinerja terbaik diperoleh dari plastik *biodegradable* dengan formulasi volume *whey* sebesar 30 mL dan konsentrasi sorbitol sebesar 14 % (v/v). Hasil uji kuat tarik, persen *elongasi*, dan persen biodegradasi adalah masing-masing sebesar 2.9 MPa, 49,1%, dan 100%.

Kata kunci: *whey*, volume *whey*, sorbitol, plastik *biodegradable*

### Abstract

Packaging is one of the parameters that need to be considered to maintain the quality of food. Currently, biodegradable plastic has widely been used as an alternative to conventional plastic in food packaging due to environmentally friendly and easily degraded by bacterial activity. One of the ingredients of biodegradable plastic is whey protein with the addition of other materials, such as hydroxoloid (protein and polysaccharides), fat or a combination of two or three ingredients, to improve the characteristics of bioplastics. This study intended to obtain the composition of the use of whey and the volume of sorbitol in the manufacture of biodegradable plastics. Biodegradable plastic was made by dissolving whey in distilled water, and then blended with sorbitol and  $\text{CaCO}_3$ . Whey volume ratio variations were 25, 30 and 35 mL, while the variations of sorbitol were 10, 12, 14, 16, and 18 % (v/v). The characteristics of biodegradable plastics were tested by tensile strength, elongation, and biodegradation test methods. The best performance was obtained from biodegradable plastics with a whey volume formulation of 30 mL and sorbitol concentration of 14 % (v/v). The tensile strength test, elongation percent, and percent biodegradation were 2.9 MPa, 49.1%, and 100%, respectively.

Keywords: whey, whey volume, sorbitol, biodegradable plastic

### 1. Pendahuluan

Masalah yang saat ini yang dihadapi dunia khususnya di Indonesia adalah masalah pencemaran lingkungan yang diakibatkan banyaknya sampah plastik yang tidak mudah terurai oleh mikroorganisme. Pengembangan bahan alternatif pembuatan plastik bertujuan untuk mengurangi dampak pencemaran sampah plastik dengan mengembangkan kemasan *biodegradable* (Hasnelly, 2015). Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Biasanya plastik konvensional berbahan dasar petroleum, gas alam, atau batu bara. Sementara plastik *biodegradable* terbuat dari material yang dapat diperbaharui, yaitu dari senyawa-senyawa yang terdapat dalam tanaman misalnya pati, selulosa, kolagen, kasein, protein atau lipid yang terdapat dalam hewan (Agung, 2017).

*Whey* merupakan hasil samping dari industri pembuatan keju yang berbentuk cairan bening berwarna kuning kehijauan dari penyaringan dan pengepresan *curd* selama proses pembuatan keju (Larasati, 2016). Protein *whey* dapat digunakan sebagai bahan pembentuk plastik *biodegradable* dengan penambahan bahan lain seperti hidrokoloid (protein dan polisakarida), lemak maupun kombinasi dari dua atau tiga bahan dapat memperbaiki karakteristik plastik *biodegradable* berbahan *whey* (Fatma, 2015). Film plastik yang berasal dari protein *whey* memiliki warna transparan, lunak, fleksibel, tidak berbau, tidak berwarna, dan mempunyai sifat menahan aroma dari produk pangan yang dilapisinya (Awwaly, 2010). Plastik *biodegradable* dapat

#### Info Makalah:

Dikirim : 03-07-20;  
Revisi 1 : 04-22-20;  
Diterima : 05-06-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-857-9082-5555  
e-mail : [istnaeny.hudha@gmail.com](mailto:istnaeny.hudha@gmail.com)

mudah terurai oleh mikroorganisme pengurai secara alami dan dapat didaur ulang (Coniwanti, dkk. 2014). Film berbahan dasar protein *whey* mempunyai sifat hidrofili yang tinggi, sehingga film dari jenis ini kurang mampu mempertahankan penguapan air dari produk yang dilapisinya. Kelemahan ini juga dapat diatasi dengan perlakuan pemanasan menggunakan suhu 90 °C. Pemanasan ditujukan untuk mendenaturasi protein *whey* sehingga dapat memacu gugus sulfhidril internal membentuk ikatan disulfide intermolekuler. Ikatan disulfide intermolekuler berperan dalam pembentukan struktur film sehingga protein *whey* tidak mudah larut (Awwaly, 2010).

Tabel 1. Kandungan dalam *whey* keju

Komponen	Nilai (%)
Total padatan	6,95 ± 0,23
Asam laktat	0,1 ± 0,003
Lemak	0,2 ± 0,05
Protein	0,63 ± 0,009
Laktosa	6,31 ± 0,01
pH	6,31 ± 0,01
Viskositas (poise)	0,19 ± 0,004

(Fatma, 2015)

Bahan seperti polisakarida salah satunya yang dapat digunakan yaitu agar-agar sebagai bahan penguat untuk memperbaiki sifat *whey* yang lunak agar hasil plastik lebih kuat, protein dari *whey* keju yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan plastik *biodegradable*, kemudian lipid juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *biodegradable* film sebagai pengemas (Hidayati, dkk. 2015). *Plasticizer* adalah bahan yang ditambahkan kedalam suatu pembentuk film untuk meningkatkan fleksibilitasnya karena berfungsi menurunkan gaya intermolekuler sepanjang rantai polimernya, sehingga film akan lentur ketika dibengkokkan (Yulianti, 2012) dan untuk mengurangi kekakuan polimer sehingga diperoleh lapisan yang elastis dan fleksibel. Penambahan *plasticizer* berguna untuk mengatasi sifat rapuh, mudah patah serta kurang elastis (Putra, 2017). *Plasticizer* umumnya digunakan pada produksi plastik berbahan pati adalah gliserol dan sorbitol. Gliserol dan sorbitol banyak digunakan sebagai *plasticizer* karena memiliki sifat stabilitas dan tidak beracun. Penambahan pemlastis dapat meningkatkan fleksibilitas dan permeabilitas terhadap uap air dan gas. Gliserol dan sorbitol merupakan *plasticizer* bertujuan untuk mengurangi kerapuhan, meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan film terutama jika disimpan pada suhu rendah. Penggunaan sorbitol sebagai *plasticizer* memiliki nilai kuat tarik dan elongasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan gliserol (Putra, 2017).

Fungsi dari bahan pengisi digunakan untuk menekan biaya produksi apabila harganya lebih murah dibandingkan harga polimernya. Penambahan bahan pengisi atau filler dapat meningkatkan kekakuan plastik yang terlalu lentur, meningkatkan kekuatan, mengurangi kelarutan dan kecenderungan untuk bengkok (Hasanah, 2017).

Salah satu bahan pengisi yang dapat digunakan yaitu kalsium karbonat. Kalsium karbonat dapat digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* untuk membantu mengatasi kekurangan sifat film plastik *biodegradable*  $\text{CaCO}_3$  mempunyai kandungan kalsium yang sifatnya kuat akan meningkatkan kekakuan sehingga memperbaiki sifat kerapuhan dan tidak mudah sobek, selain itu  $\text{CaCO}_3$  juga tidak mudah larut dalam air sehingga dapat meningkatkan tahan air pada plastik *biodegradable*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik plastik *biodegradable* dari *whey* keju dengan memvariasikan volume *whey* keju dan *plasticizer* jenis sorbitol. Limbah *whey* dari produksi keju mozzarella adalah sekitar 85% sampai 90% dari volume susu yang dibuat keju dan didalamnya masih terkandung 55% nutrisi sumber karbon yang berupa laktosa dan sumber nitrogen yang berupa protein yang terdapat pada susu (Kosikowski, 1979). Pada penelitian sebelumnya, *whey* keju digunakan sebagai media biakan murni terhadap pertumbuhan koloni jamur tiram putih (Mayangsari, 2015). Fatma (2015) menggunakan gliserol sebagai *plasticizer* dalam pembuatan plastik *biodegradable* dari bahan *whey* dengan pembuatan plastik *biodegradable* polimer umumnya menggunakan bahan pati yang terdapat pada kulit buah, biji-bijian dari buah-buahan, atau dari pati umbi-umbi (singkong). Plastik *biodegradable* terbuat dari bahan polimer alami yang dihasilkan dari monomer organik seperti pati, selulosa, protein dan lemak yang (Coniwanti, dkk. 2014). Plastik *biodegradable* dari jenis polisakarida tanaman, seperti pati, selulosa, agar-agar dan karagenan, serta polisakarida yang berasal dari hewan, seperti kitin dan kitosan, pada umumnya masih bersifat kaku dan rapuh sehingga belum dapat dimanfaatkan untuk pengemas. Karena itu, perlu penambahan *plasticizer* (Hidayati, 2015). Plastik *biodegradable* dengan bahan dasar protein yang rendah tidak menghasilkan film (plastik) yang baik. Penambahan bahan lain seperti hidrokoloid (protein dan polisakarida), lemak maupun kombinasi dari dua atau tiga bahan dapat memperbaiki karakteristik plastik *biodegradable* (Fatma, 2015). Penelitian ini memanfaatkan limbah *whey* keju sebagai bahan pembuatan plastik *biodegradable*. Sorbitol digunakan sebagai *plasticizer*. Pengaruh komposisi bahan *whey* keju dan sorbitol diamati terhadap uji kuat tarik, *elongasi*, dan uji *biodegradasi*.

## 2. Metode

Proses pembuatan plastik *biodegradable* dari whey keju dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut, preparasi bahan, pembuatan plastik *biodegradable* dan pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji elongasi, dan uji biodegradasi.

### 2.1 Preparasi Bahan

Langkah awal dalam tahapan preparasi bahan adalah menyiapkan agar-agar (swallow grass) sebanyak 2 gram dan  $\text{CaCO}_3$  dengan grade *pro analyse* sebanyak 1 gram. Selanjutnya menyiapkan whey sebanyak 25, 30, dan 35 mL dan sorbitol dengan grade *pro analyse* sebesar 10, 12, 14, 16, dan 18% (v/v) dari volume whey yang digunakan.

### 2.2. Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Langkah pertama dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah dengan mencampurkan 25 mL limbah keju (*whey*) dengan agar-agar sebanyak 2 gram dan diaduk sampai homogen. Kemudian menambahkan *plasticizer* yaitu sorbitol dengan konsentrasi 10% untuk meningkatkan elastisitas plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Selanjutnya ditambah bahan pengisi yaitu  $\text{CaCO}_3$  sebesar 1 gram dan *aquadest* sampai volume larutan film mencapai 30 mL. Larutan pembentuk film tersebut dihomogenisasi dan dipanaskan pada suhu 65 °C selama 30 menit dengan menggunakan *Hot Plate*. Setelah proses homogenisasi, larutan film didinginkan sampai suhu ruang. Langkah selanjutnya yaitu pencetakan dengan menuangkan larutan film ke plat kaca ukuran 15 × 30 cm ukuran yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisa. Plat kaca yang berisi larutan film selanjutnya dikeringkan di *Cabinet Dryer* pada suhu 50 °C selama 6 jam. Plastik *biodegradable* yang telah kering didinginkan sampai mencapai suhu ruangan, lalu dilepas dari cetakan dengan hati-hati. Selanjutnya mengulang prosedur diatas untuk volume whey keju 30 dan 35 mL dengan variasi sorbitol 12%, 14%, 16%, dan 18% (v/v). Variabel whey yang digunakan hal ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang menggunakan whey sebagai variabel tetap dan menggunakan gliserol sebagai variabel berubah (Fatma, 2015), oleh karena itu penelitian kali ini mencoba untuk mengembangkan whey sebagai variabel berubah untuk mengetahui pengaruh yang signifikan atau tidaknya terhadap karakteristik plastik *biodegradable* dengan variasi sorbitol yang digunakan.

Plastik *biodegradable* yang dihasilkan akan di analisa uji tarik, uji *elongasi*, dan uji biodegradasi. Dalam hal ini untuk analisa uji tarik dan uji elongasi analisa dilakukan di laboratorium universitas muhammadiyah Malang fakultas teknik pangan. Setelah dilakukan uji kuat tarik dan elongasi maka tahap uji berikutnya adalah uji *biodegradasi* dengan cara sampel ditanam didalam tanah dengan kedalaman tertentu dan dibiarkan hingga sampel terdegradasi sempurna. Pengamatan terhadap sampel dilakukan setiap 7 hari. Sebelum penanaman, sampel ditimbang dan diukur terlebih dahulu, untuk ukuran dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Perlakuan ini dilakukan untuk semua sampel yang diteliti. Persen kehilangan berat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$\% \text{kehilangan berat} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\% \quad (1)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan plastik *Biodegradable* berbahan dasar whey keju menghasilkan lembaran plastik berwarna putih sedikit transparan. Kemudian melakukan uji analisa yaitu uji tarik, uji elongasi, dan uji biodegradasi dengan keterangan kode sampel seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Kode Sampel Plastik *Biodegradable*

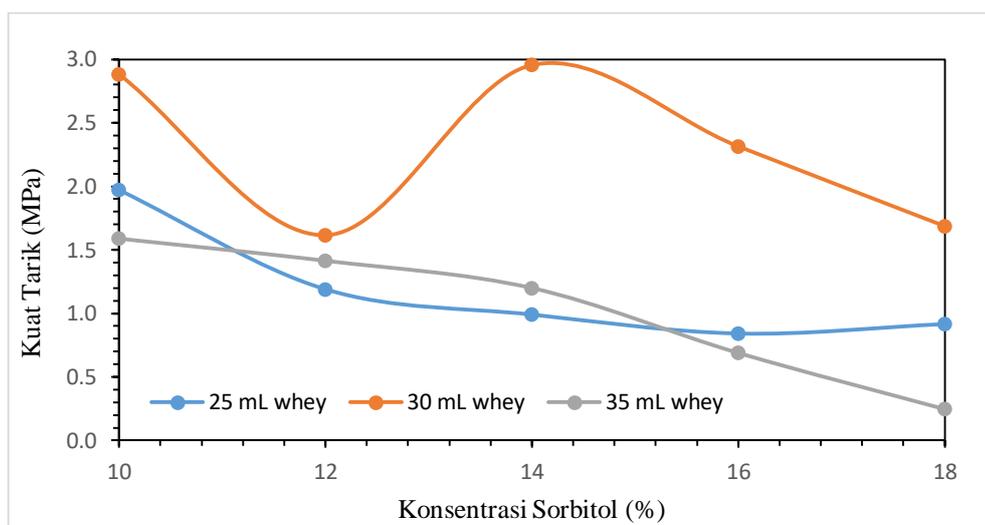
Formula	Kode Sampel		
	A1	B2	C3
S10	25 mL whey keju + 10% sorbitol	30 mL whey keju + 10% sorbitol	35 mL whey keju + 10% sorbitol
S12	25 mL whey keju + 12% sorbitol	30 mL whey keju + 12% sorbitol	35 mL whey keju + 12% sorbitol
S14	25 mL whey keju + 14% sorbitol	30 mL whey keju + 14% sorbitol	35 mL whey keju + 14% sorbitol
S16	25 mL whey keju + 16% sorbitol	30 mL whey keju + 16% sorbitol	35 mL whey keju + 16% sorbitol
S18	25 mL whey keju + 18% sorbitol	30 mL whey keju + 18% sorbitol	35 mL whey keju + 18% sorbitol

### 3.1. Hasil Analisa Uji Kuat Tarik

Kuat tarik (*tensile strength*) adalah gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh pemlastis selama pengukuran berlangsung. Kuat tarik dipengaruhi oleh bahan pemlastis yang ditambahkan dalam proses pembuatan plastik. Hasil uji tarik plastik *Biodegradable* whey keju dengan variasi volume whey dan sorbitol dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisa Uji Kuat Tarik

Formula	Analisa Uji Kuat Tarik (MPa)		
	Kode Sampel		
	A1	B2	C3
S10	1.97101	2.8826	1.59033
S12	1.19098	1.61481	1.41581
S14	0.9923	2.95663	1.20099
S16	0.84345	2.31552	0.68951
S18	0.91767	1.68634	0.24637



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Konsentrasi Sorbitol (%) dan Kuat Tarik (MPa)

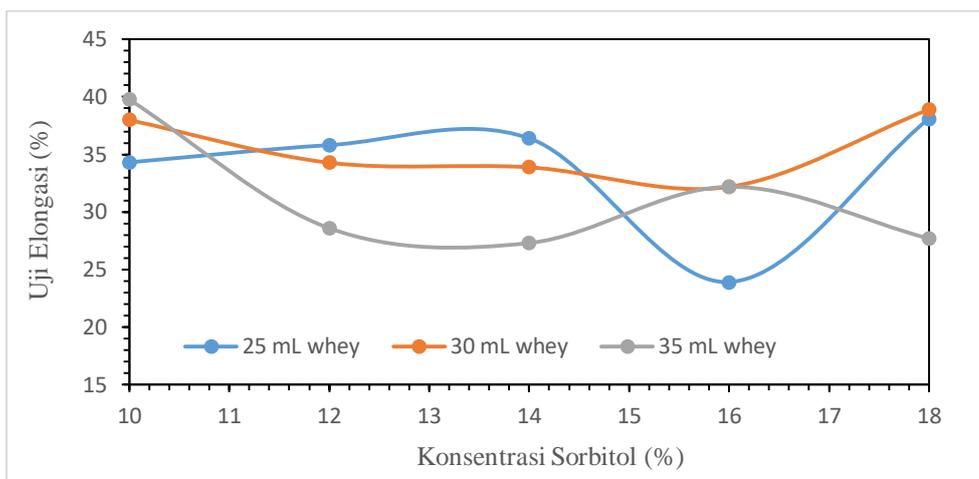
Berdasarkan teori bahwa semakin tinggi konsentrasi sorbitol yang digunakan, maka nilai kuat tarik akan mengalami penurunan (Aripin, 2017) dan dapat disimpulkan dari gambar 1 bahwa semakin banyak volume whey (keju) yang ditambahkan maka kuat tarik akan semakin menurun karena whey keju dapat menghasilkan plastik yang lunak. Namun tidak terjadi pada sampel volume whey keju 30 mL konsentrasi sorbitol 14% hasilnya mengalami kenaikan nilai kuat tarik. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya jumlah pati yang tidak sebanding dengan konsentrasi *plasticizer*, yaitu jumlah pati yang lebih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi *plasticizer* yang tinggi, menyebabkan naik turunnya nilai kuat tarik, pernyataan ini dapat disimpulkan dari hasil analisa baik dari uji kuat tarik, uji elongasi, maupun dari uji biodegradasi yang telah dilakukan pada penelitian kali ini. Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan nilai kuat tarik tertinggi pada volume whey keju 30 mL dengan konsentrasi sorbitol 14% yaitu 2,9566 MPa karena jumlah whey yang digunakan sebanding dengan jumlah patinya, maka dalam hal ini dengan perbandingan jumlah yang sesuai dapat memperbaiki karakteristik plastik biodegradable untuk meningkatkan pemanfaatan limbah keju (whey).

### 3.2. Hasil Analisa Uji Elongasi

Hasil uji Elongasi plastik *Biodegradable* Whey Keju dengan variasi volume whey dan sorbitol dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Uji Elongasi

Formula	Analisa Uji Elongasi (%)		
	Kode Sampel		
	A1	B2	C3
S10	34,3	38,0	39,8
S12	35,8	34,3	28,6
S14	36,4	33,9	27,3
S16	23,9	32,2	32,2
S18	38,1	38,9	27,7



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Konsentrasi Sorbitol (%) dan Uji Elongasi (%)

Elongasi merupakan Persen pemanjangan merupakan perubahan panjang maksimum plastik sebelum terputus. Berdasarkan teori yang menyatakan semakin meningkatnya konsentrasi sorbitol yang ditambahkan maka akan bertambahnya daya elastis dari *film* plastik, sehingga peningkatan konsentrasi sorbitol pada titik tertentu dan dapat menaikkan elongasi (Sanyang, dkk. 2015). Dari grafik pada gambar 2 didapatkan persen *elongasi* tertinggi adalah pada volume whey 35 mL dan konsentrasi sorbitol 10% yaitu 39,8%. Namun tidak terjadi pada sampel whey keju 25 mL konsentrasi sorbitol 16% dan sampel whey keju 35mL konsentrasi sorbitol 18%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang dapat mempengaruhi yaitu jenis jumlah filler dan sorbitol yang tidak sebanding berpengaruh terhadap kuat elongasi karena massa *filler* yang tetap namun konsentrasi sorbitol semakin tinggi membuat nilai elongasi menurun. Jika dibandingkan dengan SNI, syarat plastik *biodegradable* untuk parameter *elongasi* adalah 10–20%, maka semua sampel plastik *biodegradable* memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil analisa uji elongasi bahwa pengaruh volume whey yang digunakan tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap uji elongasi karena filler yang digunakan tidak dapat larut dengan baik hal ini ditunjukkan pada saat pencetakan masih terdapat bintik putih pada permukaan film ini yang menyebabkan fungsi filler itu sendiri tidak maksimal dan terdapat rongga didalam film itu sendiri, whey yang bersifat lunak dengan jumlah yang tetap dan semakin banyak jumlah sorbitol yang ditambahkan mengakibatkan pengaruh whey itu sendiri tidak bisa terlihat secara signifikan.

### 3.3. Hasil Analisa Uji Biodegradasi

Hasil uji kemampuan biodegradasi plastic *Biodegradable* whey keju dengan variasi volume whey dan sorbitol ditunjukkan pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil Analisa Uji Biodegradasi

Formula	Analisa Uji Biodegradasi (%)					
	Kode Sampel					
	A1		B2		C3	
	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)	W <sub>1</sub> (gram)	W <sub>2</sub> (gram)
S10	2,7	0,4	2,4	0,7	2,4	0,6
S12	3,1	0,5	2,8	0,5	2,3	0,5
S14	2,4	0,4	3,1	0,3	2,5	0,5
S16	3,9	0,3	2,8	0,3	2,7	0
S18	3,6	0,1	3,7	0,2	3,5	0,3

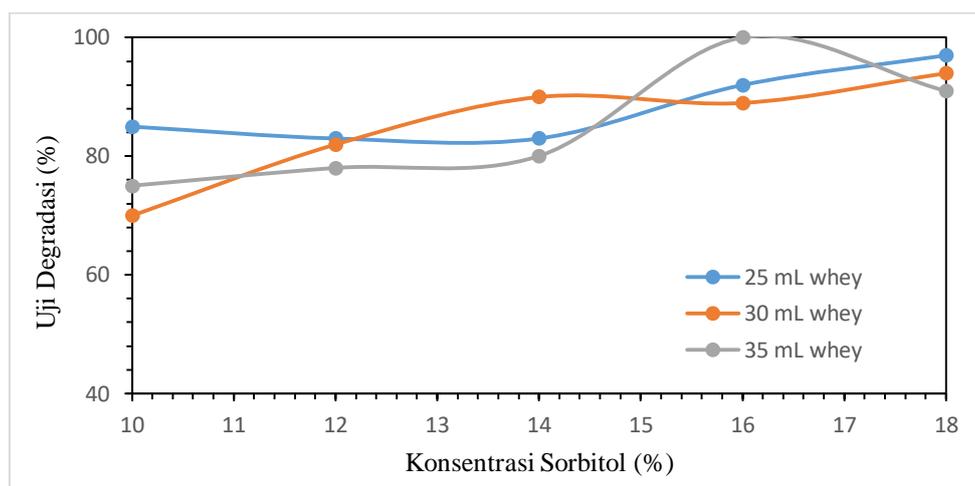
Keterangan Kode Sampel:

W<sub>1</sub> : Berat awal bahan (g)

W<sub>2</sub> : Berat akhir bahan (g)

Tabel 6. Hasil Perkiraan Waktu Degradasi

Kode	% Bahan yang Terdegradasi (%)	Perkiraan Waktu Degradasi
A1	85%	16 hari
A2	83%	16 hari
A3	83%	16 hari
A4	92%	15 hari
A5	97%	14 hari
B1	70%	19 hari
B2	82%	17 hari
B3	90%	15 hari
B4	89%	15 hari
B5	94%	14 hari
C1	75%	18 hari
C2	78%	17 hari
C3	80%	17 hari
C4	100%	14 hari
C5	91%	15 hari



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Konsentrasi Sorbitol (%) dan Uji Degradasi (%)

Biodegradasi menunjukkan kualitas yang digambarkan dengan kerentanan suatu senyawa (organik atau anorganik) terhadap perubahan bahan akibat aktivitas-aktivitas mikroorganisme (Haryati, 2017). Dari grafik pada gambar 3 dapat dilihat biodegradasi terendah adalah pada volume whey keju 30 mL dan konsentrasi sorbitol 10% yaitu 70% dengan perkiraan waktu terdegradasi selama 19 hari, sedangkan biodegradasi tertinggi adalah pada volume whey keju 35 mL dan konsentrasi sorbitol 16% yaitu 100% dengan perkiraan waktu terdegradasi selama 14 hari. Naik turunnya nilai biodegradasi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya penambahan sorbitol dan  $\text{CaCO}_3$  mempengaruhi sifat biodegradable. Semakin besar penambahan sorbitol dan  $\text{CaCO}_3$  maka semakin besar penurunan berat plastik biodegradable, ketersediaan mikroba di dalam tanah juga dapat mempengaruhi sifat biodegradable, semakin banyak jumlah whey yang digunakan maka semakin banyak mikroba yang menyukai komposit tersebut maka semakin cepat terdegradasi hal ini ditunjukkan pada table 5 dan table 6 dengan semakin banyak jumlah whey yang digunakan dan jumlah sorbitol yang ditambahkan berbanding lurus dengan lama waktu degradasi sample. Jika dibandingkan dengan SNI tentang syarat plastik *biodegradable*, parameter biodegradasi yang dihasilkan antara 30 hari – 14 hari, maka semua sample plastik *biodegradable* memenuhi SNI

### Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa. hasil karakterisasi plastik *biodegradable* yang memiliki kinerja terbaik diperoleh dari plastik *biodegradable* dengan formulasi volume whey sebesar 30 mL

dan volume sorbitol sebesar 14 mL. Hasil uji kuat tarik, persen *elongasi*, dan persen biodegradasi adalah masing-masing sebesar 2.9 MPa, 49,1%, dan 100%.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang atas dukungan finansialnya pada penelitian ini.

### Daftar Notasi

W1 = Berat plastik sebelum di uji biodegradasi

W2 = Berat plastik setelah di uji biodegradasi

### Daftar Pustaka

- Agung., dkk. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Kitosan-Pati Ganyong (*Canna Edulis*). Fakultas Pendidikan Kimia. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Jkpk (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia). Vol 2, No 1, April 2017.
- Aripin., dkk. 2017. Studi Pembuatan Bahan Alternatif Plastik *Biodegradable* Dari Pati Ubi Jalar Dengan *Plasticizer* Gliserol Dengan Metode *Melt Intercalation*. Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Jakarta. Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 06
- Awwaly., dkk. 2010. Pembuatan *Edible Film* Protein Whey: Kajian Rasio Protein Dan Gliserol Terhadap Sifat Fisik Dan Kimia. Teknologi Hasil Ternak. Fakultas Peternakan. Universitas Brawijaya Malang. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak, Februari 2010, Hal 45-56, Vol.5, No.1 ISSN : 1978 - 0303
- Coniwanti., dkk. 2014. Pembuatan Film Plastik *Biodegradable* Dari Pati Jagung Dengan Penambahan Kitosan Dan Pemplastis Gliserol. Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Jurnal Teknik Kimia No. 4, Vol. 20, Desember 2014
- Fatma., dkk. 2015. Karakteristik *Edible Film* Berbahan Whey Dangke Dan Agar Dengan Menggunakan Gliserol Dengan Persentase Berbeda. Fakultas Peternakan. Universitas Hassanudin Makasar. JITP Vol. 4 No. 2, Juli 2015.
- Haryati., dkk. 2017. Pemanfaatan Biji Durian Sebagai Bahan Baku Plastik *Biodegradable* Dengan *Plasticizer* Giserol Dan Bahan Pengisi  $\text{CaCO}_3$ . Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Jurnal Teknik Kimia No. 1, Vol. 23, Januari 2017
- Hasanah Y. R., 2017. Pengaruh Penambahan Filler Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Dan Clay Terhadap Sifat Mekanik Dan *Biodegradable* Plastik Dari Limbah Tapioka, Laporan Skripsi, Universitas Muhammadiyah Purwokerti
- Hasnelly., dkk. 2015. Pemanfaatan Whey Susu Menjadi *Edible Film* Sebagai Kemasan Dengan Penambahan Cmc, Gelatin Dan *Plasticizer*. Program Studi Teknologi Pangan. Fakultas Teknik. Universitas Pasundan. Bandung. Pasundan *Food Technology Journal*, Volume 2, No.1, Tahun 2015
- Hidayati., dkk, 2015. Aplikasi Sorbitol Pada Produksi *Biodegradable Film* Dari Nata De Cassava. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Reaktor, Vol. 15 No. 3, April 2015, Hal. 196-204
- Kosikowski, F. V. 1979. Our Industry Today. *Journal of Dairy Science*, 62 (7): 1149-1160
- Larasati., dkk. 2016. Pemanfaatan Whey Dalam Pembuatan Caspian Sea Yogurt Dengan Menggunakan Isolat *Lactobacillus Cremoris* Dan *Acetobacter Orientalis*. Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Brawijaya Malang. Jurnal Pangan dan Agroindustri Vol. 4 No 1 p.201-210, Januari 2016
- Mayangsari., dkk. 2015. Pengaruh Penambahan Whey Keju Dan Whey Tahu Pada Media Biakan Murni Terhadap Pertumbuhan Koloni Jamur Tiram Putih. Jurusan Biologi, FMIPA. Universitas Negeri Malang. Desember 2015.
- Putra Dwi A., dkk. 2017. Penambahan Sorbitol Sebagai *Plasticizer* Dalam Pembuatan *Edible Film* Pati Sukun. Jurnal Fakultas Pertanian, Volume 4 Nomor 2, Oktober 2017
- Sanyang., dkk. 2015. *Effect of Plasticizer Type and Concentration on Tensile, Thermal and Barrier Properties of Biodegradable Films Based on Sugar Palm (Arenga pinnata) Starch*. *Polymers*. 7(6), pp.1106-1124.
- Yulianti, dkk. 2012. Perbedaan Karakteristik Fisik *Edible Film* dari Umbi-umbian yang Dibuat dengan Penambahan. Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Malang. Vol.31, No.2, Hal 131-136.

## Purwarupa Mode Konverter *Rectangular Waveguide* Menggunakan *Double-Trench*

M. Reza Hidayat<sup>1</sup> dan Adhitya Ari Poetra<sup>2</sup>

Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

<sup>1</sup>[mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id), <sup>2</sup>[4121poetra@gmail.com](mailto:4121poetra@gmail.com)

### Abstrak

*Waveguide* merupakan suatu alat yang berbentuk menyerupai selongsong persegi ataupun melingkar yang terbuat dari bahan konduktor tunggal. Alat tersebut dapat disisipi dielektrik untuk mengatur frekuensi tertentu atau konverter untuk mengubah mode dari gelombang yang digunakan. Penelitian ini melakukan implementasi konverter mode TE<sub>10</sub> ke mode TM<sub>mn</sub> pada *rectangular waveguide* dan mengamati karakteristik dari vektor gelombang konverter serta parameter S<sub>11</sub> dan S<sub>21</sub>. Proses pengujian dilakukan dengan mencoba beberapa rancangan dan membandingkan hasilnya, kemudian mengimplementasikannya pada alat. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik. Berdasarkan analisis dari proses simulasi menggunakan *software* ansoft HFSS, hasil terbaik didapatkan pada konverter mode TM<sub>mn</sub> parameter dengan rancangan *double-trench* belah ketupat dan frekuensi *cut off* 6.4 GHz. Nilai *return loss* sebesar -14.289 dB dan *insertion loss* sebesar -0.281 dB. Sedangkan pada rancangan konverter *double-trench* kembar didapatkan hasil frekuensi *cut off* sebesar 9.2 GHz dengan nilai *return loss* -12.878 dB dan nilai *insertion loss* -0.467 dB. Pada saat pengujian alat yang dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), frekuensi *cut-off* yang diperoleh adalah sebesar 7.03 GHz dengan *return loss* -12.68 dB, dan *insertion loss* -6.80 dB.

Kata kunci: konverter, Frekuensi, *Insertion Loss*, *Waveguide*, *Return Loss*.

### Abstract

A waveguide is a device shaped like a square or circular sleeve made of a single conductor. This tool can be inserted dielectric to regulate a particular frequency or converter to change the mode of the wave used. This study implemented a TE<sub>10</sub> mode converter to TM<sub>mn</sub> mode in a rectangular waveguide and observed the characteristics of the converter wave vector as well as parameters S<sub>11</sub> and S<sub>21</sub>. The testing process is performed by trying several designs and comparing the results, then implementing them on the device. Simulation is conducted to get the best results. Based on the analysis of the simulation process using ansoft HFSS software, the best results was obtained in the TE<sub>10</sub> mode converter with a rhombic double-trench design and a cut-off frequency of 6.4 GHz. The return loss value was -14,289 dB and an insertion loss of -0,281 dB. While in the twin double-trench converter design, cut-off frequency was 9.2 GHz with a return loss value of -12,878 dB and an insertion loss value of -0,467 dB. When the testing was done by using the Vector Network Analyzer (VNA), the measured cut-off frequency was 7.03 GHz with a return loss of -12.68 dB, and an insertion loss of -6.80 dB.

Keywords: converter, frequency, Insertion Loss, Rectangular Waveguide, Return Loss.

### 1. Pendahuluan

Saluran transmisi merupakan salah satu media yang digunakan untuk mengirim energi listrik dari satu titik ke titik lain dalam suatu rangkaian listrik (Shani, dkk, 1991). Ada beberapa saluran transmisi yang digunakan secara umum pada saat ini, seperti *two wire line*, kabel koaksial, *balanced shielded line*, mikrostrip dan *waveguides* (bambung gelombang) (Yang, dkk, 1995). *Waveguide* merupakan suatu alat yang berbentuk menyerupai selongsong persegi ataupun melingkar yang terbuat dari bahan konduktor tunggal yang dapat disisipi dielektrik untuk mengatur frekuensi tertentu atau konverter untuk mengubah mode dari gelombang yang digunakan (Kim, dkk 2009; Holmes, dkk, 2006). Salah satu kelemahan dari *waveguide* yaitu mode yang digunakan tidak dapat diubah tanpa mengatur ulang rancangan. Oleh karena itu dibutuhkan konverter untuk mengubah mode dari *waveguide* tanpa harus mengubah rancangannya (Tzolov, dkk, 1996).

Telah diusulkan beberapa jenis mode konverter pada beberapa penelitian sebelumnya seperti *multisectional load converter*, *angled-facet waveguide mode converters*, *sloped slots converter* dan *asymmetrical angled-facet waveguide mode converters* (Rahman, dkk, 2001; Fajardo, dkk, 2018; Kanani, dkk, 2013). Beberapa contoh

#### Info Makalah:

Dikirim : 03-17-20;

Revisi 1 : 04-28-20;

Revisi 2 : 05-01-20;

Diterima : 05-01-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-822-1524-4637

e-mail : [mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id)

penelitian tersebut belum menerapkan teknik *trench* (pencabangan) jalur propagasi dalam mendesain konverter. Oleh karena itu pada penelitian ditargetkan penggunaan *trench* guna dapat mencapai keluaran *return loss* dari konverter yang dibuat memiliki nilai >10 desibel.

Pada penelitian ini melakukan implementasi konverter mode TE<sub>10</sub> ke mode TM<sub>mn</sub> pada *rectangular waveguide* dan mengamati karakteristik dari vektor gelombang konverter maupun parameter S<sub>11</sub> dan S<sub>21</sub>. Proses pengujian

dilakukan dengan mencoba beberapa rancangan dan membandingkan hasilnya dan mengimplementasikannya pada alat dengan mengambil dari hasil simulasi yang menunjukkan hasil paling baik.

## 2. Metode

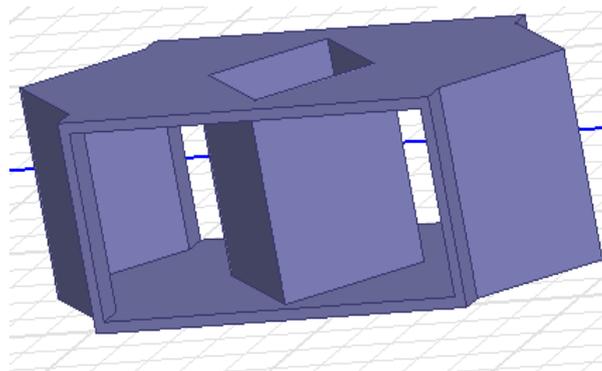
Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu merancang dan mensimulasikan mode konverter untuk *rectangular waveguide* dari mode  $TE_{10}$  menjadi mode  $TM_{mn}$ , lalu dilakukan pembuatan dan pengujian (realisasi alat). Proses perancangan dan simulasinya mode konverter *rectangular waveguide* dilakukan dengan menggunakan *software* Ansoft HSFF dan pengujian alat yang telah dibuat yaitu pada VNA (*Vector Network Analyzer*). Besaran dimensi inisial dari *converter* ditentukan dengan menggunakan  $\frac{1}{2}$  dari besar jalur *waveguide* untuk masing-masing cabang (*double trench*) sebelum dilanjutkan dengan uji coba simulasi.

### Perancangan Mode Konverter *Rectangular Waveguide*

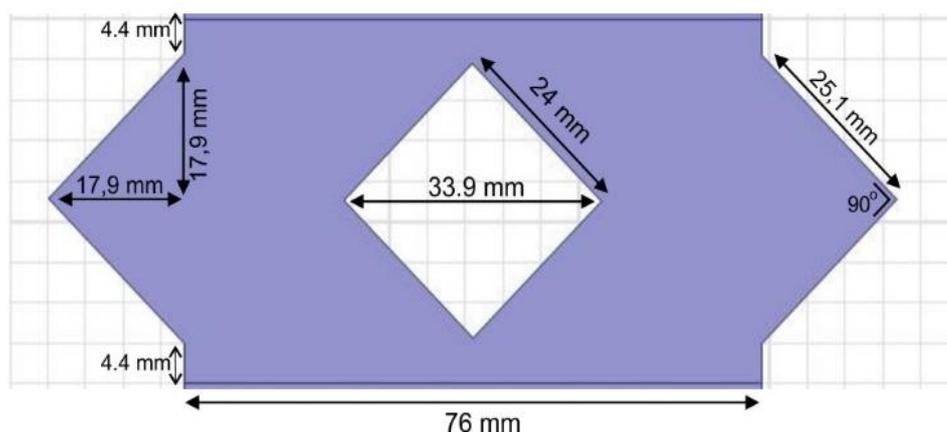
Sebelum membuat rancangan, ditentukan terlebih dahulu bentuk yang akan digunakan dan ukuran dimensi konverter yang akan dirancang dan dianalisa dengan memperhitungkan ukuran, panjang, jarak antar *trench* dan lebar *trench*, dll. Dilakukan beberapa percobaan untuk menentukan bentuk dan ukuran dari mode konverter yang akan digunakan.

### Rancangan Mode Konverter *Double-trench* Belah Ketupat

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapat rancangan konverter yang sesuai yaitu dengan bentuk *double trench* berbentuk segitiga pada kedua sisi dengan lubang belah ketupat pada bagian tengah konverter dengan ukuran panjang 45 mm, lebar 76 mm, tinggi 38 mm dan bagian panjang segitiga 24 mm sama untuk setiap sisi, sudut segitiga  $90^\circ$  dengan ketebalan konverter sama seperti *waveguide* yaitu 2 mm. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2 berikut



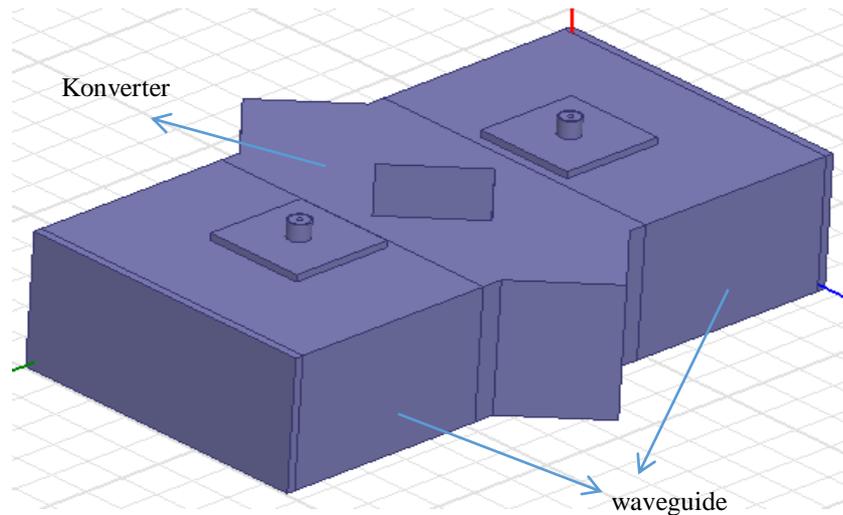
Gambar 1 Rancangan Konverter Belah Ketupat



Gambar 2. Rancangan Konverter Belah Ketupat (Tampak Atas)

### Penyisipan Konverter Pada *Rectangular Waveguide*

Pada Gambar 3 konverter yang telah dirancang sesuai rancangan dan disisipkan pada *waveguide* dengan harapan dapat mengubah arah vektor gelombang dan mengubah mode pada *waveguide* dari  $TE_{10}$  menjadi  $TM_{mn}$ .



Gambar 3 Desain *Conveter* yang Telah Disisipkan pada *Waveguide*

### Merealisasi *Rectangular Waveguide* dan Mode Konverter yang Telah Dirancang

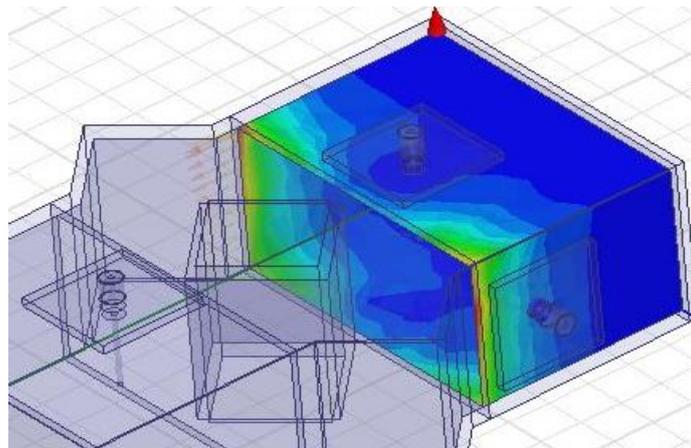
Melakukan realisasi alat yang telah dirancang dalam bentuk fisik dari hasil proses perancangan dengan hasil rancangan yang mendapatkan hasil yang paling baik menggunakan *software* Ansoft HFSS, melakukan pengujian dan melakukan analisis dari hasil pengujian tersebut.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh untuk simulasi diambil dari hasil percobaan menggunakan *software* Ansoft HFSS untuk membuat konverter mode  $TE_{10}$  menjadi mode  $TM_{mn}$ . Dimensi *rectangular waveguide* sebagai berikut, panjang 100 mm (50 mm untuk setiap bagian), lebar 76 mm, tinggi 38 mm dengan ketebalan aluminium 2 mm. Untuk mode konverter dengan dimensi panjang 45 mm, lebar 76 mm, tinggi 38 mm dan tebal 2 mm untuk bagian panjang segitiga 24 mm sama untuk setiap sisi.

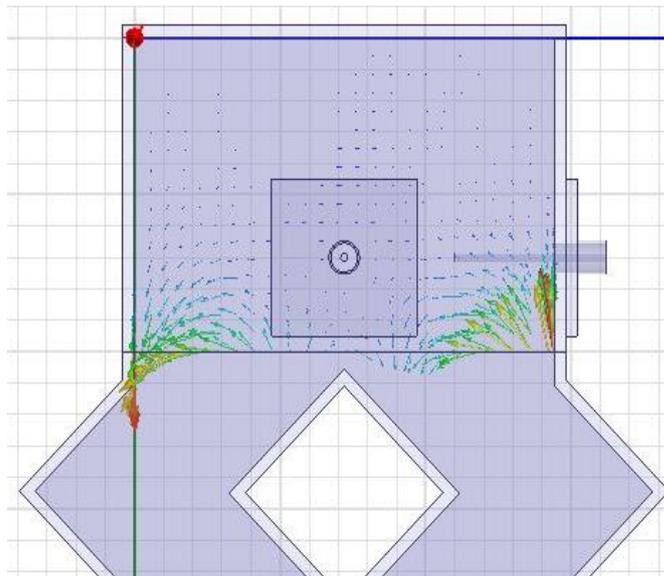
### Simulasi Konverter

Gambar 4 menunjukkan besar *magnitude* pada bagian *waveguide* mana yang menerima *magnitude* dengan nilai yang tinggi dan rendah. Warna merah menunjukkan bahwa bagian tersebut memiliki nilai paling tinggi diantara bagian lainnya sedangkan biru menunjukkan bahwa bagian tersebut menerima nilai paling kecil.

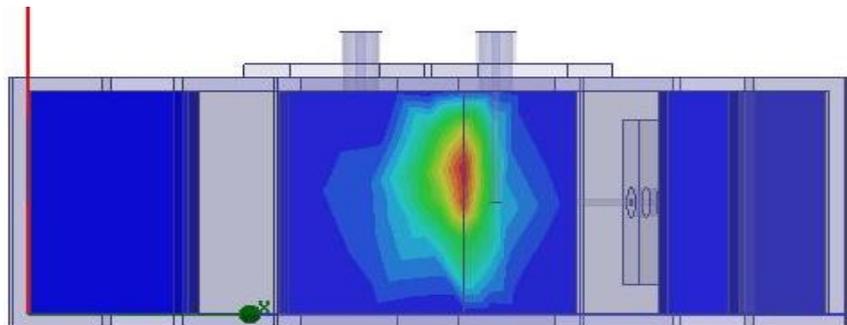


Gambar 4. Gelombang *Magnitude* pada Bagian *Waveguide*

Gambar 5 menunjukkan arah vektor medan listrik dari *waveguide*. Tampak adanya lengkungan medan listrik yang diakibatkan oleh konverter yang mengubah mode gelombang dari *waveguide* menjadi  $TM_{mn}$ . Perubahan tersebut terjadi karena arah dari vektor medan listrik yang bergerak menuju arah samping.



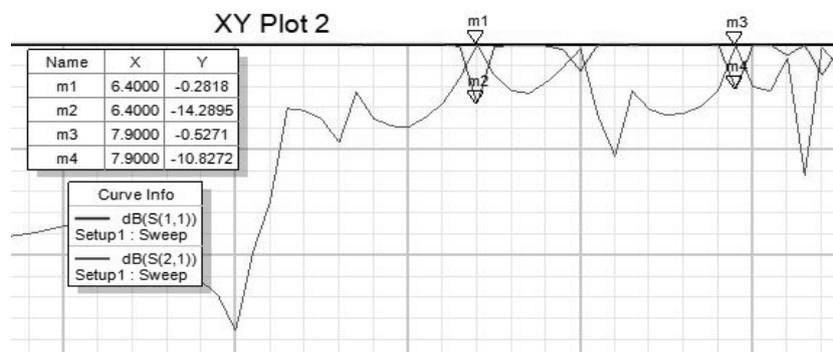
Gambar 5. Vektor Medan Magnet pada Bagian Waveguide



Gambar 6. Gelombang Magnitude pada Bagian Konverter

Gambar 6 menunjukkan besaran *magnitude* pada bagian konverter yang terpusat pada bagian tengah dari konverter. Pada bagian tersebut telah menjadi pusat patul gelombang agar arah dari medan gelombang yang dikirim dapat berubah menjadi mode  $TM_{mn}$ .

Gambar 7 menunjukkan hasil frekuensi setelah menggunakan konverter didapat dua respon *filter* yaitu pada respon *filter* pertama berada pada frekuensi *cut off* 6.4 GHz dengan nilai *return loss* -14.289 dB dan nilai *insertion loss* -0.281 dB dan respon *filter* kedua berada pada frekuensi *cut off* 7.9 GHz dengan nilai *return loss* -10.827 dB dan nilai *insertion loss* -0.527 dB dengan demikian hasil dapat diambil dari *cut-off* yang lebih baik yaitu pada *filter* pertama dengan frekuensi *cut-off* 6.4 GHz.



Gambar 7. Frekuensi Konverter Rancangan Belah Ketupat

### Realisasi Mode Konverter

Proses yang dilakukan dalam realisasi alat yaitu menggunakan aluminium sebagai bahan converter, lalu melakukan manufaktur alat dengan memotong plat aluminium dengan ukuran sama seperti pada rancangan yang

digunakan saat simulasi setelah itu dilakukan melakukan perangkaian alat dengan mengelas bagian bagian yang telah dipotong hingga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

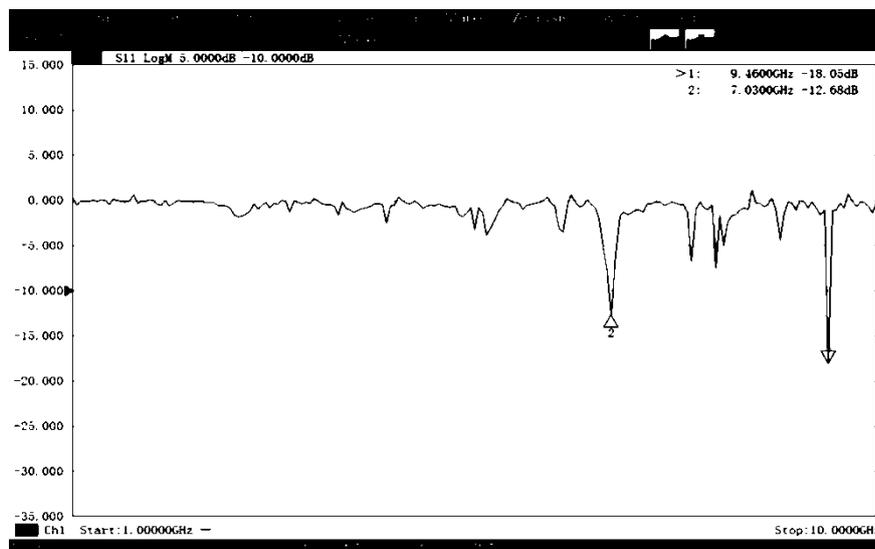


Gambar 8. Realisasi Konverter dalam Bentuk Alat

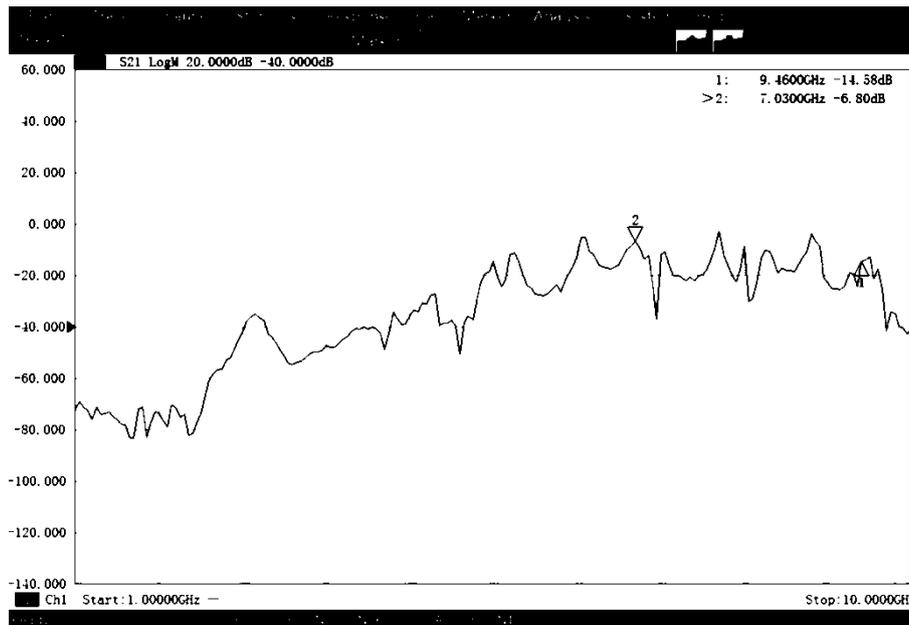
### Pengukuran Mode Konverter

Pengukuran dilakukan menggunakan VNA yang dilakukan dengan harapan hasil dari pengukuran tidak jauh berbeda dengan hasil dari simulasi. Pengukuran pada VNA dilakukan dengan mengukur frekuensi dan respon S11 dan S21.

Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran respon kerja S11 dengan dua respon *filter* yang baik, *filter* pertama dengan frekuensi *cut-off* sebesar 7.03 dan *return loss* -12.68 dB, dan respon *filter* kedua dengan dengan frekuensi *cut-off* sebesar 9.46 dan *return loss* -18.05 dB. Pada gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran respon kerja S21 dengan hasil *insertion loss* pada filter pertama -6.80 dB dan filter kedua -14.58 dB.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Respon Kerja S11 Konverter



Gambar 10. Hasil Pengukuran Respon Kerja S21 Konverter

Dengan hasil yang didapat dapat diambil hasil untuk menentukan mode yang digunakan pada mode konverter yang telah dirancang. Untuk menentukan mode yang digunakan pada mode konverter digunakan rumus dan Tabel 1.

Tabel 1. Mode dari  $(fc)_{mn} / fc$  untuk  $a \geq b$

Modes	TE10	TE01	TE11	TE20	TE02	TE21	TE12	TE22
			TM11			TM21	TM12	TM22
1 GHz	1 GHz	1 GHz	1,414 GHz	2 GHz	2 GHz	2,236 GHz	2,236 GHz	2,828 GHz
1.5 GHz	1 GHz	1,5 GHz	1,803 GHz	2 GHz	3 GHz	2,5 GHz	3,162 GHz	3,606 GHz
2 GHz	1 GHz	2 GHz	2,236 GHz	2 GHz	4 GHz	2,828 GHz	4,123 GHz	4,472 GHz
3 GHz	1 GHz	3 GHz	3,162 GHz	2 GHz	6 GHz	3,606 GHz	6,083 GHz	6,325 GHz
$\infty$	1 GHz	$\infty$	$\infty$	2 GHz	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Tabel 1 menunjukkan respon frekuensi *cut-off* yang digunakan untuk menentukan mode dari *waveguide* yang digunakan dengan membandingkan hasil dari simulasi dan pengukuran dengan nilai frekuensi pada tabel diatas atau dengan menggunakan rumus berikut (Kita, dkk, 2018)

$$fc(mn) = \frac{3 \times 10^8}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (1)$$

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi rancangan konverter *double-trench* belah ketupat telah berhasil mengubah arah medan vektor dari mode TE<sub>10</sub> berubah menjadi TM<sub>mn</sub>.

Hasil dari simulasi frekuensi *cut off* 6.4 GHz dengan nilai *return loss* -14.289 dB dan nilai *insertion loss* -0.281 dB pada hasil pengukuran frekuensi *cutoff* sebesar 7.03 GHz dengan *return loss* -12.68 dB, dan *insertion loss* -6.80 dB. Frekuensi *cutoff* terjadi pergeseran sebesar 0.63 Hz dari dari simulasi, *return loss* memiliki nilai perbedaan 1.609 dB dan *insertion loss* 6.519 dB dimana hasil simulasi mendapatkan hasil lebih baik. Hal ini dapat diakibatkan karena kesalahan saat proses *manufacturing* konverter maupun *waveguide* yang digunakan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas organisasi Jurusan Teknik Elektro UNJANI Cimahi atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada pada Laboratorium Teknik yang membantu proses pengukuran dari realisasi konverter yang telah difabrikasi.

### Daftar Notasi

- Fc = Frekuensi *cut-off*  
m = orde pertama mode *waveguide*  
n = orde kedua mode *waveguide*  
a = lebar *waveguide*  
b = tinggi *waveguide*

### Daftar Pustaka

- Fajardo, S., García-Galvan, Barranco, F. R., Galvan, V., J. C., Batlle, S. (2016). *Waveguide Mode Converters*, Intech, vol. i, no. tourism, p. 13.
- Holmes, D. C., Hutchin, B. M. (2006). *Realization of novel low-loss monolithically integrated passive waveguide mode converters*. IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 18, no. 1, pp. 43–45.
- Kanani, P.D., Unadkat, V. M., Dave, S. P. (2013) *Analysis on a Waveguide Mode Converter*. vol. 1, no. 9, pp. 741–745.
- Kim, S., Takei, R., Shoji, Y., Mizumoto, T. (2009). *Single-trench waveguide TE-TM mode converter*. vol. 17, no. 14, pp. 11267–11273.
- Kita, D. M., Michon, J., Johnson, S. G., Hu, J.(2018) *Are slot and sub-wavelength grating waveguides better than strip waveguides for sensing?*. Optica, vol. 5, no. 9, p. 1046. doi: 10.1364/optica.5.001046.
- Rahman, A., Obayya, S. S. A., Somasiri, N., Rajarajan, Grattan, M., K. T. V. (2001). *Design and characterization of compact single-section passive polarization rotator*. pp. 512– 519.
- Shani, M. G. Y. Y., Alferness, R., Koch T., Koren U., Oron M., Miller, B. I. (1991). *Polarization rotation in asymmetric periodic loaded waveguides*. pp. 1278–1288.
- Tzolov, V. P., Fontaine M. (1996). *A passive polarization converter free of longitudinally-periodic structure*. Optics Communications. 1996. <https://www.researchgate.net/publication/238909186/>
- Yang S., Li, H. (1995). *Numerical modelling of 8mm TM<sub>01</sub>-TE<sub>11</sub> mode converter*. Int. J. Infrared Millimeter Waves, vol. 16, no. 11, pp. 1935–1943. doi: 10.1007/BF02072549.

## Rancang Bangun Model Pengendali Katup Cerdas Bak Penampungan Air PDAM

Wrastawa Ridwan<sup>1</sup>, Dienul H. Haryanto<sup>2</sup>, dan Iskandar Z. Nasibu<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

<sup>1</sup>[wridwan@ung.ac.id](mailto:wridwan@ung.ac.id), <sup>2</sup>[dienul.haryanto@gmail.com](mailto:dienul.haryanto@gmail.com), <sup>3</sup>[zul.nasibu@ung.ac.id](mailto:zul.nasibu@ung.ac.id)

### Abstrak

Sebagai penyuplai air bersih, PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) berusaha menjaga kualitas air yang disalurkan ke masyarakat. Salah satu indikator kualitas air PDAM adalah tingkat kekeruhan yang dimonitor oleh operator secara visual selama 24 jam. Operator akan menutup katup air masuk apabila sumber air terlihat keruh. Penelitian ini merancang sistem katup cerdas untuk mengatasi kelemahan operator dalam memonitor kekeruhan air. Sistem ini akan mengendalikan buka tutup katup secara otomatis berdasarkan tingkat kekeruhan air yang masuk ke dalam bak penampungan. Sebagai pusat pengendali adalah mikrokontroler Arduino Uno. Tingkat kekeruhan air diukur oleh sensor kekeruhan (*turbidity sensor*) SKU:SEN0189 yang ditampilkan dalam LCD berukuran 16 x 2 m. Penutupan katup terjadi pada saat sistem mendeteksi kekeruhan air yang melebihi batas nilai yang telah ditetapkan. Setelah katup tertutup maka sistem akan mengirimkan pesan informasi berupa teks (SMS) kepada operator melalui modul GSM A6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara baik, dimana katup akan menutup air masukan apabila deteksi tingkat kekeruhan melebihi referensi yang ditentukan, sekaligus juga mengirim SMS ke operator.

Kata kunci: kekeruhan air, katup cerdas, modul GSM A6, sensor kekeruhan SKU:SEN0189

### Abstract

As a supplier of clean water, the PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) strived to ensure the quality of water supplied to the community. One indicator of water quality was the turbidity level, which was monitored by the operator for 24 hours. The operator closed the inlet valve if the inlet water source appeared turbid. This research designed an intelligent valve system to overcome the weaknesses of the operator in monitoring water turbidity. This system automatically controlled the opening and closing of the valve based on the level of turbidity of water entering the reservoir. As the control center, Arduino Uno microcontroller is used. The turbidity level of the water was measured by the turbidity sensor SKU: SEN0189, which was displayed on a 16 x 2 m LCD. After the valve was closed, the system send a text message (SMS) to the operator through a GSM A6 module. The test results showed that the system was work properly, i.e. closed the intake water valve if the detection of turbidity levels exceeded the specified reference, while also send an SMS to the operator.

Keywords: water turbidity, smart valve, GSM A6 module, turbidity sensor SKU:SEN0189,

### 1. Pendahuluan

Air telah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari, seperti untuk minum, masak, mandi, mencuci dan kebutuhan lainnya. Mengingat air sangat penting untuk kehidupan maka ketersediaan air bersih menjadi hal yang sangat vital. Di Gorontalo, sering kali sumber air yang tersedia, seperti air sungai, tidak layak untuk langsung disalurkan ke konsumen karena keruh, sehingga sumber air tersebut perlu ditampung dan diolah terlebih dahulu menjadi air bersih.

Kekeruhan (*turbidity*) adalah keadaan dimana transparansi air berkurang akibat bercampur dengan zat-zat tak-terlarut (Maemunnur, A. F., & Wiranto 2016; Rahmat Rasyid, Wildian Wildian 2013). Zat-zat ini dapat berasal dari bahan-bahan anorganik dan organik yang terkandung dalam air. Selama ini, kekeruhan air pada bak penampungan air PDAM dimonitor oleh operator secara visual selama 24 jam, yang memerlukan ketelitian dan kewaspadaan dari operator. Oleh karena keterbatasan operator, terkadang operator mengalami kelelahan sehingga tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik dan berakibat pada masuknya air keruh ke bak penampungan air PDAM. Berdasarkan hasil wawancara dengan pegawai PDAM Bone Bolango-Provinsi Gorontalo, operator bak penampungan air melakukan monitor terhadap tingkat kekeruhan air sumber dan melakukan tindakan pada instalasi pengolahan air secara manual. Jika terjadi kekeruhan pada sumber air dan tetap masuk ke kolam pengolahan maka akan merugikan pelanggan. Oleh karena itu, katup pipa pengisian air menuju bak penampungan harus ditutup jika kondisi air berada pada tingkat kekeruhan yang melewati batas standar.

Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut maka perlu dibuat model katup cerdas yang dapat membuka dan menutup secara otomatis saluran masukan bak penampungan.. Aryasa (Komang Aryasa 2017) telah membuat prototipe aplikasi pendeteksi kekeruhan air menggunakan sensor photodiode dan menampilkan hasilnya secara *real time* pada komputer. Pada penelitian yang

#### Info Makalah:

Dikirim : 02-17-20;

Revisi 1 : 05-09-20;

Revisi 2 : 05-19-20;

Diterima : 05-22-20.

#### Penulis Korespondensi:

e-mail : [wridwan@ung.ac.id](mailto:wridwan@ung.ac.id)

dilakukan Yuniarti (Yuniarti 2017), tingkat kekeruhan air diukur menggunakan prinsip hamburan cahaya. Sinar laser digunakan sebagai sumber cahaya yang akan dibiaskan oleh kekeruhan air. Nike Ika Nuzula (Nike Ika Nuzula, Wazirotus Sakinah 2017) menggunakan sensor suhu LM35 serta LED dan photodiode untuk membuat alat pendeteksi suhu dan kekeruhan air. Monitoring kualitas air danau dan PDAM dengan menggunakan 3 parameter monitoring yaitu kekeruhan, pH dan suhu dilakukan pada penelitian (Sukamto 2017). Mulyana dan Hakim (Mulyana and Hakim 2018) telah membuat prototipe sistem pemantauan kekeruhan air dengan menggunakan sensor ultrasonik dan photodiode dan menampilkan hasilnya pada LCD 2x16. Namun penelitian-penelitian tersebut hanya sampai pada mendeteksi tingkat kekeruhan air saja.

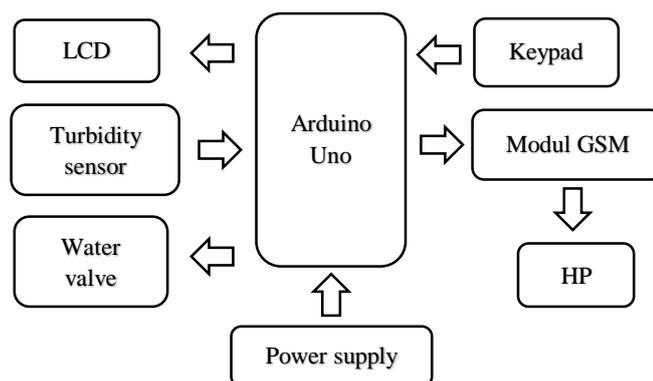
Penelitian ini bertujuan membuat model pengendali katup cerdas bak penampungan PDAM. Kecerdasan yang akan ditanamkan pada sistem ini yaitu katup dapat otomatis membuka dan menutup berdasarkan tingkat kekeruhan air. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kesalahan operator bak penampungan air PDAM dalam memonitor kualitas sumber. Selain itu, sistem dapat memberikan informasi melalui SMS ke operator apabila tingkat kekeruhan air melebihi batas yang ditentukan. Adapun kekeruhan air dideteksi oleh sensor *turbidity* (DFRobot n.d.), mikrokontroler Arduino Uno (Arduino n.d.; Winoto 2010) sebagai pusat pengolahan dan pengendalian data, sedangkan modul GSM digunakan untuk komunikasi SMS.

## 2. Metode

Rancang bangun model pengendali katup cerdas bak penampungan PDAM ini terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

### 2.1. Perancangan Perangkat Keras

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem pengendali katup cerdas bak penampungan air PDAM. Sistem ini menggunakan sensor kekeruhan (*turbidity sensor*) untuk mendeteksi kekeruhan air.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Katup Cerdas

Hasil pengukuran *turbidity sensor* dimasukkan ke mikrokontroler Arduino Uno, selanjutnya ditampilkan pada LCD. Nilai pengukuran *turbidity sensor* akan dibandingkan dengan nilai referensi. Jika hasil pengukuran melebihi nilai referensi, maka Arduino Uno akan memerintahkan *water valve* berubah ke kondisi *close*. Setelah itu, Arduino Uno melalui modul GSM akan mengirim SMS pemberitahuan ke nomor telepon operator, tentang nilai kekeruhan air dan informasi bahwa kondisi *water valve* telah tertutup.

Gambar 2 menunjukkan skema perancangan perangkat keras. Posisi sensor diletakkan tepat di depan aliran keluar *water valve* (atau tepat pada masukan bak penampungan air), sehingga air keruh yang masuk dapat dideteksi sedini mungkin. Beberapa bagian penting dari sistem dijelaskan sebagai berikut:

#### • Sensor

Sensor yang dimaksud pada Gambar 2 adalah *turbidity sensor*. Sensor ini terdiri dari 3 pin, 2 pin untuk kabel sumber tegangan VCC dan GND, untuk sisa 1 pin digunakan untuk mengirimkan data pengukuran kekeruhan dalam bentuk tegangan menuju MCU. Koneksi sensor dengan arduino dapat dilihat pada Gambar 3.

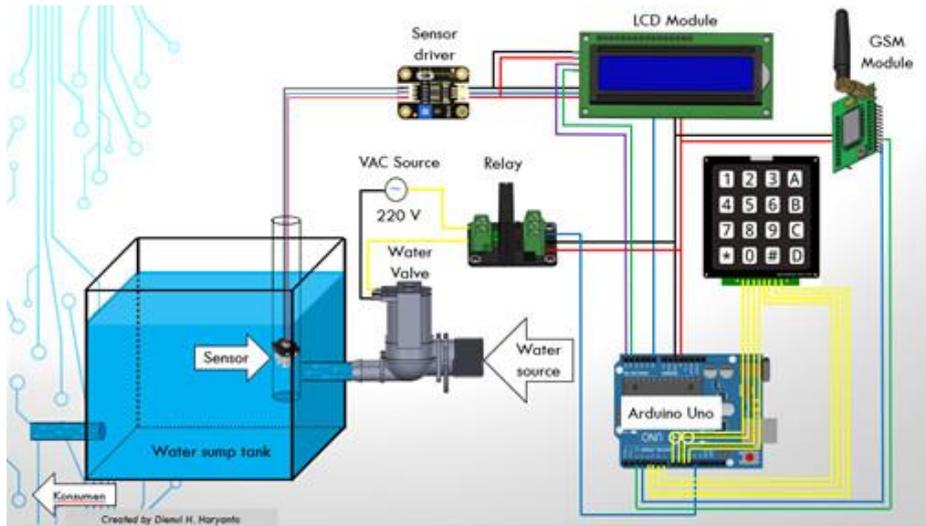
#### • GSM Module

Modul ini berfungsi sebagai salah satu output dari keseluruhan rancangan alat. Pin digital pada Arduino dihubungkan dengan TX dari GSM *shield* dan pin digital 2 arduino dihubungkan dengan RX dari GSM *shield*. Selanjutnya *grounding* yang ada di GSM *shield* dan arduino dihubungkan. Skema pemasangan rangkaian GSM *shield* dapat dilihat pada Gambar 4.

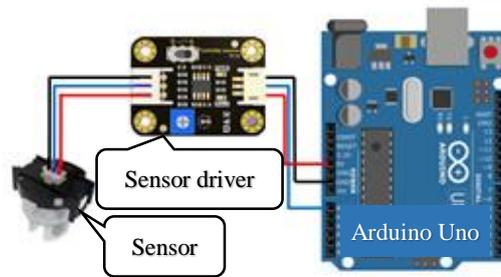
#### • Water valve

*Water valve* berfungsi untuk membuka dan menutup aliran air dari sumber menuju kolam pengolahan. Pada *water valve* hanya terdapat dua kondisi, yaitu terbuka dan tertutup, serta menggunakan sumber tegangan 220 VAC. Karena hanya dapat bekerja pada dengan tegangan 220 VAC sedangkan arduino hanya dapat mengeluarkan tegangan 5

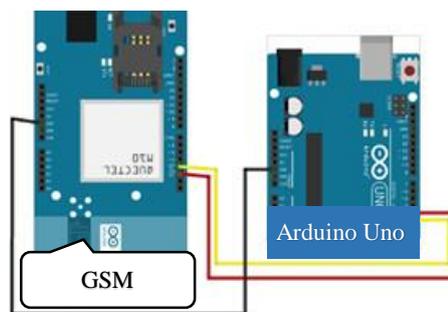
VDC pada setiap pin I/O, maka dibutuhkan *relay* yang bertindak sebagai saklar. Koneksi *water valve* dan arduino dengan perantara *relay* dapat dilihat pada Gambar 5.



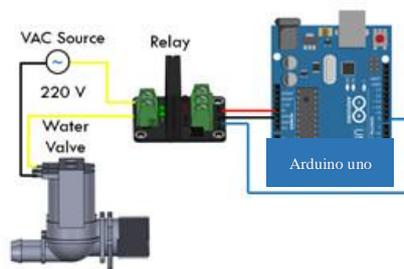
Gambar 2. Skema Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3. Koneksi *Turbidity Sensor* dan Arduino



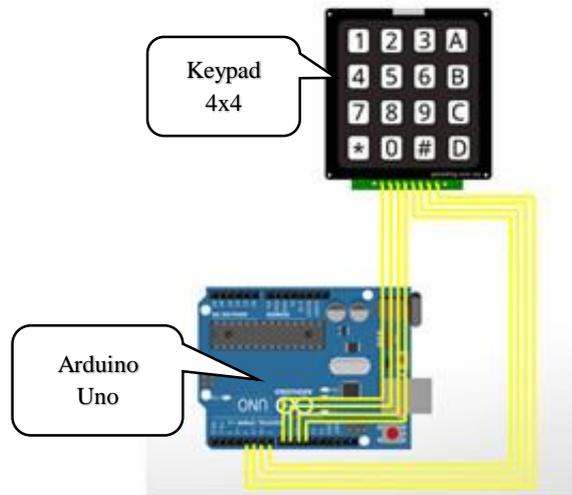
Gambar 4. Koneksi Modul GSM dan Arduino



Gambar 5. Koneksi *Water Valve* dengan Arduino

- **Keypad 4x4**

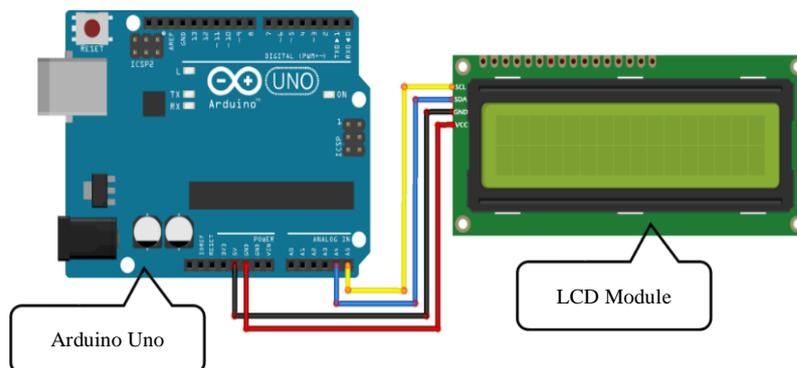
Pada sistem ini, *keypad* berfungsi untuk memasukkan nomor telepon operator tempat sistem mengirim SMS dan untuk memasukkan referensi kekeruhan air. Gambar 6 menunjukkan koneksi antara Arduino Uno dengan *keypad* 4x4.



Gambar 6. Koneksi Arduino Uno dengan keypad 4x4

- **LCD Module**

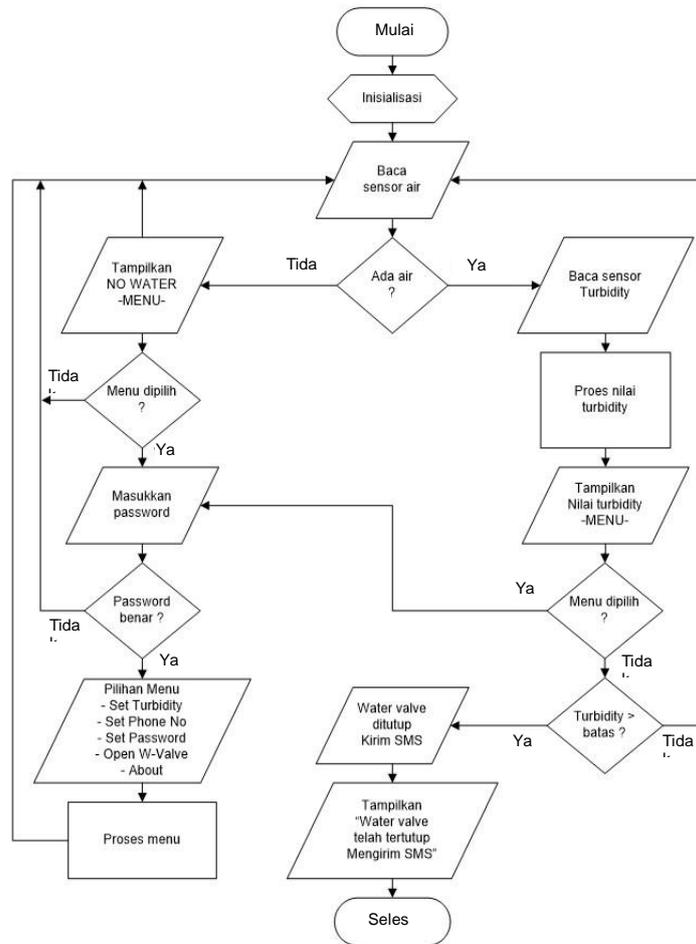
*LCD module* digunakan untuk menampilkan nilai kekeruhan air. Gambar 7 menunjukkan koneksi antara *LCD module* dan Arduino Uno.



Gambar 7. Koneksi Arduino Uno dan LCD Module

## 2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir pemrograman perangkat lunak sistem dapat dilihat pada Gambar 8, sebagai berikut



Gambar 8. Diagram Alir Sistem

Penjelasan masing-masing tahap pada Gambar 8 adalah sebagai berikut.

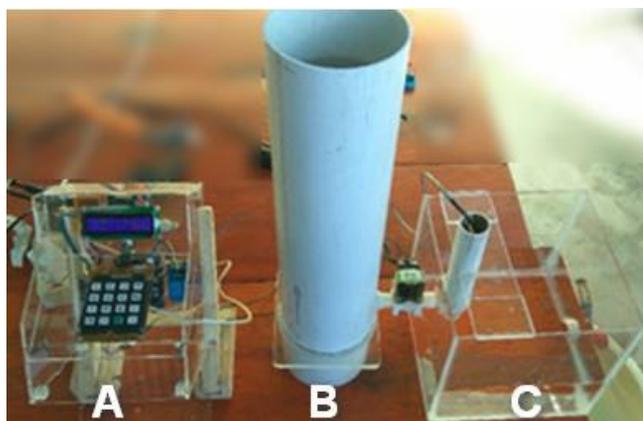
- **Inisialisasi**; merupakan tahapan awal dalam persiapan komponen keseluruhan untuk dapat dioperasikan.
- **Ada air?**; mengecek apakah air terdeteksi pada pipa masuk air ke kolam pengolahan. Jika air tidak terdeteksi, maka program tidak akan melakukan pengukuran kekeruhan air.
- **Tampilkan NO WATER, -MENU-**; merupakan fungsi *output* yang akan menampilkan tidak adanya air dan pilihan untuk mengakses menu.
- **Menu dipilih?**; merupakan blok keputusan, jika user menekan tombol untuk memilih menu maka akan tampil bagian untuk memasukkan *password*. Akan tetapi jika *user* tidak menekan tombol untuk masuk pada menu, maka sistem akan kembali pada bagian pengecekan air.
- **Masukkan password**; bagian untuk memasukkan *password login* agar *user* dapat mengakses menu.
- **Password benar?**; blok keputusan yang akan mengecek apakah *password* yang dimasukkan oleh *user* benar atau salah. Jika *password* salah, maka program akan kembali pada bagian pengecekan air, jika *password* benar, sistem akan masuk pada pilihan menu.
- **Pilihan menu**; merupakan bagian yang menampilkan daftar menu yang terdiri dari lima pilihan menu.
- **Proses menu**; bagian yang akan memproses pilihan menu yang telah dipilih oleh *user*. Setelah proses ini selesai, maka sistem akan kembali lagi ke bagian pengecekan air.
- **Baca sensor turbidity**; pada tahap ini sistem akan melakukan pembacaan nilai kekeruhan air melalui sensor kekeruhan.
- **Proses nilai turbidity**; nilai pembacaan sensor akan diproses untuk diubah dari nilai pembacaan ADC menjadi satuan persen.
- **Tampilkan nilai turbidity, -MENU-**; menampilkan tingkat kekeruhan air secara terus menerus selama air terdeteksi pada pipa. Pada tampilan ini juga sistem akan menampilkan bagian untuk mengakses menu.

- **Turbidity>batas?;** mengecek jika tingkat kekeruhan yang dibaca oleh sensor apakah melebihi batas yang diizinkan. Jika nilai kekeruhan melebihi batas, maka sistem akan masuk pada proses penutupan *water valve* dan pengiriman SMS. Jika nilai kekeruhan belum melebihi batas, maka sistem akan kembali pada proses pengecekan air.
- **Water valve ditutup. Kirim SMS;** proses yang akan terjadi jika nilai kekeruhan melebihi batas. *Water valve* akan tertutup dan sistem akan mengirim SMS.
- **Tampilkan water valve telah tertutup.** Mengirim SMS; pada bagian ini sistem akan menampilkan pemberitahuan bahwa *water valve* telah tertutup dan mengirim SMS.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengujian pada masing-masing komponen, selanjutnya melakukan pengujian alat secara keseluruhan. Pada saat alat mulai dihidupkan, tampilan awal yang akan muncul pada display LCD adalah nilai tingkat kekeruhan air dan tampilan untuk masuk ke menu. Gambar 9 menunjukkan keseluruhan sistem model katup cerdas pengendali bak penampungan air PDAM. Pada Gambar 9, terdapat 3 bagian sistem yaitu:

- 1) Bagian A, kotak ini berisi minimum sistem mikrokontroler, terdiri dari arduino uno, display LCD I2C, modul GSM A6, driver sensor dan relay. Di luar kotak ini juga terdapat *power supply adaptor 5V 4A*.
- 2) Bagian B, merupakan wadah yang diasumsikan sebagai sumber air dalam simulasi alat.
- 3) Bagian C, terdiri dari *water valve* dan sensor. Kotak ini juga diasumsikan sebagai kolam pengolahan air PDAM dalam simulasi.

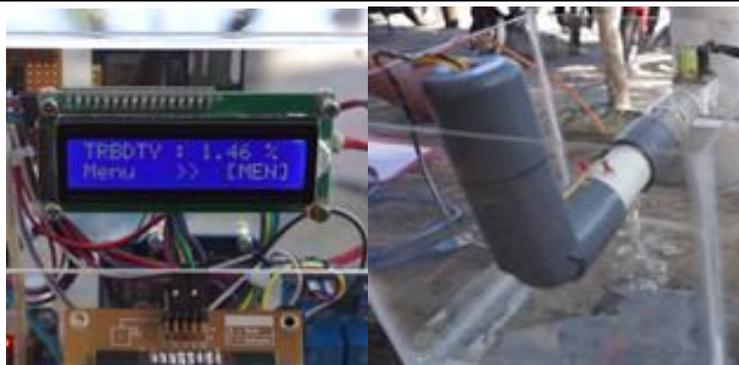


Gambar 9. Model katup cerdas

Pengujian pada model dilakukan dengan memasukkan nilai batas kekeruhan pada nilai 50% seperti Gambar 10. Selanjutnya masukkan nomor telepon operator pada alat melalui menu  *keypad*. Setelah itu pengujian dilanjutkan dengan mengalirkan air bersih dari kotak sumber air menuju ke kotak pengolahan air. Terdapat salah satu fungsi tambahan pada alat yaitu mendeteksi ada dan tidaknya air pada pipa sebelum sensor kekeruhan. Jika alat tidak mendeteksi adanya air, maka alat tidak akan menampilkan nilai kekeruhan, melainkan menampilkan pemberitahuan melalui LCD bahwa tidak terdeteksi air. Jika air terdeteksi maka alat akan bekerja dan mengukur nilai kekeruhan air yang melewati pipa masukan. Pada saat pengujian, sensor mendeteksi kekeruhan 1,46 % seperti yang terlihat Gambar 11. Pada Gambar 11 *water valve* tidak tertutup karena nilai kekeruhan air masih di bawah nilai referensi. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan air keruh. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12. Dari hasil pengujian sistem menunjukkan nilai kekeruhan adalah 61.90% (melebihi referensi kekeruhan). Karena nilai kekeruhan diatas nilai referensi, maka secara otomatis *water valve* akan tertutup, dan SMS akan terkirim ke nomor telepon operator. Isi pesan tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 10. Nilai Batas Kekeruhan yang Dimasukkan Pada Alat



Gambar 11. Hasil Pengujian dengan Air Bersih atau Jernih



Gambar 12. Hasil Pengujian dengan Air Keruh



Gambar 13. SMS yang dikirim ketika terdeteksi air keruh

Berdasarkan data wawancara yang telah dilakukan dengan petugas PDAM, batas kekeruhan yang diijinkan untuk masuk pada kolam pengolahan air PDAM adalah 1000 – 1500 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Selanjutnya dilakukan pengujian kekeruhan sebanyak sepuluh sampel air menggunakan *turbidity meter* pada Laboratorium kesehatan Masyarakat Universitas Negeri Gorontalo. Sampel air dengan tingkat kekeruhan 1177 NTU didapatkan pada sampel ke-10. Kesepuluh sampel air tersebut memiliki tingkat kekeruhan yang berbeda-beda.

Sampel-sampel tersebut kemudian diukur kembali menggunakan sensor kekeruhan yang digunakan pada penelitian ini dan didapatkan nilai ADC masing-masing sampel sesuai dengan Tabel 1. Terlihat pada Tabel 1 untuk kekeruhan yang masuk pada *range* kekeruhan yang diijinkan masuk pada bak penampungan PDAM Bone Bolango adalah sampel air yang ke-10 yaitu 1177 NTU. Untuk tingkat kekeruhan pada sampel tersebut terukur 526 nilai ADC. Kemudian nilai ADC tersebut diubah ke dalam satuan tegangan dan persentase kekeruhan dengan konversi seperti pada (1).

$$V_{out} = ADC \frac{V_{ref}}{1023} \quad (1)$$

Substitusi nilai ADC = 526 dan  $V_{ref} = 5$ , diperoleh  $V_{out} = 2,571$  V.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Sampel Air dengan Masing-masing Nilai ADC

NO	NTU	ADC
1	0,2	815
2	62,8	803
3	104	792
4	173	772
5	255	748
6	297	726
7	383	696
8	517	673
9	696	633
10	1177	526

Setelah nilai tegangan keluaran untuk kekeruhan 1177 NTU didapatkan, nilai tersebut kemudian diubah ke dalam nilai persen dengan konversi seperti pada (2).

$$Kekeruhan (\%) = 100 - \frac{V_{out}}{V_{pure}} 100 \quad (2)$$

Substitusi nilai  $V_{out} = 2,571$  V,  $V_{pure} = 3,98$ , diperoleh kekeruhan = 35,4%.

Setelah nilai kekeruhan dengan satuan persen tersebut didapatkan, kemudian nilai tersebut dimasukkan pada sistem sebagai nilai referensi melalui pilihan menu *Set Turbidity* sebagai batas kekeruhan yang diijinkan, artinya, jika tingkat kekeruhan air yang terdeteksi oleh sensor kekeruhan lebih dari atau sama dengan 35%, secara otomatis sistem akan menutup katup air dan menginformasikannya melalui SMS ke nomor telepon operator yang telah dimasukkan sebelumnya.

### Kesimpulan

Rancang bangun model pengendali katup cerdas bak penampungan air PDAM berdasarkan tingkat kekeruhan air menggunakan Arduino Uno telah berhasil direalisasikan. Tujuan sistem ini adalah membuat pengendali katup air secara otomatis jika tingkat kekeruhan air berada di atas referensi. Selain itu, sistem ini akan mengirimkan SMS kepada operator nilai kekeruhan air dan kondisi katup (buka atau tutup). Hal ini diharapkan dapat membantu operator dalam memantau air sumber PDAM yang masuk ke bak penampungan. Dari percobaan yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan baik. Pada penelitian ini, nilai batas kekeruhan air PDAM adalah 35%. Namun, nilai batas ini dapat dimasukkan ke sistem, sehingga sistem ini fleksibel terhadap nilai yang diinginkan oleh operator PDAM. Diharapkan model sistem ini dapat diterapkan pada bak penampungan air PDAM sesungguhnya.

### Daftar Notasi

$V_{out}$	= Tegangan keluaran sensor
ADC	= Nilai keluaran ADC sensor
$V_{ref}$	= Tegangan referensi
Kekeruhan (%)	= Persentase kekeruhan
$V_{pure}$	= Tegangan keluaran sensor pada air jernih

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PDAM Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo atas dukungannya sehingga pengambilan data pada penelitian ini dapat dilaksanakan, dan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Universitas Negeri Gorontalo atas dukungan dalam melakukan pengujian kekeruhan air.

### Daftar Pustaka

- Arduino. "Arduino Uno." <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (April 18, 2018).
- DFRobot. "Turbidity Sensor SKU: SEN0189." [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity\\_sensor\\_SKU:\\_SEN0189](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189) (April 18, 2018).
- Komang Aryasa, Riska Veraninda. 2017. "Prototype Aplikasi Pendeteksi Kekeruhan Air Berbasis Arduino Pada Perusahaan Daerah Air Minum Makassar." STIMIK Dipanegara Makasar.
- Maemunnur, A. F., & Wiranto, G. 2016. "Rancang Bangun Sistem Alat Ukur." *Fibusi* 4(1): 2–9.
- Mulyana, Y., and D. L. Hakim. 2018. "Prototype of Water Turbidity Monitoring System." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 384(1): 5–11.

- Nike Ika Nuzula, Wazirotus Sakinah, Endarko. 2017. "Manufacturing Temperature and Turbidity Sensor Based on ATmega 8535 Microcontroller." In *AIP Conference Proceedings*,.
- Rahmat Rasyid, Wildian Wildian, Yefri Hendrizon. 2013. "Uji Sensitivitas Sudut Hamburan Kekeruhan Air Bersih Dari Rancang Bangun Alat Ukur Nephelometer." In *Prosiding SEMIRATA*, , 345–48.
- Sukanto, S. 2017. "Monitoring Perbandingan Kualitas Air Danau Dan PDAM Menggunakan Sensor Turbidity, PH, Dan Suhu Berbasis Web." *Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering* 1(1): 37–45.
- Winoto, A. 2010. *Mikrokontroler AVR. In Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 Dan Pemrogramannya Dengan Bahasa C Pada WinAVR*. Bandung: Informatika.
- Yuniarti, Bernadeta. 2017. "Pengukuran Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Turbidimeter Berdasarkan Prinsip Hamburan Cahaya." Universitas Sanata darma.

# Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting* di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik Array

Hajiar Yuliana, Rady Yusaniar, dan Yuda Bakti Zainal

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

[hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id](mailto:hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id), [radyusaniar@gmail.com](mailto:radyusaniar@gmail.com)

## Abstrak

Makalah ini membahas rancang bangun sistem *energy harvesting*, yaitu suatu teknik pemanenan energi yang memanfaatkan sumber energi dari kebisingan yang dihasilkan mesin *winder* di sebuah pabrik pemintalan benang. Pemanenan energi menggunakan *transducer* berupa piezoelektrik array. Piezoelektrik array terdiri dari susunan seri dari 24 piezoelektrik yang ditempatkan pada osilator berbentuk *cantilever beam*. Osilator terbuat dari bahan nilon dengan panjang yang disesuaikan dengan frekuensi suara bising mesin *winder*. Sistem yang dibangun diuji pada ruangan produksi pabrik pemintalan benang dengan tingkat kebisingan suara sebesar 95,8 dBA. Keluaran dari hasil rancang bangun tersebut mampu menghasilkan sinyal dengan nilai amplitudo maksimum sebesar 3,32 Vpp untuk frekuensi 50,42 Hz, dan daya maksimum sebesar 0,45 mili Watt pada daya terukur rata-rata sebesar 0,16 mW. Pengukuran tersebut dilakukan selama 1 jam, dan energi yang diperoleh sebesar 0,16 mWh. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam per hari, energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari. Dalam skala yang lebih besar, keluaran sistem *energy harvesting* yang diusulkan dalam penelitian ini dapat digunakan peralatan listrik berdaya rendah seperti pengisi baterai telepon seluler atau lampu penerangan darurat.

Kata kunci: *energy harvesting*, piezoelektrik array, ruang bising

## Abstract

This paper discusses the design of an energy harvesting system, which is an energy harvesting technique that utilizes an energy source from the noise generated by winder machines in a yarn spinning mill. The energy harvesting used a transducer in the form of a piezoelectric array. A piezoelectric array consisted of a series of 24 piezoelectric arrays and placed on a cantilever beam oscillator. The oscillator was made from nylon with an adjustable length to noise frequency of the winder engine. The system tested in the yarn spinning mill production room with a sound level of 95.8 dBA. The output of the design was able to produce a signal with a maximum amplitude value of 3.32 Vpp for 50.42 Hz frequency, and this system had a maximum power of 0.45 milli Watt with an average measured power of 0.16 mW. The measurement was carried out for 1 hour, and the energy obtained was 0.16 mWh. Assuming the engine operates for 10 hours a day, the energy produced can reach 1.6 mWh per day. On a larger scale, the output of the energy harvesting system proposed in this study can be used as low-power electrical equipment such as cell phone battery chargers or emergency lighting.

Keywords: energy harvesting, piezoelectric, noisy

## 1. Pendahuluan

Energi yang tersedia di alam semesta merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup terutama manusia. Pada hakikatnya energi yang tersedia tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, melainkan energi hanya dapat diubah bentuknya dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Salah satu bentuk energi yang sering ditemukan adalah energi suara atau bunyi. Energi bunyi tersebar pada rentang frekuensi 20 - 20.000 Hz yaitu berupa frekuensi audio (Abidin dkk, 2018). Pada daerah tertentu dapat dijumpai sumber suara atau bunyi yang melimpah, terutama pada industri yang biasanya menggunakan mesin produksi dengan intensitas suara yang cukup tinggi.

Kondisi daerah dengan sumber suara yang memiliki intensitas suara yang tinggi tersebut jika terjadi terus menerus, tentunya akan menciptakan kebisingan. Suara bising tersebut, walaupun umumnya diketahui hanya menimbulkan gangguan pada pendengaran, ternyata dapat dimanfaatkan untuk menjadi energi alternatif baru. Pemanfaatan kondisi bising dengan menggunakan teknik *energy harvesting* bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan daya listrik yang selanjutnya mungkin bisa dimanfaatkan dengan menggunakan komponen piezoelektrik untuk digunakan sebagai sumber energi pada peralatan dengan keperluan daya yang rendah, seperti penggunaan untuk charger handphone misalnya. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila diberi *stress* (tekanan) mekanik akan menghasilkan medan listrik sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan piezoelektrik akan terjadi deformasi mekanik (perubahan dimensi bahan). Sifat yang reversibel ini membuat material piezoelektrik dapat berfungsi sebagai transduser dan aktuator (Sharma, 2016)

### Info Makalah:

Dikirim : 03-23-20;  
Revisi 1 : 04-11-20;  
Revisi 2 : 05-04-20;  
Revisi 3 : 06-04-20;  
Diterima : 06-18-20.

### Penulis Korespondensi:

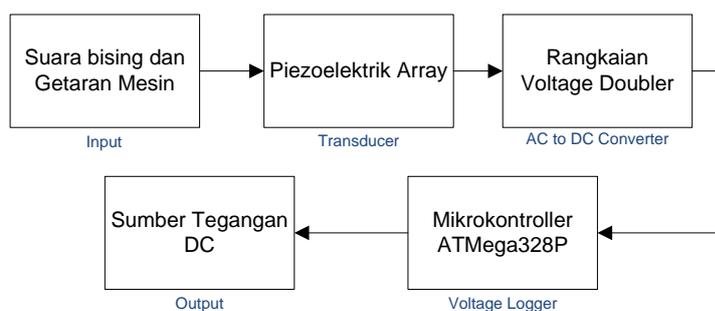
Telp : +62-812-22997113  
e-mail : [hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id](mailto:hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id)

Sebelumnya, telah ada penelitian menggunakan teknik *energy harvesting* dari suara kendaraan yang melintas di jalanan (Attraction, n.d.) dan implementasi piezoelektrik dari sensor getaran atau gerakan dinamis (Anonim, n.d.). Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan bahwa suara-suara bising tersebut memiliki getaran yang dapat menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Walaupun daya yang dihasilkan hanya sekitar 0.5 miliWatt per detiknya. Melihat dari penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk membuat rancang bangun sistem *energy harvesting* dengan memanfaatkan suara bising dari mesin pabrik pemintalan benang yang akan menggunakan piezoelektrik yang disusun secara *array*. Diharapkan, dengan memanfaatkan dari hal tersebut, para pekerja disana tidak hanya mendapatkan suara bisingnya saja selama proses produksi, tetapi mereka pun dapat mendapatkan dan merasakan *energy* yang dihasilkan dari suara bising tersebut yang dapat dipergunakan untuk hal yang bermanfaat, misalkan untuk mengisi daya pada ponsel ataupun manfaat lainnya, tanpa harus tergantung pada kebutuhan listrik umum.

Pada tulisan ini, akan dibahas mengenai perancangan sebuah sistem *energy harvesting* yang berasal dari suara bising yang berasal dari mesin *winder* dan memanfaatkan komponen piezoelektrik *array*. Tulisan ini terdiri dari bagian metode yang membahas diagram blok sistem dari rancangan yang akan dibangun, kemudian perancangan yang perlu dilakukan untuk membangun sistem tersebut, dan tentunya menampilkan bentuk fisik dari rancangan tersebut. Selain itu, pada tulisan ini pun akan dibahas mengenai analisis dari hasil rancangan yang telah dibuat, mengenai hasil keluaran yang dihasilkan dan kesesuaian dari keluaran yang diharapkan.

## 2. Metode

Pada penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising dengan memanfaatkan konsep *transducer* pada piezoelektrik *array*. Sumber bunyi bising sendiri dihasilkan dari kerja mesin *winder* yang jumlahnya cukup banyak di sebuah ruangan pabrik pemintalan benang. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem.



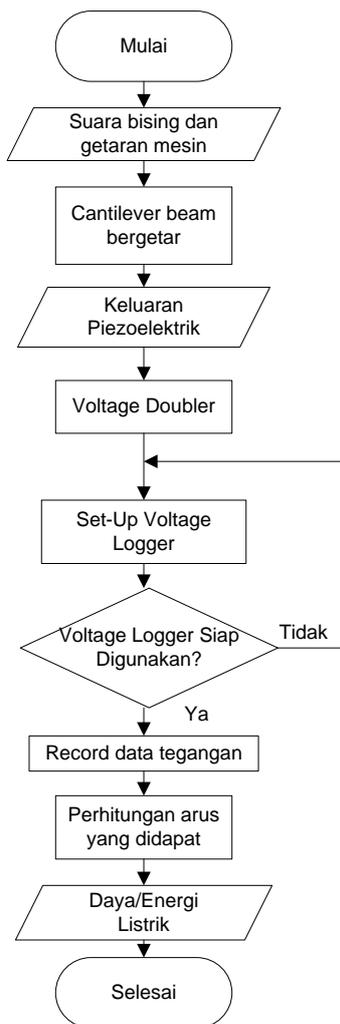
Gambar 1. Diagram Blok Sistem *Energy Harvesting* dengan Piezoelektrik Array

Piezoelektrik merupakan komponen elektronika yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik ataupun sebaliknya (Ahda & Mardiyanto, 2012). Pada penelitian ini, piezoelektrik disusun secara *array* yaitu piezoelektrik dengan ukuran dan spesifikasi yang sama dan kemudian disusun secara berjajar.

Piezoelektrik *array* ini disusun seri sebanyak 24 buah yang terbagi ke dalam masing-masing empat buah ditempelkan pada sebuah osilator berbahan dasar nilon berbentuk *cantilever beam* (Pratiwi, 2016). Dengan struktur batang panjang dan ramping, salah satu ujungnya dijepit dan satu ujung lainnya dapat bergerak bebas. Osilator ini dirancang untuk frekuensi suara yang dihasilkan oleh mesin *winder*. Suara dan getaran yang ditimbulkan oleh mesin *winder* mengakibatkan osilator ini bergetar, begitu pula piezoelektrik *array* yang terpasang padanya.

Piezoelektrik mampu menghasilkan tegangan AC akibat dari getaran *cantilever beam*. Tegangan AC kemudian dikonversi menjadi tegangan DC menggunakan rangkaian *voltage doubler* (Anonim, 2017). Selain dapat mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, rangkaian *voltage doubler* mampu menaikkan level tegangan AC masukannya. Tegangan output rangkaian *voltage doubler* mampu menghasilkan tegangan output DC sebesar  $2 V_p$  dari tegangan input yang diberikan oleh piezoelektrik *array*.

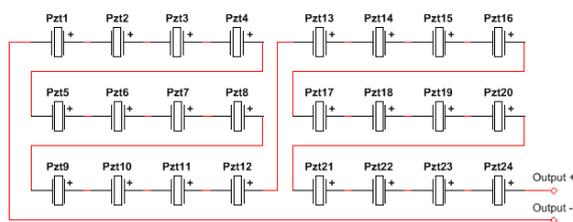
Pencatatan tegangan output rangkaian *voltage doubler* menggunakan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Mikrokontroler digunakan untuk mencatat level tegangan *output* untuk mengurangi efek pengosongan muatan pada kapasitor apabila mengukur menggunakan multimeter. Data pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* disimpan dalam format *Comma Separated Value* (CSV) pada modul *MicroSD*. Gambar 2 menampilkan diagram alir proses rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising menggunakan piezoelektrik *array*.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting*

### A. Perancangan Piezoelektrik Array

Rangkaian piezoelektrik *array* disusun secara seri sebanyak 24 buah untuk mendapatkan tegangan puncak maksimal. Masing-masing osilator menangani empat buah piezoelektrik yang dipasang seri, dengan begitu akan ada enam buah osilator yang terpasang sebagai *cantilever beam*. Gambar 3 menampilkan skema koneksi piezoelektrik *array* yang dipasang seri. Akan ada dua jalur *output* positif dan negatif yang selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian *voltage doubler* atau rangkaian pelipat tegangan.

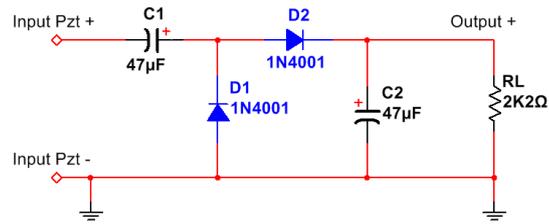


Gambar 3. Koneksi Piezoelektrik Array Seri

### B. Perancangan Voltage Doubler

Sinyal yang dihasilkan oleh piezoelektrik *array* dikoneksikan dengan rangkaian *voltage doubler* atau rangkaian pelipat tegangan. Gambar 4 menunjukkan rangkaian *voltage doubler* yang digunakan pada sistem yang dibangun. Rangkaian *voltage doubler* menggunakan komponen dioda 1N4001 sebanyak dua buah sebagai *rectifier* dan untuk menghilangkan *ripple* menggunakan dua buah kapasitor 47  $\mu\text{F}$  agar menghasilkan *output* DC yang lebih rata. Dengan menggunakan rangkaian dioda-kapasitor ini, *output* tegangan DC yang dihasilkan akan sama dengan nilai *peak-to-peak* sinyal input dari piezoelektrik *array*. Dengan kata lain, rangkaian ini mampu menggandakan nilai *peak* sinyal

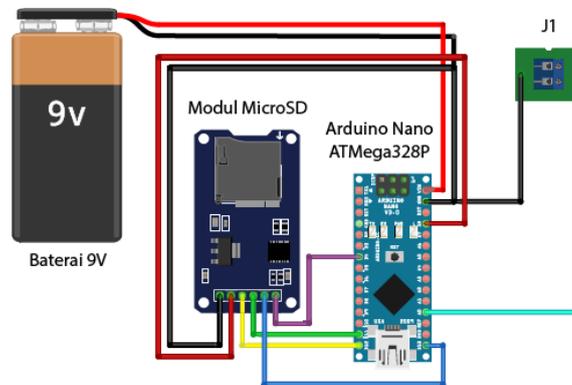
input karena dioda dan kapasitor bekerja secara bersama-sama secara efisien. *Output* rangkaian *voltage doubler* diberikan beban resistor untuk menghitung arus keluaran yang dihasilkan.



Gambar 4. Rangkaian *Voltage Doubler*

### C. Perancangan *Voltage Logger*

Pengukuran tegangan *output* dapat dilakukan dengan menggunakan osiloskop dan multimeter digital. Namun, pada kasus tertentu, penggunaan multimeter digital tidak dapat menunjukkan hasil pengukuran secara *realtime*. Untuk mengurangi pengurasan tegangan pada proses pengukuran tegangan dan untuk menghasilkan catatan data yang lebih baik maka digunakan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Gambar 5 menunjukkan rangkaian *voltage logger* dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328P yang diintegrasikan dengan modul MicroSD sebagai media penyimpanan data hasil pencatatan level tegangan.



Gambar 5. Ilustrasi dari Rangkaian *Voltage Logger* Berbasis ATmega328P

Mikrokontroler ATmega328P pada Arduino Nano diprogram dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE versi 1.8.9 dan dijalankan dengan menggunakan sumber tegangan dari baterai 9 Volt. Konektor J1 dihubungkan dengan *output* pada rangkaian *voltage doubler* untuk mencatat tegangan yang dihasilkannya. Data hasil pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* dicatat setiap 500 milidetik, kemudian disimpan dalam file dengan format CSV pada microSD yang terpasang pada modul MicroSD.

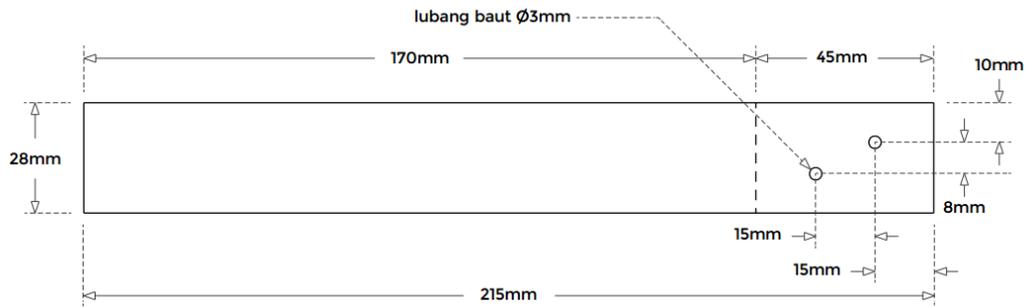
### D. Perancangan *Cantilever Beam*

*Cantilever beam* merupakan sebuah elemen struktural yang kaku, seperti balok atau pelat yang ditancapkan pada salah satu ujungnya, disambungkan ke bagian penyangga (biasanya vertikal) yang menonjol. Sambungan ini juga bisa tegak lurus terhadap permukaan yang datar dan vertikal seperti dinding misalnya. *Cantilever beam* tersebut akan diberi sebuah gaya *transversal* di salah satu ujung bebasnya. Setelah diberikan sebuah gaya, dilakukan perhitungan terhadap gaya-gaya reaksi dan momen di tumpuan yang dijepit. Pemberian gaya ini akan memberikan defleksi dan rotasi pada batang.

Pada penelitian ini, *cantilever beam* dirancang untuk merespon frekuensi suara bising yang dihasilkan oleh mesin *winder*. Suara bising dari mesin yang berjalan dengan level amplitudo tertinggi berada pada frekuensi sekitar 250 Hz. Dengan kecepatan rambat suara 343 meter/detik, maka panjang gelombangnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

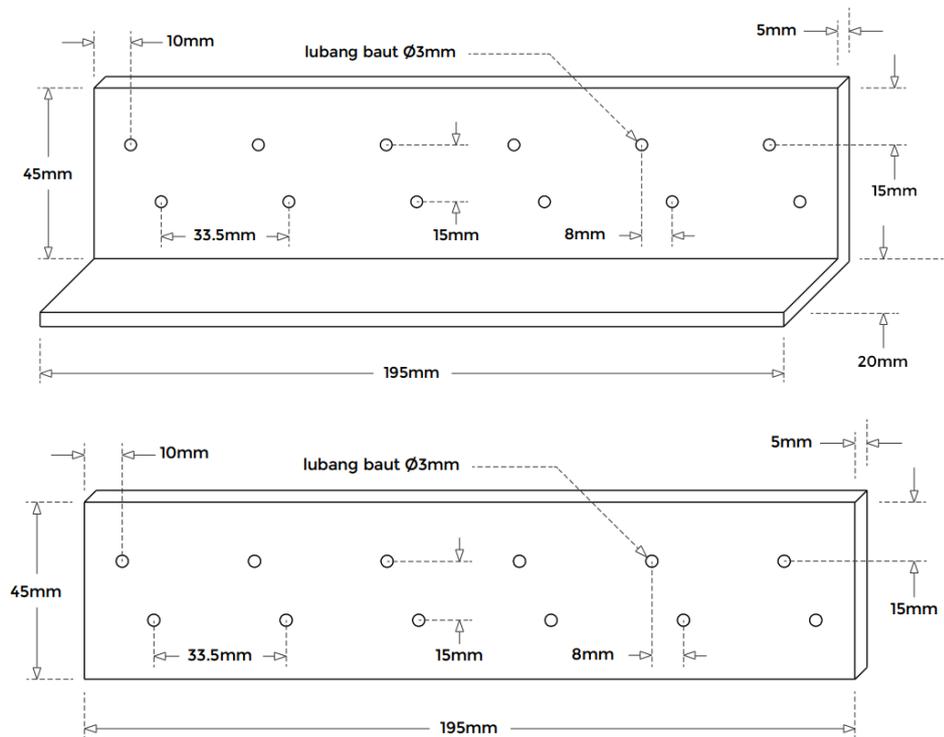
$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan didapat panjang gelombang suara dengan frekuensi 250 Hz adalah 1,372 m. Namun mengingat panjang 1,372 m terlalu panjang untuk perancangan *cantilever beam*, maka digunakan  $\lambda/8$  yaitu 171,5 mm atau dibulatkan menjadi 170 mm.



Gambar 6. Skema Rancangan *Beam*

Gambar 6 menunjukkan ilustrasi skema rancangan dari beam yang dibangun, dengan 170 mm bagian sebelah kirinya adalah bagian yang bebas bergerak dan 45 mm bagian sebelah kanannya adalah bagian yang dijepit. *Beam* berbahan dasar nilon dengan ketebalan 2 mm ini dirancang sebagai osilator agar mampu merespon suara bising. Setiap beam dirancang untuk empat buah piezoelektrik *array*, artinya akan dibangun enam buah beam yang sama untuk menempatkan 24 buah piezoelektrik

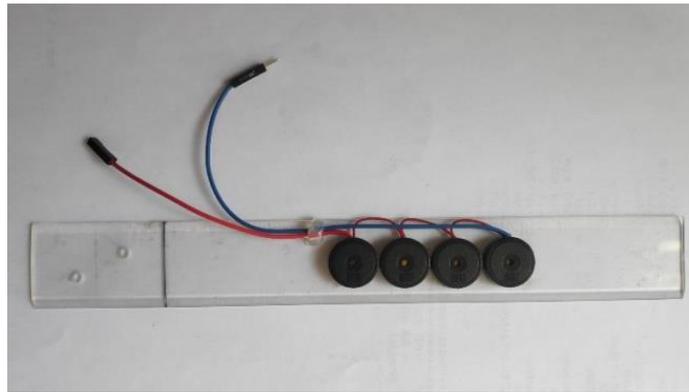


Gambar 7. Skema Rancangan *Support* Penjepit *Beam*

Gambar 7 adalah ilustrasi skema rancangan *support* untuk menjepit *beam* yang dibuat dari pelat aluminium padat dengan tebal 5 mm. Penjepit *beam* tersebut digunakan sebagai penjepit dan penyangga dari beam yang telah dibuat sesuai dengan rancangan skema yang ditunjukkan pada Gambar 6. Masing-masing penjepit *beam* tersebut dilengkapi dengan dua buah baut dan mur sebagai pengunci dari mekanisme penjepit agar bagian bawah *beam* tidak dapat bergerak bebas, sementara itu bagian atas *beam* dapat bergerak dengan bebas.

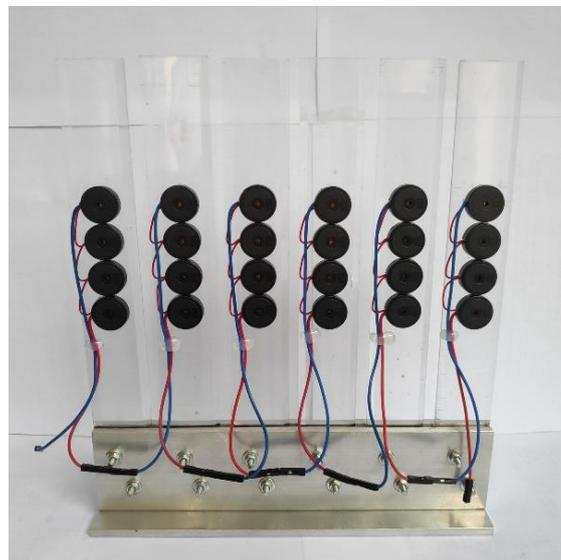
### E. Perakitan Perangkat Keras

Proses perakitan perangkat dimulai dengan penempatan piezoelektrik *array* pada *beam* yang telah dirancang seperti pada Gambar 6. Gambar 8 menampilkan piezoelektrik *array* yang disusun dan dipasang pada *beam* menggunakan perekat. Setiap *beam* berisikan masing-masing empat buah piezoelektrik yang dipasang seri dan diposisikan pada tengah-tengah *beam*, dengan dua buah kabel keluaran positif dan negatif.



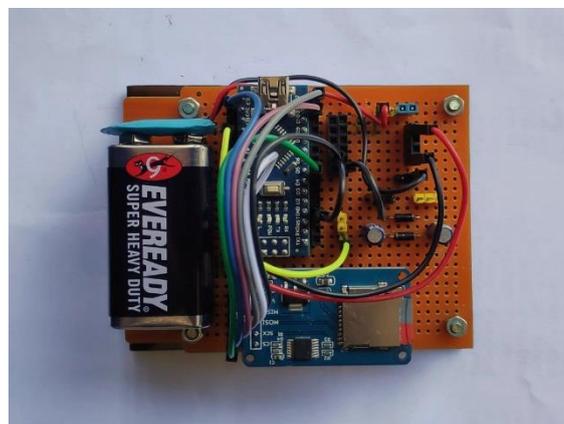
Gambar 8. Penempatan Piezoelektrik *Array* pada *Beam*

Selanjutnya, perangkat *beam* seperti pada Gambar 8 dibuat sebanyak enam buah, yang kemudian disusun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 tersebut merupakan rancangan piezoelektrik *array* yang dibangun dan akan digunakan untuk mengubah energi dari suara bising menjadi sebuah energi yang terukur dan bisa dimanfaatkan.



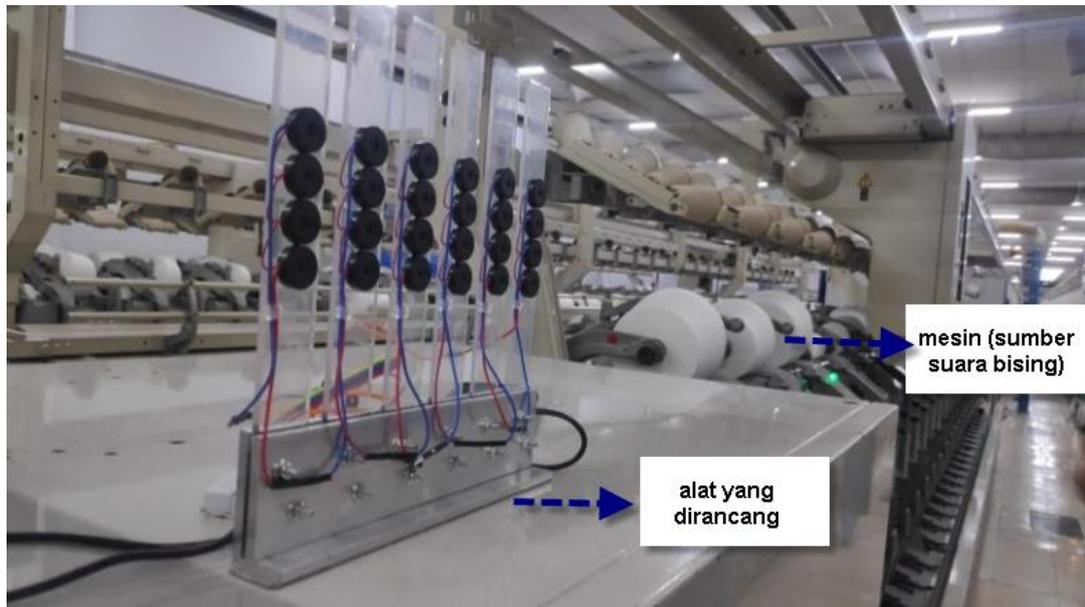
Gambar 9. Bentuk *Beam* dengan *Support* Penjepit

Sementara itu rangkaian *voltage doubler* dan *voltage logger* dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328P (Arduino Nano) beserta modul MicroSD untuk penyimpanan data disusun pada *Printed Circuit Board* (PCB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Memori *microSD* yang dipasang berkapasitas 8 GB sebagai media penyimpanan file CSV.



Gambar 10. Perakitan Rangkaian pada PCB

Perangkat yang sudah tersusun seperti pada Gambar 9, selanjutnya dilakukan pengujian dengan ditempatkan pada mesin *winder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar 11, menunjukkan lokasi dan cara alat yang yang dirancang tersebut diuji. Alat tersebut diuji ketika mesin *winder* dijalankan bersamaan akan menghasilkan suara bising dan getaran yang cukup kuat. Pada saat yang bersamaan, *beam* yang terpasang ikut bergetar begitu pula piezoelektrik yang menempel padanya.



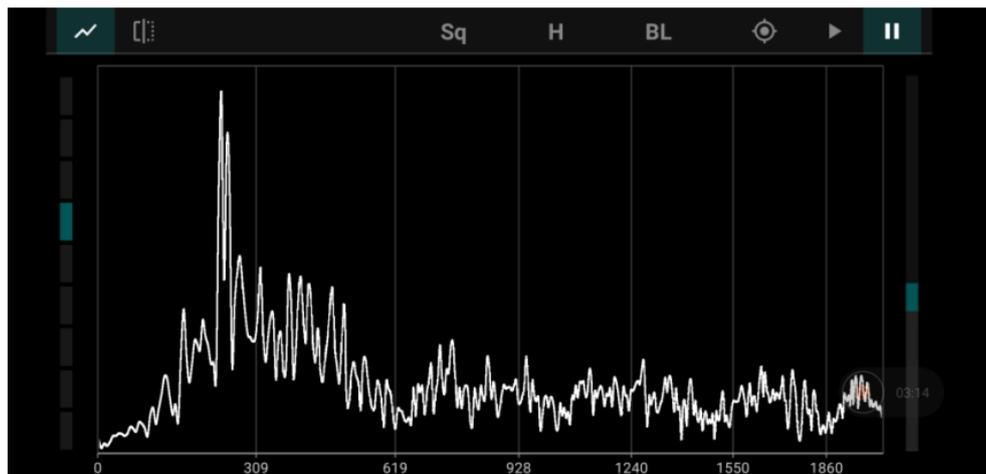
Gambar 11. Penempatan Support Penjepit *Beam* pada Mesin *Winder*

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### A. Pengujian Perangkat di Ruang Bising

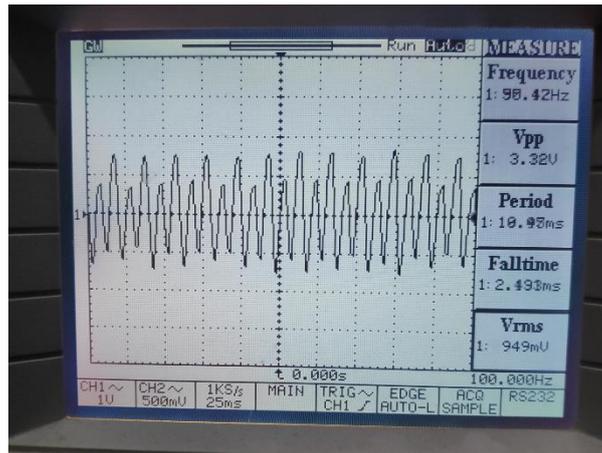
Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *sound level meter*, diukur tingkat kekerasan suara (*sound pressure level*, disingkat SPL) yang ditimbulkan (Pratiwi, 2016) oleh mesin *winder* di pabrik pemintalan benang. Hasil pengukuran menunjukkan tingkat kekerasan suara di ruangan tersebut adalah sebesar 95,8 dBA.

Dengan menggunakan aplikasi *Fast Fourier Transform (FFT) spectrum analyzer* pada perangkat berbasis android, diamati level suara bising yang dihasilkan oleh mesin *winder* pada domain frekuensi. Suara bising dari mesin *winder* dengan level amplitudo tertinggi berada pada frekuensi 250 Hz seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 12. Frekuensi inilah yang dipilih untuk dipanen dengan menggunakan piezoelektrik *array*.



Gambar 12. FFT Suara Mesin *Winder* di Ruangan

*Support* penjepit dan *beam* dengan piezoelektrik *array* ditempatkan pada mesin *winder*. Ketika mesin *winder* dijalankan bersamaan akan menghasilkan suara bising dan getaran yang cukup kuat. Pada saat itu, *beam* yang terpasang ikut bergetar begitu pula piezoelektrik yang menempel padanya. Bentuk sinyal *output* piezoelektrik *array* diamati dengan menggunakan osiloskop digital. Gambar 13 menampilkan sinyal *output* yang dihasilkan piezoelektrik *array* sebagai respon terhadap getaran dan suara bising dari mesin *winder*.

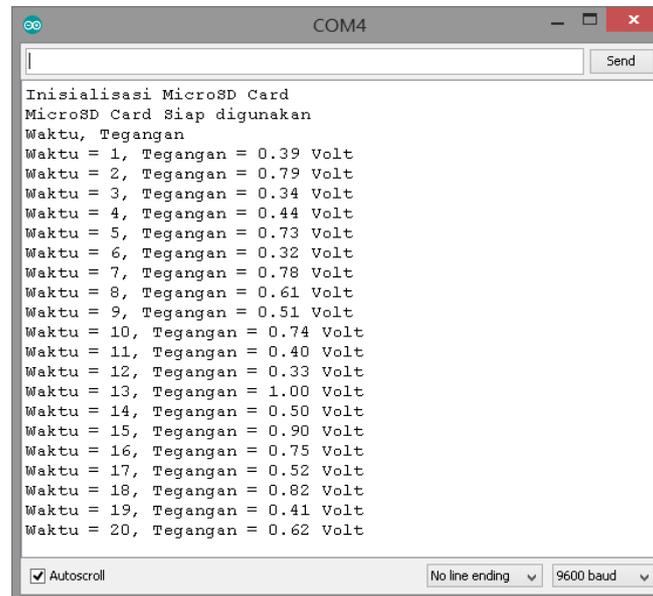


Gambar 13. Sinyal Keluaran Piezoelektrik *Array* dengan Sumber Suara Bising dari Mesin *Winder*

Bentuk sinyal keluaran piezoelektrik *array* pada Gambar 13 merupakan sinyal sinusoidal namun dengan bentuk sinusoidal yang tidak sempurna. Nampak secara bergantian amplitudo siklus positif naik turun secara periodik. Begitu pula pada siklus negatif terjadi naik turun level amplitudo secara periodik. Tercatat nilai amplitudo tertinggi adalah sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz.

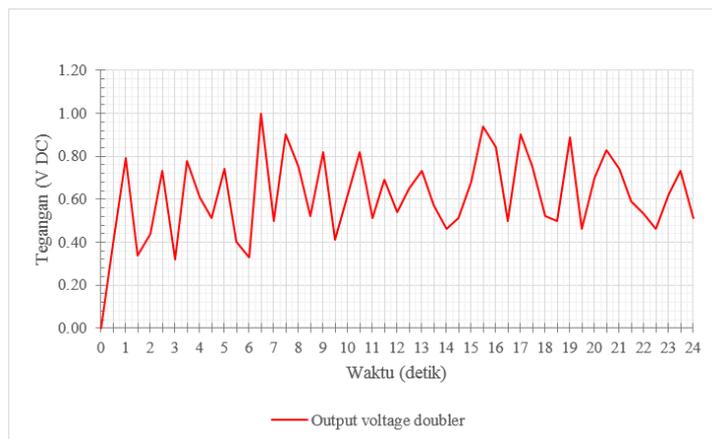
Sinyal keluaran piezoelektrik *array* pada Gambar 13 dihubungkan dengan masukan rangkaian *voltage doubler*. Pada rangkaian ini sinyal dari piezoelektrik *array* akan digandakan levelnya dan disearahkan menjadi tegangan DC. *Output* rangkaian *voltage doubler* dihubungkan dengan beban resistor RL dengan nilai 2k2 Ohm.

Gambar 14 menunjukkan pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* yang ditampilkan pada *serial monitor* aplikasi Arduino IDE. Gambar 14 menunjukkan grafik level tegangan sinyal *output* rangkaian *voltage doubler* yang dicatat oleh *voltage logger*. Sementara hasil pencatatan rangkaian *voltage logger* disimpan dalam file dengan format CSV pada *microSD* yang terpasang pada modul *MicroSD*.



Gambar 14. Pencatatan Tegangan *Voltage Logger* pada *Serial Monitor*

Dari Gambar 15 menunjukkan level tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* dalam domain waktu selama 24 detik. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* yang dihasilkan dengan *input* sinyal dari piezoelektrik *array*. Tegangan *output* adalah tegangan searah (DC) dengan level tegangan yang bervariasi dan tidak konstan seiring berjalan waktu. Hal ini disebabkan karena piezoelektrik *array* sendiri tidak bisa secara konstan menghasilkan sinyal sinusoidal yang sempurna. Penyebab utama hal ini bisa terjadi adalah karena sumber suara bising yang dipanen tidak stabil meskipun dengan level kebisingan yang tinggi. Setiap mesin *winder* menghasilkan ketukan suara bising yang tidak selalu seirama, tergantung proses yang dilakukannya saat itu. Hal ini menyebabkan keluaran piezoelektrik *array* tidak stabil.

Gambar 15. Grafik Pencatatan *Voltage Logger* di Mesin *Winder*

Selain itu, nilai kapasitor yang dipasang pada rangkaian *voltage doubler* juga mempengaruhi *output* yang dihasilkan. *Ripple* pada sinyal *output* menunjukkan nilai kapasitor sebesar 47  $\mu\text{F}$  terlalu kecil untuk digunakan. Hasilnya, masih terdapat sisa-sisa tegangan AC yang tidak bisa ditekan atau dihilangkan secara sempurna. *Voltage logger* mencatat level tegangan tertinggi yang diperoleh adalah sebesar 1.000 mV DC, dan rata-rata tegangan yang diperoleh adalah 610 mV DC.

Mengacu pada persamaan (2), arus tertinggi yang dapat dihasilkan rangkaian *voltage doubler* dengan beban RL yang terpasang adalah 0,45 mA.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Berdasarkan pengujian, rancang bangun sistem *energy harvesting* ini dilakukan di dua ruang bising yang berbeda. Pengujian di ruang bising dengan mesin *winder* menghasilkan energi listrik dengan tegangan sebesar 1 Volt DC, dan tegangan yang terukur tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran pada sumber suara bising tanpa menggunakan mesin *winder* yaitu sebesar 0,11 Volt DC. Hal ini terjadi karena desain *beam* dirancang untuk frekuensi 250 Hz sesuai dengan frekuensi dari suara bising mesin *winder* sementara suara bising tanpa menggunakan mesin *winder* menghasilkan frekuensi bervariasi yaitu pada frekuensi 270 Hz, 813 Hz, 1.285 Hz, dan 1.895 Hz.

Hasil keluaran dari perancangan di ruang bising dengan mesin *winder* ini dapat dimanfaatkan sebagai pengisi daya untuk ponsel, akan tetapi diperlukan penelitian selanjutnya agar dapat diketahui jumlah penambahan komponen piezoelektrik *array* agar mencukupi kebutuhan yang diperlukan.

## B. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian alat di lapangan, suara bising dari mesin *winder* dengan tingkat kekerasan suara sebesar 95,8 dBA dapat dipanen energinya oleh *transducer* piezoelektrik. Hasil dari sinyal keluaran yang dihasilkan piezoelektrik *array* yang dipasang seri sebanyak 24 buah pada osilator *cantilever beam* sepanjang 170 mm telah ditunjukkan pada Gambar 13. Meskipun begitu piezoelektrik *array* hanya mampu menghasilkan energi listrik yang kecil dengan level amplitudo tertinggi sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz (dalam bentuk sinyal sinusoidal).

Sistem ini menghasilkan daya maksimum sebesar 0,45 mili Watt dengan rata-rata daya terukur 0,16 mW. Pengukuran tersebut dilakukan selama 1 jam dan energi yang diperoleh sebesar 0,16 mWh. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam dalam sehari, maka energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari.

Rangkaian *voltage doubler* mampu menaikkan level tegangan yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Hasil pengamatan menggunakan *voltage logger* menunjukkan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* mampu menghasilkan tegangan DC tertinggi sebesar 1.000 mV DC dengan arus 0,45 mA.

Kondisi tingkat kekerasan suara yang berbeda, akan menyebabkan frekuensi suara bising yang dihasilkannya pun berbeda. Hal ini akan mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan dari sistem ini. *Cantilever beam* yang dibangun pada penelitian ini memang dirancang untuk frekuensi kerja 250 Hz yang dihasilkan oleh mesin *winder*

## Kesimpulan

Suatu rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising menggunakan piezoelektrik *array* telah dilakukan. Hasil pengujian, pengukuran, dan analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem *energy harvesting* beroperasi pada frekuensi kerja 250 Hz dengan tingkat kekerasan suara sebesar 95,8 dBA, menghasilkan sinyal keluaran piezoelektrik *array* tertinggi sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz dan daya maksimum 0,45 mili Watt dengan rata-rata daya terukur 0,16 mW. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam dalam sehari, maka

energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari. Dalam skala yang lebih besar, keluaran sistem *energy harvesting* yang diusulkan dalam penelitian ini dapat digunakan peralatan listrik berdaya rendah seperti pengisi baterai telepon seluler atau lampu penerangan darurat.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Laboratorium Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani atas dukungannya dalam membantu pengukuran dalam kegiatan ilmiah ini.

### Daftar Notasi

$I$  = arus [A/ampere]  
 $V$  = tegangan [volt]  
 $R$  = hambatan/resistansi [ohm/  $\Omega$ ]  
 $v$  = kecepatan rambat suara [m/s]  
 $f$  = frekuensi [Hertz/Hz]  
 $\lambda$  = panjang gelombang [meter/m]

### Daftar Pustaka

- Abidin, N. K., Nayan, N. M., Azizan, M. M., & Ali, A. (2018). Analysis of Voltage Multiplier Circuit Simulation for Rain Energy Harvesting Using Circular Piezoelectric. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 101, 211-218.
- Ahda, S., & Mardiyanto. (2012). Strukturmikro Bahan Piezoelektrik Bebas Timbal Bizmut Natrium Titanat-Barium Titanat-Kalium Natrium Niobate Hasil Sintesis dengan Metode Reaksi Padat. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 120-124.
- Anonim. (2017, July 30). *Cantilever Beam - Advantages & Disadvantages*. Retrieved August 11, 2019, from <https://www.dailycivil.com/cantilever-beam-advantages-disadvantages/>
- Anonim. (n.d.). *Voltage Multiplier*. Retrieved August 10, 2019, from <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/voltage-multiplier-circuit.html>
- Attraction, M. (n.d.). *Harvesting Sound Energy From Passing Cars*. Retrieved September 27, 2019, from <https://www.instructables.com/id/Harvesting-Sound-Energy-From-Passing-Cars/>
- Pratiwi, A. N. (2016). Peningkatan Pemahaman Konsep Energi Panas dan Bunyi Menggunakan Modul Berbasis Eksperimen.
- Sharma. (2016). *Studies on Structural Dielectric*. Punjab: Deemed University.