

**Niswah Selmi Kaffa, Regita Faridatunisa Wijayanti, Taufik Kusetyohadi, Hesekiel Sijabat, Tedy Pranadiarso, Hilma Wasilah Robbani, dan Gholiqul Amrodh Alawy**

*The Analysis of GCP Correction Toward GNSS-PPK for Land Registration Base-map in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency*

**Hermita Dyah Puspita, Rida Norina, dan Budi Astuti**

*Studi Tentang Konsentrasi Pegawai FTM Berdasarkan Suhu, Body Mass Index, Lama Pemakaian Masker, dan Usia Menggunakan Fasilitas Ruang Iklim*

**Muhamamd Rafi Sugema, dan Robi Maulana**

*Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan*

**Muhammad Andrew Rahdi Rizanta, Vitrasia, dan Ferry Satria**

*Sistem Komunikasi Teks, Suara, dan Video Pada Kursi Roda Otomatis untuk Difabel Tetraplegia Berbasis GSM*

**Nugroho Sungkono Udayanto, Agus Sulaeman, dan Roni Farfan**

*Pencegahan Keruntuhan Progresif pada Struktur Jembatan Tinjomoyo dari Analisis Hidrologi dan Geoteknik*

**Nurwahyono dan Antono Damayanto**

*Analisa Hasil Forensik Penerapan Manajemen Waktu pada Proyek Jalan di Ruas Rancapanggung – Sarinagen Kabupaten Bandung Barat*

**Resti Maulasih, Heriansyah Putra, dan Hendra Prasetya**

*Improvement of Quality of Precipitated Material using Ethanol in SCU-CP Method for Soil Stabilisation*

**Hendriyana, Andini Hizbiyati, Fajar Subagja, dan Disti Ayu Hania**

*Pembuatan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dari Crude Palm Oil (CPO) Off Grade dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi*

**Iskandar Muda, Pradoto Ambardi, Martijanti, dan Kiki Fadlurahman**

*The Effect of Al-Zn Composition and Immersion Time in The Galvalume Process on Low Carbon Steel Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Rate*

**Antono Damayanto, Agus Juhara, Reynaldi Muhamad A, dan Akbar Abde Wiansyah**

*Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Sebelum dan Setelah Pembangunan Underpass Dewi Sartika Kota Depok dengan Metoda Simulasi Vissim*

## TIM REDAKSI

- Editor In Chief : • Dr. Martijanti, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57217586993)
- Advisory Editorial Board : • Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T., IPM  
(Universitas Sriwijaya, Indonesia. Scopus ID : 57194602385)
- Dr. Iris Mahani, S.T., M.T.  
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia. Scopus ID : 57197848218)
- Deny Bayu Saefudin, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Sinta ID : 133135)
- Editor : • Andri Rahmat Kumalasian Nasution, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6718339)
- Dede Irawan Saputra, S.Pd., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID : 57215833890)
- Giri Angga Setia, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57194215122)
- Hajjar Yuliana, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID : 57194007789)
- Pawawoi, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 56545755100)
- Xbal Meiprastyo, S.T., M.Eng.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Sinta ID: 6722189)
- Andini Hizbiyati, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Ragil Handito, S.T., M.Eng.  
(Korea National University of Transportation, Korea.)
- Tiara Ariani Putri, S.T., M.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 2024

- Reviewers :
- Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Dipl. Ing.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 6506054959]
  - Prof. Dr. Ir. H. R. Anwar Yamin, M.T., M.E. \*  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57222001511 & 57208864466] [SINTA ID: 6882330]
  - Prof. Dr. Ir. Indra Surjati, M.T., IPM.  
(Universitas Trisakti, Indonesia) [SCOPUS ID: 15128239500]
  - Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, M.S.  
(Universitas Brawijaya, Indonesia) [SCOPUS ID: 43461203000]
  - Prof. Dr. Ir Lilik Sudiajeng, M.Erg. \*  
(Politeknik Negeri Bali, Indonesia) [SCOPUS ID: 55189864100]
  - Dr. Arief Nur Pratomo, S.T., M.T.  
(Universitas Pertahanan, Indonesia) [SCOPUS ID: 57216756313]
  - Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. \*  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 55919091000]
  - Dr. Carles Sitompul, S.T., M.T., M.I.M.  
(Universitas Katholik Parahyangan, Indonesia) [SCOPUS ID: 23975188900]
  - Dr. Damawidjaya Biksono, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57218863103]  
[ORCHID ID: 0000-0003-1711-5413] [SINTA ID: 5984218]
  - Dr. Eng. Achmad Munir, S.T., M.Eng.  
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 25638780900]
  - Dr. Eng. Christina Wahyu K., S.T., M.T.  
(Universitas Brawijaya, Indonesia) [SCOPUS ID: 56688583600]
  - Dr. Eng. Dwi Hantoko., B.Sc., M.Sc. \*  
(King Fahd University of Petroleum and Minerals, Arab Saudi) [SCOPUS ID: 57203536113]
  - Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. \*  
(Institut Pertanian Bogor, Indonesia) [SCOPUS ID: 57195301854]
  - Dr. Eng. Ir. Nur Indrianti, M.T.  
(UPN Veteran Yogyakarta, Indonesia) [SCOPUS ID: 15071306300]
  - Dr. Ferry Rusgiyatro, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57194649672]  
[SINTA ID: 6647288]
-

- Dr. Haruman Wiranegara, S.T., M.T.  
(Balai Besar Logam dan Mesin - Kementerian Perindustrian, Indonesia)  
[SINTA ID: 6714161]
- Dr. Hendy Suryana, S.T., M.T., IPM. \*  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57200332569]
- Dr. Imroatul Chalimah Juliana, S.T, M.T.  
(Universitas Sriwijaya, Indonesia) [SCOPUS ID: 57193694034]
- Dr. Ir. Agus Sulaeman, MT  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57191260048]  
[SINTA ID: 6711550]
- Dr. Ir. Ariani Budi Safarina, M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 55189898100]
- Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.  
(Badan Tenaga Nuklir Nasional, Indonesia) [SCOPUS ID: 6507211795]
- Dr. Ir. Endang Prasetyaningsih, M.T. \*  
(Universitas Islam Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 57189580587]
- Dr. Ir. Iskandar Muda, M.Eng.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57195229456]
- Dr. Ir. Herman, M.T.  
(Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia) [SINTA ID: 6030796]
- Dr. Ir. Nita Puspita Hidayat, M.T. \*  
(Universitas Islam Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 57201677362]
- Dr. Ir. Oviyan Patra, M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SINTA ID: 6756651]
- Dr. Ir. Sutarno, M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57205031839]
- Dr. Ir. Zaenal-Muttaqien, S.T., S.E., S.Pd., M.T., IPU., ASEAN Eng., ACPE.,  
APECEng.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 58674304500]  
[SINTA ID: 6662264]
- Dr. Joko Waluyo, S.T., M.T.  
(Universitas Sebelas Maret, Indonesia) [SCOPUS ID: 37114996900]
- Dr. Khoiruddin, S.T., M.T.  
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 55584284500]
- Dr. Nadiem Anwar, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SINTA ID: 6098629]

- Dr. Nirmawana Simarmata, S.Pd., M.Sc.\*  
(Institut Teknologi Sumatera, Indonesia) [SCOPUS ID: 57301196400]
- Dr. Putu Teta Prihartini Aryanti, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 56951380600]  
[ORCHID ID: 0000-0003-0200-418X] [SINTA ID: 6001600]
- Dr. Rinto Yusriski, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 56582391600]
- Dr. Sabhan Kanata, ST., M.Eng.  
(Institut Teknologi Sumatera, Indonesia) [SCOPUS ID: 57420428900]
- Dr. Suhartono, S.T., M.Si.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57189075734]
- Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.T.  
(Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia) [SCOPUS ID:  
15838524700]
- Erwin Lim, S.T., M.S., Ph.D.  
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 36093026700]
- Ir. Harry Ramza, MT., P.hD.  
(Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Indonesia) [SCOPUS ID:  
55189898100]
- P. Y. M. Wibowo Nd, S.T., M.T., Ph.D.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 55983351800]
- Putu Doddy Sutrisna, S.T., M.T., Ph.D.  
(Universitas Surabaya, Indonesia) [SCOPUS ID: 6504553709]
- Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D.  
(Politeknik Negeri Semarang, Indonesia) [SCOPUS ID: 57194209980]
- Aji Gumilar, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SINTA ID: 6082397]
- Aji Putro Prakoso, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57200571585]  
[ORCHID ID: 0000-0002-7290-7352] [SINTA ID: 6747587]
- Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc.  
(Universitas Islam Indonesia, Indonesia) [SCOPUS ID: 57195477115]
- Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T.  
(University of Electro-Communications (UEC), Jepang) [SCOPUS ID:  
57188573899]

- Atik Charisma, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57188567470]  
[SINTA ID: 6082832]
- Edwar, S.T., M.T.  
(Telkom University, Indonesia) [SCOPUS ID: 57215427881]
- Handoko Rusiana Iskandar, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57194219446]
- Herman Budi Harja, S.T., M.T.  
(Politeknik Manufaktur Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 57201665196]
- Ir. Emi Prasetyawati Umar, S.Si., M.T., IPM. \*  
(Universitas Muslim Indonesia, Indonesia) [SCOPUS ID: 57201065526]
- Ir. Ketut Tomy Suhari, M.T., IPP.  
(Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia) [SCOPUS ID: 57196485539]
- Ir. Nana Heryana, S.T., M.T., IPM.  
(Institut Teknologi Bandung, Indonesia) [SCOPUS ID: 35174665300]
- Khamaludin, S.T., M.T.  
(Universitas Islam Syekh Yusuf, Indonesia) [SCOPUS ID: 57223191789]
- M. Reza Hidayat, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57188573208]
- Naftalin Winanti, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SCOPUS ID: 57200994613]
- Salita Ulitia Prini, S.T., M.T.  
(Pusat Riset Telekomunikasi - BRIN, Indonesia) [SCOPUS ID: 57208581701]
- Sofyan Basuki, S.T., M.T.  
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia) [SINTA ID: 6686946]
- Sussi, S.Si., M.T. \*  
(Telkom University, Indonesia) [SCOPUS ID: 57215071175]
- Syah Alam, S.Pd., M.T.  
(Universitas Trisakti, Indonesia) [SCOPUS ID: 57191903622]
- Tommi Hariyadi S.T., M.T.  
(Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia) [SCOPUS ID: 53263841200]
- Wahyu Setyo Pambudi, S.T., M.T.  
(ITATS Surabaya, Indonesia) [SCOPUS ID: 57202921245]



## DAFTAR ISI

<b><i>The Analysis of GCP Correction Toward GNSS-PPK for Land Registration Base-map in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency</i></b>	91-99
Niswah Selmi Kaffa, Regita Faridatunisa Wijayanti, Taufik Kusetyohadi, Hesekiel Sijabat, Tedy Pranadiarso, Hilma Wasilah Robbani, dan Gholiqul Amroth Alawy	
<b>Study Tentang Konsentrasi Pegawai FTM Berdasarkan Suhu, <i>Body Mass Index</i>, Lama Pemakaian Masker, dan Usia Menggunakan Fasilitas Ruang Iklim</b>	100-111
Hermita Dyah Puspita, Rida Norina, dan Budi Astuti	
<b>Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan</b>	112-118
Muhamamd Rafi Sugema, Robi Maulana	
<b>Sistem Komunikasi Teks, Suara, dan Video Pada Kursi Roda Otomatis untuk Difabel Tetraplegia Berbasis GSM</b>	119-126
Muhammad Andrew Rahdi Rizanta, Vitrasia, Ferry Satria	
<b>Pencegahan Keruntuhan Progresif pada Struktur Jembatan Tinjomoyo dari Analisis Hidrologi dan Geoteknik</b>	127-139
Nugroho Sungkono Udayanto, Agus Sulaeman, Roni Farfian	
<b>Analisa Hasil Forensik Penerapan Manajemen Waktu pada Proyek Jalan Di Ruas Rancapanggung – Sarinagen Kabupaten Bandung Barat</b>	140-145
Nurwahyono, Antono Damayanto	
<b><i>Improvement of Quality of Precipitated Material using Ethanol in SCU-CP Method for Soil Stabilisation</i></b>	146-158
Resti Maulasih, Heriansyah Putra, Hendra Prasetia Hendra Prasetia	
<b>Pembuatan <i>Fatty Acid Methyl Ester</i> (FAME) dari <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) <i>Off Grade</i> dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi</b>	159-165
Hendriyana, Andini Hizbiyati, Fajar Subagja, Disti Ayu Hania	
<b><i>The Effect of Al-Zn Composition and Immersion Time in The Galvalume Process on Low Carbon Steel Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Rate</i></b>	166-178
Iskandar Muda, Pradoto Ambardi, Martijanti, Kiki Fadlurahman	
<b>Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Sebelum dan Setelah Pembangunan <i>Underpass</i> Dewi Sartika Kota Depok dengan Metoda Simulasi Vissim</b>	179-187
Antono Damayanto, Agus Juhara, Reynaldi Muhamad A, Akbar Abde Wiansyah	



## DARI REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Kuasa atas perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Teknik (JT) Volume 23 Nomor 2, bulan November 2024. Dalam edisi ini disajikan 10 (sepuluh) makalah berkaitan dengan bidang Ilmu Teknik, yang mencakup Teknik Kimia, Teknik Elektro, Teknik Mesin, Teknik Sipil, Teknik Metalurgi, Teknik Industri, dan Teknik Geomatika yang meliputi: (1) *The Analysis of GCP Correction Toward GNSS-PPK for Land Registration Base-map in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency*, (2) *Study Tentang Konsentrasi Pegawai FTM Berdasarkan Suhu, Body Mass Index, Lama Pemakaian Masker, dan Usia Menggunakan Fasilitas Ruang Iklim*, (3) *Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan*, (4) *Sistem Komunikasi Teks, Suara, dan Video Pada Kursi Roda Otomatis untuk Difabel Tetraplegia Berbasis GSM*, (5) *Pencegahan Keruntuhan Progresif pada Struktur Jembatan Tinjomoyo dari Analisis Hidrologi dan Geoteknik*, (6) *Analisa Hasil Forensik Penerapan Manajemen Waktu pada Proyek Jalan Di Ruas Rancapanggung – Sarinagen Kabupaten Bandung Barat*, (7) *Improvement of Quality of Precipitated Material using Ethanol in SCU-CP Method for Soil Stabilisation*, (8) *Pembuatan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dari Crude Palm Oil (CPO) Off Grade dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi*, (9) *The Effect of Al-Zn Composition and Immersion Time in The Galvalume Process on Low Carbon Steel Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Rate*, dan (10) *Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Sebelum dan Setelah Pembangunan Underpass Dewi Sartika Kota Depok dengan Metoda Simulasi Vissim*

Redaksi menyampaikan rasa terima kasih kepada peneliti-peneliti untuk mempublikasikan hasil penelitiannya dalam Jurnal Teknik edisi 23 (2) ini. Tak lupa juga kami ucapkan terima kasih kepada Mitra Bestari yang telah membantu hingga Jurnal Teknik ini dapat diterbitkan. Redaksi senantiasa mengundang peneliti, perekayasa, dan para fungsional lain untuk memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang ilmu teknik. Kritik dan saran atas ketidak-sempurnaan dalam Jurnal Teknik sangat kami harapkan demi kemajuan dan penyempurnaan dalam terbitan selanjutnya. Semoga pemuatan karya dalam terbitan kali ini dapat menjadi pemicu peneliti-peneliti untuk melahirkan karya-karya lain dengan ide-ide original dan bermanfaat untuk masyarakat.

Cimahi, November 2024

Dewan redaksi

# The Analysis of GCP Correction Toward GNSS-PPK for Land Registration Base-map in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency

Niswah Selmi Kaffa<sup>1</sup>, Regita Faridatunisa Wijayanti<sup>2</sup>, Taufik Kusetiyohadi<sup>3</sup>, Hesekei Sijabat<sup>4</sup>,  
Tedy Pranadiarso<sup>1</sup>, Hilma Wasilah Robbani<sup>1</sup>, dan Gholiqu Amroth Alawy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Jember University, Jember, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Unitomo University, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup>PT. Zona Spasial, Bandung, West Java, Indonesia

<sup>4</sup>Ministry of Land Affairs and Spatial Planning of Indonesia, West Java, Indonesia

[selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id](mailto:selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id)<sup>1</sup>, [regita@unitomo.ac.id](mailto:regita@unitomo.ac.id)<sup>2</sup>, [taufik.kusetiyohadi@gmail.com](mailto:taufik.kusetiyohadi@gmail.com)<sup>3</sup>

## Abstrak

Persyaratan utama program Pendaftaran Tanah Sistematis Lengkap (PTSL) adalah peta dasar registrasi tanah skala 1:1000 dengan akurasi *horizontal* (CE90) kelas 1 sebesar 0,3 meter. *Global Navigation Satellite System – Post Processing Kinematic* (GNSS-PPK) dianggap memberikan akurasi yang baik tanpa koreksi GCP, karena itu dapat mengurangi biaya dan waktu akuisisi data. GNSS-PPK tanpa koreksi GCP dianggap akurat di daerah dengan elevasi <500 meter. Penelitian ini bertujuan mengetahui pentingnya koreksi GCP pada proses *Post Processing Kinematic* (PPK). Akurasi foto udara menggunakan GNSS-PPK dengan dan tanpa koreksi GCP akan dianalisis di daerah dengan ketinggian 200 – 430 meter. Data yang diperlukan dalam studi ini adalah foto udara, koordinat dalam file RINEX, Digital Terrain Model (DTM), dan 8 titik GCP. Koordinat dihitung menggunakan metode PPK kemudian digunakan untuk koreksi foto. Foto-foto kemudian diproses dengan dan tanpa koreksi GCP. Pengolahan data tanpa koreksi GCP memiliki deviasi yang lebih besar dibandingkan dengan data yang diproses dengan koreksi GCP dan tidak memenuhi ketentuan CE90. Perhitungan korelasi menunjukkan bahwa akurasi memiliki korelasi negatif terhadap elevasi sebesar -0,041 tanpa GCP dan sebesar -0,76 dengan GCP. Studi ini membuktikan bahwa metode GNSS-PPK masih memerlukan GCP dan tidak terbukti bahwa deviasi pada data tanpa koreksi GCP memiliki korelasi berbanding lurus dengan elevasi.

Kata kunci: Fotogrametri, GNSS-PPK, Ground Control Point, Peta Dasar

## Abstract

The Comprehensive Systematic Land Registration Program (PTSL) main requirement is land registration map in a scale of 1:1000 and horizontal accuracy (CE90) class 1 of 0,3 meters. *Global Navigation Satellite System – Post Processing Kinematic* (GNSS-PPK) provides good accuracy without Ground Control Point (GCP) correction, thus reducing cost and data acquisition time. GNSS-PPK without GCP correction is considered accurate in areas <500 meters elevation. This research aims to determine the GCP correction importance for photo accuracy in PPK process. This study analyzes aerial photo accuracy with and without GCP correction in areas with elevations from 200 to 430 meters. The data required are aerial photos, coordinates in RINEX files, Digital Terrain Model (DTM), and 8 GCP points. Coordinate files are calculated using the PPK method then used for photo correction. Photos are processed with and without GCP correction. Photo without GCP correction has a significant deviation than photo with GCP correction and does not meet the CE90 requirements. The accuracy has a negative correlation with an elevation of -0,041 without GCP and -0,76 with GCP. This study proves that GNSS-PPK method still requires GCP and it is not proven deviation in data without the GCP correction is directly proportional to elevation.

Keywords: GNSS-PPK, Ground Control Point, Basemap, Photogrammetry

## 1. Pendahuluan

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) is broadly applied as a photogrammetric measurement tool. The aircraft is equipped with a global navigation satellite system (GNSS) receiver and some sensors allowing autonomous navigation along the flight path plan, and enabling the user to product accuracy estimation (Eker et al, 2021). UAVs can be designated by their taking-off/landing structure and type. In this study, we used a Vertical Taking-off and Landing (VTOL) UAV which is categorized as a vertical starting system UAV (Siebert et al., 2014). UAVs

### Info Makalah:

Dikirim : 08-01-23;  
Revisi 1 : 03-22-24;  
Revisi 2 : 04-23-24;  
Diterima : 06-06-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : -  
e-mail : [selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id](mailto:selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id)

photogrammetry is based on high-resolution overlapped photos to generate digital elevation models (DEMs) and orthophotos using structure-from-motion (SfM). SfM is a method to generate three-dimensional model topography by overlapping 2D photos acquired from many areas and orientations (Eker et al, 2021). Mapping with UAVs has become one solution for mapping diverse terrain in Indonesia. This mapping technology has evolved from large, expensive manned aircraft platforms to very small and affordable UAVs. It is a reliable alternative for producing high-

resolution digital aerial photo-based maps that can combine terrestrial mapping methods, are cost-efficient, and are easy to implement (Junarto et al., 2020).

The use of well-rectified maps facilitates the implementation of land boundary delineation (Junarto et al., 2020). Error in land registration can have long-term impacts, such as land disputes arising from discrepancies between digital data and on-site conditions. An error of just one meter can lead to issues in identifying land ownership. Remote sensing photos generated from satellites or aircraft are geometrically distorted due to platform movement. The aircraft movement is credited by local atmospheric disturbances. Therefore, a geometric correction is required. The geometric correction can be done by GNSS-tagged imagery or by utilizing ground control points (GCPs) (De Leeuw., 1988; Tomastik et al., 2019). UAV-based photogrammetry georeferencing is mostly executed using GCPs. GCPs are visible location points in the photos and the coordinates are known. GCPs georeferencing has proven to achieve high accuracy in high-resolution photos (James et al., 2017). The use of GCPs can provide reliable positioning. The GCPs are used to judge the correction function (Konecny, 1976). However, GCP number and spatial distribution can influence model accuracy, more GCP leads to a smaller residual (Zhang et al., 2019; De Leeuw., 1988). The GCPs selection must be accomplished precisely. The GCPs must be assigned evenly over the location of the photo (De Leeuw., 1988). GCPs are mostly measured using the real-time kinematic (RTK) method, tied to the nearby base station, or with Continuously Operating Reference Station (CORS) differential correction. These methods accuracy are 1-2 cm in horizontally and 2-3 cm vertically.

The previous research conducted by Junarto et al (2020) implemented GCP to create well-rectified maps facility for PTSL (land registration) program. Research conducted by Mian et al (2015) using a single GCP to generate an orthophoto. The accuracy achieved from the flight was 5 centimeters RMS horizontal for the ortho products, 3 centimeters RMS horizontal, and 11 centimeters RMS vertical for stereo products, using single GCP, image end-lap, and side-lap of 60% and 40% respectively, and one cross strip (Mian et al., 2015). Another previous research conducted by Eker et al (2021) estimated the UAV RTK/PPK accuracy procedure for mapping different surfaces, the RTK/PPK accuracy procedure without GCPs, and determined whether the GCPs application is still required for accuracy improvement. Based on this research, it was found that PPK-GNSS provides good accuracy in camera location and the GCPs application in the photo-alignment and optimization procedure did not have a significant impact on computed camera location error level. The PPK procedure gave the best result compared to other methods discussed in this study. Elevation has an essential effect on accuracy. The accuracy level decreases in the location of more than 500 m. Dinkov et al (2020) also used PPK for accurate georeferencing photos gained by UAVs. This study was conducted in urban conditions. The results were gained in centimeters accuracy without any GCPs at the scale of 1:1000 orthophoto and 1:5000 digital elevation.

Therefore research aims to analyze the influence of GCPs on a GNSS-PPK photogrammetry of an area with an altitude of less than 500 meters. This research is a further study from previous research conducted by Wijayanti et al (2023). The study is in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency, West Java, Indonesia with an altitude of 200 – 430 meters. The research will analyze whether or not the GCP correction is essential for the GNSS-PPK method photogrammetry to fulfill the Indonesia land registration base map regulation using a statistical method that has never been researched before.

## 2. Method

A huge number of GCPs are mostly used in the conventional method. Unlike the conventional method, direct georeferencing is the airborne mapping sensor's direct measurement therefore each pixel can be georeferenced to the earth's surface without any ground information acquired on the field (Dinkov et al., 2020). It can be done by employing data collected by GNSS integrated with inertial sensor measurements attached to the mapping sensor (Eker et al., 2021). Mian et al (2015) proved that direct georeferencing allows the production of accurate map from UAV photos using a single GCP and with minimum overlap and side lap; it also shrinks time required. In RTK mode, the camera position is determined with the accuracy of centimeters in real-time during the flight. In PPK mode, as an alternative of RTK, all correction calculations are done post-flight (Eker et al, 2021). The GNSS observation datas are stored in a log file in RINEX (Receiver Independent Exchange) extension (Taddia et al., 2020). The idea of using RTK/PPK methods in UAV photogrammetry is to minimize the GCPs needed (Eker et al, 2021). Therefore, this method can conduct less field activity and georeferencing cost, time and resources saving due to GCPs needed. Direct georeferencing is suitable in which it is not possible to measure any GCP. This method eliminates the GCP needed by enabling high-resolution photos to be generated. The prime feebleness is the systematic errors and accuracy height, which can be solved by applying 1 to 3 GCPs (Dinkov et al, 2020).

The RMSE value can be used to establish an objective criterion to compare the relative accuracy between different photogrammetric projects (Carvajal-Ramirez, 2016). The root means square of planimetric information can be calculated using the formula (Dinkov et al., 2020; Carvajal-Ramirez, 2016):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_1^2}{n}} \quad (1)$$

Where  $\Delta x$  is the gap between reference coordinates and the coordinates generated from the remote sensing data and  $n$  is the number of GCPs.

The aerial photography was acquired on December 14, 2022, with a mean altitude of  $\pm 244$  meters over  $9.46 \text{ km}^2$  using a Fixed-Wing Vertical Take-off Landing (VTOL) UAV model equipped with a Sony ILCE-6000 camera with a maximum resolution of  $6000 \times 4000$  and effective pixel of 24 megapixels. Rotary-winged (familiar as multi-copter or VTOL – Vertical Take-off & Landing) UAVs tend to be developed for shorter flight times, lower altitude operation, and small surveys area (Eker et al, 2021). The VTOL was equipped with GNSS-PPK referred to as Continuously Operating Reference Station (CORS) at  $7^{\circ}15'48.7274''$  S and  $108^{\circ}21'51.6431''$  E in elevation of 339.3152 meters an antenna height of 0.09 m. The flight was done three times to cover 800 Ha ( $\pm 25$  minutes for each flight).



Figure 1. VTOL UAV

Indirect geo-referencing involves measuring visible reference targets placed on the ground in the area of interest before flight. If these targets are absent, fixed environment features like manhole covers or road markings can serve the same purpose. These reference points require surveying through methods like differential GPS or tachymetry. During data processing, manual identification of reference points in the software's model is necessary. Measured target coordinates are then aligned with the model, and a spatial transformation geo-references the entire model. A minimum of three reference points is required, though using more is recommended (Siebert et al., 2014). Eight GCPs are evenly distributed over the study area. The GCPs were further used to perform geometric correction.

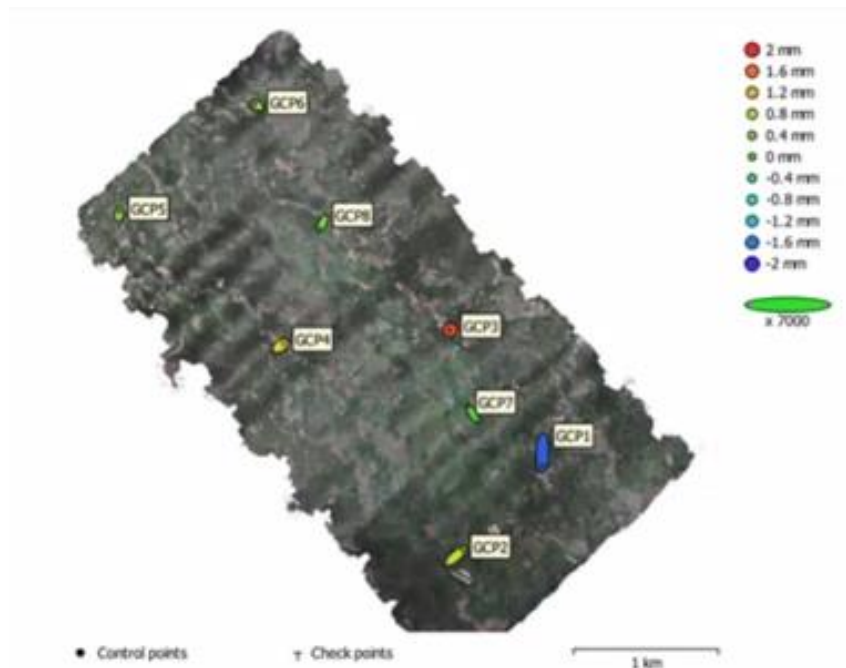


Figure 2. The GCPs Location

Table 1. GCPs Location

Name	Northing	Easting	Elevation (mdpl)
GCP1	9195501	209567	285.730
GCP2	9194913	209016	251.091
GCP4	9196341	207780	368.031
GCP5	9197253	206647	407.240
GCP6	9197996	207582	412.143
GCP8	9197136	208031	388.616
GCP3	9196437	208927	359.251
GCP7	9195907	209058	332.278

This research ignores the vertical accuracy due to Indonesia land registration base map regulation which is highly concerned with horizontal accuracy. The horizontal accuracy was calculated twice with and without the GCPs correction and then plotted in Table 2 to determine whether or not the product fulfills the Indonesia land registration base map regulation.

Table 2. Accuracy Assessment

No	Scale	Contour Interval (m)	RBI Map Accuracy					
			Class 1		Class 2		Class 3	
			Horizontal (CE90 in m)	Vertical (LE90 in m)	Horizontal (CE90 in m)	Vertical (LE90 in m)	Horizontal (CE90 in m)	Vertical (LE90 in m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

The coordinate generated from this data acquisition is in the form of a Receiver Independent Exchange Format (RINEX) file. The coordinate file was then computed using Emlid Studio software to generate the coordinates recorded from the GNSS. The coordinates are then attached to the photo file using Agisoft Metashape software then the photo mosaic can be aligned. The highest accuracy setting was used in this process. The process was done twice with and without GCP correction.



This research takes place in Muktisari Village, Cipaku District, Ciamis Regency, West Java, Indonesia. Based on the Indonesian Central Statistic Bureau (2020), Muktisari is the widest village in the Cipaku district of 9.28 km<sup>2</sup>. Muktisari village is located 250 meters above mean sea level and is mostly covered by vegetation. The Muktisari village is located at a latitude of -7.2617861 and a longitude of 108.3806875. The study area location can be seen in Figure 3.

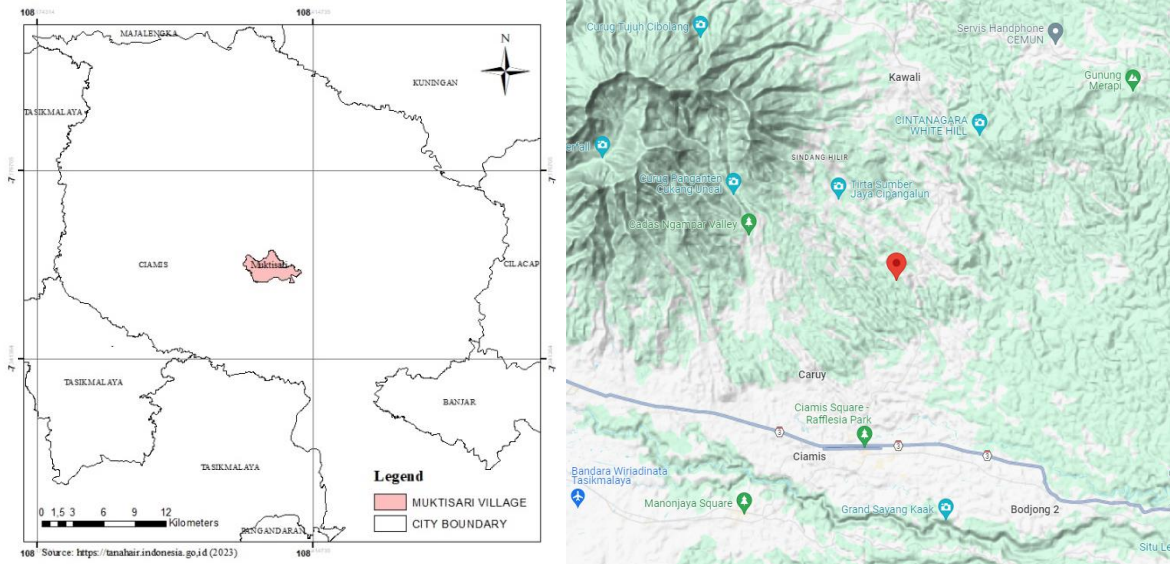


Figure 3. Study Location

Correlation analysis gauges variable relationship strength. Calculating the correlation coefficient is a common initial step in statistically analyzing environmental data to describe pairwise variable association. Scatterplots best visualize the two-variable relationship. The correlation coefficient is computed from symmetric coordinates, encapsulating all relevant information about the elements. Classical correlation analysis, ideally using log-transformed data, remains applicable for comparing two independent datasets (Reimann et al, 2017). Scatterplots offer a fundamental way to visually assess the correlation between two variables. In this approach, each axis signifies a variable, and plotted points mark an individual's observed value. Deviation from a straight line in the point cloud indicates correlation strength. To analyze multiple variables, a scatterplot matrix (SPLOM) generates a concise view, presenting all potential variable combinations (McKenna et al., 2016).

Pearson's correlation coefficient, a widely employed measure, gauges linear relationships between variables. Its broad application includes identifying disease-related genes and intricate sociological interactions. Visualizing pairwise correlations aims to inspire novel hypotheses for investigation. Pearson's correlation equals the cosine of the angle between mean-centered variables. The Pearson correlation formula is defined as

$$\hat{r}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

The coefficient of determination, R<sup>2</sup> (or "R squared"), is a crucial metric signifying the model's ability to explain variation in the response variable using a set of predictors. It gauges the predictive capability of these predictors and aids in selecting the best set when the model size (number of predictors) remains constant. R<sup>2</sup> is widely employed to assess the goodness-of-fit of underlying models in practice (Zhang, 2017).

### 3. Result and Discussion

The error analysis is employed through target-to-actual comparison, with target coordinates determined by tachymeter measurements and actual coordinates derived from the photogrammetric surface model (Siebert et al., 2014). The input in this RMSE is the distance between the premark on the photo to the GCPs coordinate generated. Premark is the location on the field where the GCP measurement was located. The location will be marked with a contrast color, length of 10 pixels, and width of 3 pixels therefore the premark can be seen through the photos taken by the vehicle. The closer the distance between GCPs coordinates to the premark, the more accurate the orthophoto is, and vice versa.

Figure 4 and Figure 5 show the examples of pictures with and without GCP correction. Due to the page limitation, we only show the example of the GCP3 location which has the highest deviation.



Figure 4. Orthophoto without GCPs Correction



Figure 5. The Orthophoto with GCPs Correction

Based on Figure 4 and Figure 5 we can conclude that the orthophoto without GCPs correction is less accurate compared to the orthophoto with GCPs correction. The deviation between the premark and the GCP 3 coordinate is 19.25 meters for the orthophoto without GCPs correction and 0.06 meters for the orthophoto with the GCPs correction. This site is located at an altitude of 359.251 meters and shows the biggest deviation of all. The magnitude of this deviation is considered fatal especially the orthophoto output further will be used as a basemap in plotting land parcels. The error of more than 0.3 meters cannot be tolerated as it can lead to errors in the issuance of land ownership certificates which in the future can lead to community tension.

The deviation calculation of eight GCP locations can be seen in Table 3 below:

Table 3. Deviation Calculation

Name	Northing	Easting	Elevation	Without GCPs	With GCPs
GCP 1	9195501	209567	285.730	10.92	0.50
GCP 2	9194913	209016	251.091	12.80	0.44
GCP 4	9196341	207780	368.031	19.23	0.03
GCP 5	9197253	206647	407.240	13.45	0.09
GCP 6	9197996	207582	412.143	4.29	0.03
GCP 8	9197136	208031	388.616	12.37	0.16
GCP 3	9196437	208927	359.251	19.25	0.06
GCP 7	9195907	209058	332.278	13.61	0.15

Based on Table 3 the average deviation is 13.24 meters for orthophoto without the GCPs correction and 0.1825 meters for orthophoto with GCPs correction. The RMSE is 4.45 meters for orthophoto without GCPs correction and 0.17 meters for orthophoto with GCPs correction. The orthophoto without GCPs correction RMSE result indicates that the product cannot be used for the Indonesia land registration base map due to the regulation to create a map in



the scale of 1:1000 and class 1 which has a maximum CE90 of 0.3 meters. Therefore, it is not proven that GNSS-PPK photogrammetry at an altitude of less than 500 meters is accurate without any GCPs correction. However, well distributed eight GCPs correction is enough to create a land registration basemap on the scale of 1:1000, and class 1 referred to Indonesia land registration basemap regulation.

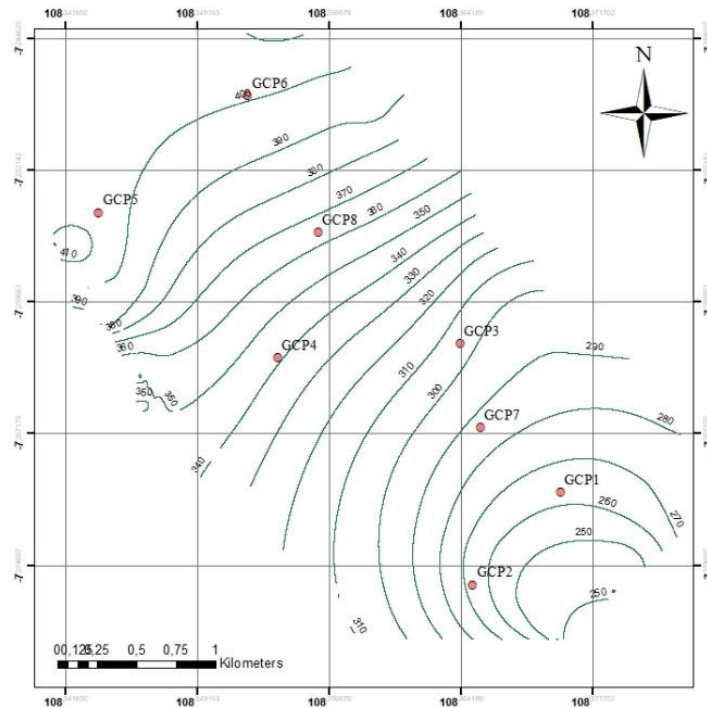


Figure 6. The GCPs Distribution to Elevation Model

The deviation error is suspected to be influenced by the elevation. Based on Eker et al (2021) elevation difference also has an essential effect on accuracy. The area with an elevation of more than 500 m comes out with worse accuracy. Pearson's correlation and coefficient determination ( $R^2$ ) are calculated in this study to estimate how elevation influences the photogrammetry position. The hypothesis is higher elevation correlates to higher RMSE due to uneven surface. It was thought that uneven surfaces could not be estimated precisely by the photogrammetric method.

Based on Figure 6 we can see that the GCP's elevations are between about 250 to 420 meters. The coefficient of determination between the deviation was calculated using the scatterplot method and show the result below:

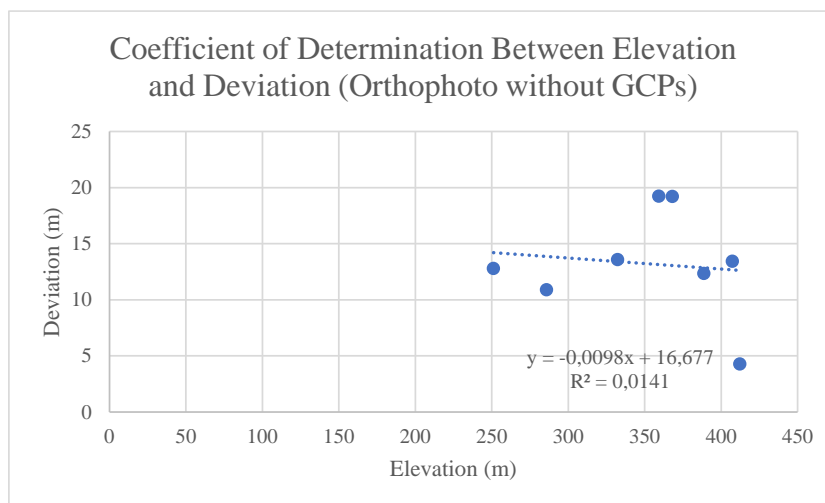


Figure 7.  $R^2$  Elevation to Orthophoto without GCPs Deviation Graph

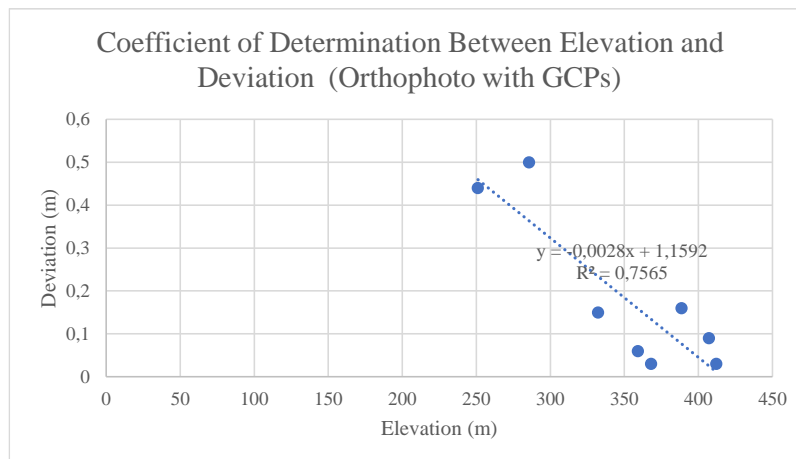


Figure 8. R<sup>2</sup> Elevation to Orthophoto with GCPs Deviation Graph

Based on Figure 7 we can see that the R<sup>2</sup> of elevation to deviation is 0.014 (very weak) for orthophoto without GCPs and based on Figure 8 we can see the R<sup>2</sup> of elevation to deviation is 0.7565 (very strong) for orthophoto with GCPs. Both data show a negative correlation between elevation to deviation. It means that the higher elevation led to less deviation and vice versa. Pearson's correlation result is -0,11873 for orthophoto without GCPs and -0,8697 for orthophoto with GCPs.

R<sup>2</sup> and Pearson's correlation result show a negative correlation which means higher elevation doesn't correlate to higher RMSE. It needs further study how higher elevation can create lower error compared to lower elevation. The orthophoto with GCPs shows a better correlation to elevation compared to the orthophoto without GCPs correlation. Indirectly this shows that orthophoto with GCPs correction has better performance compared to orthophoto without GCPs correction. Research conducted by Nagendran et al (2018) also concluded that the photo with GCP can tie up nicely when overlaid with the orthophoto of both conditions (with and without GCPs) in a Google Earth file (KMZ). Therefore, GCP is necessary to produce photogrammetric output that has a good accuracy in height variation (Nagendran et al., 2018).

## Conclusion

Data processing without GCP correction showed an RMSE of 4.45 m and a mean deviation of 13.24 meters while the data processing with eight GCP corrections showed an RMSE of 0.17 m and a mean deviation of 0.18 meters. The R<sup>2</sup> of horizontal deviation to elevation orthophoto without GCPs showed a negative correlation of 1.41% (very small) and a Pearson correlation of -0,11873. While orthophoto with GCPs correction has R<sup>2</sup> of 75.65% (strong) and Pearson's correlation of -0,8697. Therefore, this study proved that the GNSS-PPK method installed on the UAV for aerial photographs still requires GCPs. The results obtained from the analysis of R<sup>2</sup> and Pearson's correlation indicate a negative correlation, suggesting that there's no direct relationship between higher elevation and higher Root Mean Square Error (RMSE). This unexpected finding prompts the need for a more in-depth investigation into how higher elevations could potentially lead to lower errors compared to lower elevations. Furthermore, when comparing the correlation between elevation and orthophotos with Ground Control Points (GCPs) and those without GCPs, a significant difference emerges. The orthophotos with GCPs exhibit a stronger correlation with elevation, indicating a more accurate representation of the terrain. This indirectly implies that orthophotos corrected with GCPs perform better than those without such correction. In essence, these findings highlight the importance of incorporating GCPs in orthophoto correction processes, as they contribute to better alignment with actual terrain elevation. Further exploration into the mechanism behind the unexpected correlation between elevation and RMSE at different elevations is necessary to fully understand and leverage this phenomenon for improved accuracy in elevation mapping and related applications.

## Acknowledgment

This article is supported by the National Land Agency West Java Regional Office, PT Zona Spasial, and Ikatan Surveyor Indonesia.

## Reference

Carvajal-Ramirez, Fernando., Aguera-Vega, Francisco., Martinez-Carricondo, Patricio J (2016) Effect of image orientation and ground control points distribution on unmanned aerial vehicle photogrammetry project on a road cut slope. *J. Appl. Remote Sens.* 10(3), 034004

- De Leeuw, A.j., Veugen, L.M.M., Van Stokkom, H.T.C (1988) Geometric correction remotely-sensed imagery using ground control points and orthogonal polynomial, *International Journal of Remote Sensing*, 9:10-11, 1751-1759
- Dinkov, Davis., Kitev, Atanas (2020) Advantages and applicability of GNSS post-processing kinematic (PPK) method for direct georeferencing of UAV images. *Proceeding Vol. 1, 8<sup>th</sup> International Conference on Cartography and GIS*
- Eker, Remzi., Alkan, Ece., Aydin, Abdurrahim (2021) A comparative analysis of UAV-RTK and UAV-PPK methods in mapping different surface types. *Eur J Forest Eng*, 7(1): 12-25
- James, M.R., Robson, S. and Smith, M.W (2017) 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. *Earth Surf. Process. Landforms*, 42(12), 1769-1788
- Junarto, R. and D. Djurjani (2020). "Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Pemetaan Kadaster." *BHUMI: Jurnal Agraria dan Pertanahan* 6(1).
- Kecamatan Cipaku dalam Angka* (2020) *Badan Pusat Statistik Kabupaten Ciamis* (Indonesian Central Statistic Bureau) <https://tanahair.indonesia.go.id> (access: January 2023)
- Konecny, G (1976) Mathematische Modelle und Verfahren zur geometrischen Auswertung von Zeilenabtaster-Aufnahmen. *Bildmessung und Luftbildwesen*, 44, 188-197.
- McKenna, S., et al. (2016). "s-CorrPlot: An Interactive Scatterplot for Exploring Correlation." *Journal of Computational and Graphical Statistics* 25(2): 445-463.
- Mian, O., Lutes, J., Lipa, G., Hutton, J.J., Gavelle, E., Borghini, S (2015) Direct georeferencing on small unmanned aerial platforms for improved reliability and accuracy of mapping without the need for ground control points. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XL-1/W4*
- Nagendran, S. K., et al. (2018). "Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 169.
- Reimann, C., et al. (2017). "A new method for correlation analysis of compositional (environmental) data - a worked example." *Sci Total Environ* 607-608: 965-971.
- Siebert, S. and J. Teizer (2014). "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system." *Automation in Construction* 41: 1-14.
- Taddia Y, Stecchi F, Pellegrinelli A (2020) Coastal mapping using DJI Phantom 4 RTK in post-processing kinematic mode. *Drones* 4: 9
- Tomastik, J., Mokros, M., Surovy, P., Grznarova, A., Merganic, J (2019) UAV RTK/PPK method-An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? *Remote Sensing*, 11: 721
- Wijayanti, R. F., et al. (2023). "Utilizing Post Processing Kinematic (Ppk) Unmanned Aerial Vehicle (Uav) to Accelerate Detailed Land Mapping." *Jurnal Geosaintek* 9(3).
- Zhang, D. (2017). "A Coefficient of Determination for Generalized Linear Models." *The American Statistician* 71:4: 310-316.
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., Van Oost, K., (2019) Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surf Dyn*, 7: 807-827.

# Study Tentang Konsentrasi Pegawai FTM Berdasarkan Suhu, *Body Mass Index*, Lama Pemakaian Masker, dan Usia Menggunakan Fasilitas Ruang Iklim

Hermita Dyah Puspita, Rida Norina, dan Budi Astuti

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

[hermitadp@yahoo.com.sg](mailto:hermitadp@yahoo.com.sg), [rida.reza.raffa@gmail.com](mailto:rida.reza.raffa@gmail.com), [tuti\\_wawi@yahoo.co.id](mailto:tuti_wawi@yahoo.co.id)

## Abstrak

COVID-19 telah terjadi dengan penyebaran virus yang begitu cepat di tempat orang berinteraksi sosial. Penularan melalui aerosol tidak dapat diabaikan terutama pada ruangan tertutup dimana tempat orang yang terinfeksi menghabiskan waktu lama dengan orang lain yang penuh sesak dan ventilasinya yang tidak memadai. Penggunaan masker merupakan langkah pencegahan penularan virus yang menjadi penyebab terjadinya penyakit COVID-19 dari orang ke orang. Kekhawatiran bahwa karbondioksida mungkin dapat menumpuk di masker dari waktu ke waktu, dapat menyebabkan masalah medis yang berkaitan dengan sistem pernapasan dan dapat menyebabkan masalah lainnya seperti konsentrasi dalam bekerja. Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen tentang studi konsentrasi berdasarkan lingkungan fisik kerja yang terdiri dari suhu tempat bekerja, *Body Mass Index*, , lama pemakaian masker dan usia. Konsentrasi dapat diukur dengan *reaction time* yang terdiri dari visual, audio dan motorik dengan metode desain faktorial. Hasil penelitian menunjukkan terdapat hubungan antara konsentrasi yang di wakili oleh waktu reaksi yang dihasilkan responden dengan suhu, BMI, usia responden dan Jenis reaksi (Visual, audio dan motorik). Berdasarkan analisis faktorial dapat disimpulkan bahwa suhu, usia, BMI dan jenis reaksi berpengaruh terhadap waktu reaksi dengan taraf signifikansi 5%.

Kata kunci: suhu tempat kerja, BMI, lama pemakaian masker, konsentrasi, *reaction time*

## Abstract

COVID-19 has spread rapidly in places where people interact socially, with aerosol transmission being a significant concern, especially in enclosed spaces where infected individuals spend extended periods with others in crowded and poorly ventilated conditions. The use of masks is a preventive measure against the spread of the virus that causes COVID-19. Concerns have been raised that carbon dioxide may accumulate in masks over time, potentially leading to respiratory issues and other problems such as impaired concentration at work. This research aims to conduct an experiment to study concentration based on the physical work environment, including factors such as room temperature, Body Mass Index (BMI), duration of mask use, and age. Concentration will be measured through reaction time, which includes visual, auditory, and motor components, using a factorial design method. The results of the study indicate a significant relationship between the concentration, represented by the reaction time of the respondents, and several factors: temperature, BMI, age of the respondents, and type of reaction (visual, auditory, and motor). Based on factorial analysis, it can be concluded that temperature, age, BMI, and type of reaction all influence reaction time at a significance level of 5%.

Keywords: work physical environment, duration of wearing masks, concentration, reaction time

## 1. Pendahuluan

Upaya pemerintah untuk melindungi rakyatnya dari Covid-19 dengan mengeluarkan kebijakan yang dapat menurunkan kasus Covid-19, diantaranya dengan mensosialisasikan gerakan 3M, yaitu mencuci tangan, memakai masker dan menjaga jarak atau yang dikenal dengan *social distancing*. Penggunaan masker merupakan langkah populer yang diambil untuk pencegahan bertambahnya penularan virus dari orang ke orang. Pada Penelitian (Geiss, 2020) membahas tentang konsentrasi karbondioksida di zona pernapasan yang diukur saat memakai masker bedah, KN95 dan masker kain untuk pekerjaan kantor, berjalan lambat dan berjalan cepat. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti diantara ketiga jenis masker tersebut dan tidak memiliki efek toksikologi. Namun, konsentrasi karbondioksida dalam kisaran yang terdeteksi dapat menyebabkan gejala yang tidak

### Info Makalah:

Dikirim : 09-25-23;  
Revisi 1 : 05-16-24;  
Revisi 2 : 07-22-24;  
Revisi 3 : 08-13-24;  
Diterima : 08-16-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62878-2126-4458  
e-mail : [rida.reza.raffa@gmail.com](mailto:rida.reza.raffa@gmail.com)

diinginkan, seperti kelelahan, sakit kepala, dan kehilangan konsentrasi. Kekhawatiran bahwa karbondioksida mungkin dapat menumpuk di masker dari waktu ke waktu, dapat menyebabkan masalah medis yang berkaitan dengan sistem pernapasan yang dapat menyebabkan masalah lainnya seperti konsentrasi dalam bekerja. Penelitian mengenai jenis masker, lama pemakaian masker, usia dan jenis reaksi (berupa rangsangan visual, audio dan motorik) dengan variabel responsnya yaitu berupa kecepatan waktu respons yang dihasilkan responden telah dilakukan oleh peneliti pada tahun 2021. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara lama

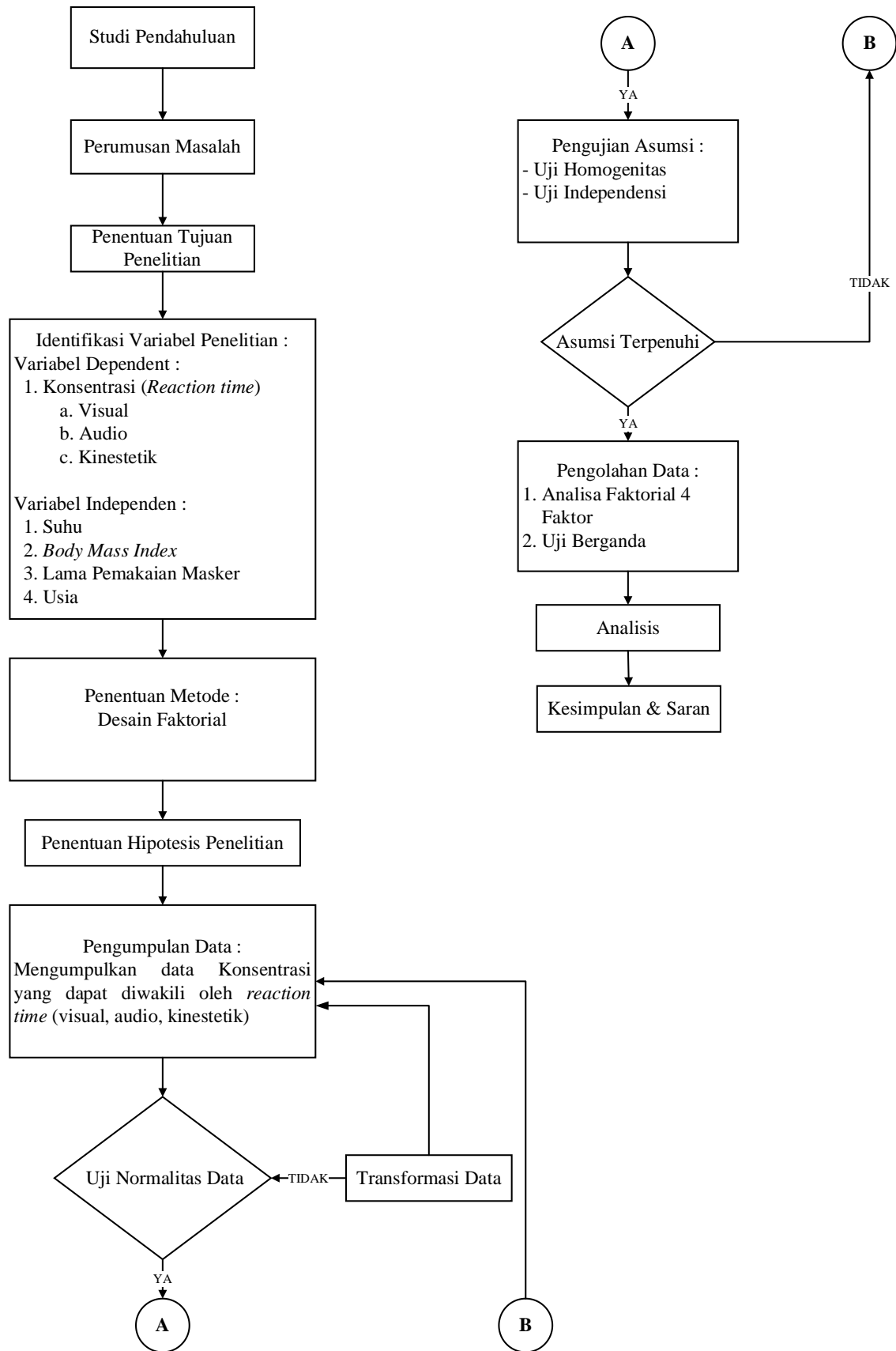
pemakaian masker, usia dan waktu reaksi yang dihasilkan dari tiap (Puspita & Norina, 2023). Kekurangan pada penelitian terdahulu adalah tidak melibatkan variabel lingkungan fisik kerja, seperti: suhu, pencahayaan dan kebisingan. Menurut (H. Iridiastadi, 2014), lingkungan yang tidak dirancang dengan baik akan berdampak pada kesehatan dan keselamatan pekerja. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan lingkungan kerja diantaranya pencahayaan, kebisingan dan temperatur lingkungan kerja. Pada penelitian (C.Liu G.Li Y.He, 2020) disimpulkan bahwa ternyata pemakaian masker berpengaruh terhadap kesehatan dan kenyamanan masyarakat. Menurut Peng Zang (Peng Zhang a.n., 2014) menyebutkan bahwa perubahan iklim khususnya suhu berpengaruh terhadap pengurangan produktivitas pekerja, bahkan Somanathan (E. Somanathan, 2021) membuktikan bahwa mengendalikan suhu ruangan kerja dapat berdampak pada produktivitas.

Menurut Gurusinga (Nilamsari, 2018), Kelelahan kerja merupakan faktor penyebab munculnya kecelakaan kerja. Faktor kelelahan kerja disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor internal individu pekerja dan faktor eksternal pekerja, seperti lingkungan kerja. Sedangkan menurut Bompa dalam penelitian (R. Andriani, 2019), definisi waktu reaksi adalah periode yang terjadi antara penerimaan rangsangan tertentu terhadap respons terkendali secara sadar yang dimulai dengan terjadinya reaksi otot yang menjadi gerakan pertama yang merupakan respons gerak ataupun respons motorik. Penelitian Mulyasari (R.S. Mulyasari and H, 2021) membuktikan konsentrasi manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu/temperatur, kebisingan, pencahayaan serta *body mass index*. Tetapi pada penelitian Mulyasari tersebut pengukuran konsentrasi tidak melibatkan penggunaan variabel pemakaian masker. Beberapa penelitian untuk mengetahui efektivitas tentang pemakaian jenis masker telah dilakukan oleh (C.Liu G.Li Y.He, 2020), (Straten, 2020) (Scheid, 2020). Sejalan dengan penelitian ini telah dilakukan oleh (S.handani, 2005) tentang faktor-faktor yang berhubungan dengan waktu reaksi rangsangan cahaya. (Scheid, 2020) membahas efek fisiologis dari pemakaian masker dalam jangka waktu tertentu, termasuk pertimbangan khusus, seperti pemakaian masker pada saat melakukan olahraga, dan juga mempertimbangkan individu dengan penyakit kronis yang sudah ada sebelumnya. Pada beberapa penelitian tentang masker Kesehatan sebelumnya belum membahas pengaruh pemakaian masker terhadap konsentrasi pekerja.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu, *body mass index*, lama pemakaian masker dan usia terhadap konsentrasi pekerja dilihat dari waktu reaksi yang dihasilkan oleh pekerja kantor di lingkungan Fakultas Teknologi Manufaktur. Penelitian ini memberikan rekomendasi tentang lama pemakaian masker ditinjau dari suhu lingkungan kerja, *body mass index* pekerja, lama pemakaian masker serta usia yang memberikan konsentrasi optimum pada pekerja kantor

## 2. Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode desain faktorial dengan empat faktor *independen*, yaitu: 1) Suhu yang digunakan di ruang iklim selama penelitian yaitu 18°, 24° dan 30°. 2) Usia responden diklasifikasikan pada usia <30 tahun, 30 – 45 tahun, dan > 45 Tahun. 3) Lama pemakaian masker dikondisikan 1 jam, 2 jam dan 3 jam. 4) BMI diklasifikasikan *over*, *less* dan normal. Sedangkan variabel respons atau variabel *dependen* dalam penelitian ini adalah waktu reaksi, yang terdiri dari waktu reaksi visual, waktu reaksi audio dan waktu reaksi kinestetik. Untuk Variabel *Body Mass Indeks* (BMI) diolah secara khusus dengan *one-way* ANOVA dikarenakan kebutuhan tentang data BMI kurang memadai. *One-way* ANOVA atau analisis varian merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata dari tiga atau lebih kelompok yang berbeda. Metode ini membandingkan variasi dalam kelompok dengan variasi antar kelompok untuk menilai apakah perbedaan rata-rata atau tidak. Langkah penelitian yang akan dilakukan digambarkan dalam skema pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Metodologi Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Karakteristik Responden

Karakteristik responden dalam penelitian ini adalah karyawan di Fakultas Teknologi Manufaktur yang terdiri dari 6 laki-laki dan 3 perempuan dengan detail data tersaji dalam tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Responden

BMI	Usia	Responden	Jenis Kelamin
<i>Less</i>	< 30 th	Mr. A	Laki-laki
Normal		Mr. B	Laki-laki
<i>Over</i>		Miss C	Perempuan
<i>Less</i>	30-45 th	Mrs. D	Perempuan
Normal		Mr. E	Laki-laki
<i>Over</i>		Mr. F	Laki-laki
<i>Less</i>	> 45 th	Mr. G	Laki-laki
Normal		Mr. H	Laki-laki
<i>Over</i>		Mrs. I	Perempuan

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Keterangan : BMI *Less* : indeks < 18,5, BMI Normal: indeks BMI 18,5-22,9.  
BMI *Over* : indeks BMI > 22,9 (Sumber : *World Health Organization*, 2006)

#### 3.2. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif untuk variabel waktu respons dapat dilihat secara detail pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Variabel	N	<i>Range</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>
	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>
Waktu reaksi	243	16,41 detik	5,14 detik	21,55 detik	10,0042 detik	2,567 detik
Valid N ( <i>listwise</i> )	243					

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Dari jumlah data waktu reaksi dengan total sebanyak 243 data dengan rentang data maksimal dan minimal adalah 16,41 detik, dengan data minimum 5,14 detik dan maksimal 21,55 detik, dengan rata-ratanya adalah 10,0042 detik dan standar deviasi nya adalah 2,567 detik

#### 3.3. Uji Asumsi

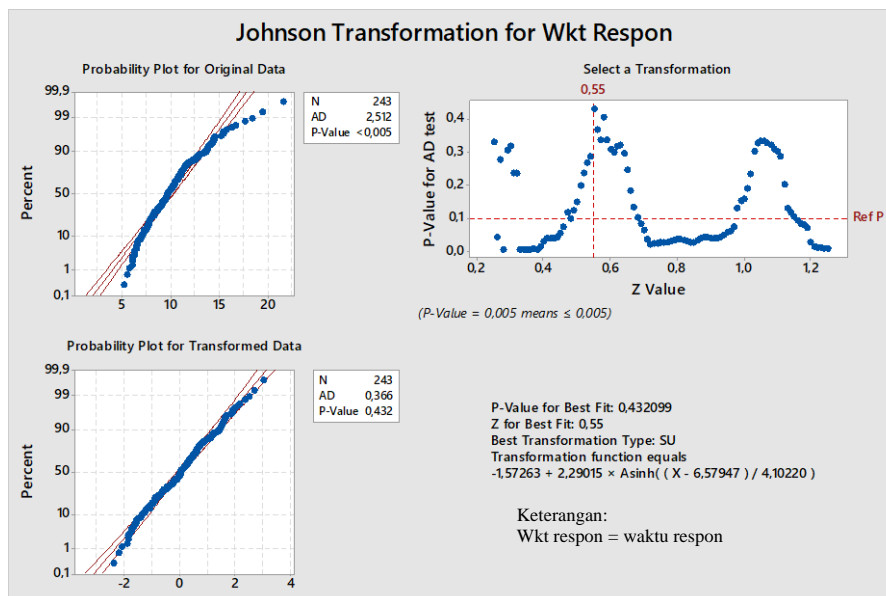
##### 3.3.1. Normalitas

(Walpole, 11) menjelaskan bahwa dalam penelitian eksperimen residual data harus memenuhi asumsi klasiknya, yaitu bahwa residual data harus identik, *independen* dan berdistribusi normal. Berkaitan dengan hal tersebut, residual harus diuji asumsinya. Hipotesis untuk uji normalitas menurut adalah :

$H_0$  : Residual data berdistribusi normal

$H_1$  : Residual data tidak berdistribusi normal





(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Gambar 2. Plot Residual dengan Johnson Transformation

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa  $H_0$  diterima  $H_1$  ditolak.

### 3.3.2. Uji Homogenitas

Uji ini untuk mendeteksi korelasi antara residual (Montgomery, 2013), sehingga kecenderungan adanya sisa positif dan negatif menunjukkan korelasi positif

$H_0$  : Residual antar kelompok homogen

$H_1$  : Residual antar kelompok tidak homogen

Tabel 3. Uji Homogenitas varians

Waktu Respon			
Levene Statistic	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	Sig.
2,562	2	240	,079

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Dengan  $\alpha = 5\%$  dari hasil perhitungan diperoleh nilai Sig = 0,079 jadi Sig hitung > 0,05 maka disimpulkan  $H_0$  diterima (Walpole, 1992)

Keterangan:

df<sub>1</sub> adalah derajat kebebasan dari 3 kelompok *body mass indeks*.

df<sub>2</sub> adalah derajat kebebasan dari banyak data yang terkumpul.

Sig. adalah probabilitas yang digunakan dalam pengujian hipotesis statistik untuk menentukan batasan dimana hipotesis nol akan ditolak

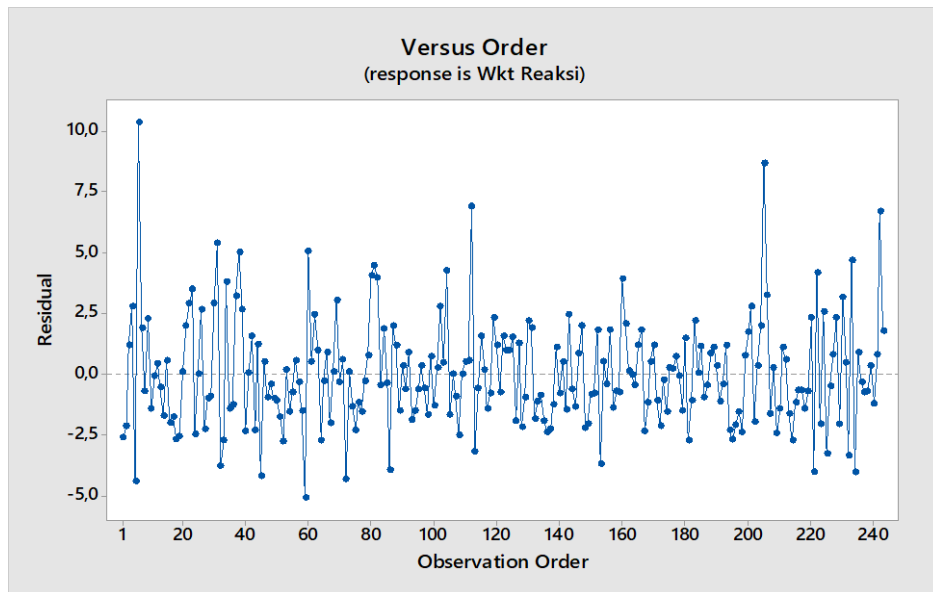
### 3.3.3. Uji Ketidakbergantungan

Uji ketidakbergantungan ini digunakan untuk memastikan bahwa ada atau tidaknya hubungan antara dua faktor yang sama memiliki skala pengukuran ordinal yang paling tingginya. Ketergantungan pengujian mungkin muncul ketika terdapat ketergantungan aliran data (A.Gambi, 2018). Maka hipotesis yang digunakan untuk uji ketidakbergantungan ini adalah :

$H_0$  : Residual data antar variabel saling tidak bergantung

$H_1$  : Residual data antar variabel saling bergantung

Gambar 3. Plot Residual Vs Waktu Pengamatan



(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Dari plot data di atas terlihat bahwa titik-titik data menyebar di atas dan di bawah, sehingga dapat diputuskan  $H_0$  diterima residual sehingga data antara variabel saling tidak bergantung (Montgomery, 2013)

### 3.4. One Way ANOVA Pengaruh BMI (*Body Mass Index*) terhadap variabel waktu respons

BMI yang merupakan kepanjangan dari *Body Mass Index*, adalah salah satu metode untuk mengetahui berat badan ideal yang dapat diukur berdasarkan perbandingan berat badan dalam satuan kilogram dan tinggi badan dalam satuan sentimeter. Tabel 4. berikut ini adalah tabel *One-way* ANOVA tentang BMI.

Tabel 4. ANOVA BMI

Waktu Respon					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	103,208	2	51,604	8,304	,000
<i>Within Groups</i>	1491,519	240	6,215		
Total	1594,728	242			

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Hipotesa pada penelitian ini adalah :

$H_0$  : Kategori BMI tidak mempengaruhi Waktu Respons

$H_1$  : Kategori BMI mempengaruhi Waktu Respons

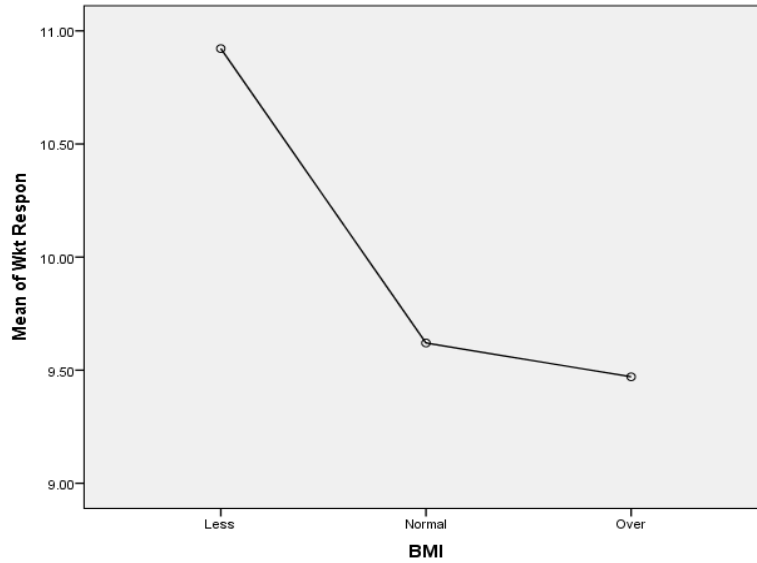
Tabel 5. *Multiple Comparisons*

*Dependent Variable:* Waktu Respon

LSD

(I) BMI	(J) BMI	<i>Mean Difference (I-J)</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Sig.</i>	<i>95% Confidence Interval</i>	
					<i>Lower Bound</i>	<i>Upper Bound</i>
Less	Normal	1,30173*	,39172	,001	,5301	2,0734
	Over	1,45111*	,39172	,000	,6795	2,2228
Normal	Less	-1,30173*	,39172	,001	-2,0734	-,5301
	Over	,14938	,39172	,703	-,6223	,9210
Over	Less	-1,45111*	,39172	,000	-2,2228	-,6795
	Normal	-,14938	,39172	,703	-,9210	,6223

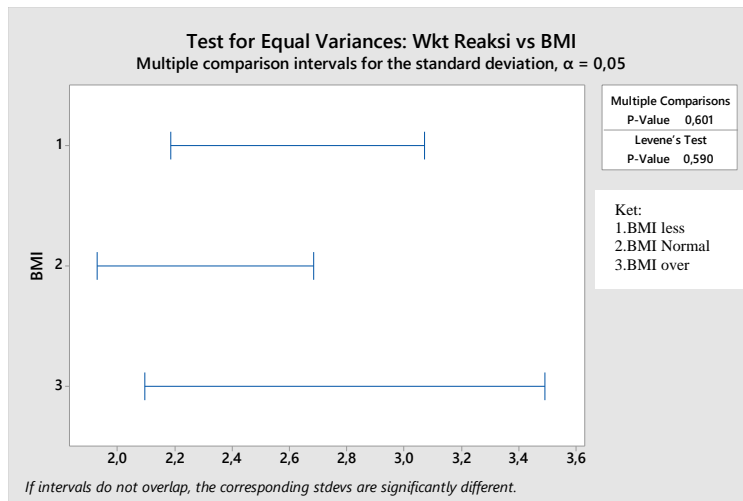
(sumber hasil pengolahan data, 2023)



(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Gambar 4. Plot *Mean BMI*

Pada gambar di atas menunjukkan nilai rata-rata waktu respons pada BMI *less*, normal dan *over*.



(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Gambar 5. Plot *Multiple Comparison* Waktu Reaksi dengan Kategori BMI

Tabel ini menunjukkan peluang data berada pada rentang kategori BMI *less* *confident* intervalnya (2,2-3,1) adalah (1- $\alpha$ ) jadi jika  $\alpha$  ditetapkan 5% maka peluang jatuhnya data waktu reaksi berada di antara 2,2 sampai 3,1 menit adalah 95% begitu juga untuk BMI kategori yang lain.

### 3.5. Desain Faktorial

(Menurut Montgomery,12) uji hipotesis untuk desain faktorial empat faktor adalah yaitu rata-rata waktu respons terhadap empat *variable independent* yaitu

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$H_1$  : Paling tidak salah satu *mean* tidak sama

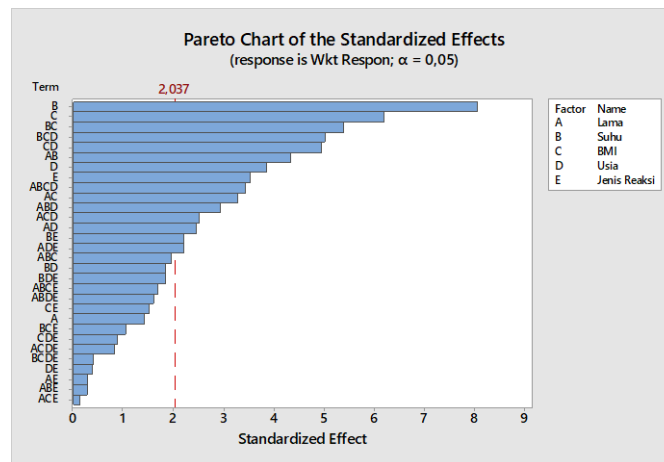
Tabel 6. *Analysis of Variance -Tests of Between-Subjects Effects*

*Dependent Variable: Waktu Respon*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	640,846 <sup>a</sup>	80	8,011	1,360	,051
Intercept	24320,604	1	24320,604	4130,428	,000
Lama	7,909	2	3,954	,672	,512
Suhu	180,093	2	90,047	15,293	,000
Usia	46,749	2	23,375	3,970	,021
Jenis_Reaksi	38,346	2	19,173	3,256	,041
Lama * Jenis_Reaksi	5,032	4	1,258	,214	,931
Suhu * Jenis_Reaksi	26,296	4	6,574	1,116	,351
Usia * Jenis_Reaksi	4,102	4	1,025	,174	,951
Lama * Suhu	72,711	4	18,178	3,087	,018
Lama * Usia	32,466	4	8,116	1,378	,244
Suhu * Usia	21,705	4	5,426	,922	,453
Lama * Suhu * Jenis_Reaksi	9,911	8	1,239	,210	,989
Lama * Usia * Jenis_Reaksi	42,700	8	5,338	,906	,513
Suhu * Usia * Jenis_Reaksi	35,994	8	4,499	,764	,635
Lama * Suhu * Usia	60,516	8	7,565	1,285	,255
Lama * Suhu * Usia *	56,315	16	3,520	,598	,882
Jenis_Reaksi					
Error	953,881	162	5,888		
Total	25915,332	243			
Corrected Total	1594,728	242			

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

a.  $R^2 = ,402$  (*Adjusted R Squared = ,106*)



(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Gambar 6. Pareto Chart Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Waktu Reaksi

Tabel 7. *Multiple Comparisons* Lama Pemakaian Masker

*Dependent Variable: Wkt Respon = waktu respon*  
LSD

Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
,3862	,38130	,313	-,3668	1,1391
,0070	,38130	,985	-,7459	,7600
-,3862	,38130	,313	-1,1391	,3668
-,3791	,38130	,322	-1,1321	,3738
-,0070	,38130	,985	-,7600	,7459
,3791	,38130	,322	-,3738	1,1321

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Tabel 8. *Multiple Comparisons Suhu*

Dependent Variable: Wkt Respon  
LSD

(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
18 Derajat	24 Derajat	1,2726*	,38130	,001	,5196	2,0255
	30 Derajat	2,0925*	,38130	,000	1,3395	2,8454
24 Derajat	18 Derajat	-1,2726*	,38130	,001	-2,0255	-,5196
	30 Derajat	,8199*	,38130	,033	,0669	1,5728
30 Derajat	18 Derajat	-2,0925*	,38130	,000	-2,8454	-1,3395
	24 Derajat	-,8199*	,38130	,033	-1,5728	-,0669

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5,888.

\*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Tabel 9. *Multiple Comparisons Usia*

Dependent Variable: Wkt Respon  
LSD

(I) Usia	(J) Usia	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
< 30 th	30 – 45 th	-,3754	,38130	,326	-1,1284	,3775
	> 45 th	-1,0595*	,38130	,006	-1,8125	-,3066
30-45 th	< 30 th	,3754	,38130	,326	-,3775	1,1284
	> 45 th	-,6841	,38130	,075	-1,4370	,0689
> 45 th	< 30 th	1,0595*	,38130	,006	,3066	1,8125
	30 – 45 th	,6841	,38130	,075	-,0689	1,4370

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Tabel 10. *Multiple Comparisons Jenis Reaksi*

Dependent Variable: Wkt Respon  
LSD

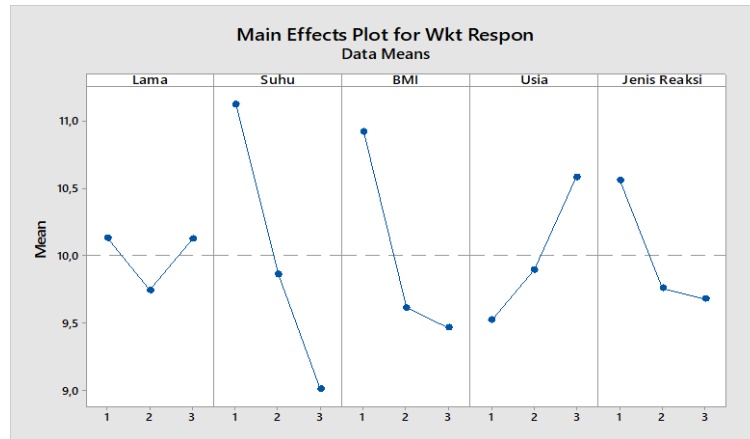
(I) Jenis Reaksi	(J) Jenis Reaksi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Audio	Visual	,8007*	,38130	,037	,0478	1,5537
	Motorik	,8791*	,38130	,022	,1262	1,6321
Visual	Audio	-,8007*	,38130	,037	-1,5537	-,0478
	Motorik	,0784	,38130	,837	-,6746	,8313
Motorik	Audio	-,8791*	,38130	,022	-1,6321	-,1262
	Visual	-,0784	,38130	,837	-,8313	,6746

(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 5,888.

\*. The mean difference is significant at the 0,05 level.



(sumber hasil pengolahan data, 2023)

Gambar 7. Plot Pengaruh Utama Faktor-faktor terhadap Waktu Respon (Waktu Reaksi)

Karakteristik responden dalam penelitian ini adalah karyawan di Fakultas Teknologi Manufaktur Unjani yang terdiri dari 6 laki-laki dan 3 perempuan dengan 3 kategori Usia, 3 kategori suhu, 3 kategori lama pemakaian masker dan 3 kategori Jenis Reaksi. Kategori usia pada penelitian ini adalah : < 30 tahun, 30-45 tahun dan > 45 tahun. Suhu yang digunakan dalam eksperimen ini adalah: 18°C, 24°C dan 30°C. Variabel lama pemakaian masker mempunyai tiga level, yaitu: 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Untuk kategori BMI tidak dianalisis menggunakan desain faktorial disebabkan karena keterbatasan data yang ada. Kategori BMI dianalisis menggunakan *one-way ANOVA*.

Berdasarkan rumus BMI, dapat ditentukan kategori BMI masuk dalam kategori normal, kurang (*Less*), lebih (*Over*) ataupun obesitas. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai BMI adalah memprosentasikan nilai berat badan terhadap nilai tinggi badan yang telah dikuadratkan. Keterangan di bawah ini adalah kategori BMI yang telah ditetapkan oleh :

Berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan WHO (prevention, 2027), BMI dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori yaitu:

- Indeks BMI < 18,5, di bawah normal
- Indeks BMI di 18,5 – 24,9, normal
- Indeks di 25 – 29,9, berlebih
- Indeks BMI > 30, obesitas

Untuk standar BMI orang Asia seperti Indonesia (J.K. Lim, 2017), maka kategorinya yang berlaku adalah :

- Indeks BMI < 18,5, di bawah normal
- Indeks BMI di 18,5 - 22,9, normal
- Indeks BMI di 23 - 24,9, berlebih
- Indeks BMI >25, obesitas.

Pada penelitian ini BMI hanya diklasifikasikan dalam tiga kategori saja, yaitu :

- BMI Kurang (*less*) untuk indeks BMI < 18,5
- BMI Normal untuk indeks BMI antara 18,5–22,9
- BMI Lebih (*over*) untuk indeks BMI 23

Asumsi yang harus dipenuhi pada metode desain faktorial adalah bahwa *residual* data harus berdistribusi normal, independen dan homogen.

Uji normalitas dilakukan untuk melihat apakah data yang telah diperoleh berdistribusi normal atau tidak. Analisis yang digunakan yaitu menggunakan plot probabilitas normal dari sisaan dan uji Kolmogorov Smirnov. Berdasarkan Gambar 2 di atas terlihat bahwa plot probabilitas dari residualnya menyebar pada daerah sekitar diagonal serta mengikuti arah garis. Hal ini menunjukkan bahwa residual data mengikuti distribusi normal diperkuat lagi dengan pengujian residual data setelah dilakukan Johnson Transformasi dengan *p-value* 0,432 dapat dikatakan residual data berdistribusi normal terpenuhi.

Uji independensi dapat ditunjukkan pada *scatter plot* di gambar 3. Terlihat bahwa terjadi penyebaran titik-titik data di atas dan di bawah, sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa data residual antar kelompok tidak saling bergantung.

Berdasarkan uji homogenitas dengan *levne statistics test* seperti pada tabel 3, diperoleh nilai *Asymp.Sig (2 tailed)* 0,079 > 0,05, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa variansi yang terjadi pada setiap kelompok adalah sama atau homogen.

Setelah residual data memenuhi uji asumsi yang dipersyaratkan, kemudian dilakukan uji statistik *One-way ANOVA* terhadap variabel data BMI. Berdasarkan tabel 4. dapat disimpulkan bahwa kategori BMI mempengaruhi waktu reaksi

karena  $\text{sig.} < 0,05$ . Sedangkan jika dilihat pada Tabel 5 tentang uji perbandingan berpasangan dapat dilihat antara indeks BMI *Normal* dengan indeks BMI *Over* mempunyai rata-rata waktu reaksi yang sama, sedangkan untuk rata-rata waktu reaksi kategori BMI *less* berbeda dengan rata-rata waktu reaksi kategori BMI *normal* dan BMI *over*. Hal tersebut juga diperkuat dengan melihat Gambar 4. bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara rata-rata waktu respons BMI *less* dengan BMI *normal* dan BMI *over*. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa BMI dengan kategori *Less* mempunyai waktu reaksi yang lama (lambat) dibandingkan dengan kategori BMI lainnya.

Percobaan faktorial dengan melibatkan empat faktor adalah suatu percobaan atau eksperimen yang menggunakan empat faktor dimana setiap faktor mengandung minimal dua level. Sedangkan untuk tingkat ketelitian untuk keempat faktor ini dianggap tidak berbeda atau sama. Rancangan faktorial ini bertujuan untuk mengetahui interaksi dari beberapa faktor yang dieksperimentasikan apakah respons yang ditimbulkan dalam suatu kejadian itu berpengaruh dominan atau interaksi bersamaan secara dari faktor tersebut (K.C.Kugler, 2018). Interaksi ini adalah keunggulan yang merupakan ciri dari percobaan faktorial jika dibandingkan dengan percobaan satu faktor, hal ini disebabkan percobaan dengan beberapa faktor dapat dimungkinkan untuk mengetahui apakah terjadi pengaruh interaksi antara faktor-faktor yang dieksperimentasikan. Definisi Interaksi adalah suatu *respon differensial (differensial response)* terhadap kombinasi faktor yang terjadi dengan bermacam level faktor baik kedua, ketiga, keempat maupun faktor kelima yang dilakukan secara seksama. Pengaruh kelima faktor beserta masing-masing interaksinya dapat dilihat pada gambar pareto yang ditunjukkan pada Gambar 6 serta pengaruh *main effect* terhadap variabel responsnya yaitu waktu reaksi. Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa hasil dari perhitungan F pada tabel tersebut menunjukkan bahwa Suhu, Usia dan Jenis Reaksi berpengaruh terhadap waktu reaksi yang dihasilkan responden dengan taraf signifikansi 5%, interaksi antara Lama pemakaian masker dan suhu juga mempengaruhi waktu reaksi dalam hal ini dikaitkan dengan konsentrasi yang dihasilkan responden dengan taraf signifikansi 5% .

Dengan melihat pada gambar 7 tentang plot Pengaruh Utama Faktor-faktor terhadap Waktu Reaksi di atas terlihat bahwa lama pemakaian masker tidak signifikan mempengaruhi rata-rata waktu reaksi responden. Sedangkan pada faktor suhu, BMI, usia serta jenis reaksi (baik itu audio, visual maupun motorik) terdapat perbedaan rata-rata yang cukup jelas sehingga dapat disimpulkan keempat faktor (suhu, usia, BMI dan Lama pemakaian masker) secara signifikan mempengaruhi rata-rata waktu respons responden.

Berdasarkan uji perbandingan berpasangan (*multiple comparison*) lama pemakaian masker yang ditunjukkan pada tabel 7 menunjukkan bahwa rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan untuk semua kategori lama pemakaian adalah sama.

Pada perbandingan berpasangan tabel 8 (suhu) di atas menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan responden pada tiap kategori suhu.

Sedangkan pada kategori usia seperti dapat dilihat pada tabel 9. menunjukkan bahwa rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan responden pada kategori usia di bawah 30 tahun ternyata sama dengan waktu respons yang dihasilkan oleh kategori usia 30-45 tahun. Rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan responden pada kategori usia lebih dari 45 tahun berbeda dengan kategori usia lainnya. Pada kategori jenis reaksi seperti dapat dilihat pada tabel 10 terlihat bahwa rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan responden pada jenis reaksi visual sama dengan rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan jenis reaksi motorik. Pada jenis reaksi audio menghasilkan rata-rata waktu reaksi yang berbeda dengan kategori visual dan motorik.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data maka didapatkan kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Hasil dari korelasi menunjukkan terdapat hubungan antara waktu reaksi (konsentrasi) yang dihasilkan responden dengan suhu, BMI, usia responden dan lama pemakaian masker
2. Dari perhitungan ANOVA pada metode analisa faktorial dapat disimpulkan bahwa suhu, BMI, lama pemakaian masker serta usia, berpengaruh terhadap waktu reaksi dari jenis reaksinya yang dihasilkan responden dengan taraf signifikansi 5%,
3. Lama pemakaian masker dalam penelitian sampai 3 jam tidak mempengaruhi konsentrasi responden
4. Dari hasil uji perbandingan berpasangan dengan metode LSD didapatkan kesimpulan bahwa terdapat perbedaan rata-rata waktu reaksi yang dihasilkan responden pada tiap kategori suhu, pada kategori usia lebih dari 45 tahun menghasilkan rata-rata waktu reaksi yang berbeda dengan kategori usia lainnya. Indeks BMI *Less* menghasilkan rata-rata waktu reaksi yang berbeda dengan kategori BMI lainnya dan Jenis Reaksi Audio memberikan hasil rata-rata reaksi yang berbeda dengan kategori jenis reaksi visual dan motorik.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada LPPM Unjani yang telah mendanai penelitian ini, terima kasih untuk Lab. Perancangan kerja dan ergonomi yang telah memfasilitasi eksperimen pada penelitian ini, dan terima kasih tak terhingga untuk para responden yang telah rela berada pada suhu yang dingin di rumah iklim.



## Daftar Pustaka

- A.Gambi, J. a. (2018). Practical Test Dependency Detection. *International conference on software testing, verification and validation*. Sweden.
- C.Liu G.Li Y.He, Z. Z. (2020). Effects of wearing masks on human health and comfort during covid-19 pandemic. *Earth and environmental science*.
- E. Somanathan, R. S. (2021). Impact of temperature on productivity and labor supply: evidence from indian manufacturing. *Journal of political economy*, 126, 1787-1826.
- Geiss, O. (2020). Effect of wearing Face mask on the carbon. *Taiwan Association for aerosol, European Commission, Joint Research Centre (JRC)*.
- H. Iridiastadi, Y. (2014). *Ergonomi*. Bandung: Rosda Karya.
- J.K. Lim, J. J. (2017). Comparison of world health organization and asia-pacific body mass index classifications in COPD patients. *International Journal of COPD*, 12, 2465-2475.
- K.C.Kugler, J. J. (2018). Coding and interpretation of effect in analysis of data from a factorial experiment. Dalam *Statistic for social behaviour sciences* (hal. 175-205). Chicago, USA: Argonne National Laboratory.
- Montgomery, D. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
- Nilamsari, S. N. (2018). Faktor yang berhubungan dengan kelelahan pada pekerja depo lokomotif pt. kereta api indonesia (persero). *journal of industrial hygiene and occupational health*, 3, 69-82.
- Peng Zhang a.n., O. D. (2014). Temperature effects on productivity and factor reallocation: evidence from a half million chinese manufacturing plants. *Journal Environmental Economic and Management*, 88, 1-17.
- prevention, d. o. (2027). *Body Mass Index: Consideration for Practitioners*. USA: safer.healthier.people.
- Puspita, H., & Norina, R. (2023). *Pengaruh masker kesehatan pada konsentrasi pekerja kantor di lingkungan fakultas teknologi manufaktur dan rekomendasi waktu pemakaian masker*. Bandung.
- R. Andriani, B. P. (2019). Uji psikomotor waktu reaksi pada siswa yang sarapan dan tidak sarapan. *Ameta Nutrition*, 3, 7-12.
- R.S. Mulyasari and H, D. P. (2021). Pengaruh body mass indexes dan lingkungan fisik kerja terhadap konsentrasi mahasiswa di ruang belajar ftm unjani Bandung. *INFOMATEK*, 23, 43-54.
- S.handani, S. a. (2005). Faktor faktor yang berhubungan dengan waktu reaksi rangsang cahaya pada tenaga kerja yang terpapar panas di PT. baja Kurnia Ceper Klaten. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 4, 27-32.
- Scheid, J. &. (2020). Physiological and Psychological impact of face mask usage during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 78, 6655.
- Straten, P. M. (2020). Sterilization of disposable face masks by means of standardized dry and steam sterilization processes; an alternative in the fight against mask shortages due to COVID-19. *Journal of Hospital Infection*, 105, 356-357.
- Walpole, R. E. (1992). Uji Hipotesa. Dalam *Pengantar Statistik* (hal. 516). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.

# Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan

Rafi Sugema, dan Robi Maulana

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

[rafi.sugema@student.unjani.ac.id](mailto:rafi.sugema@student.unjani.ac.id), [robim3084@gmail.com](mailto:robim3084@gmail.com)

## Abstrak

Perkerasan jalan lentur memiliki peran vital dalam pembangunan infrastruktur transportasi yang efisien dan ramah lingkungan. Di Indonesia, metode AASHTO 1993 telah lama digunakan sebagai pedoman standar dalam perencanaan tebal perkerasan. Namun, dengan hadirnya Manual Desain Perkerasan 2024 yang lebih adaptif terhadap kondisi lokal, evaluasi perbandingan antara kedua metode ini menjadi penting, terutama dalam mendukung kebijakan transportasi berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana masing-masing metode berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan, penggunaan material, dan efisiensi energi. Melalui *literature review* integratif, penelitian ini menemukan bahwa MDP 2024 menawarkan desain perkerasan yang lebih efisien dalam penggunaan material dan energi, sekaligus mendukung pengurangan emisi karbon. Namun, tantangan dalam penerapan teknologi ramah lingkungan dan keterbatasan data geoteknik masih perlu diatasi. Penelitian ini menyarankan penggunaan MDP 2024 untuk mendukung kebijakan transportasi yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: AASHTO 1993, MDP 2024, transportasi berkelanjutan, tebal perkerasan, dampak lingkungan

## Abstract

Flexible pavement plays a vital role in the development of efficient and environmentally friendly transportation infrastructure. In Indonesia, the AASHTO 1993 method has long been used as the standard guideline for flexible pavement thickness design. However, with the introduction of the 2024 Pavement Design Manual, which is more adaptive to local conditions, a comparative evaluation of the two methods is crucial, especially in supporting sustainable transportation policies. This study aims to analyze how each method contributes to reducing environmental impact, material usage, and energy efficiency. Through an integrative literature review, the study finds that MDP 2024 offers a more efficient pavement design in terms of material and energy usage while supporting carbon emission reductions. Nevertheless, challenges such as the adoption of eco-friendly technologies and the limited availability of geotechnical data still need to be addressed. This study suggests that MDP 2024 be utilized to support more sustainable transportation policies in Indonesia.

Keywords: AASHTO 1993, MDP 2024, sustainable transportation, pavement thickness, environmental impact

## 1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas merupakan kunci utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat di Indonesia. Salah satu komponen kritis dalam infrastruktur jalan adalah desain perkerasan yang bertanggung jawab terhadap ketahanan dan durabilitas jalan terhadap beban lalu lintas. Perkerasan jalan lentur, yang umum digunakan di Indonesia, membutuhkan perencanaan yang tepat untuk menjamin umur layanan jalan serta meminimalisasi biaya perawatan.

AASHTO 1993 telah lama menjadi pedoman standar internasional untuk desain tebal perkerasan jalan lentur. Namun, metode ini didasarkan pada uji empiris yang dilakukan di Amerika Serikat dan sering kali dinilai tidak sesuai dengan kondisi iklim tropis dan geoteknik di Indonesia (Huang, 2004). Di sisi lain, Manual Desain Perkerasan 2024 (MDP 2024) dikembangkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) sebagai standar baru yang disesuaikan dengan kondisi lokal, termasuk curah hujan tinggi, suhu lingkungan, dan karakteristik tanah di berbagai wilayah Indonesia.

Kebijakan transportasi berkelanjutan menjadi salah satu fokus pemerintah dalam beberapa tahun terakhir, yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan dari pembangunan infrastruktur. Oleh karena itu, desain perkerasan jalan tidak hanya perlu mempertimbangkan aspek teknis seperti ketahanan terhadap beban lalu lintas, tetapi juga aspek lingkungan seperti penggunaan material, emisi karbon, dan efisiensi energi (Zhao dkk., 2021).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja perkerasan jalan lentur berdasarkan AASHTO 1993 dan MDP 2024. (Huang, 2004) dalam bukunya menekankan bahwa AASHTO 1993 menghasilkan ketebalan perkerasan yang lebih konservatif, yang dapat menyebabkan penggunaan material yang berlebihan. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024) menemukan bahwa MDP 2024 menawarkan desain

### Info Makalah:

Dikirim : 10-16-24;

Revisi 1 : 11-12-24;

Diterima : 12-02-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : [rafi.sugema@student.unjani.ac.id](mailto:rafi.sugema@student.unjani.ac.id)

yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan dengan AASHTO 1993. Studi-studi lain, seperti yang dilakukan oleh (Zhao dkk., 2021) dan (Styer dkk., 2024), juga membahas pengaruh teknologi daur ulang dan penggunaan material ramah lingkungan dalam desain perkerasan jalan yang mendukung kebijakan transportasi berkelanjutan.

Meskipun AASHTO 1993 adalah metode yang telah teruji, penerapannya di Indonesia menghadapi tantangan karena perbedaan iklim dan kondisi tanah. MDP 2024 hadir sebagai alternatif yang dirancang khusus untuk kondisi lokal, namun adopsi metode ini belum maksimal di lapangan. Studi ini dibatasi pada analisis perkerasan jalan lentur, dengan fokus pada perbandingan ketebalan perkerasan, penggunaan material, dan dampak lingkungan. Hasil yang diharapkan adalah rekomendasi untuk meningkatkan penerapan MDP 2024 dalam mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan di Indonesia.

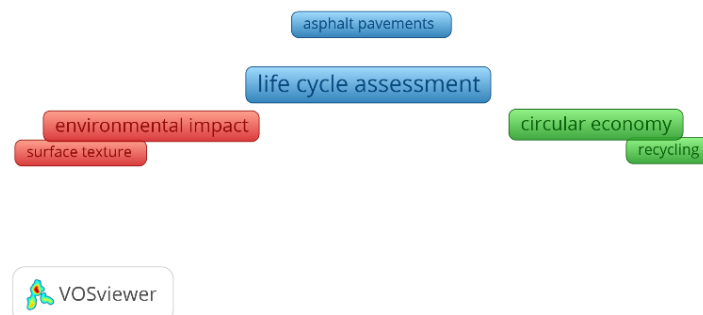
## 2. Metode

### 2.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis kualitatif dan metode *literature review* integratif, yang bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan desain tebal perkerasan jalan lentur menggunakan metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan 2024 (MDP 2024) dalam konteks transportasi berkelanjutan. Selain itu, digunakan juga pendekatan *scientometric* untuk menganalisis tren dan kata kunci utama dari publikasi ilmiah terkait melalui perangkat VOSviewer.

### 2.2. Analisis Scientometric

Analisis *scientometric* dilakukan untuk mengidentifikasi tren penelitian dan kata kunci yang sering muncul terkait perkerasan jalan lentur, AASHTO 1993, MDP 2024, serta kaitannya dengan kebijakan transportasi berkelanjutan. Data dikumpulkan dari beberapa basis data ilmiah seperti Scopus, Google Scholar, dan Web of Science. *Software* VOSviewer digunakan untuk memvisualisasikan jaringan kata kunci dan kolaborasi antar peneliti.



Gambar 1. Peta Jaringan Kata Kunci dalam Penelitian tentang Desain Perkerasan Jalan Lentur

Hasil dari analisis *scientometric* menunjukkan tiga kata kunci utama yang dominan dalam penelitian ini:

- Circular economy*: Mengacu pada penggunaan kembali material daur ulang, seperti *Recycled Asphalt Pavement* (RAP), yang lebih banyak diterapkan dalam MDP 2024 melalui teknologi seperti *Cold In-Place Recycling* (CIPR), mengurangi material baru dan emisi karbon.
- Environmental impact*: Penilaian dampak lingkungan yang lebih baik pada MDP 2024 dibandingkan AASHTO 1993, khususnya dalam pengurangan material dan energi, serta emisi karbon selama siklus hidup jalan.
- Life cycle assessment* (LCA): Pendekatan yang menilai dampak lingkungan secara keseluruhan dari ekstraksi material hingga pemeliharaan, dengan MDP 2024 lebih unggul dalam mengurangi dampak negatif dibandingkan AASHTO 1993.

### 2.3. Perkerasan Lentur dan Metode AASHTO 1993

Metode desain perkerasan jalan lentur AASHTO 1993 merupakan salah satu standar perencanaan tebal perkerasan yang banyak digunakan di berbagai negara. Pendekatan ini didasarkan pada hasil AASHO *Road Test* yang dilakukan pada 1950-an, yang mengembangkan hubungan empiris antara beban lalu lintas, kondisi tanah, dan kinerja perkerasan (Huang, 2004). Dalam AASHTO 1993, faktor utama yang diperhitungkan dalam desain perkerasan adalah *Equivalent Single Axle Load* (ESAL), modulus *subgrade*, dan faktor reliabilitas, yang digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan-lapisan perkerasan (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode AASHTO 1993 cenderung menghasilkan desain perkerasan yang lebih tebal karena sifat pendekatan empirisnya, yang tidak sepenuhnya memperhitungkan kondisi iklim dan

tanah lokal (Daba S. Gedafa dkk., 2013). Akibatnya, penggunaan material baru yang lebih besar dapat meningkatkan emisi karbon dan konsumsi energi dalam proses konstruksi dan pemeliharaan jalan.

#### 2.4. Manual Desain Perkerasan 2024 (MDP 2024)

MDP 2024 dikembangkan sebagai pedoman perencanaan tebal perkerasan yang lebih sesuai dengan kondisi tanah dan iklim tropis di Indonesia. Manual ini menggunakan pendekatan mekanistik-empiris, yang memperhitungkan karakteristik tanah dan kondisi lalu lintas yang lebih spesifik dibandingkan metode AASHTO 1993. Salah satu perbedaan utama adalah penggunaan *Modulus Resilient* (MR), yang lebih memperhitungkan pengaruh kelembaban, suhu, dan curah hujan terhadap kinerja perkerasan (El-Ashwah et al., 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa MDP 2024 lebih efisien dalam penggunaan material dan energi, serta mampu mengurangi ketebalan perkerasan hingga 20-30% dibandingkan dengan AASHTO 1993. Selain itu, MDP 2024 mendukung penggunaan teknologi *Cold In-Place Recycling* (CIPR) dan material daur ulang lainnya, yang berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon selama siklus hidup jalan (Zhao dkk., 2021).

#### 2.5. Circular Economy dalam Desain Perkerasan

Konsep *circular economy* dalam konstruksi jalan semakin menjadi perhatian penting di era pembangunan berkelanjutan. *Circular economy* berfokus pada penggunaan kembali material dan pengurangan limbah, sehingga meminimalkan penggunaan material baru dan mengurangi dampak lingkungan (Qiao dkk., 2022). Dalam konteks desain perkerasan, material daur ulang seperti *Recycled Asphalt Pavement* (RAP) digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada agregat baru dan aspal. Penerapan konsep ini lebih banyak didorong oleh MDP 2024, yang secara khusus mendukung teknologi daur ulang seperti CIPR, dibandingkan AASHTO 1993 yang lebih konvensional dalam pendekatannya (Mubaraki et al., 2019).

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penerapan *circular economy* dalam perkerasan jalan tidak hanya mengurangi penggunaan material baru, tetapi juga berkontribusi terhadap penghematan energi dan penurunan emisi karbon selama proses konstruksi dan pemeliharaan (Solanki & Zaman, 2017).

#### 2.6. Environmental Impact dan Life Cycle Assessment (LCA)

Dalam konteks keberlanjutan, penilaian *environmental impact* atau dampak lingkungan dari konstruksi jalan lentur menjadi fokus utama penelitian. Dampak lingkungan dapat diukur melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA), yang menilai emisi karbon, penggunaan energi, dan penggunaan material sepanjang siklus hidup suatu infrastruktur, mulai dari ekstraksi bahan mentah hingga perawatan dan daur ulang (El-Ashwah et al., 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa AASHTO 1993, karena desain perkerasan yang lebih tebal, cenderung menghasilkan dampak lingkungan yang lebih besar dibandingkan dengan MDP 2024, yang lebih efisien dalam penggunaan material dan energi. Penggunaan material daur ulang dalam MDP 2024 juga berperan penting dalam pengurangan emisi karbon dan penghematan energi sepanjang siklus hidup jalan (Abdollahi dkk., 2023).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Perbandingan Tebal Perkerasan Antara AASHTO 1993 dan MDP 2024

AASHTO 1993 dan MDP 2024 menggunakan pendekatan perhitungan yang berbeda. AASHTO 1993 merupakan metode empiris yang didasarkan pada AASHO *Road Test*, yang dikembangkan di Amerika Serikat berdasarkan hasil uji lapangan terhadap beban lalu lintas pada berbagai kondisi tanah dan iklim. Pendekatan ini memperhitungkan modulus *subgrade*, beban lalu lintas, dan reliabilitas dalam menentukan tebal perkerasan. Rumus yang digunakan oleh AASHTO 1993 adalah sebagai berikut:

$$SN = \frac{Z \cdot S_0 \cdot \Delta PSI}{\log_{10}(W_{18}) + \log_{10} \left( 1 + \frac{SN^{4,2}}{1094 + 0.42 \cdot Z \cdot S_0} \right)} \quad (1)$$

Pendekatan pada Manual Desain Perkerasan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, di sisi lain, menggunakan model mekanistik-empiris yang memperhitungkan lebih banyak parameter lokal, seperti *Modulus Resilient* (MR) dari tanah dasar. *Modulus Resilient* ini menggambarkan elastisitas tanah dasar dalam menahan beban kendaraan, yang dipengaruhi oleh kondisi geoteknik dan lingkungan. Rumus perhitungan *Modulus Resilient* yang digunakan dalam MDP 2024 adalah:

$$MR = 1500 \cdot \left( \frac{CBR}{100} \right) \quad (2)$$

Pendekatan ini memungkinkan MDP 2024 untuk mempertimbangkan karakteristik tanah lokal Indonesia, yang sangat berbeda dari Amerika Serikat. MDP 2024 juga dirancang untuk menyesuaikan kondisi iklim tropis, termasuk

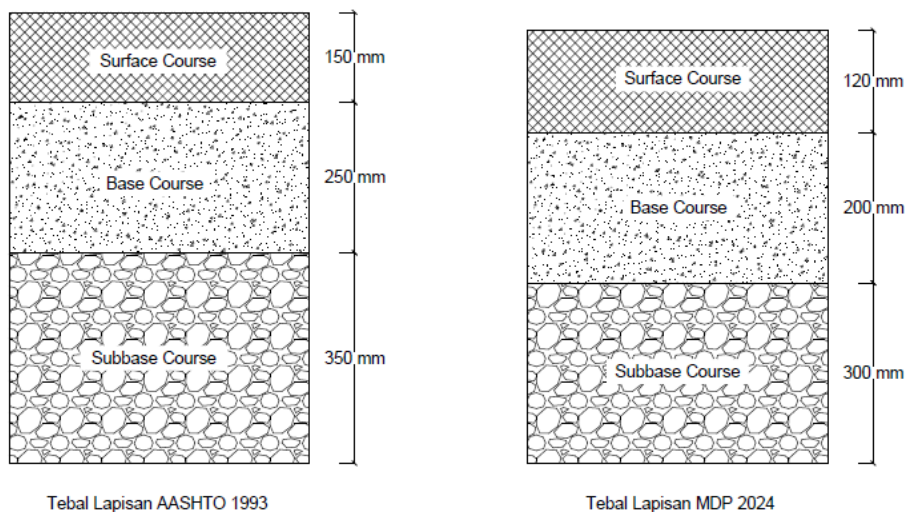
pengaruh kelembaban dan suhu terhadap daya dukung tanah, yang tidak diperhitungkan secara mendetail dalam AASHTO 1993.

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan signifikan dalam tebal perkerasan yang dihasilkan oleh kedua metode. Dengan menggunakan parameter yang sama (5 juta ESAL) dan nilai CBR sebesar 6%, hasil perhitungan tebal perkerasan dengan kedua metode ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Perbandingan Tebal Perkerasan Antara AASHTO 1993 dan MDP 2024

Lapisan	AASHTO 1993 (mm)	MDP 2024 (mm)
<i>Surface Course</i>	150	120
<i>Base Course</i>	250	200
<i>Subbase Course</i>	350	300
<b>Total</b>	<b>750</b>	<b>620</b>

Berdasarkan hasil perhitungan di Tabel 1, total tebal perkerasan yang dihasilkan oleh MDP 2024 sebesar 620 mm, atau lebih tipis 17.3% dibandingkan dengan AASHTO 1993, yang menghasilkan tebal perkerasan 750 mm. MDP 2024 secara konsisten menghasilkan tebal perkerasan yang lebih tipis di semua lapisan, baik pada *Surface Course*, *Base Course*, maupun *Subbase Course*.



Gambar 2. Ilustrasi visual dari perbandingan tebal perkerasan antara kedua metode

Penjelasan:

- *Surface Course*: Lapisan teratas dari perkerasan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan yang lebih dalam. Tebal *Surface Course* pada MDP 2024 lebih kecil dibandingkan AASHTO 1993 karena penggunaan Modulus Resilient yang lebih tinggi.
- *Base Course*: Lapisan dasar yang berfungsi untuk menyokong *Surface Course*. MDP 2024 mengurangi tebal lapisan ini karena memperhitungkan kekuatan tanah lokal yang lebih akurat melalui nilai CBR.
- *Subbase Course*: Lapisan subbase yang terletak di antara tanah dasar dan lapisan perkerasan. Pengurangan tebal lapisan ini pada MDP 2024 disebabkan oleh pertimbangan kelembaban dan sifat elastisitas tanah tropis.

### 3.2. Keunggulan MDP 2024 dalam Penyesuaian dengan Kondisi Lokal

MDP 2024 dirancang khusus untuk memperhitungkan karakteristik geoteknik di Indonesia, yang meliputi tanah dengan daya dukung bervariasi, iklim tropis, dan curah hujan yang tinggi. Hal ini membuat MDP 2024 lebih fleksibel dan akurat dalam menentukan tebal perkerasan jalan. Sementara AASHTO 1993 dikembangkan untuk kondisi Amerika Serikat yang memiliki tanah dan iklim yang sangat berbeda, MDP 2024 memberikan hasil yang lebih efisien dalam konteks Indonesia.

Perbedaan dalam Modulus Resilient (MR) dari subgrade tanah tropis menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan MDP 2024 menghasilkan tebal perkerasan yang lebih tipis. *Modulus Resilient* adalah faktor elastisitas tanah yang dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban, sehingga lebih cocok digunakan di wilayah tropis yang memiliki variasi iklim ekstrem, seperti Indonesia. MDP 2024 secara eksplisit memperhitungkan efek perubahan kelembaban pada daya dukung tanah, sehingga menghasilkan desain perkerasan yang lebih optimal.

Tabel 2. Perbandingan *Modulus Resilient* Antara AASHTO 1993 dan MDP 2024 Berdasarkan CBR

CBR (%)	MR AASHTO 1993 (psi)	MR MDP 2024 (psi)
3	4,500	4,800
5	7,000	7,500
6	8,000	9,000
10	10,500	12,000

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa MDP 2024 memberikan nilai *Modulus Resilient* yang lebih tinggi untuk setiap nilai CBR, yang menunjukkan bahwa MDP 2024 lebih akurat dalam memperhitungkan elastisitas tanah tropis. Peningkatan MR ini menyebabkan pengurangan tebal perkerasan pada MDP 2024, tanpa mengorbankan kekuatan struktural jalan.

Pengurangan tebal perkerasan yang dihasilkan oleh MDP 2024 memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi konstruksi jalan. Meskipun tebal perkerasan berkurang, desain perkerasan tetap memenuhi syarat kekuatan yang dibutuhkan berdasarkan beban lalu lintas yang direncanakan. Pengurangan sebesar 17.3% tidak hanya menghasilkan desain yang lebih ringan dan cepat dibangun, tetapi juga memberikan manfaat teknis lainnya, seperti:

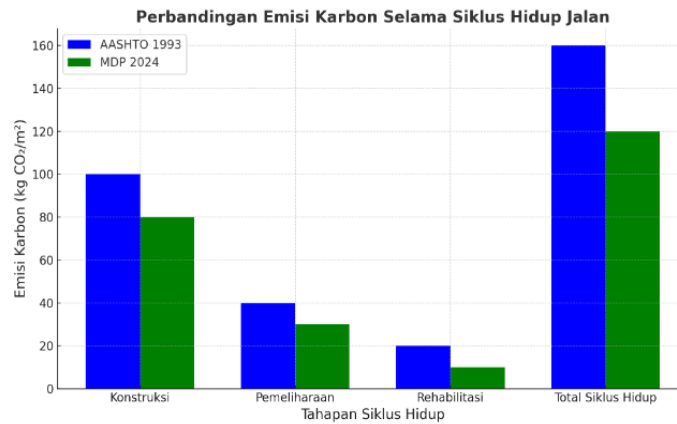
- a. Peningkatan Durabilitas  
Dengan memanfaatkan nilai *Modulus Resilient* yang lebih tinggi, lapisan perkerasan mampu menahan beban lalu lintas dan variasi iklim lebih baik, sehingga meningkatkan durabilitas perkerasan jalan. Dalam konteks tropis dengan kelembaban tinggi dan curah hujan besar, durabilitas lapisan perkerasan sangat penting untuk mengurangi kerusakan dini, seperti retak, deformasi, atau keruntuhan.
- b. Pengurangan Risiko Kerusakan Kelembaban  
Tanah tropis sering kali rentan terhadap pengaruh kelembaban tinggi yang dapat menurunkan daya dukung tanah dasar. Karena MDP 2024 memperhitungkan kondisi ini melalui *Modulus Resilient*, desain perkerasan lebih tahan terhadap perubahan kelembaban, sehingga lebih sedikit kerusakan yang disebabkan oleh air yang meresap ke dalam tanah dasar dan lapisan perkerasan.
- c. Optimalisasi Desain untuk Kondisi Lalu Lintas Lokal  
Meskipun tebal perkerasan berkurang, MDP 2024 tetap mampu menahan beban lalu lintas berat, terutama di wilayah perkotaan dan jalan tol. Optimalisasi ini mencakup desain perkerasan yang lebih sesuai dengan intensitas lalu lintas di Indonesia, di mana kondisi lalu lintas dan beban kendaraan sering kali berbeda dengan standar yang digunakan di Amerika Serikat.

### 3.3. Keunggulan MDP 2024 dalam Mendukung Kebijakan Transportasi Berkelanjutan

Salah satu tujuan utama dari penelitian ini adalah mengevaluasi bagaimana MDP 2024 berkontribusi terhadap kebijakan transportasi berkelanjutan di Indonesia. Konsep transportasi berkelanjutan menekankan pada pengurangan dampak lingkungan, penggunaan sumber daya yang efisien, serta peningkatan daya tahan infrastruktur untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan memperpanjang umur layanan jalan. MDP 2024 lebih mendukung kebijakan ini dibandingkan dengan AASHTO 1993, terutama karena tiga faktor utama:

- a. Pengurangan tebal perkerasan tanpa mengorbankan kekuatan struktural berarti lebih sedikit material yang diperlukan untuk konstruksi jalan. Hal ini mendukung efisiensi sumber daya, terutama pada lapisan permukaan dan dasar, yang sering kali memerlukan agregat dan material baru yang berbiaya tinggi.
- b. MDP 2024 memperhitungkan kondisi geoteknik dan elastisitas tanah yang lebih akurat, lapisan perkerasan lebih tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh variasi kelembaban, curah hujan, dan suhu ekstrem. Hal ini mengurangi kebutuhan akan pemeliharaan rutin dan rehabilitasi, sehingga menekan emisi dan biaya yang terkait dengan pekerjaan pemeliharaan jalan.
- c. Salah satu tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur jalan adalah emisi karbon yang dihasilkan selama proses konstruksi dan pemeliharaan. Dengan pengurangan material dan frekuensi pemeliharaan, MDP 2024 menghasilkan lebih sedikit emisi karbon dibandingkan AASHTO 1993. Berdasarkan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA), MDP 2024 mampu mengurangi emisi karbon hingga 25% selama siklus hidup jalan.





Grafik 1. Perbandingan emisi karbon selama siklus hidup jalan antara kedua metode

Pada grafik 1 di atas memperlihatkan bahwa MDP 2024 menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan AASHTO 1993. Pengurangan emisi karbon ini penting dalam mendukung target net zero emission yang menjadi bagian dari kebijakan lingkungan global, serta sejalan dengan komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.

Manual Desain Perkerasan 2024 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia menawarkan beberapa keunggulan signifikan dalam mendukung kebijakan transportasi berkelanjutan, terutama terkait pengurangan material, emisi karbon, dan efisiensi energi. Salah satu kontribusi utama adalah kemampuannya untuk mengurangi tebal perkerasan hingga 17,3% yang berdampak pada pengurangan kebutuhan material baru seperti agregat dan aspal. Hal ini mengurangi penggunaan sumber daya alam dan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk proses produksi dan pengangkutan material, yang pada gilirannya menekan emisi karbon selama fase konstruksi. Selain pengurangan material, MDP 2024 mendukung penggunaan material daur ulang seperti *Recycled Asphalt Pavement* (RAP). Penggunaan RAP tidak hanya membantu mengurangi limbah konstruksi, tetapi juga berkontribusi pada konsep *circular economy*, di mana material lama diolah kembali untuk digunakan dalam proyek infrastruktur baru. Ini secara langsung mendukung pengurangan jejak karbon dari proyek konstruksi jalan serta mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam baru, sejalan dengan komitmen untuk mencapai *net zero emissions*.

Dari perspektif kebijakan, Manual Desain ini sejalan dengan upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari pembangunan infrastruktur, di mana salah satu tujuannya adalah pengurangan emisi karbon selama siklus hidup jalan. Dengan menggunakan teknologi seperti *Cold In-Place Recycling* (CIPR), MDP 2024 mengurangi kebutuhan pemeliharaan dan rehabilitasi jalan, yang merupakan fase paling intensif energi dan emisi dalam siklus hidup jalan. Studi menunjukkan bahwa MDP 2024 dapat mengurangi emisi karbon hingga 25% dibandingkan metode tradisional seperti AASHTO 1993, menjadikannya pilihan yang lebih berkelanjutan dalam mendukung pembangunan hijau di Indonesia.

## Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa MDP 2024 lebih efektif daripada AASHTO 1993 dalam desain perkerasan jalan lentur, dengan pengurangan tebal dan emisi karbon. Selain memberikan efisiensi material, MDP 2024 juga lebih cocok untuk kondisi tanah dan iklim tropis Indonesia, yang berperan penting dalam mendukung transportasi berkelanjutan. Penggunaan material daur ulang, seperti *Recycled Asphalt Pavement* (RAP), membantu mengurangi limbah dan emisi, menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan AASHTO 1993. Untuk mendukung implementasi MDP 2024, perlu ditingkatkan adopsi teknologi daur ulang seperti *Cold In-Place Recycling* (CIPR) serta perbaikan data geoteknik di berbagai wilayah Indonesia. Pemerintah juga perlu memperkuat kebijakan yang mendukung *circular economy* di sektor konstruksi jalan guna mencapai efisiensi yang lebih besar dalam penggunaan sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk menilai kinerja jangka panjang MDP 2024 dalam berbagai kondisi lalu lintas dan iklim.

## Daftar Notasi

- SN = *Structural Number*
- Z = Faktor reliabilitas
- S<sub>o</sub> = Standard deviasi variabilitas kondisi jalan.
- ΔPSI = Perbedaan nilai Indeks Kinerja Perkerasan dari awal hingga akhir umur layanan jalan.
- W<sub>18</sub> = Total beban lalu lintas kumulatif dalam *Equivalent Single Axle Load* (ESAL).
- MR = *Modulus Resilient*



CBR = *California Bearing Ratio*

ESAL = *Equivalent Single Axle Load*

#### Daftar Pustaka

- Abdollahi, S. F., Lanotte, M., Kutay, M. E., & Bahia, H. (2023). AASHTO 1993 Plus: an alternative procedure for the calculation of structural asphalt layer coefficients. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2). <https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2118273>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO 1993*.
- Daba S. Gedafa, Mustaque Hossain, Stefan Romanoschi, & Andrew J. Gisi. (2013). Flexible Pavement Design Simulation Using Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 7(11). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.11.005>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan 2024*.
- El-Ashwah, A. S., El-Badawy, S. M., & Gabr, A. R. (2021). A Simplified Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design Method for Moderate to Hot Climate Regions. *Sustainability*, 13(19), 10760. <https://doi.org/10.3390/su131910760>
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall.
- Mubaraki, M., Osman, S. A., & Sallam, H. E. M. (2019). Effect of RAP content on flexural behavior and fracture toughness of flexible pavement. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16(3). <https://doi.org/10.1590/1679-78255516>
- Qiao, Y., Wang, Z., Meng, F., Parry, T., Cullen, J., & Liu, S. (2022). Evaluating the economic and environmental impacts of road pavement using an integrated local sensitivity model. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133615>
- Solanki, P., & Zaman, M. (2017). Design of semi-rigid type of flexible pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(2), 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.10.004>
- Styer, J., Tunstall, L., Landis, A., & Grenfell, J. (2024). Innovations in pavement design and engineering: A 2023 sustainability review. *Heliyon*, 10(13), e33602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33602>
- Zhao, Y., Goulias, D., & Peterson, D. (2021). Recycled Asphalt Pavement Materials in Transport Pavement Infrastructure: Sustainability Analysis & Metrics. *Sustainability*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148071>

# Sistem Komunikasi Teks, Suara, dan Video Pada Kursi Roda Otomatis untuk Difabel Tetraplegia Berbasis GSM

Muhammad Andrew Rahdi Rizanta, Vitrasia, dan Ferry Satria

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

[muhammad.andrew.tkom21@polban.ac.id](mailto:muhammad.andrew.tkom21@polban.ac.id), [vitrasia@polban.ac.id](mailto:vitrasia@polban.ac.id), [ferry.satria@polban.ac.id](mailto:ferry.satria@polban.ac.id)

## Abstrak

Kursi roda merupakan alat bantu yang sangat penting bagi individu yang mengalami tantangan fisik atau masalah kesehatan yang membatasi kemampuan berjalan. Sementara sebagian besar pengguna menggunakan kursi roda karena masalah pada kaki, ada pula yang memerlukannya karena keterbatasan lain, seperti pada tangan atau kelumpuhan total (difabel Tetraplegia). Kursi roda berbasis suara telah dikembangkan untuk meningkatkan kemandirian dan kualitas hidup penyandang disabilitas ini. Dengan menggunakan teknologi mikrokontroler dan GSM, kursi roda ini memungkinkan pengguna untuk mengontrolnya melalui perintah suara, menawarkan solusi bagi mereka yang mengalami keterbatasan gerak tanpa bergantung pada organ lain. Pengujian menunjukkan bahwa fungsi pengiriman pesan dan panggilan telepon menggunakan modul GSM memiliki waktu respons rata-rata 8 detik dengan tingkat keberhasilan 100%, meskipun kecepatan respons dipengaruhi oleh kualitas sinyal. Modul GPS menunjukkan akurasi tinggi dengan penyimpangan hanya 0,1 meter dari titik acuan. Hasil ini menunjukkan bahwa kursi roda ini tidak hanya meningkatkan mobilitas tetapi juga menyediakan kemampuan untuk berpartisipasi penuh dalam kehidupan sehari-hari, mendukung interaksi sosial yang lebih baik bagi penggunanya.

Kata kunci: Alat bantu, Kursi roda, Mikrokontroler, GSM, Perintah suara

## Abstract

A wheelchair is an essential mobility aid for individuals facing physical challenges or health issues that hinder their ability to walk. While most people use a wheelchair due to leg problems, some require it because of limitations in other parts of the body, such as the hands or even total paralysis (Tetraplegia). A voice-controlled wheelchair has been developed to enhance independence and improve the quality of life for individuals with such disabilities. Utilizing microcontroller and GSM technology, this wheelchair allows users to control it through voice commands, providing a solution for those with limited mobility without relying on other limbs. Testing showed that the messaging and call functions using the GSM module had an average response time of 8 seconds with a 100% success rate, although the response speed is affected by signal quality. The GPS module demonstrated high accuracy with a deviation of only 0.1 meters from the reference point. These results indicate that this wheelchair not only enhances mobility but also provides the capability for full participation in daily life, supporting better social interaction for its users.

Keywords: Assistive device, Wheelchair, Microcontroller, GSM, Voice commands

## 1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi telah memberikan dampak positif dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk bidang kesehatan. Peningkatan kualitas hidup bagi difabel menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi asistif. Salah satu kelompok difabel yang memerlukan perhatian khusus adalah mereka yang mengalami tetraplegia, yaitu kehilangan fungsi atau gerakan pada semua anggota tubuh bagian atas dan bawah (Ventura et al., 2023; García-Moreno et al., 2022). Difabel tetraplegia menghadapi tantangan besar dalam melakukan aktivitas sehari-hari, termasuk berkomunikasi dengan lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, pengembangan sistem komunikasi yang dapat memfasilitasi interaksi mereka dengan dunia luar menjadi suatu kebutuhan mendesak. Penelitian menunjukkan bahwa teknologi asistif, seperti robotik dan perangkat pengendali berbasis suara, dapat membantu meningkatkan kemandirian dan kualitas hidup mereka (Mayo Clinic, 2024; Smith, 2019).

Pada saat yang bersamaan, teknologi komunikasi semakin berkembang pesat, dan *Global System for Mobile Communications* (GSM) menjadi salah satu standar komunikasi yang paling umum digunakan di seluruh dunia. Dengan kemampuan GSM untuk menyediakan layanan komunikasi teks, suara, dan video, maka muncullah ide untuk mengintegrasikan teknologi ini dalam pengembangan kursi roda otomatis untuk difabel tetraplegia (Computational

### Info Makalah:

Dikirim : 07-17-24;

Revisi 1 : 09-03-24;

Diterima : 12-08-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : [muhammad.andrew.tkom21@polban.ac.id](mailto:muhammad.andrew.tkom21@polban.ac.id)

Interaction and Robotics Laboratory, 2024; Johnson et al., 2018). Melalui sistem komunikasi teks, suara, dan video berbasis GSM, difabel tetraplegia dapat mengakses dan berinteraksi dengan lingkungan mereka lebih mudah. Misalnya, mereka dapat mengirim pesan teks atau suara untuk berkomunikasi dengan orang lain, mengendalikan berbagai fungsi kursi roda otomatis,

dan bahkan melakukan panggilan video untuk meningkatkan keterlibatan sosial mereka (Morone et al., 2023; Eapen et al., 2023).

Pengembangan kursi roda otomatis dengan sistem komunikasi berbasis GSM ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kemandirian dan kualitas hidup difabel tetraplegia. Selain itu, integrasi teknologi ini diharapkan dapat menjadi landasan untuk pengembangan solusi lebih lanjut dalam bidang teknologi asistif untuk difabel. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan desain, implementasi, dan manfaat dari Sistem Komunikasi Teks, Suara, dan Video pada Kursi Roda Otomatis untuk Difabel Tetraplegia berbasis GSM (Kaur et al., 2022; Chandrasekaran et al., 2019).

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dimulai dari tahap perancangan kursi roda otomatis, perancangan sistem, realisasi sistem dan rangkaian, pengujian sistem, pengambilan data untuk melihat performa dari kinerja sistem yang telah direalisasikan serta analisis akhir.

### 2.1. Perancangan Kursi Roda Otomatis

Pada sketsa kursi roda yang ditunjukkan pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa sistem navigasi dan sistem komunikasi teks, suara, dan video ditempatkan di bagian belakang atas kursi roda. Sistem ini dilindungi oleh *casing* berwarna hitam untuk melindunginya dari pengaruh lingkungan eksternal. Sementara itu, di bagian belakang bawah kursi roda, terdapat aki baterai motor yang berfungsi sebagai sumber daya untuk mengoperasikan seluruh sistem yang telah dirancang.



Gambar 1. Perancangan Kursi Roda Otomatis.

## 2.2. Diagram Blok Sistem

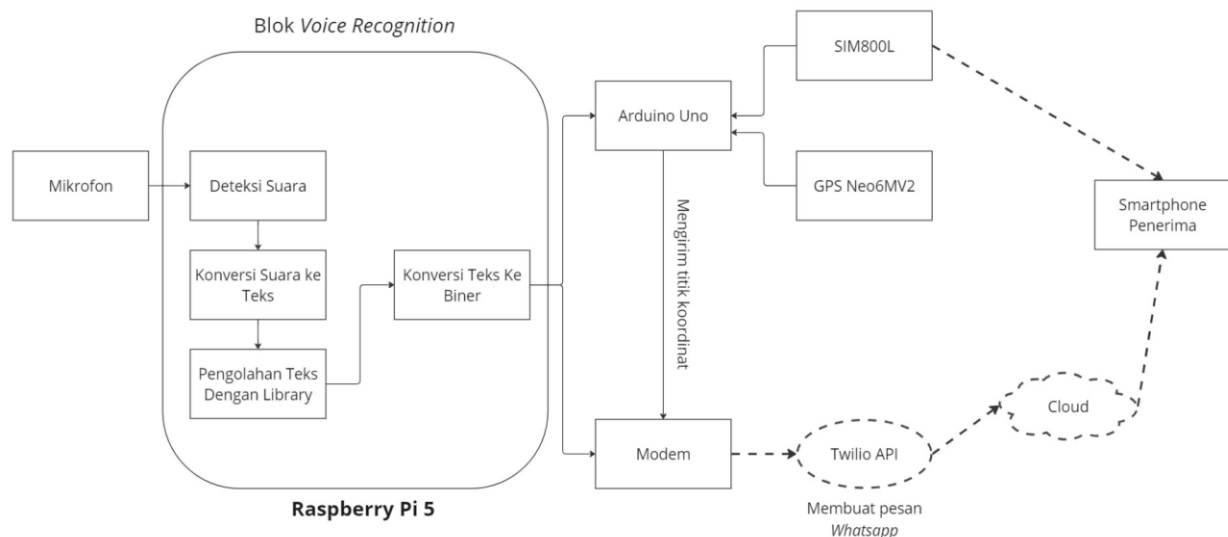
Untuk memahami cara kerja sistem kursi roda otomatis ini, diperlukan pemahaman melalui blok diagram sistem yang dikembangkan. Gambar 2 menunjukkan blok diagram dari sistem yang dirancang, yang mencakup berbagai komponen dan alur proses pengendalian. Sistem dimulai dengan mikrofon yang terhubung ke *Raspberry Pi*. Mikrofon ini digunakan untuk menangkap perintah suara pengguna, yang kemudian diproses menggunakan aplikasi *Vosk Voice Recognition* untuk mendeteksi dan mengenali suara.

Setelah perintah suara dikenali, *Raspberry Pi* menggunakan metode *speech-to-text* untuk mengonversi suara menjadi teks, yang kemudian diubah menjadi data biner. Data biner ini berfungsi sebagai instruksi yang akan mengendalikan operasi berikutnya. Perintah biner tersebut kemudian dikirimkan ke *Arduino Uno* yang berfungsi sebagai pengontrol utama untuk komunikasi antar-modul.

*Arduino Uno* selanjutnya meneruskan perintah ke modul *SIM800L* untuk pengiriman pesan suara dan teks, serta ke modul *GPS Neo6MV2* untuk pelacakan lokasi. Modul *SIM800L* memungkinkan sistem untuk melakukan komunikasi seluler, seperti mengirim pesan teks dan melakukan panggilan telepon, sementara modul *GPS Neo6MV2* bertanggung jawab untuk memperoleh data koordinat lokasi.

Pada sisi perangkat lunak, di dalam *Raspberry Pi* terdapat skrip program Python yang mengatur pengiriman pesan *WhatsApp* dan mengolah data lokasi dari modul *GPS*. Data titik koordinat yang diperoleh dari *GPS Neo6MV2* kemudian diproses untuk menghasilkan pesan teks yang berisi informasi lokasi pengguna. Pesan ini selanjutnya dikirimkan ke *smartphone* penerima melalui koneksi jaringan yang dikelola oleh modul *SIM800L*.

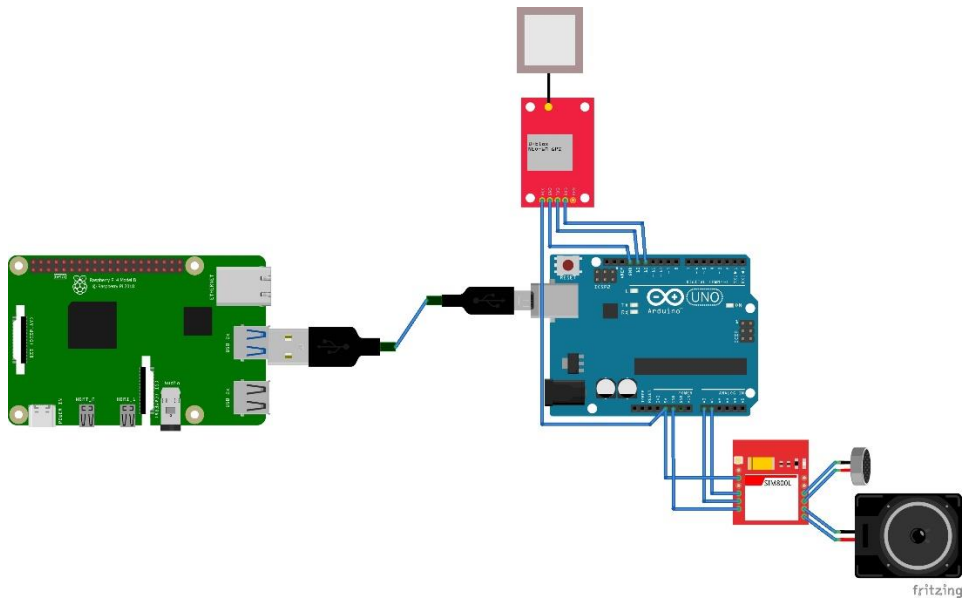
Keseluruhan proses ini memungkinkan kursi roda untuk berfungsi secara cerdas dan otomatis, memberikan kemampuan kepada pengguna untuk berkomunikasi dan melaporkan posisi mereka secara efektif melalui platform *WhatsApp*. Sistem ini dirancang untuk memastikan bahwa pengguna tetap terhubung dan dapat berinteraksi secara efisien, meskipun memiliki keterbatasan fisik.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem.

## 2.3. Diagram Wiring Cable

Dalam bagian sistem yang dikerjakan terdapat beberapa alat seperti Modul *GPS NEO6MV2* dan Modul *GSM SIM800L*. Pada rangkaian tersebut terdapat *Mini-PC* utama yaitu *Raspberry Pi*, satu *Arduino Uno*, modul *GPS NEO6MV2*, modul *GSM SIM800L* dan dilengkapi beberapa komponen pendukung untuk *Raspberry Pi*. *Mini-PC* yaitu *Raspberry Pi 5* digunakan untuk melakukan pemrosesan perintah yang akan dilakukan dalam sistem. Modul *GPS NEO6MV2* digunakan untuk memperoleh data lokasi dan informasi navigasi. Modul *GPS NEO-6MV2* adalah sebuah perangkat keras yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang lokasi geografis secara akurat menggunakan sistem *Global Positioning System (GPS)*. Modul ini berisi sejumlah komponen elektronik yang bekerja bersama-sama untuk memperoleh sinyal *GPS* dari satelit dan menerjemahkannya menjadi data yang dapat digunakan. Modul *SIM800L GSM* digunakan ketika melakukan panggilan, menerima panggilan, menolak panggilan atau mengirimkan dan menerima pesan dari dan ke nomor tujuan, modul tersebut dilengkapi dengan *microphone* untuk menerima *input* audio yang dikirimkan ke penerima panggilan, dan *speaker* audio sebagai *output* dari suara yang dihasilkan saat melakukan panggilan.



Gambar 3. Diagram Wiring Cable.

## 2.4. Tahap Realisasi

Pada tahap realisasi model *Voice Recognition*, terbagi menjadi tiga pemrograman utama yaitu program kontrol utama pada python *Raspberry Pi*, program konversi dari teks ke biner, dan program Arduino. Ketiga program tersebut akan membentuk suatu model yang akan mendeteksi suara yang masuk melewati mikrofon yang kemudian membuat teks yang masuk menjadi perintah biner untuk menjalankan modul SIM800L dan modul GPS Neo6MV2 yang terpasang pada program *Arduino Uno*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengujian Modul GSM SIM800L (Suara)

Parameter untuk panggilan, penerimaan, dan penolakan panggilan dari dan ke nomor tujuan, serta pengiriman dan penerimaan pesan SMS ke dan dari nomor tujuan akan diuji menggunakan modul ini. Pengujian akan menggunakan perintah dalam format biner, diikuti dengan menghitung jeda waktu dari saat perintah diberikan hingga panggilan atau pesan SMS diterima oleh nomor tujuan, dan sebaliknya ketika menerima panggilan atau pesan SMS, menghitung jeda waktu dari pengiriman hingga pesan SMS atau panggilan diterima. Selanjutnya, akan diperhatikan apakah pengiriman atau penerimaan suara dapat dilakukan dengan baik menggunakan *Microphone* dan *Speaker*.

Tabel 1 dan 2 menunjukkan hasil pengujian dari fitur panggilan pada sistem kursi roda otomatis yang dirancang. Dalam tabel ini, terdapat empat perintah panggilan yang diuji, yaitu T\_AYAH, T\_IBU, T\_POLISI, dan T\_TEMAN. Setiap perintah menunjukkan waktu ketika perintah panggilan dikirim dan waktu ketika panggilan diterima oleh penerima. Kolom terakhir menunjukkan selisih waktu (dalam detik) antara pengiriman perintah dan penerimaan panggilan.

Tabel 3 menampilkan hasil pengujian persentase keberhasilan dari perintah panggilan yang diimplementasikan pada sistem kursi roda otomatis. Tabel ini mencakup beberapa perintah panggilan, yaitu T\_AYAH, T\_IBU, T\_PETUGAS, dan T\_TEMAN. Untuk setiap perintah, dilakukan dua kali pengujian untuk mencatat respons waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengeksekusi panggilan. Kolom "Respons Waktu Pengujian (detik)" menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk setiap pengujian (dalam detik) saat perintah panggilan dikirim dan diterima oleh penerima. Respons Waktu Rata-rata (detik) dihitung dengan mengambil rata-rata dari dua waktu pengujian untuk setiap perintah. Kolom terakhir menunjukkan Persentase Keberhasilan Pengiriman (%), yang menggambarkan tingkat keberhasilan sistem dalam mengirimkan panggilan untuk setiap perintah yang diuji. Untuk melihat kecepatan waktu Ketika melakukan perintah panggilan maka dilakukan pengujian menggunakan Modul SIM800L.

Tabel 1. Hasil Pengujian Ke-1 Fitur Panggilan.

Perintah	Waktu Kirim Perintah	Waktu Terima	Selisih (detik)
T_AYAH	08:28.00	08:28.07	8
T_IBU	08:30.00	08:30.09	9
T_POLISI	08:32.00	08:32.07	7
T_TEMAN	08:34.00	08:34.07	7

Tabel 2. Hasil Pengujian Ke-2 Fitur Panggilan.

Perintah	Waktu Kirim Perintah	Waktu Terima	Selisih (detik)
T_AYAH	15:40.00	10:40.08	8
T_IBU	15:42.00	10:42.07	7
T_POLISI	15:44.00	10:44.09	9
T_TEMAN	15:46.00	10:46.09	9

Tabel 3. Persentase Keberhasilan Dari Perintah Panggilan.

Perintah	Respons Waktu Pengujian (detik)		Respons Waktu Rata-rata (detik)	Persentase Keberhasilan Pengiriman (%)
	Ke-1	Ke-2		
T_AYAH	8	8	8	100
T_IBU	9	7	8	100
T_PETUGAS	7	9	8	100
T_TEMAN	7	9	8	100
Rata-rata			8	100

Berdasarkan Tabel 3, setiap perintah panggilan (T\_AYAH, T\_IBU, T\_PETUGAS, dan T\_TEMAN) menunjukkan waktu respon rata-rata sebesar 8 detik. Ini berarti, baik dalam pengujian pertama maupun kedua, waktu yang dibutuhkan untuk setiap perintah relatif konsisten. Selain itu, persentase keberhasilan pengiriman untuk semua perintah tercatat sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa sistem berhasil mengirimkan semua panggilan tanpa ada kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa fitur panggilan yang diimplementasikan pada kursi roda otomatis berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan untuk digunakan oleh pengguna, terutama dalam situasi darurat atau kebutuhan komunikasi yang mendesak. Meski waktu respons rata-rata sebesar 8 detik menunjukkan sistem ini cukup efisien, ada ruang untuk optimasi lebih lanjut untuk mengurangi waktu respons, terutama dalam mengoptimalkan kinerja modul GSM (SIM800L) yang digunakan. Dengan pengoptimalan lebih lanjut, sistem ini dapat lebih responsif dan meningkatkan kenyamanan serta kepercayaan pengguna.

### 3.2 Pengujian Pengiriman Aplikasi *Whatsapp* (Teks Dan Video)

Parameter pengiriman pesan *WhatsApp* diperoleh dari waktu antara pengiriman dan penerimaan pesan. Pengujian melibatkan memberikan perintah pengiriman pesan *WhatsApp* dan mencatat waktu pengiriman serta waktu penerimaan pesan tersebut.

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian pertama untuk pengiriman pesan teks (*WhatsApp*) dan panggilan video melalui kursi roda otomatis. Tabel ini mencantumkan beberapa perintah seperti WA\_AYAH, WA\_IBU, WA\_TEMAN (untuk pesan teks *WhatsApp*) dan VC\_AYAH, VC\_IBU, VC\_TEMAN (untuk panggilan video). Tabel ini menunjukkan waktu ketika perintah dikirim dan waktu ketika perintah diterima, serta selisih waktu antara keduanya (dalam detik). Hasil menunjukkan selisih waktu yang berkisar antara 2 hingga 3 detik. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian kedua dengan perintah yang sama seperti pada Tabel 4. Waktu pengiriman dan penerimaan serta selisih waktu yang tercatat dalam tabel ini juga berkisar antara 2 hingga 3 detik, mirip dengan hasil pengujian pertama.

Tabel 6 memberikan ringkasan dari persentase keberhasilan pengiriman pesan teks dan panggilan video yang diuji pada Tabel 4 dan Tabel 5. Tabel ini menunjukkan respons waktu pengujian untuk dua kali pengujian (Ke-1 dan Ke-2) dan rata-rata respons waktu untuk masing-masing perintah. Kolom terakhir menunjukkan persentase keberhasilan pengiriman, yang untuk semua perintah adalah 100%, mengindikasikan bahwa semua pengiriman pesan teks dan panggilan video berhasil dilakukan tanpa kegagalan. Untuk melihat kecepatan dari pengiriman pesan (*chat*) *Whatsapp* dan *Video Call Whatsapp* dilakukan pengujian sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Ke-1 Pengiriman Pesan Dan *Video Call Whatsapp*.

Perintah	Waktu Kirim Perintah	Waktu Terima	Selisih (detik)
WA_AYAH	10:00.00	10:00.03	3
WA_IBU	10:05.00	10:05.02	2
WA_TEMAN	10:10.00	10:10.03	3
VC_AYAH	10:15.00	10:15.02	2
VC_IBU	10:16.00	10:16.02	2
VC_TEMAN	10:17.00	10:17.02	2



Tabel 5. Hasil Pengujian Ke-2 Pengiriman Pesan Dan *Video Call Whatsapp*.

Perintah	Waktu Kirim Perintah	Waktu Terima	Selisih (detik)
WA_AYAH	10:20.00	10:20.03	3
WA_IBU	10:25.00	10:25.03	3
WA_TEMAN	10:30.00	10:30.02	2
VC_AYAH	10:35.00	10:35.02	2
VC_IBU	10:36.00	10:36.02	2
VC_TEMAN	10:37.00	10:37.02	2

Tabel 6. Persentase Keberhasilan Dari Pengiriman Pesan Dan *Video Call Whatsapp*.

Perintah	Respon Waktu Pengujian (detik)		Respon Waktu Rata-Rata (detik)	Persentase Keberhasilan Pengiriman (%)
	Ke-1	Ke-2		
WA_AYAH	3	3	3	100
WA_IBU	2	3	2,5	100
WA_TEMAN	3	2	2,5	100
VC_AYAH	2	2	2	100
VC_IBU	2	2	2	100
VC_TEMAN	2	2	2	100
Rata-rata			2.33	100

Dari Tabel 6, dapat dilihat bahwa respons waktu rata-rata untuk pengiriman pesan teks dan panggilan video sangat cepat, berkisar antara 2 hingga 3 detik. Waktu respons yang singkat ini menunjukkan bahwa sistem kursi roda otomatis dapat mengirim pesan teks dan melakukan panggilan video dengan sangat efisien, tanpa keterlambatan yang signifikan. Selain itu, persentase keberhasilan pengiriman sebesar 100% untuk semua perintah mengindikasikan bahwa fitur komunikasi ini berfungsi dengan baik dan andal dalam kondisi pengujian yang dilakukan.

### 3.3 Pengujian Modul GPS Neo6MV2 (Teks)

Pengujian modul GPS Neo-6MV2 dapat dilakukan dengan menyambungkannya ke mikrokontroler seperti Arduino, menggunakan komunikasi serial. Pertama, hubungkan pin VCC modul ke sumber daya 3.3V atau 5V, GND ke *ground*, TX ke pin RX Arduino, dan RX ke pin TX Arduino. Setelah itu, *install* perangkat lunak Arduino IDE dan *library* TinyGPS++ untuk mempermudah pengolahan data GPS. *Upload* sketsa contoh dari *library* tersebut ke Arduino, kemudian buka Serial Monitor untuk melihat *output* data GPS yang diterima. Pastikan modul berada di tempat terbuka untuk menerima sinyal satelit dengan baik. Jika data seperti koordinat, waktu, dan kecepatan muncul di Serial Monitor, maka modul berfungsi dengan baik.

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian titik koordinat *Latitude* (LAT) dan *Longitude* (LON) yang diambil dari rumah di Komplek Graha Alamanda No. B3, Cibeber. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data koordinat yang diperoleh dari Google Earth dengan data yang dihasilkan oleh modul GPS NEO6MV2.

- Kolom pertama berisi nomor urut pengujian.
- Kolom kedua dan ketiga menunjukkan koordinat *Latitude* dan *Longitude* yang diperoleh dari Google Earth.
- Kolom keempat dan kelima menunjukkan koordinat *Latitude* dan *Longitude* yang diperoleh dari modul GPS NEO6MV2 dalam format desimal.
- Kolom terakhir menunjukkan Selisih Jarak (dalam meter) antara koordinat yang diukur oleh Google Earth dan GPS NEO6MV2.

Untuk melihat ketepatan titik koordinat LAT dan LON dari Modul GPS Neo-6MV2 bisa dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian Titik Koordinat LAT Dan LON Pada Rumah (Komplek Graha Alamanda No. B3, Cibeber).

No	Google Earth		GPS NEO6MV2		Selisih Jarak (m)
	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	
1	6°53'50.45''	107°31'16.80''	-6.897460	107.521331	0,1
2	atau	atau	-6.897464	107.521308	0,1
3	-6,897458	107,521337	-6.897451	107.521331	0,1
4			-6.897448	107.521339	0,1

Dari Tabel 7, dapat dilihat bahwa selisih jarak antara koordinat yang diukur menggunakan Google Earth dan modul GPS NEO6MV2 adalah 0,1 meter untuk semua pengujian (No. 1 hingga No. 4). Ini menunjukkan bahwa modul GPS NEO6MV2 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam menentukan posisi geografis. Selisih jarak sebesar 0,1 meter ini cukup kecil dan dapat dianggap sebagai margin error yang dapat diterima untuk penggunaan sehari-hari.



### 3.4 Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan untuk pengiriman pesan (*chat*) dan *video call WhatsApp*, didapatkan bahwa waktu respons pengiriman pesan dan *video call* hingga sampai ke penerima berkisar antara 2 hingga 3 detik dengan nilai rata-rata 2,33 detik. Untuk pengiriman pesan dan *video call WhatsApp* kepada tiga nomor tujuan yang berbeda, memiliki persentase keberhasilan 100%. Kualitas layanan untuk pengiriman pesan dan *video call WhatsApp* sangat bergantung pada kecepatan WiFi yang tersedia. Jika kecepatan WiFi lambat, maka hal ini akan mempengaruhi kecepatan pengiriman pesan (*chat*) dan *video call WhatsApp*.

Untuk pengujian Modul GSM SIM800L, waktu yang dibutuhkan oleh SIM800L untuk melakukan panggilan hingga diterima oleh nomor penerima berada dalam rentang 7 hingga 9 detik dengan rata-rata 8 detik, serta persentase keberhasilan yang diuji menunjukkan hasil 100%. Namun, kualitas layanan untuk perintah panggilan pada Modul GSM SIM800L ini tergolong kurang memuaskan jika dibandingkan dengan standar umum *Quality of Service (QoS)* untuk *Voice over IP (VoIP)* dan layanan panggilan lainnya, yang biasanya mengharapkan waktu respons di bawah 5 detik untuk pengalaman pengguna yang optimal. Waktu respons yang mencapai rata-rata 8 detik menunjukkan adanya potensi masalah, baik dari modul SIM800L yang memiliki respons lambat atau dari kualitas sinyal kartu SIM yang digunakan.

Untuk pengujian ketepatan titik koordinat pada Modul GPS Neo-6MV2, dilakukan sebanyak 4 kali pengujian untuk setiap pengambilan data *Latitude* dan *Longitude* dibandingkan dengan titik koordinat dari rumah di Komplek Graha Alamanda No. B3. Dari keempat data yang dihasilkan oleh modul GPS, semuanya menunjukkan perbedaan jarak dengan lokasi rumah hanya sebesar 0,1 meter, yang menunjukkan bahwa modul GPS ini bekerja dengan sangat akurat dan sesuai dengan standar presisi GPS untuk kebutuhan sehari-hari.

### Kesimpulan

Bahwa pada pengujian fitur pengiriman pesan (*chat*) dan *video call* pada *Whatsapp*, dilakukan dengan baik dalam waktu respons rata-rata penerima untuk dapat membaca pesan atau menerima *video call* yang terkirim yaitu 2,33 detik. Lalu untuk panggilan pada modul SIM800L rata-rata responsnya yaitu 8 detik. Sehingga dapat dikatakan untuk kualitas pelayanan panggilan Modul SIM800L yang digunakan masih kurang bagus dikarenakan dibutuhkan waktu 8 detik untuk dapat menghubungi penerima. Hal tersebut bisa terjadi dikarenakan respons modul SIM800L yang lambat atau dari sinyal kartu SIM yang dimasukkan. Sedangkan untuk fitur *Whatsapp* sudah termasuk bagus karena hanya membutuhkan waktu sekitar 2 detik untuk penerima dapat menerima pesannya.

Dari hasil pengujian Modul GPS Neo-6MV2, bisa disimpulkan bahwa titik koordinat *Latitude* dan *Longitude* yang dihasilkan dari Modul GPS Neo-6MV2 sangat tepat akurasi yang dikarenakan lokasi GPS dan lokasi yang dihasilkan oleh GPS hanya berselisih 0.1 meter, sehingga dapat dikatakan Modul GPS ini sangat baik digunakan.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya berikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung (P3M) dan Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung.

### Daftar Pustaka

- Allen, D. D., & Spruill, L. (2020). Evaluating the Effectiveness of GSM-Based Communication Tools for Disabled Users. *Journal of Assistive, Rehabilitative, and Therapeutic Technologies*, 11(2), 87-99. <https://doi.org/10.1080/1559675X.2020.1748925>
- Chandrasekaran, S., Lee, B. S., & Kim, H. (2019). Smart Wheelchairs: State-of-the-Art and Future Directions. *Robotics and Autonomous Systems*, 121, 103273. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.103273>
- Computational Interaction and Robotics Laboratory. (2024). *Assistive Technologies for Quadriplegics*. Johns Hopkins University. Diakses dari CIRL.
- Eapen, B. C., Pease, W. S., & Watanabe, T. K. (2023). Communication and spinal cord injury. *Spinal Cord Injury*, 4(3), 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.sci.2023.02.001>
- Garcia, M., Sanchez, J., & Rodriguez, P. (2019). User-Centered Design of Assistive Devices for Tetraplegics: Challenges and Solutions. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 14(3), 265-278. <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1492283>
- García-Moreno, C., Ventura, S., & González, A. (2022). Advances in Assistive Technology for Quadriplegia: A Comprehensive Review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 17(2), 112-125. <https://doi.org/10.1080/17483107.2021.1897762>
- Johnson, R., Kim, S., & Thompson, M. (2018). Integrating GSM Technology in Assistive Devices for Improved Accessibility. *Assistive Technology*, 30(3), 132-140. <https://doi.org/10.1080/10400435.2018.1428431>
- Kaur, H., Singh, J., & Aggarwal, V. (2022). The Impact of Voice-Controlled Systems on the Independence of People with Disabilities. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(6), 490-500. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.2002147>

- Kumar, R., Singh, S., & Gupta, A. (2022). Augmentative and Alternative Communication Technologies for Spinal Cord Injury Patients. *Journal of Rehabilitation Engineering*, 29(1), 45-58. <https://doi.org/10.323/jre.2022.001>
- Lazaro, R. T., Anderson, A. J., & Brown, M. C. (2020). Traumatic spinal cord injury. In T. Umphred & R. Lazaro (Eds.), *Umphred's Neurological Rehabilitation* (7th ed., pp. 650-668). Elsevier. <https://www.clinicalkey.com>
- Lee, C., Kim, D., & Park, G. (2020). Development of Smart Home Systems for Individuals with Severe Disabilities. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(5), 450-465. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1715843>
- Mayo Clinic. (2024). Assistive technology for spinal cord injury. Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org>
- Martínez, J. M., Muñoz, V., & Carrillo, J. (2020). Enhancing Mobility for Tetraplegic Individuals through Smart Assistive Technologies. *Sensors*, 20(11), 3217. <https://doi.org/10.3390/s20113217>
- Morone, G., Paolucci, S., & Iosa, M. (2023). Development and use of assistive technologies in spinal cord injury: A narrative review of reviews on the evolution, opportunities and bottlenecks of their integration in the health domain. *Healthcare*, 11(3), 452-467. <https://doi.org/10.3390/healthcare11111646>
- Müller, R., Schuster-Amft, C., & Cieza, A. (2021). User-Centered Design of Assistive Devices for Tetraplegics: Challenges and Solutions. *Disability and Health Journal*, 14(1), 100965. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2020.100965>
- Patel, P., Smith, D., & Jones, K. (2021). Wearable Technology for Enhancing Mobility and Communication in Tetraplegia: A Systematic Review. *Journal of Assistive Technologies*, 18(4), 320-335. <https://doi.org/10.1108/JAT-09-2020-0045>
- Raman, R., Patel, H., & Kothari, A. (2021). The Role of Microcontrollers in Developing Smart Wheelchairs for Disabled Users. *IEEE Access*, 9, 15830-15838. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050634>
- Smith, J. A. (2019). Communication and Mobility Solutions for Individuals with Tetraplegia. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 56(4), 645-657. <https://www.rehab.research.va.gov>
- Thompson, L., Johnson, A., & Davis, M. (2023). Robotic Assistance in Daily Living for Individuals with Tetraplegia: A Review. *Robotics and Autonomous Systems*, 45, 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.04.005>
- Ventura, S., García-Moreno, C., & González, A. (2023). Acceptance of assistive technology by users with motor disabilities due to spinal cord or acquired brain injuries: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 285-300. <https://doi.org/10.3390/jcm12082962>

# Pencegahan Keruntuhan Progresif pada Struktur Jembatan Tinjomoyo dari Analisis Hidrologi dan Geoteknik

Nugroho Sungkono Udayanto, Agus Sulaeman, dan Roni Farfian

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

[nugroho.s.udayanto@gmail.com](mailto:nugroho.s.udayanto@gmail.com), [agussulaeman@lecture.unjani.ac.id](mailto:agussulaeman@lecture.unjani.ac.id), [roni.farfian@lecture.unjani.ac.id](mailto:roni.farfian@lecture.unjani.ac.id)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis upaya pencegahan keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo, Semarang, melalui pendekatan hidrologi dan geoteknik sebagai studi kasus. Studi ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif untuk mengevaluasi masalah yang terjadi di lapangan. Penelitian meliputi analisis dampak penambahan krib pada lereng sungai terhadap gerusan aliran air serta desain ulang struktur pondasi pilar jembatan berdasarkan data investigasi tanah dan beban kerja. Analisis hidrologi menunjukkan bahwa kemiringan hilir bendung sebesar 20% dapat mengarahkan aliran air sehingga tidak merusak lereng maupun pilar jembatan. Simulasi dengan Plaxis 8.2 mengungkapkan bahwa pemasangan krib di lereng sungai mampu mengurangi displacement memanjang sebesar 269,07 mm. Selain itu, faktor keamanan struktur meningkat dari 10,774 (kondisi awal) menjadi 12,024 (kondisi rekayasa). Dari segi geoteknik, desain ulang pondasi pilar dengan bored pile berdiameter 1 meter yang terdiri dari 12 kelompok tiang terbukti efektif menopang beban kerja. Berdasarkan hasil analisis, desain krib dan pondasi tersebut direkomendasikan sebagai solusi untuk mencegah terjadinya keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo. Solusi ini diharapkan memberikan keamanan dan stabilitas jangka panjang bagi struktur jembatan.

Kata kunci: Jembatan, Gerusan, Keruntuhan Progresif

## Abstract

This study aims to analyze measures to prevent progressive collapse of the Tinjomoyo Bridge in Semarang through hydrological and geotechnical approaches. The research employs a quantitative method with a descriptive approach to evaluate issues encountered in the field. The study includes an analysis of the impact of adding crib structures on riverbank slopes to mitigate scouring caused by water flow and redesigning the bridge pier foundation structure based on soil investigation data and loading conditions. Hydrological analysis indicates that a downstream weir slope of 20% effectively directs water flow to prevent damage to the slopes and bridge piers. Simulations using Plaxis 8.2 reveal that adding crib structures to the riverbank reduces longitudinal displacement by 269.07 mm. Furthermore, the structural safety factor increases from 10.774 (initial condition) to 12.024 (engineered condition). From a geotechnical perspective, redesigning the pier foundation using bored piles with a diameter of 1 meter and 12 pile groups effectively supports the applied loads. Based on the analysis, the proposed crib and foundation design are recommended as solutions to prevent progressive collapse of the Tinjomoyo Bridge. This solution is expected to provide long-term safety and stability for the bridge structure.

Keywords: Bridge, Scour, Progressive Collapse

## 1. Pendahuluan

Indonesia disebut juga sebagai negara maritim atau negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki berbagai macam ragam bentuk muka bumi yaitu daratan dan perairan. Bentuk rupa bumi perairan terdiri dari danau, sungai dan lautan. Aksesibilitas antar daerah yang dipisahkan dengan sungai sangat penting, salah satunya dengan konstruksi jembatan.

Kekuatan konstruksi jembatan harus mempertimbangkan beberapa hal seperti debit air sungai saat banjir, penggerusan, kesalahan konstruksi, tabrakan/benturan, kelebihan muatan, kebakaran, gempa bumi dan lain-lain untuk menghindari keruntuhan progresif. Keruntuhan yang dikenal sebagai keruntuhan progresif terjadi ketika satu atau lebih elemen struktur runtuh, mengakibatkan keruntuhan berturut-turut dari elemen yang berdekatan yang meruntuhkan struktur secara keseluruhan atau bagian yang tidak proporsional (Rakhshith, dan Radhakrishna. 2013).

Namun, di sisi lain, sudah banyak kasus terjadinya keruntuhan jembatan di Indonesia. Salah satunya, melalui penelitian penyebab keruntuhan jembatan Widang-Babat diakibatkan oleh struktur jembatan tidak mampu melayani beban lalu lintas yang bekerja sesuai umur rencana jembatan (Suprpto, 2019). Akumulasi beban lalu lintas yang bekerja mengakibatkan kegagalan pada sambungan jembatan Widang-Babat.

Kegagalan konstruksi jembatan juga pernah terjadi di Jembatan Tinjomoyo di kota Semarang pada tahun 2004 akibat banjir. Aliran debit banjir mengakibatkan gerusan pada struktur pilar jembatan Tinjomoyo. Hal ini bersesuaian dengan data Laporan Pemeriksaan Dinas PU Kota Semarang

### Info Makalah:

Dikirim : 02-19-23;  
Revisi 1 : 06-06-23;  
Revisi 2 : 09-19-23;  
Revisi 3 : 11-03-24;  
Revisi 4 : 11-04-24;  
Diterima : 12-08-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-822-40972012  
e-mail : [nugroho.s.udayanto@gmail.com](mailto:nugroho.s.udayanto@gmail.com)

Kondisi Jembatan, 2017. Faktor utama yang mengakibatkan keruntuhan jembatan adalah banjir dan penggerusan. Namun, di sisi lain perlu juga dianalisis mengenai kekuatan konstruksi *existing* dan beban jembatan Tinjomoyo selama operasional. Sehingga dapat disimpulkan penyebab terjadinya keruntuhan Jembatan Tinjomoyo pada tahun 2004 silam.

Berkaca pada uraian di atas, perlu adanya penelitian secara mendalam untuk menganalisis terkait pencegahan keruntuhan progresif yang dapat terjadi di Jembatan Tinjomoyo dari segi hidrologi dan segi geoteknik.

## 2. Metode

Perencanaan ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis permasalahan yang muncul di lapangan. Peneliti menggunakan teknik analisis data yaitu mengklasifikasikan data yang telah diperoleh, kemudian menyusun dan menganalisis apakah ada hubungan antara satu data dengan data lainnya. sesuai dengan fenomena yang diteliti (Creswell, 2010).

Data – data yang dikumpulkan seperti intensitas curah hujan dan kondisi sungai Kalijaga sebagai acuan dilakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit aliran serta muka air banjir. Data tersebut merupakan data sekunder. Data tersebut digunakan untuk mengetahui debit air muka normal dan banjir sungai Kalijaga. Nilai debit muka air banjir ini diperhitungkan pada stabilitas lereng sungai dan pilar jembatan Tinjomoyo. Pengolahan data menggunakan bantuan aplikasi HEC-RAS 6.0.7.

Data selanjutnya yang dikumpulkan adalah *soil investigation* sungai Tinjomoyo dan data teknis jembatan Tinjomoyo. Data tersebut merupakan data sekunder. Selanjutnya melakukan analisis geoteknik untuk mengetahui kekuatan struktur jembatan khususnya struktur pondasi saat kondisi layan dan kondisi lereng sungai akibat pengaruh debit aliran sungai. Pengolahan data menggunakan bantuan aplikasi SAP 2000 dan Plaxis 8.2.

Berdasarkan analisis dan pengumpulan data, didapatkan beberapa pencegahan keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo. Dari segi hidrologi, perlu adanya bangunan air *krib* dan *ground sill* untuk memperkecil muka air banjir dan debit aliran sungai di daerah hilir sebelum struktur pilar jembatan. Dari segi geoteknik, pada struktur pondasi jembatan, mendesain kembali pondasi pilar jembatan menggunakan *bored pile* dengan *system full casing* sampai kedalaman tanah keras dengan mempertimbangkan kondisi beban layan yang bekerja. Kedua kondisi tersebut akan dianalisis dan dibandingkan analisis *safety factor* dan ditarik kesimpulan.

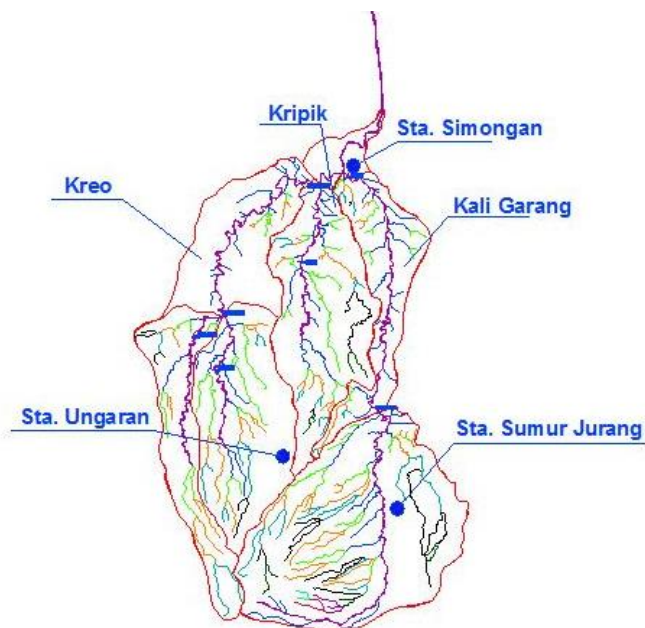
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Analisis Hidrologi

Dalam merencanakan bangunan pengamanan Jembatan Tinjomoyo diperlukan data curah hujan untuk perhitungan debit rancangan dengan kala ulang 50 tahun. Data hujan yang didapat adalah data hujan selama 16 tahun terakhir dan tercatat melalui stasiun hujan terdekat lokasi perencanaan, antara lain Sta. Simongan, Sta. Gunungpati, dan Sta. Sumurjurang. Data hujan yang telah didapatkan terlebih dahulu dianalisis untuk mendapatkan hujan kawasan atau hujan yang turun di sekitar lokasi perencanaan. Hujan kawasan diperoleh menggunakan metode *polygon thiessen* yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Daerah Tangkapan Air Hujan Kawasan

Daerah Tangkapan Air Hujan		
Simongan	9,26 km <sup>2</sup>	12%
Ungaran	11,58 km <sup>2</sup>	14%
Sumurjurang	59,58 km <sup>2</sup>	74%
Ai	80,12 km <sup>2</sup>	100%



Sumber: Peta Polygon Thiessen DAS Garang.

Gambar 2. Daerah Tangkapan Ari Hujan Sungai Garang

Perhitungan koefisien Thiessen (C) dapat dilakukan dengan membagi total luas daerah tangkapan air hujan dengan jumlah keseluruhan tangkapan air hujan (Ai).

- Sta. Simongan,  $C = 9,26 / 80,12 = 12\%$ ;
- Sta. Ungaran,  $C = 11,38 / 80,12 = 14\%$ ;
- Sta. Sumurjurang,  $C = 59,58 / 80,12 = 74\%$ .

### 3.2. Analisis Perencanaan Krib

Dalam perencanaan krib langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu penentuan lokasi pemasangan. Pemasangan krib dimulai pada lokasi ketika aliran mulai menggerus tebing sisi luar belokan. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan panjang dan jarak antar krib. Panjang krib diambil nilai 15% dari lebar sungai rata – rata saat debit maksimum. Rasio antara panjang dan jarak krib digunakan pedoman sesuai Tabel 2.

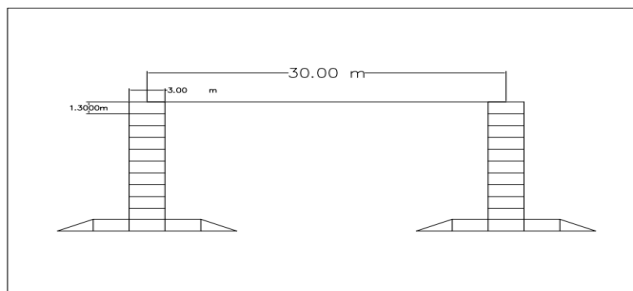
Tabel 2. Rasio antara Panjang dan Jarak Krib.

Lokasi Pembuatan Krib di Sungai	Hubungan Antara Interval (D) dan Panjang (L)
Bagian Lurus	$D = (1,7 - 2,3) L$
Bagian Luar	$D = (1,4 - 1,8) L$
Bagian Dalam	$D = (2,8 - 3,6) L$

Sehingga, diperoleh data perencanaan antara lain:

1. Lebar sungai pada saat debit maksimum 85 m
2. Panjang Krib (L) =  $0,15 \times 85 + 12,75 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$
3. Jarak interval antar krib (D) =  $2,3 \times 13 = 29,9 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$ , maka diambil jarak 30 m
4. Jarak antar tiang pancang :
  - 1,3 m (pada bagian bantaran)
  - 1,3 m (pada bagian tengah sungai)
  - Diameter tiang pancang (d): 30 cm = 0,3 m
  - Tinggi mercu krib direncanakan 1 m dibawah elevasi MAB
  - Balok penyambung antar tiang pancang 30 cm  $\times$  30 m = 0,3 m

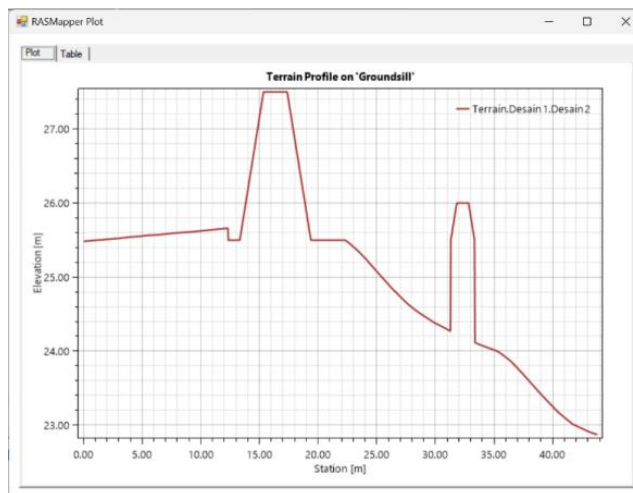
Dari atas di atas, ilustrasi struktur krib dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



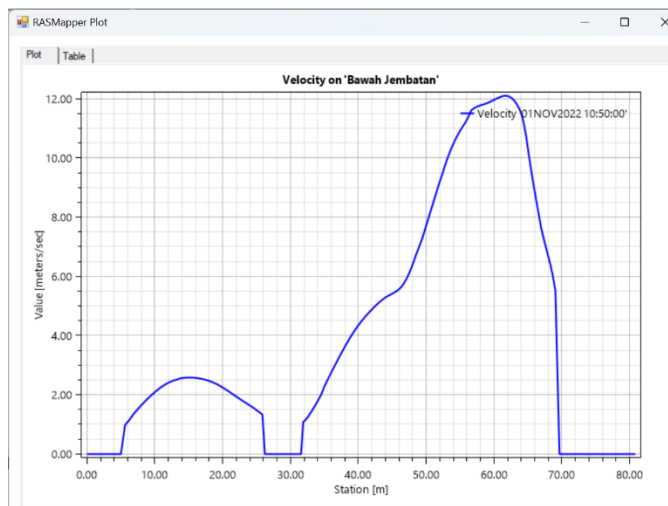
Gambar 2. Pemodelan Desain Krib

### 3.3. Simulasi *Groundsill* & *Krib* dengan Aplikasi HEC-RAS 6.0.7

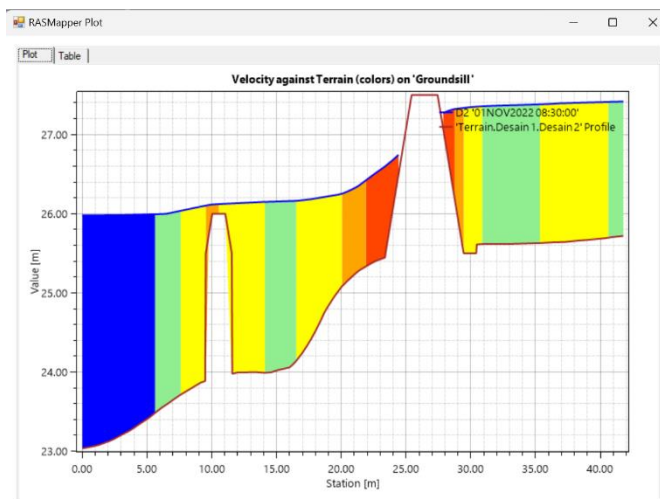
Simulasi *groundsill* dan *krib* dengan aplikasi HEC-RAS 6.0.7 dilakukan dengan tujuan mengetahui perbandingan kondisi *abutment* jembatan pada kondisi banjir apabila pada sungai ditambahkan *groundsill* dan *krib*. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 secara berturut-turut yaitu potongan *groundsill*, kecepatan aliran sebelum rekayasa *groundsill*, ketinggian air pada *groundsill*, dan kondisi debit aliran sebelum dilakukan rekayasa *groundsill*.



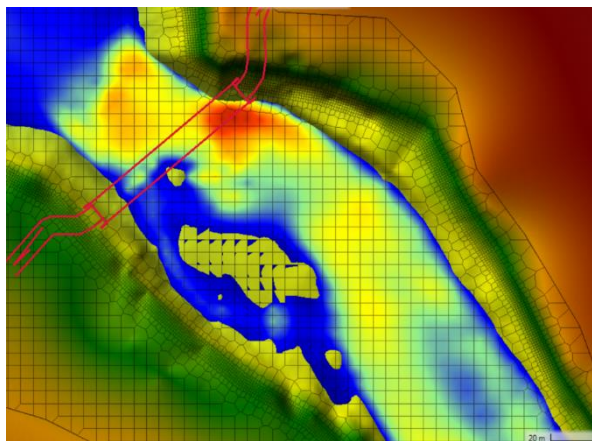
Gambar 3. Potongan *Groundsill*.



Gambar 4. Kecepatan Aliran sebelum Rekayasa *Groundsill*.



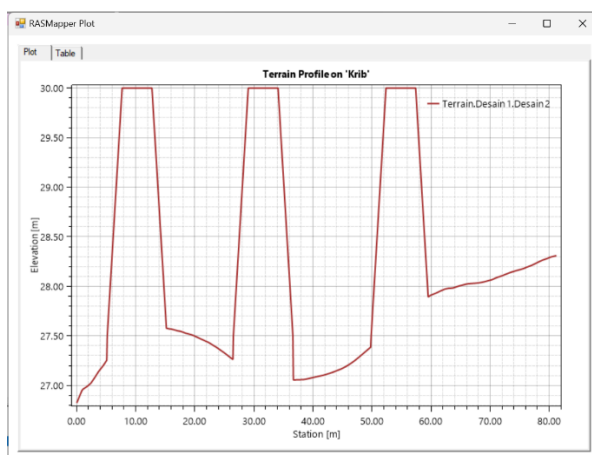
Gambar 5. Ketinggian Air pada *Groundsill*.



Gambar 6. Kondisi Aliran Sungai sebelum Rekayasa *Groundsill* dan *Krib*,

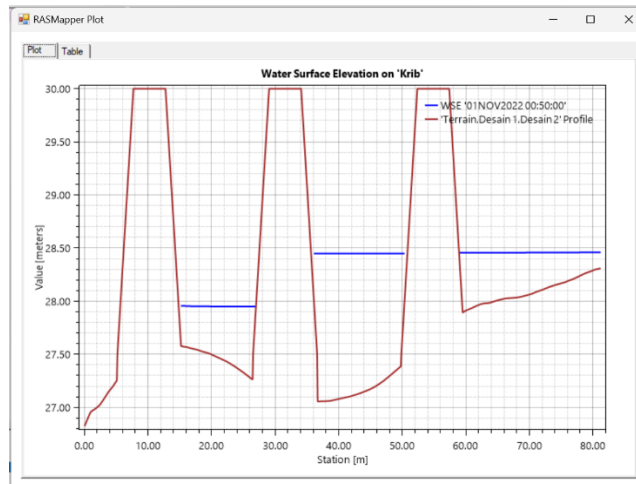
Gambar 6 menunjukkan bahwa kecepatan debit air sungai *existing* di daerah lereng berkisar 4-6 m/s<sup>2</sup> (ditunjukkan dengan warna biru muda hingga putih), dan debit air di daerah pilar jembatan berkisar 15 m/s<sup>2</sup> (ditunjukkan dengan warna merah). Hal ini mengindikasikan pengaruh gerusan air sungai cukup besar pada lereng dan pilar jembatan.

Maka dari itu, bagian lereng sungai akan direkayasa dengan penambahan bangunan *krib* dengan tujuan mengurangi debit aliran air sungai. Pemodelan kembali menggunakan bantuan *software* HEC-RAS 6.0.7 yang dapat dilihat pada Gambar 7 yang menunjukkan gambar potongan *krib*, Gambar 8 yang menunjukkan ketinggian air pada *krib*, Gambar 9 yang menunjukkan ketinggian air pada *krib* saat banjir, Gambar 10 yang menunjukkan kecepatan aliran setelah rekayasa, dan Gambar 11 yang menunjukkan keadaan aliran setelah rekayasa *groundsill* dan *krib*.

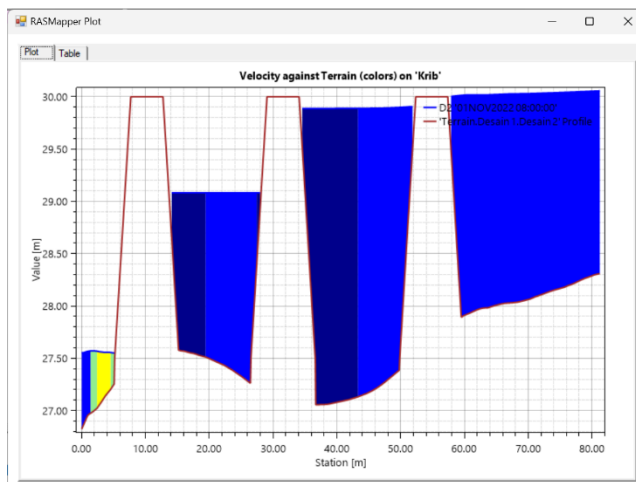


Gambar 7. Potongan *Krib*.

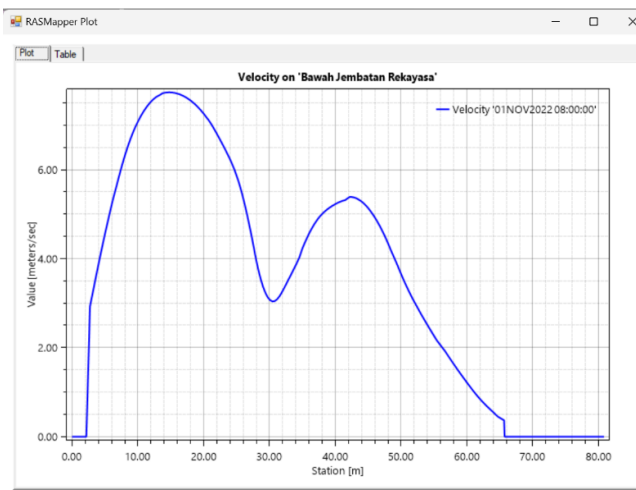




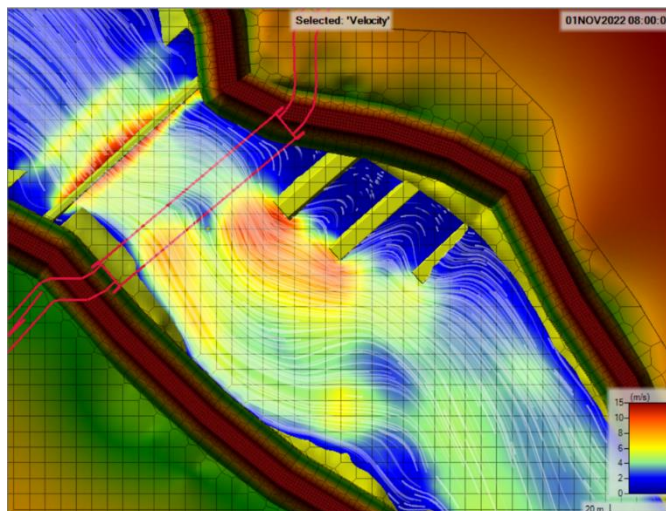
Gambar 8. Ketinggian Air pada Krib.



Gambar 9. Ketinggian Air pada Krib saat Banjir.



Gambar 10. Kecepatan Aliran setelah ReKayasa *Groundsill* dan Krib.



Gambar 11. Aliran Air setelah Rekayasa *Groundsill* dan Krib.

Gambar 11 menunjukkan bahwa kecepatan debit air sungai setelah rekayasa dengan penambahan bangunan *krib* di daerah lereng menjadi berkisar  $0-2 \text{ m/s}^2$  (ditunjukkan dengan warna biru tua), dan debit air di daerah pilar jembatan berkisar  $2-4 \text{ m/s}^2$  (ditunjukkan dengan warna biru tua-muda). Hal ini mengindikasikan pengaruh gerusan air sungai cukup besar pada lereng dan pilar jembatan.

### 3.4. Analisis Geoteknik

Data tanah diambil dari penyelidikan tanah dari Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung, Semarang tahun 2019. Dengan pengujian *bored-log* sebagai berikut:

LABORATORIUM MELAKLA TARAZI FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG		PROJECT : PEMBANGUNAN JALAN TINJOMOYO	DESCRIPTION BY : Ir. H. DJOKO SUSILO ADHY, MT								
SAMPLE TYPE : UDS & DS		LOCATION : SEMARANG	ELEVATION EXISTING : -1.20								
BACKFILL TYPE :		DATE START : 25 NOVEMBER 2019	DATE FINISH : 27 NOVEMBER 2019								
		MASTER BOR : BUDIONO	DEPT OF GWL : -								
		DEPT OF BOR : 15,0 m (0 - 15m)	TYPE OF HAMMER : Automatic Hammer								
Note : Pengamatan GWL Saat Pelaksanaan Pengambilan											
Depth (m)	SPT (N)				STANDARD PENETRATION (N)		USC	% of Core	SOIL SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	ELEVATION (m)
	Depth of GWL	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N						
0											-1.2
1										LEMPUNG KELANAUAN COKLAT GELAP KEHITAMAN, LUNAK	-2.2
2										LEMPUNG KELANAUAN COKLAT TERANG SEDIKIT ABU - ABU LUNAK	-3.2
3	6	9	10	19						LEMPUNG PADAT COKLAT GELAP SEDIKIT KUNING, AGAK KERAS	-4.2
4											-5.2
5	15	20	23	43						LEMPUNG PADAT COKLAT TERANG KEKUNINGAN, KERAS	-6.2
6											-7.2
7	18	26	30	56							-8.2
8											-9.2
9											-10.2
10	24	29	30	59							-11.2
11										LEMPUNG PADAT ABU - ABU KECOKLATAN SEDIKIT KUNING, KERAS	-12.2
12	28	29	30	59							-13.2
13											-14.2
14											-15.2
15	23	30	30	60						LEMPUNG PADAT COKLAT GELAP KEKUNINGAN SEDIKIT BINTIK HITAM, KERAS	-16.2
End of this boring, casing down to 15.0 meter											

Gambar 12. Data *Borelog* Tanah Sungai Kalijaga

Sumber: Data penyelidikan tanah dari Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung, Semarang tahun 2019

Dari data pada Gambar 12, dilakukan pengolahan data tanah untuk mengetahui parameter-parameter tanah. Hasil korelasi N-SPT dengan metode interpolasi didapatkan nilai-nilai parameter-parameter tanah sebagai berikut:

Tabel 3. Data Parameter-Parameter Fisik Tanah Hasil Pengolahan

No Layer	Karakteristik Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	Berat Jenis Tidak Jenuh $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Berat Jenis Jenuh $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Koefisien Permeabilitas $k_x, k_y$ (cm/dtk)	Modulus Young E (Kpa)	Poisson's Ratio $\nu$	Kohesi $C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sudut Geser $\phi$ (°)
1	Silty Clay (Lempung - Lanau, Coklat terang)	19	Very Stiff	17,33	19,33	$10^{-5}$	2640	0.45	9,5	28,00
2	Clay (Lempung, keras, Coklat terang)	43	Hard	18,21	20,20	$10^{-7}$	3000	0.35	40	24,50
3	Clay (Lempung, keras, Coklat terang)	56	Hard	16,60	19,79	$10^{-7}$	4500	0.373	45	21,00
4	Clay (Lempung, keras, Coklat abu)	59	Hard	14,98	19,38	$10^{-7}$	4780	0.396	50	20,5
5	Clay (Lempung, keras, Coklat abu)	59	Hard	15,25	19,46	$10^{-7}$	4780	0.386	50	20,5
6	Clay (Lempung, keras, Coklat gelap)	60	Hard	15,52	19,53	$10^{-7}$	4860	0.375	50	20

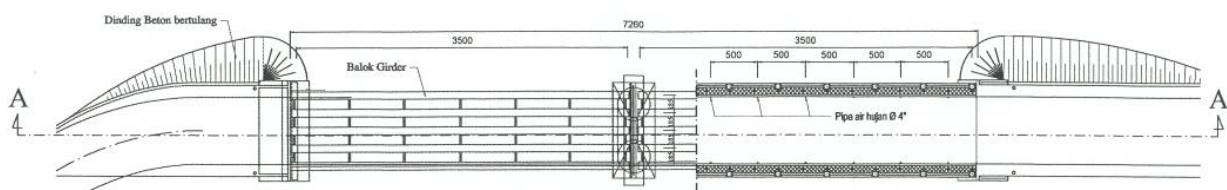
### 3.5. Analisis Komponen Struktur

Data-data komponen struktur Jembatan Tinjomoyo dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Data Struktur Jembatan Tinjomoyo

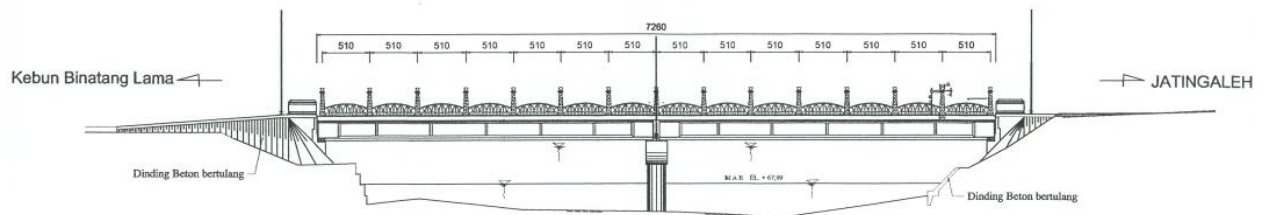
Elemen		Material/Bahan
Struktur Atas	<i>Pretensioned Precast Concrete Girder</i> Bentuk I	Beton K-350 Besi beton U.24 <i>Ultimit strand</i> baja prategang O1/2" = 189,8 kg/cm <sup>2</sup> (270 ksi) Jumlah gelagar 5
Struktur Bawah	<i>Pier</i>	Kolom Tunggal Beton K-400 Besi beton U.24
	<i>Abutment</i>	Bentuk <i>counterweight</i> Beton K-300 Besi beton U.24
	Pondasi	<i>Pile (group)</i> Beton K-300

Berdasarkan data dari Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang, gambar struktur Jembatan Tinjomoyo dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 berikut:



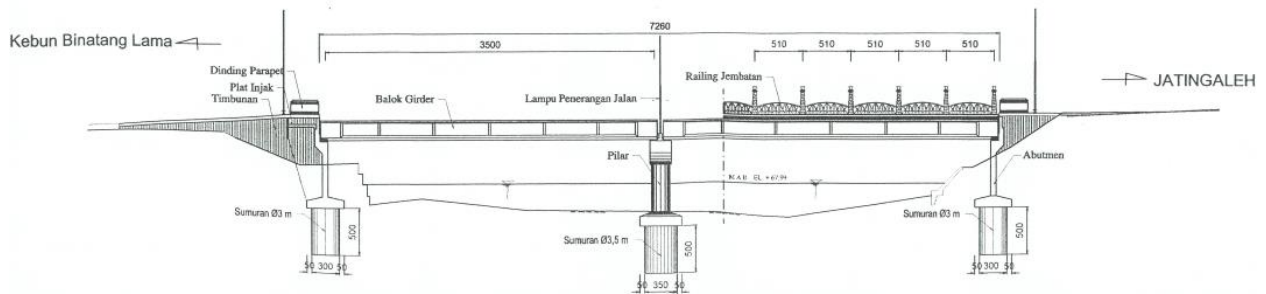
Gambar 13. Denah Struktur Jembatan Tinjomoyo

Sumber: Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang



Gambar 14. Tampak Samping Jembatan Tinjomoyo

Sumber: Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang



Gambar 15. Potongan A-A Jembatan Tinjomoyo

Sumber: Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang

Kemudian dilakukan perhitungan pembebanan dari komponen struktur jembatan Tinjomoyo, meliputi beban sendiri dan semua beban eksternal yang bekerja. Rekapitulasi pembebanan pada kondisi ultimit dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Rekapitulasi Kombinasi Beban Kondisi Ultimit

Kombinasi Beban	Pembebanan			
	Beban Merata	Beban Terpusat	Horizontal	
	Q (kN/m)	P (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)
Kombinasi 1	96.10	8231.39	333.00	106.12
Kombinasi 2	51.81	8133.39	185.00	0.00
Kombinasi 3	54.65	8133.39	185.00	106.12
Kombinasi 4	55.21	8133.39	185.00	127.34
Kombinasi 5	51.81	8133.39	1280.73	364.17
Kombinasi 6	2.84	8010.89	0.00	106.12

Kemudian dilakukan perhitungan gaya-gaya dalam yang bekerja pada pilar dan pondasi jembatan Tinjomoyo dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 dari 6 kombinasi di atas. Rekapitulasi gaya-gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Gaya di Ujung Pondasi

No	Gaya	Besar	Satuan
1.00	P	24291.05	kN
2.00	Hx	1341.98	kN
3.00	Hy	845.13	kN
4.00	Mx	9794.31	kNm
5.00	My	5507.16	kNm

Selanjutnya melakukan perhitungan stabilitas pilar jembatan Tinjomoyo dengan hasil sebagai berikut:

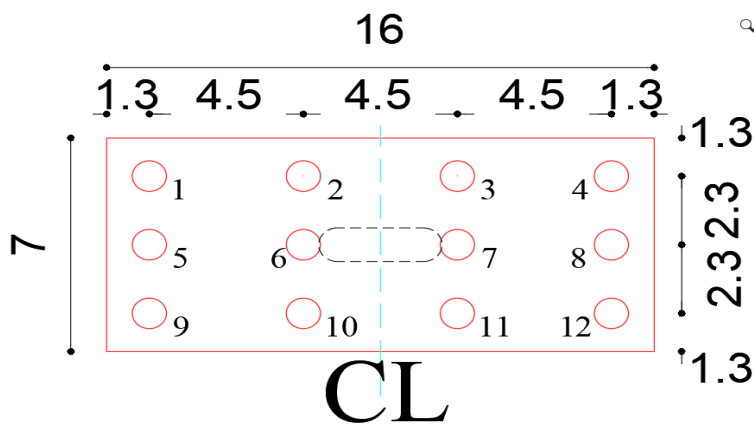
Arah memanjang

1. Stabilitas guling =  $M_p$  (85017,3 kNm) >  $M_x$  (9494,31 kNm) SF = 8,62 > 2,2 **aman**
2. Stabilitas geser =  $H$  (13979,6 kN) >  $H_x$  (1341,98 kN) SF = 10,41 > 1,1 **aman**

Arah melintang

1. Stabilitas guling =  $M_p$  (194325 kNm) >  $M_y$  (5507,16 kNm) SF = 35,29 > 2,2 **aman**
2. Stabilitas geser =  $H$  (13979,6 kN) >  $H_x$  (1341,98 kN) SF = 1,26 > 1,1 **aman**

Selanjutnya dilakukan perhitungan pondasi pilar dari, direncanakan pondasi *bored pile* dengan diameter 1 m dan kedalaman tanah keras 12 m. Sehingga didapatkan pondasi pilar menggunakan kelompok tiang 12D1 dan untuk pondasi abutment menggunakan kelompok tiang 6D1. Konfigurasi kelompok tiang pondasi pilar dapat dilihat pada Gambar 13 di bawah ini:

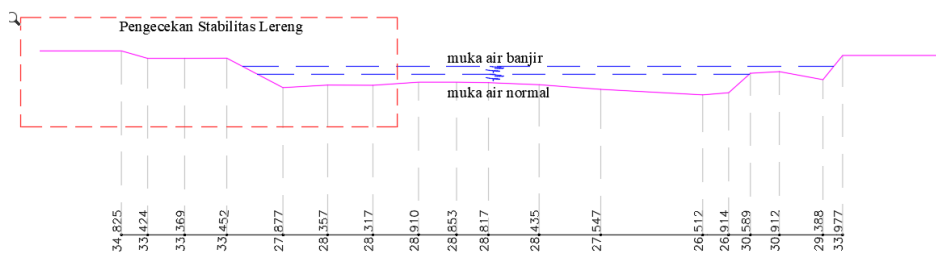


Gambar 16. Sketsa Perencanaan Pondasi Pilar

### 3.5. Analisis Lereng Sungai Kalijaga

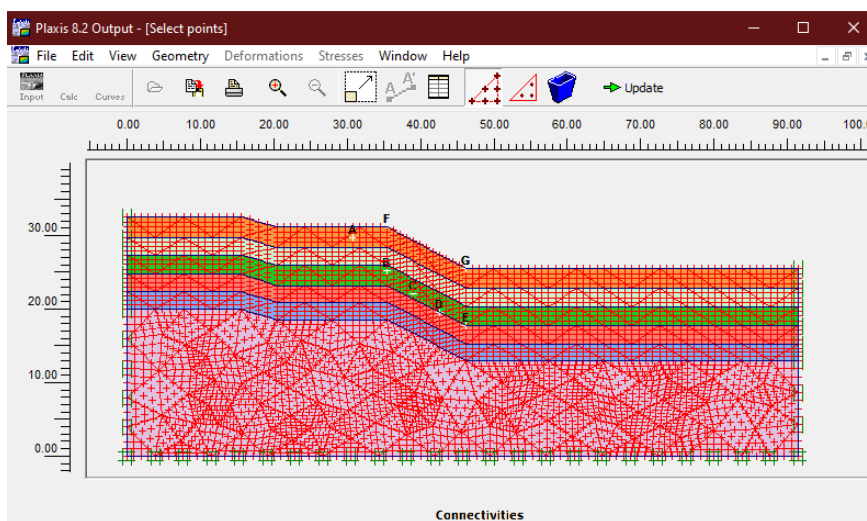
Komponen yang dianalisis selanjutnya adalah kondisi lereng sungai Kalijaga, analisis dilakukan dua kondisi yaitu, kondisi *existing* dan kondisi rekayasa. Analisis pertama sebagai berikut menggunakan Plaxis 8.2.

#### 1. Sketsa kondisi penampang sungai Kalijaga *existing*



Gambar 17. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi *Existing*.

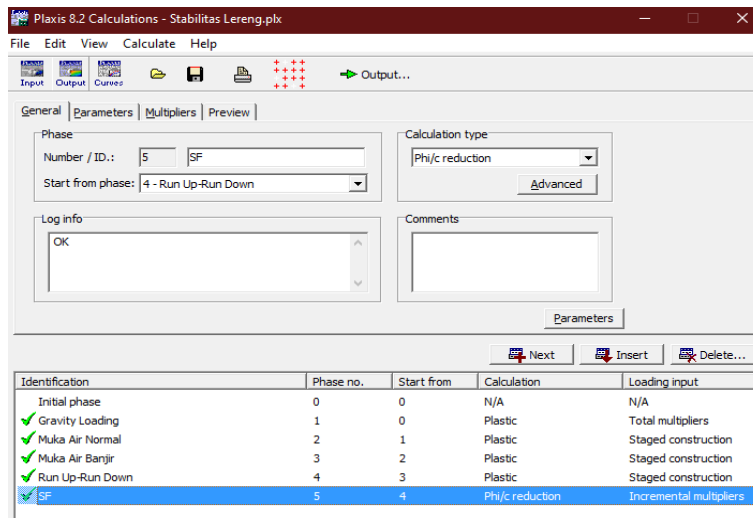
#### 2. Pemodelan titik-titik kritis di lereng.



Gambar 18. Pemilihan Titik-titik Kritis

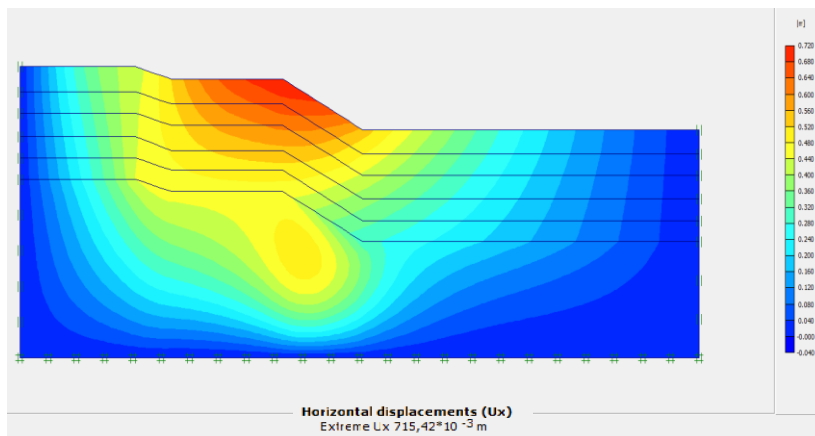


3. Proses *running*, dengan semua fase aman.



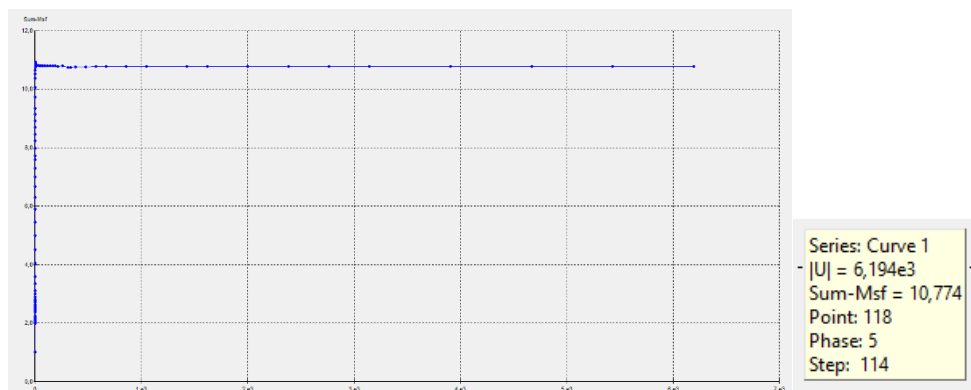
Gambar 19. Indikator *Running Phase*

4. Hasil *running* untuk *displacement* arah memanjang. Dengan hasil  $715,42 \times 10^{-3}$  m



Gambar 20. *Displacement* Arah Memanjang.

5. Hasil *running* untuk *safety factor*. 10,774

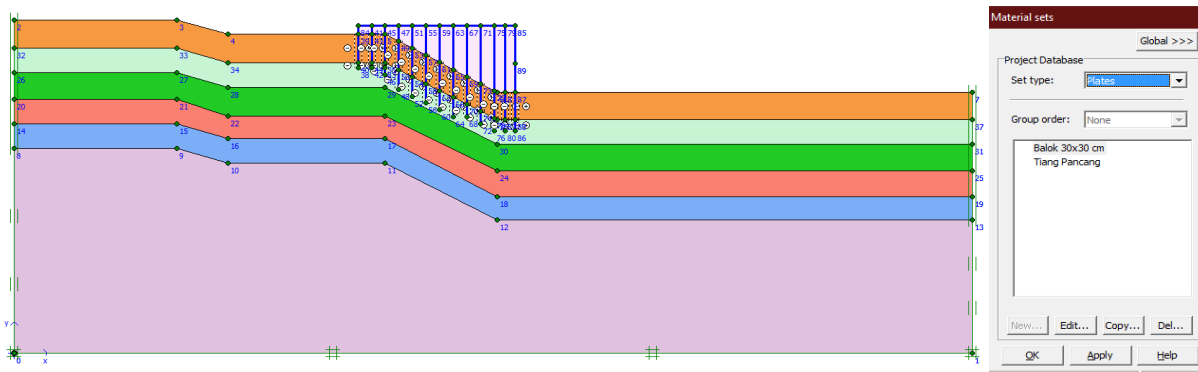


Gambar 21. *Safety Factor* Kondisi Lereng *Existing*.

Dari hasil *output* Plaxis dapat disimpulkan lereng *existing* sungai Kalijaga aman,  $SF = 10,774 > 1,5$  (OK)

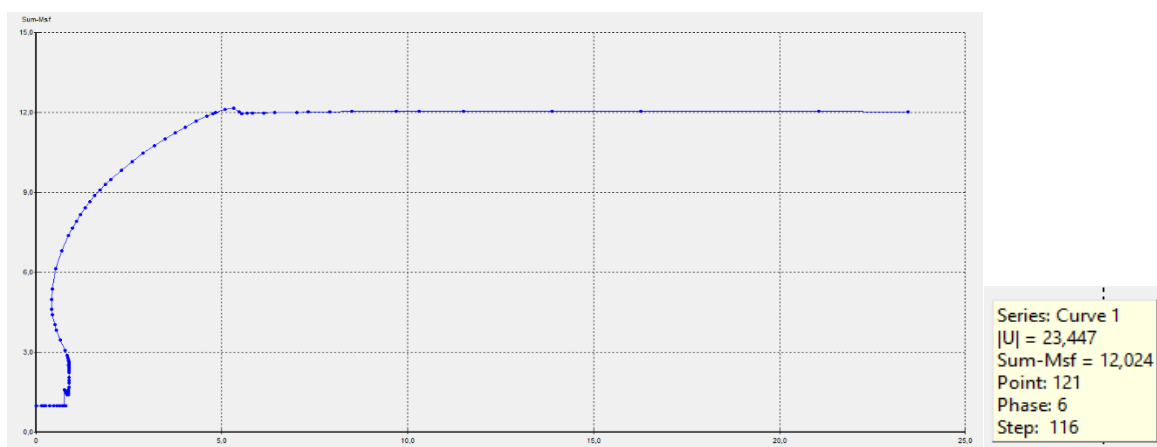
### 3.6. Analisis Lereng Kondisi Rekayasa

Untuk analisis kedua, dilakukan analisis stabilitas lereng pada kondisi rekayasa menggunakan Plaxis 8.2. Rekayasa dilakukan dengan cara membangun *ground sill* dan *krib* sebelum sampai di daerah pilar Jembatan Tinjomoyo sesuai Gambar 22.



Gambar 22. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi Rekayasa

Dari hasil pemodelan, didapatkan nilai *safety factor*  $SF = 12,024 > 1,5$  (OK) sesuai dengan Gambar 20 dibawah ini.



Gambar 23. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi Rekayasa

Perbandingan stabilitas lereng sungai kondisi lereng *existing* dan rekayasa dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Rekapitulasi Perbandingan *Output* Pemodelan Plaxis Kondisi *Existing* dan Rekayasa Lereng Sungai Jembatan Tinjomoyo

No	Kondisi <i>Existing</i>		Kondisi Rekayasa	
	<i>Displacement</i> Arah Memanjang (m)	SF	<i>Displacement</i> Arah Memanjang (m)	SF
1	$715,42 \times 10^{-3}$	10,774	$446,35 \times 10^{-3}$	12,024

Gambar 22 menunjukkan nilai *safety factor* sebesar 12,024 yang berarti stabilitas lereng dalam kondisi aman karena nilai *safety factor* lebih dari 1,5. Hal ini sesuai dengan sketsa penampang sungai Kalijaga pada kondisi rekayasa yang ditunjukkan pada Gambar 23. Maka dari itu, berdasarkan perbandingan *output* pemodelan plaxis kondisi *existing* dan rekayasa lereng sungai jembatan tinjomoyo pada Tabel 7, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya rekayasa di lereng sungai Jembatan Tinjomoyo untuk nilai *displacement* arah memanjangnya akan lebih kecil yaitu  $0,44635 \text{ m} = 446,35 \text{ mm}$  dibandingkan dengan  $0,71542 \times 10^{-3} \text{ m} = 715,42 \text{ mm}$ . Dan untuk nilai *safety factornya* lebih besar yaitu 12,024 dibandingkan dengan 10,774. Dari analisis data geoteknik di atas, dengan adanya bangunan *krib* yang memperkecil muka air dan debit aliran sungai, kestabilan lereng sungai bertambah dari 10,774 menjadi 12,024 dan *displacementnya* mengecil menjadi 446,35 mm. Meskipun tergolong aman, terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan, seperti: resiko penggerusan oleh debit air sungai yang meningkat di masa yang datang dan kesesuaian peruntukan struktur jembatan dan kelasnya.

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan metode analisis hidrologi dan geoteknik, dapat disimpulkan bahwa perbaikan struktur baru Jembatan Tinjomoyo dengan penambahan bangunan *krib* dan *ground sill* mengakibatkan debit aliran sungai Kalijaga berkurang dari  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  menjadi  $2-4 \text{ m}^3/\text{s}$  dan muka air banjir menjadi +2.00 m dari muka air normal. Hal ini mengakibatkan keamanan lereng sungai bertambah menjadi 12,024 yang melebihi 1,5 dan menambah stabilitas pilar jembatan. Selain itu, hasil *redesign* struktur pondasi jembatan direncanakan menggunakan *bored pile* dengan diameter 1 m dan kedalaman tanah keras 12 m, sehingga didapatkan



nilai *safety factor* 1,22. Dengan demikian, perbaikan struktur baru Jembatan Tinjomoyo dengan penambahan *krib* dan *grounsill* serta *redesign* pondasi pilar jembatan dengan tiang kelompok *bored pile* menghasilkan konstruksi baru jembatan Tinjomoyo aman terhadap keruntuhan progresif.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dan atas dukungan finansialnya pada penelitian ini dan keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada pihak-pihak yang turut membantu untuk diskusi yang bermanfaat.

#### **Daftar Pustaka**

- Creswell, J. W. (2010). *Research design: pendekatan kualitatif, kuantitatif, dan mixed*. Yogyakarta: PT Pustaka Pelajar.
- Rakhshith K G & Radhakrishna. (2013). *Progressive Collapse Analysis Of Reinforced Concrete Rangkad Structure*, 2, 36–40.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: PT Alfabet
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: CV Alfabeta.
- Syarifuddin, dkk. (2000). *Sains Geografi*. Jakarta: Bumi Aksara
- Wardhana, K., & Hadipriono, F. C. (2003). *Analysis of recent bridge failures in the United States*. *Journal of performance of constructed facilities*, 17(3), 144-150.

# Analisa Hasil Forensik Penerapan Manajemen Waktu pada Proyek Jalan Di Ruas Rancapanggung – Sarinagen Kabupaten Bandung Barat

Nurwahyono, dan Antono Damayanto

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

[nur\\_wahyo@yahoo.com](mailto:nur_wahyo@yahoo.com), [antono@gmail.com](mailto:antono@gmail.com)

## Abstrak

Manajemen waktu merupakan proses krusial untuk memastikan proyek selesai tepat waktu, yang terfokus pada perencanaan dan penjadwalan kegiatan proyek agar lebih cepat dan efisien. Penelitian ini mengeksplorasi penerapan manajemen waktu dalam proyek konstruksi Jalan di Ruas Rancapanggung – Sarinagen, Kabupaten Bandung Barat, yang dilaksanakan oleh PT. Basuki - Lesindo, KSO. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memahami faktor-faktor yang menghambat manajemen waktu serta faktor dominan yang berpengaruh. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui kuesioner kepada 21 responden, diikuti dengan analisis deskriptif dan perankingan responden, serta validasi melalui wawancara. Hasil penelitian menunjukkan empat hambatan utama dalam penerapan manajemen waktu, yaitu jumlah alat kerja yang tidak mencukupi (faktor dominan dengan 44,5%), metode konstruksi yang kurang tepat (43%), kurangnya komunikasi dan koordinasi antar tim pelaksana proyek (41,5%), dan material yang rusak atau tidak sesuai spesifikasi (41,4%). Faktor paling dominan dalam keterlambatan adalah jumlah alat kerja yang tidak mencukupi, menunjukkan pentingnya alokasi sumber daya yang memadai.

Kata kunci: Indeks Kepentingan, Indeks Pengaruh, Indeks Frekuensi, Manajemen Waktu, Proyek Konstruksi.

## Abstract

Time management is a crucial process to ensure projects are completed on time, which focuses on planning and scheduling project activities to make them faster and more efficient. This research explores the application of time management in the Road construction project in Rancapanggung - Sarinagen, West Bandung Regency, implemented by PT Basuki - Lesindo, KSO. The purpose of this study is to identify and understand the factors that hinder time management and the dominant factors that influence it. The research method used a quantitative approach through questionnaires to 21 respondents, followed by descriptive analysis and ranking of respondents, and validation through interviews. The results showed four main barriers in the implementation of time management, insufficient number of work tools (dominant factor with 44.5%), inappropriate construction methods (43%), lack of communication and coordination among the project implementation team (41.5%), and materials that are damaged or not according to specifications (41.4%). The most dominant factor in the delay was the insufficient number of work tools, indicating the importance of adequate resource allocation.

Keywords: Importance Index, Influence Index, Frequency Index, Time Management, Construction Project.

## 1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan ekonomi dan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor, pengelolaan serta pelaksanaan proyek pembangunan jalan menjadi semakin kompleks. Proyek jalan raya, yang bertujuan untuk meningkatkan konektivitas wilayah, kerap menghadapi kendala manajemen waktu yang berdampak pada biaya dan kualitas infrastruktur. Ketidaksiharian antara perencanaan waktu proyek dan pelaksanaannya sering kali mengakibatkan keterlambatan, yang berdampak pada kualitas jalan dan peningkatan biaya pemeliharaan serta konstruksi (ARITEKIN, 2024).

Menurut acuan yang ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional, proyek konstruksi, termasuk pembangunan jalan, harus mematuhi standar waktu pelaksanaan yang tertuang dalam SNI 7974:2014 tentang Pedoman Manajemen Proyek Konstruksi dan Peraturan Menteri PUPR No. 28/PRT/M/2016 (Indonesia Patent No. No. 28/PRT/M/2016, 2016). Penerapan standar ini diharapkan mampu mengurangi risiko keterlambatan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Namun, dalam kenyataannya (das-sein), hasil penelitian dan pengamatan awal menunjukkan bahwa faktor perencanaan yang kurang matang, perubahan desain, dan kendala di lapangan sering kali menghambat

### Info Makalah:

Dikirim : 07-01-24;  
Revisi 1 : 11-09-24;  
Revisi 2 : 12-08-24;  
Revisi 3 : 12-09-24;  
Diterima : 12-17-24.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62831-9552-3524  
e-mail : [nur\\_wahyo@yahoo.com](mailto:nur_wahyo@yahoo.com)

pencapaian target waktu proyek. Misalnya, pada proyek pembangunan jalan Rancapanggung - Sarinagen di Kabupaten Bandung Barat, proyek yang awalnya ditargetkan selesai dalam 180 hari harus diperpanjang hingga 210 hari karena kendala teknis dan manajemen yang tidak efektif (Rizal, Manek, & Bella, 2023).

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, keterlambatan dalam proyek konstruksi jalan sering kali disebabkan oleh berbagai faktor yang berhubungan dengan manajemen waktu yang tidak optimal. Sebagai contoh, Leo-Olagbaye dan Odeyinka (2018) (Leo-olagbaye, 2018) dalam

penelitiannya yang dilakukan di Osun State, Nigeria, menemukan bahwa faktor risiko utama yang menyebabkan keterlambatan adalah perubahan ruang lingkup pekerjaan, desain yang cacat, serta kesalahan dan perbaikan yang harus dilakukan selama proyek berlangsung. Studi ini mengungkapkan bahwa meskipun faktor-faktor ini sering terjadi, mereka tidak selalu memiliki dampak besar dibandingkan dengan faktor lainnya, seperti ketidakterediaan rincian desain yang tepat waktu dan kondisi tak terduga yang mempengaruhi pelaksanaan proyek. Selain itu, Gómez-Cabrera et al. (2020) (Gómez-Cabrera, 2020) dalam studi mereka tentang proyek jalan rural di Kolombia juga mencatat bahwa proyek dengan durasi yang lebih pendek cenderung mengalami keterlambatan lebih tinggi, terutama pada proyek yang dikelola di awal masa jabatan walikota atau yang memiliki sumber daya lebih besar. Penelitian ini menunjukkan bahwa variabel anggaran dan intensitas proyek memiliki hubungan yang signifikan dengan deviasi biaya dan waktu. Sebuah studi serupa oleh Deep et al. (2022) (Deep, 2022) mengenai proyek konstruksi jalan tol menemukan bahwa kendala eksekusi, perubahan desain, dan ambiguitas dalam spesifikasi menjadi faktor utama yang mempengaruhi kinerja proyek, yang pada akhirnya mengarah pada keterlambatan dan pembengkakan biaya. Studi ini menekankan pentingnya perencanaan yang lebih baik dan metodologi manajemen proyek yang lebih efisien untuk meminimalkan risiko keterlambatan. Di sisi lain, di Ghana, Amoatey & Ankrah (2017) (Amoatey, 2017) melaporkan bahwa sekitar 70% proyek konstruksi jalan mengalami keterlambatan, dengan penyebab utama berasal dari keterlambatan pendanaan dan pembayaran oleh pemilik proyek, kurangnya pengalaman kontraktor, serta perubahan ruang lingkup yang sering terjadi selama proses konstruksi. Hasil-hasil dari penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat standar dan pedoman yang jelas dalam manajemen waktu, banyak proyek jalan yang tidak dapat memenuhi target waktu yang telah ditetapkan, terutama karena faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi pelaksanaan proyek di lapangan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keterlambatan dalam proyek jalan dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, termasuk perubahan desain, masalah lingkungan, dan masalah teknis (Rizal, Manek, & Bella, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan manajemen waktu dalam proyek jalan Rancapanggung - Sarinagen, mengidentifikasi faktor-faktor keterlambatan, dan menyusun rekomendasi untuk mengurangi risiko keterlambatan di proyek-proyek serupa. Analisis ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pemahaman pentingnya penerapan manajemen waktu yang efektif untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas proyek konstruksi jalan di masa depan.

## 2. Metode

Kegiatan proyek dapat dijelaskan sebagai alokasi sumber dana tertentu untuk jangka waktu terbatas, yang ditujukan untuk melaksanakan tugas dan tujuan yang diuraikan dengan jelas (Indonesia Patent No. No. 28/PRT/M/2016, 2016).

Dalam penelitian ini yang menjadi objek/ subjek penelitian adalah sejumlah 21 responden dari PT.Basuki – Lesindo, KSO. Metode analisis data menggunakan metode kuantitatif yang dibantu *software Microsoft Office Excel*. Adapun teknik Analisis Data yang digunakan dalam Penelitian ini adalah:

### 2.1. Analisis Deskriptif

Menurut (Ghozali, 2018), analisis deskriptif adalah analisis yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Ghozali, 2018).

### 2.2. Teknik Keabsahan Data

#### a. Uji Validitas

Menurut Sugiyono (2017), Instrumen yang valid berarti alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data (mengukur) itu valid. Valid berarti instrument tersebut dapat digunakan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur (Sugiyono, 2017).

#### b. Uji Reliabilitas

Menurut Sugiyono (2017), yang menyatakan bahwa Instrumen yang reliabilitas adalah instrumen yang bila digunakan beberapa kali mengukur objek yang sama, akan menghasilkan data yang sama (Sugiyono, 2017).

$$2R_i = \frac{2r_b}{1 + r_b} \quad (1)$$

### 2.3. Teknik Analisis Data

Teknik Analisis data Menggunakan Analisis Ranking, Menurut (Ghozali, 2018), Analisis Ranking merupakan proses penilaian yang bertujuan untuk memberikan urutan atau peringkat terhadap sejumlah elemen atau faktor berdasarkan pada kriteria tertentu (Ghozali, 2018).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh dari kuesioner, dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden merupakan Pelaksana Lapangan, Supervisor, *Site Engineer*, Surveyor. Distribusi pengalaman kerja mayoritas responden berada pada rentang 2-3 tahun, dengan sebagian kecil memiliki pengalaman minimal 5 tahun. Mayoritas responden memiliki gelar Sarjana (S1), sementara sebagian kecil memiliki tingkat pendidikan Diploma 3 (D3).

Berikut Rekapitulasi perhitungan skor masing-masing dari indikator variabel Perubahan Kontrak yaitu:

Tabel 2. Rekapitulasi Variabel Manajemen Waktu

No	Faktor	Indeks
1	Perencanaan	88 %
2	Pengawasan	86 %
3	Alat	90 %
4	Material	85 %
5	Tenaga Kerja	87 %
6	Keuangan	87 %
7	Komunikasi	83 %
Rata - Rata		86,57%

Berdasarkan Tabel 1 analisis faktor-faktor yang mempengaruhi manajemen waktu dalam proyek pembangunan jalan Rancapanggung - Sarinagen di Kabupaten Bandung Barat, dapat disimpulkan bahwa keberhasilan manajemen waktu sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama dengan rata-rata indeks pengaruh sebesar 86,7%. Keseluruhan faktor ini menunjukkan bahwa manajemen waktu yang efektif sangat bergantung pada koordinasi yang baik, perencanaan yang matang, pemantauan yang ketat, dan penggunaan sumber daya yang optimal. Dengan mengelola faktor-faktor ini secara efektif, proyek-proyek jalan di masa depan dapat diselesaikan dengan lebih efisien dan efektif, mengurangi kerugian dan meningkatkan kualitas infrastruktur.

Uji reliabilitas dilakukan dengan mengirim 7 Faktor kuesioner sebagai uji angket awal. Untuk menghitung reliabilitas instrumen digunakan rumus *Cronbach alpha* ( $\alpha$ ). Berikut ulasan hasil uji angket reliabilitas yang dilakukan pada pertanyaan tentang pengaruh serta frekuensinya, sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Varian Sampel

$s^2i$		
$s^2_1 = 0,28$	$s^2_{13} = 0,00$	$s^2_{25} = 0,67$
$s^2_2 = 0,28$	$s^2_{14} = 0,00$	$s^2_{26} = 0,67$
$s^2_3 = 0,2$	$s^2_{15} = 0,67$	$s^2_{27} = 0,22$
$s^2_4 = 0,67$	$s^2_{16} = 0,22$	$s^2_{28} = 0,22$
$s^2_5 = 0,22$	$s^2_{17} = 0,89$	$s^2_{29} = 0,00$
$s^2_6 = 0,22$	$s^2_{18} = 0,22$	$s^2_{30} = 0,89$
$s^2_7 = 0,67$	$s^2_{19} = 0,22$	$s^2_{31} = 0,89$
$s^2_8 = 0,22$	$s^2_{20} = 0,00$	$s^2_{32} = 0,22$
$s^2_9 = 1,56$	$s^2_{21} = 0,22$	$s^2_{33} = 0,22$
$s^2_{10} = 0,22$	$s^2_{22} = 0,22$	$s^2_{34} = 0,22$
$s^2_{11} = 0,67$	$s^2_{23} = 0,22$	
$\sum s^2i = 13,28$		

$$\alpha = \left( \frac{34}{34 - 1} \right) \left( 1 - \frac{13,28}{75,295} \right) = 0,8505 \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan faktor dampak  $\alpha=0,8505 > 0,60$  terlihat bahwa instrumen (kuesioner) mempunyai reliabilitas yang tinggi.

Berdasarkan Tabel 2, faktor-faktor utama yang mempengaruhi manajemen waktu antara lain perencanaan, pengawasan, alat, material, tenaga kerja, keuangan, dan komunikasi. Perencanaan mendapat skor tertinggi (88%), menunjukkan pentingnya tahap ini dalam memastikan kelancaran proyek. Skor ini sejalan dengan temuan Bhatt & Sarkar (2020) (Bhatt, 2020) yang menunjukkan bahwa perencanaan dan pengawasan adalah kunci dalam mengelola risiko dan keberhasilan proyek, terutama pada model *Public Private Partnership* (PPP) dalam proyek jalan raya di India. Dalam penelitian mereka, kurangnya perencanaan dan pengawasan sering menyebabkan keterlambatan dan biaya tambahan, hal yang juga terlihat pada hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa kurangnya pengawasan penggunaan alat mendapat skor tertinggi dalam kendala manajemen waktu.

Proses selanjutnya adalah uji validitas. Uji validitas dilakukan dengan menggunakan rumus teknik korelasi *product moment* untuk mencari korelasi setiap item dengan total skor. Berdasarkan tabel nilai *r product moment* kuesioner

dengan jumlah responden 21 orang dan tingkat signifikansi 5%, suatu pertanyaan dinyatakan valid jika nilai  $r$  hitung  $\geq 0,444$ . Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi validitas :

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi Validitas

No	Faktor	R Hitung	R Tabel	Keputusan
X1.1	Perencanaan	0,61	0,44	Valid
X1.2		0,56	0,44	Valid
X1.3		0,74	0,44	Valid
X1.4		0,67	0,44	Valid
X2.1	Pengawasan	0,55	0,44	Valid
X2.2		0,72	0,44	Valid
X2.3		0,71	0,44	Valid
X2.4		0,82	0,44	Valid
X2.5		0,94	0,44	Valid
X3.1	Alat	0,46	0,44	Valid
X3.2		0,53	0,44	Valid
X3.3		0,54	0,44	Valid
X3.4		0,70	0,44	Valid
X3.5		0,51	0,44	Valid
X4.1	Material	0,77	0,44	Valid
X4.2		0,50	0,44	Valid
X4.3		0,72	0,44	Valid
X4.4		0,48	0,44	Valid
X5.1	Tenaga Kerja	0,68	0,44	Valid
X5.2		0,50	0,44	Valid
X5.3		0,86	0,44	Valid
X5.4		0,72	0,44	Valid
X5.5		0,67	0,44	Valid
X5.6		0,83	0,44	Valid
X5.7		0,82	0,44	Valid
X6.1	Keuangan	0,46	0,44	Valid
X6.2		0,49	0,44	Valid
X6.3		0,51	0,44	Valid
X6.4		0,65	0,44	Valid
X7.1	Komunikasi	0,53	0,44	Valid
X7.2		0,54	0,44	Valid
X7.3		0,71	0,44	Valid
X7.4		0,54	0,44	Valid
X7.5		0,56	0,44	Valid

Dari hasil uji validitas pada Tabel 3 diketahui bahwa nilai  $r$  hitung seluruh instrumen (kuesioner) pertanyaan tentang variabel pengaruh dan variabel frekuensi lebih besar dari 0,444 sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh item pertanyaan valid.

Uji reliabilitas dan validitas pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat baik. Dengan menggunakan rumus *Cronbach alpha*, didapatkan nilai reliabilitas sebesar 0,8505, yang menunjukkan bahwa instrumen penelitian sangat reliabel. Selain itu, hasil uji validitas menggunakan teknik korelasi *product moment* menunjukkan bahwa semua item pertanyaan valid, karena nilai  $r$  hitung untuk setiap faktor lebih besar dari 0,444. Hal ini mendukung hasil penelitian yang dapat dipercaya dan diandalkan, sejalan dengan penelitian Ojha & Vrat (2017) (Ojha, 2017) yang menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan sektor manufaktur India, termasuk infrastruktur jalan yang mendukung kelancaran proyek konstruksi dan operasional.

Nilai Indeks Dampak (SI) menunjukkan seberapa besar dampaknya, dalam hal ini besarnya keterlambatan yang disebabkan oleh variabel kendala dalam penerapan manajemen waktu yang relevan jika terjadi pada saat proyek berlangsung. Semakin mendekati nilai SI 100 maka semakin besar dampak kendala penerapan manajemen waktu. Berikut peringkat 4 kendala teratas dalam Penerapan Manajemen Waktu:

Tabel 4. Rakapitulasi Kendala Manajemen Waktu Berdasarkan Indeks Pengaruh

No	Si %	Kendala
1	96	Kurangnya pengawasan penggunaan alat
2	94	Kerusakan alat
3	93	Lambatnya pengambilan keputusan oleh manajer proyek
4	92	Identifikasi jenis dan spesifikasi pekerjaan tidak lengkap

Berdasarkan pada tabel 4 Faktor – Faktor Manajemen Waktu berdasarkan indeks pengaruh di atas dapat diketahui bahwa SI (%) tertinggi sebesar 96% yaitu Kurangnya pengawasan penggunaan alat, 2) SI (%) sebesar 94% yaitu kerusakan alat, 3) SI (%) sebesar 93% yaitu Lambatnya pengambilan keputusan oleh manajer proyek dan 4) SI (%) sebesar 92% yaitu Identifikasi jenis dan spesifikasi pekerjaan tidak lengkap.

Perhitungan FI digunakan untuk menilai frekuensi terjadinya hambatan berdasarkan jawaban responden. Nilai FI (%) berkisar antara 25 (minimum) hingga 100 (maksimum). Berikut adalah Ranking 4 Besar Kendala Penerapan Manajemen Waktu:

Tabel 5 Rakapitulasi Kendala Manajemen Waktu Berdasarkan Indeks Frekuensi

No	Fi %	Kendala
1	51	Jumlah alat kerja yang tersedia tidak memadai
2	49	Metode konstruksi/pelaksanaan kerja tidak tepat
3	48	Material rusak atau tidak sesuai dengan spesifikasi
4	48	Benturan antar aktivitas proyek

Berdasarkan pada tabel 5 Faktor – Faktor Manajemen Waktu berdasarkan indeks frekuensi di atas dapat diketahui bahwa FI (%) tertinggi sebesar 51% yaitu Jumlah alat kerja yang tersedia tidak memadai. 2) FI (%) sebesar 49% yaitu Metode konstruksi/pelaksanaan kerja tidak tepat, 3) FI (%) sebesar 48% yaitu Material rusak atau tidak sesuai dengan spesifikasi dan 4) FI (%) sebesar 48% yaitu Benturan antar aktivitas proyek.

Indeks kepentingan (ImpI) merupakan hasil perkalian FI dan SI. ImpI akan digunakan untuk menentukan peringkat hambatan dalam penerapan manajemen waktu. Semakin tinggi nilai ImpI maka semakin besar pentingnya penundaan yang disebabkan oleh hambatan penerapan manajemen waktu.

Tabel 6 Rakapitulasi Kendala Manajemen Waktu Berdasarkan Indeks Kepentingan

No	Impl %	Kendala
1	44,5	Jumlah alat kerja yang tersedia tidak memadai
2	43	Metode konstruksi/pelaksanaan kerja tidak tepat
3	41,5	Kurangnya komunikasi dan koordinasi antar tim pelaksana proyek
4	41,4	Material rusak atau tidak sesuai dengan spesifikasi

Berdasarkan Tabel 4, kendala utama dalam penerapan manajemen waktu adalah kurangnya pengawasan terhadap penggunaan alat dan kerusakan alat. Hal ini menunjukkan kesamaan dengan studi Bhatt & Sarkar pada tahun 2020, yang menyebutkan bahwa masalah dengan alat dan pengawasan merupakan faktor utama yang menghambat kelancaran proyek. Dalam penelitian tersebut, kerusakan alat dan pengambilan keputusan yang lambat oleh manajer proyek berkontribusi besar terhadap keterlambatan dan kegagalan proyek (Bhatt, 2020). Selain itu, berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, kendala utama dalam hal frekuensi dan kepentingan adalah jumlah alat kerja yang tidak memadai dan metode konstruksi yang tidak tepat. Temuan ini menunjukkan pentingnya perencanaan dan pengelolaan yang cermat terhadap sumber daya, sesuai dengan analisis dalam studi Ojha & Vrat pada tahun 2017, yang mengidentifikasi pentingnya kualitas infrastruktur untuk mendukung pertumbuhan sektor manufaktur dan konstruksi (Ojha, 2017). Dengan demikian, perbandingan hasil penelitian ini dengan studi-studi sebelumnya memperkuat kesimpulan bahwa manajemen waktu yang efektif dalam proyek konstruksi sangat dipengaruhi oleh perencanaan yang matang, pengawasan yang ketat, serta pengelolaan sumber daya yang optimal. Keterlambatan dan kendala dalam penggunaan alat serta kerusakan alat dapat menghambat kelancaran proyek, dan hal ini perlu mendapat perhatian serius dari semua pihak terkait dalam proyek pembangunan jalan. Selain itu, berdasarkan pada tabel 6 Faktor – Faktor Manajemen Waktu berdasarkan indeks kepentingan di atas dapat diketahui bahwa Impl (%) tertinggi sebesar 44,5% yaitu Jumlah alat kerja yang tersedia tidak memadai 2) Impl (%) sebesar 43% yaitu Metode konstruksi/pelaksanaan kerja tidak tepat, 3) Impl (%) sebesar 41,5% yaitu Kurangnya komunikasi dan koordinasi antar tim pelaksana proyek dan 4) Impl (%) sebesar 41,4% yaitu Material rusak atau tidak sesuai dengan spesifikasi (Bhatt, 2020) (Ojha, 2017).

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kendala manajemen waktu pelaksanaan proyek jalan ruas Rancapanggung-Sarinagen Kabupaten Bandung Barat, terdapat beberapa temuan penting. Faktor dominan penghambat penerapan manajemen waktu adalah: alat dengan indeks sebesar 90%, perencanaan sebesar 88,25%, tenaga kerja sebesar 86,5%, pengawasan sebesar 86,25%, material sebesar 85%, keuangan sebesar 85%, serta komunikasi dan koordinasi sebesar 81,25%. Dari faktor-faktor tersebut, empat kendala utama adalah: jumlah alat kerja yang tidak memadai (44,5%), metode konstruksi yang tidak tepat (43%), kurangnya komunikasi dan koordinasi antar tim (41,5%), serta material yang rusak atau tidak sesuai spesifikasi (41,4%).

Untuk meningkatkan efektivitas manajemen waktu dalam proyek konstruksi jalan di ruas Rancapanggung – Sarinagen, diperlukan beberapa langkah penting. Langkah-langkah tersebut meliputi penerapan sistem pengendalian keuangan yang ketat, pengadaan material yang teliti, penjadwalan pembayaran yang tepat waktu, perbaikan metode konstruksi, peningkatan perencanaan durasi kerja, penguatan komunikasi dan koordinasi, serta pembaruan jadwal

sesuai dengan perubahan yang terjadi. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, diharapkan proyek dapat berjalan lebih efisien dan risiko penundaan yang tidak diinginkan dapat diminimalisir.

### Saran

Berdasarkan analisis mengenai kendala dalam manajemen waktu pada proyek jalan di ruas Rancapanggung – Sarinagen Kabupaten Bandung Barat, dapat disimpulkan bahwa untuk meningkatkan efektivitas manajemen waktu, perlu dilakukan beberapa langkah penting. Pertama, lakukan evaluasi mendalam terhadap kebutuhan alat untuk memastikan alat yang digunakan memadai. Kedua, perbaiki metode konstruksi dan perencanaan durasi kerja dengan menyusun rencana yang lebih terstruktur dan realistis. Ketiga, tingkatkan efektivitas komunikasi dan koordinasi antar tim pelaksana proyek untuk mengurangi kesalahpahaman dan mempercepat pengambilan keputusan. Terakhir, lakukan evaluasi menyeluruh setelah proyek selesai untuk memanfaatkan pengalaman dan terus meningkatkan praktik manajemen waktu di proyek-proyek selanjutnya.

### Ucapan Terima Kasih

Berkat doa, saran dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya laporan Tesis ini dapat diselesaikan. Dengan ini, penyusun mengucapkan terima kasih sedalam dalamnya kepada: Yang saya sayangi serta banggakan Keluarga saya karena berkat rasa cinta tak terhingga dapat menyelesaikan Tesis ini. Yang terhormat Dr. Een Taryana, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Yang terhormat Bapak Dr. Ir. Yudi Herdiansah, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Yang terhormat Bapak Dr. Ir. Antono Damayanto, MMBAT selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan pengetahuannya untuk membimbing, berdiskusi, dan memberi pengarahan dalam penyusunan Tesis ini.

### Daftar Notasi

$R_i$  = Reliabilitas internal seluruh instrumen

$R_b$  = Korelasi *product inert* antara belahan pertama dengan belahan kedua

### Daftar Pustaka

- Amoatey, C. T. (2017). Exploring critical road project delay factors in Ghana. *Journal of Facilities Management*, 15(2), 110-127.
- ARITEKIN, A. R. (2024). Analisis Faktor-Faktor Pekerjaan Proyek Prasarana Jalan Lingkungan. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 38-54.
- Bhatt, N. &. (2020). Evaluation of success and risk factors for highway project performance through integrated analytical hierarchy process and fuzzy interpretive structural modelling. *International Journal of Construction Management*, 20(6), 65.
- Deep, S. B. (2022). Critical factors influencing the performance of highway projects: an empirical evaluation. *Buildings*, 12(6), 849.
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate SPSS 25*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Gómez-Cabrera, A. S.-B.-D.-T. (2020). Identification of factors affecting the performance of rural road projects in Colombia. *Sustainability*, 12(18), 7377.
- Leo-olagbaye, F. &. (2018). An evaluation of risk factors and their impact on road project. *Journal of Construction Business and Management*, 2(2), 24-35.
- Ojha, R. &. (2017). Integrated impact of highway infrastructure, labour productivity and circular material consumption on Indian manufacturing growth: A system dynamics perspective. *Journal of Advances in Management Research*, 14(4), 527-542.
- PUPR, P. M. (2016). *Indonesia Paten No. No. 28/PRT/M/2016*.
- Rizal, A. H., Manek, P. K., & Bella, R. A. (2023). ANALISIS FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB PERBEDAAN WAKTU ANTARA PERENCANAAN DAN REALISASI DI LAPANGAN PADA PROYEK KONSTRUKSI. *Jurnal Teknik Sipil*, 12 No. 2, 159-172.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.



# Penurunan Kadar Organik Endapan *Calcite* pada Metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP) Menggunakan Etanol sebagai Upaya Perbaikan Tanah

Resti Maulasih<sup>1</sup>, Heriansyah Putra<sup>1</sup>, dan Hendra Prasetya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian,  
Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

<sup>2</sup>Research Centre for Mining Technology, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),  
Tanjung Bintang, Lampung, Indonesia

[fornaxmaulasih@apps.ipb.ac.id](mailto:fornaxmaulasih@apps.ipb.ac.id), [heriansyahptr@apps.ipb.ac.id](mailto:heriansyahptr@apps.ipb.ac.id)

## Abstrak

Penggunaan ekstraksi kedelai sebagai pengganti enzim *urease* menyebabkan peningkatan endapan organik sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi endapan organik yang dihasilkan menggunakan etanol. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi kedelai dan etanol perlu dievaluasi untuk mendapatkan endapan material  $\text{CaCO}_3$  dengan kualitas terbaik. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan parameter laju hidrolisis, pengendapan  $\text{CaCO}_3$ , serta kuantifikasi massa  $\text{CaCO}_3$  dan bentuk mineral yang terbentuk. Penggunaan etanol 20% pada konsentrasi kedelai 60 g/L menunjukkan hasil terbaik dengan nilai laju hidrolisis sebesar 1547 U/g dan nilai tersebut cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis *urease* komersial Kishidan 2 g/L. Selain itu, massa  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk sebesar 2,97 g dengan jumlah kalsit lebih tinggi dibanding vaterit dan aragonit. Massa organik yang tidak larut pada larutan kedelai dengan etanol lebih sedikit daripada variasi tanpa etanol. Hal ini berkaitan dengan penggunaan supernatan yang menurunkan jumlah kadar organik. Turunnya kadar organik mempengaruhi turunnya jumlah endapan  $\text{CaCO}_3$ . Bentuk endapan yang terbentuk pada kristal kalsit (*rhombohedral*) menjadi bentuk terbaik dalam mengikat tanah sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Kata kunci: kedelai, etanol, presipitasi, kalsit, tanah endapan

## Abstract

The use of soybean extraction as a substitute for urease enzymes causes an increase in organic precipitates, so efforts are needed to reduce the resulting organic precipitates using ethanol. The purpose of this study is to determine the effect of different concentrations of soybeans and ethanol need to be evaluated to obtain the best quality  $\text{CaCO}_3$  precipitate material. The evaluation was carried out using hydrolysis rate,  $\text{CaCO}_3$  precipitation, and quantification of  $\text{CaCO}_3$  mass and mineral forms formed. The use of 20% ethanol at a soybean concentration of 60 g/L showed the best results with a hydrolysis rate of 1547 U/g, and this value is quite close to the value of the hydrolysis rate of 2 g/L Kishidan commercial urease. In addition, the mass of  $\text{CaCO}_3$  formed was 2,97 g, with more calcite than vaterite and aragonite. The insoluble organic mass in the soybean solution with ethanol is less than the variation without ethanol. It is related to using supernatants, which reduce the amount of organic content. The decrease in organic content affects the reduction in  $\text{CaCO}_3$  precipitate. The shape of the precipitate formed in calcite crystals (*rhombohedral*) is the best form to bind the soil to increase soil strength.

Keywords: soil stabilization, soybean, ethanol, precipitation, calcite

## 1. Pendahuluan

Tanah mempunyai peranan yang penting pada bangunan infrastruktur seperti sebagai bahan dan beban bangunan infrastruktur serta sebagai pendukung. Menurut Wardoyo dkk., (2019) tanah dengan daya dukung yang rendah seperti tanah ekspansif (tanah lunak) dapat berpotensi menimbulkan kendala dalam pekerjaan konstruksi berupa *settlement* (penurunan tanah). Persebaran pasir lepas dan tanah lunak di Indonesia jumlahnya cukup besar bahkan luas tanah lunak di Indonesia mencakup 10% dari total luas daratan (Wardoyo dkk., 2019). Daya dukung tanah yang rendah ini dapat ditingkatkan dengan metode perbaikan tanah (stabilisasi) baik dilakukan dengan cara mekanis maupun stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi dapat menggunakan bahan tambah seperti semen Portland, *limestone*, *fly ash*, *bottom ash*, *gypsum*, *calcium-based stabilization*, dan *microbial materials* (Fondjo dkk., 2021).

Penggunaan semen Portland sebagai bahan tambah perbaikan tanah (*stabilizer*) telah banyak dilakukan. Namun, proses produksi semen membutuhkan energi yang tinggi dan banyak menghasilkan emisi karbon. Untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan tanpa atau sedikit menyebabkan pencemaran lingkungan, *stabilizer* lainnya yang ramah lingkungan sudah saatnya digunakan. Salah satu metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan adalah *calcite precipitation* dengan penggunaan

### Info Makalah:

Dikirim : 09-18-24;  
Revisi 1 : 10-21-24;  
Revisi 2 : 12-05-24;  
Revisi 2 : 01-03-25;  
Diterima : 01-03-25.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +6282246643151  
e-mail : [heriansyahptr@apps.ipb.ac.id](mailto:heriansyahptr@apps.ipb.ac.id)

enzim *urease* atau dikenal dengan *Enzym-Induced Calcite Precipitation* (EICP). Pengganti enzim *urease* murni dapat dilakukan menggunakan ekstraksi biji tanaman salah satunya kedelai (Lai dkk., 2023) atau dikenal *Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation* (SCU-CP). Penggunaan ekstraksi kedelai sebagai pengganti enzim *urease* menyebabkan peningkatan endapan organik sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi endapan organik yang dihasilkan salah satunya dengan penggunaan etanol. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh berbagai variasi konsentrasi kedelai dan etanol terhadap endapan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk perlu dievaluasi untuk mendapatkan kualitas terbaik melalui kecepatan hidrolisis, jumlah dan jenis endapan, serta bentuk material  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

### 1.1. Tanah Organik Hasil Endapan Kedelai

Material organik hasil endapan kedelai yang tidak larut mempengaruhi reaksi pembentukan kalsit menjadi kurang efektif dan menyumbat pori-pori tanah sehingga kalsit tidak dapat terdistribusi secara merata di dalam tanah (Baiq dkk., 2020) sehingga perlu dilakukan pengujian menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisis komposisi kristal hasil pengendapan kalsit serta SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat bentuk dari presipitasi mineral  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratama dkk., (2021), material endapan yang terbentuk dari penggunaan ekstraksi kedelai sebagai pengganti enzim *urease* murni menghasilkan komposisi mineral  $\text{CaCO}_3$  berupa kalsit dan vaterit, berbeda dengan penggunaan enzim *urease* murni yang hanya menghasilkan kalsit (Cuccurullo dkk., 2022). Menurut Gao dkk., (2019) penggunaan kedelai dapat meningkatkan kadar organik dalam larutan yang mempengaruhi pembentukan endapan mineral  $\text{CaCO}_3$  dimana semakin tinggi konsentrasi kedelai maka kadar organik yang dihasilkan juga meningkat. Lai dkk., (2023) melaporkan bahwa penggunaan etanol mampu mengurangi kadar organik yang dihasilkan pada metode *calcit precipitation* yang menggunakan kedelai sebagai biokatalis. Hasil penelitian Lai dkk., (2023) juga menunjukkan kandungan etanol pada rentang 20%-30% (v/v) untuk pembuatan larutan *urease* kacang kedelai 100 g/L menghasilkan kuat tekan tertinggi.

Pratama dkk., (2021) juga melaporkan bahwa penggunaan kedelai menghasilkan laju hidrolisis yang lebih rendah dibandingkan *urease* murni. Penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L menghasilkan laju hidrolisis tertinggi dibandingkan konsentrasi kedelai 10, 20, 30, dan 40 g/L sebesar 3700  $\mu\text{mol/L/min}$ . Penurunan laju hidrolisis yang dihasilkan dari penggunaan kedelai memiliki pengaruh terhadap pembentukan kalsit sehingga pembentukan kalsit tidak sempurna (Nemati Voordouw, 2003). Peningkatan konsentrasi kedelai juga berhubungan linier dengan aktivitas *urease* seperti pada penelitian Putra dkk., (2021) dimana hasil penelitian menunjukkan penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L menghasilkan laju hidrolisis terbesar sebesar 1600 U/g dibandingkan dengan konsentrasi kedelai 5, 10, 20, 30, dan 40 g/L. Oleh karena itu, penggunaan kedelai dengan konsentrasi tinggi dengan variasi etanol pada metode *calcit precipitation* perlu dilakukan.

### 1.2. Stabilisasi Tanah dengan Metode EICP

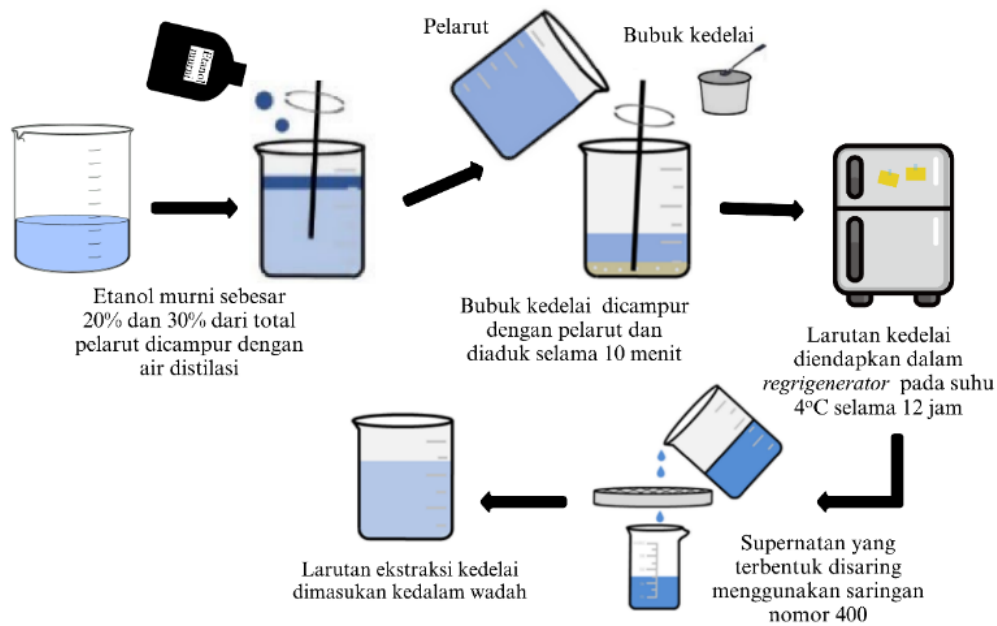
Perbaikan tanah dengan metode EICP banyak diteliti untuk meningkatkan kekuatan tanah bahkan mitigasi erosi (Almajed dkk., 2020). Metode EICP menggunakan enzim *urease* untuk memecah urea menjadi ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Ion karbonat ini akan bergabung dengan  $\text{Ca}^{2+}$  (ion kalsium) sehingga menghasilkan kalsit atau karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Neupane dkk., 2015). Komposisi mineral  $\text{CaCO}_3$  yang diperlihatkan dapat berupa kalsit, aragonit, dan vaterit serta komposisi mineral yang tidak terdefinisi (*unidentified*) yang terdiri dari garam-garam hasil sampingan (*by-product*) dari  $\text{CaCO}_3$  seperti sal ammoniac ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) maupun material organik dari penggunaan kedelai yang tidak larut (Lee and Kim, 2020).

## 2. Metode

Bahan pembuatan contoh uji menggunakan bubuk kedelai *food grade*, urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) *GR for analysis ACS Merck* kadar minimum 99%, kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2$ ) *for analysis Cryst Merck* kadar minimum 99%, etanol, dan air distilasi. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu ekstraksi kedelai, laju hidrolisis (*hydrolysis rate*), *precipitation test*, kuantifikasi massa  $\text{CaCO}_3$ , XRD, SEM. Sebelum digunakan pada pengujian, bubuk kedelai disaring terlebih dahulu dengan saringan nomor 50 menggunakan *sieve shaker* dan bubuk kedelai disimpan dalam sebuah kontainer yang tertutup rapat dan disimpan pada suhu ruang.

### 2.1. Pembuatan Larutan Ekstraksi Kedelai

Ekstraksi kedelai dilakukan dengan mengacu pada penelitian (Lai dkk., 2023). Pertama, bubuk kedelai disaring menggunakan saringan nomor 50. Selanjutnya, bubuk kedelai dicampurkan dengan pelarut dan diaduk selama 10 menit menggunakan stirer. Pelarut dibuat dengan mencampurkan etanol murni sebesar 20% dan 30% dari total larutan yang akan dibuat. Setelah mencampurkan kedelai dengan pelarut, larutan kedelai diendapkan di dalam lemari es pada suhu 4° C selama 12 jam (Lai dkk., 2023). Hasil endapan yang terbentuk berupa supernatan. Kemudian, supernatan disaring menggunakan saringan nomor 400 dan hasil saringan dipindahkan ke dalam wadah. Hasil saringan ini disebut larutan ekstraksi kedelai yang akan digunakan untuk pembuatan larutan SCU-CP. Skema pembuatan larutan ekstraksi kedelai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pembuatan Lautan Ekstraksi Kedelai

## 2.2. Pengujian Laju Hidrolisis (*Hydrolysis Rate*)

Untuk mengetahui tingkat kemampuan kedelai dalam menghidrolisis (menguraikan) urea, laju hidrolisis (*hydrolysis rate*) perlu diketahui. Dalam penelitian ini, pengujian laju hidrolisis dilakukan dengan mengadopsi penelitian dari (Whiffin, 2004). Perhitungan *hydrolysis rate* dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Hydrolysis rate} \left( \frac{U}{g} \right) = \frac{\theta_{ms}}{\theta_{sc}} \times v \times N \quad (1)$$

Pada laju hidrolisis, konsentrasi urea yang digunakan sebesar 100, 200, 300, 400, 500, dan 600 mmol/L yang dicampur dengan bubuk kedelai sebesar 20 g/L. Kurva standar ini dihasilkan setelah konduktivitas elektrik terukur mencapai nilai maksimumnya. Nilai konduktivitas elektrik dari setiap konsentrasi tersebut kemudian diplotkan ke dalam kurva standar. Nilai *slope* pada kurva standar disimbolkan dengan  $\theta_{sc}$  yang digunakan pada perhitungan setiap variasi konsentrasi kedelai dan urea berdasarkan Persamaan (1). Pengujian laju hidrolisis yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari berbagai variasi larutan urea dan larutan ekstraksi kedelai seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Pengujian *Hydrolysis Rate*

No Sampel	Konsentrasi Urea (mol/L)	Larutan Ekstraksi kedelai		
		Konsentrasi Kedelai (g/L)	Air Distilasi (%)	Pelarut Etanol (%)
H1-20	1	20	80	20
H2-20	1	40	80	20
H3-20	1	60	80	20
H4-20	1	80	80	20
H5-20	1	100	80	20
H1-30	1	20	70	30
H2-30	1	40	70	30
H3-30	1	60	70	30
H4-30	1	80	70	30
H5-30	1	100	70	30



Gambar 2. Skematik Pengujian Laju Hidrolisis

Hasil yang diperoleh dari pencampuran sejumlah mol urea dan ekstraksi larutan kedelai berupa grafik hubungan antara waktu (menit) dan nilai konduktivitas elektrik yang terukur. Grafik *hydrolysis rate* menghasilkan sebuah garis peningkatan yang akan dihitung *slope* atau kemiringannya. Nilai *slope* variasi konsentrasi urea maupun ekstraksi bubuk kedelai disimbolkan dengan  $\theta_{ms}$  akan dihitung bersama dengan nilai *slope* kurva standar berdasarkan Persamaan (1) dan skema pengujian *hydrolysis rate* menggunakan Edge Multiparameter HI2030 disajikan pada Gambar 2.

### 2.3. Precipitation Test

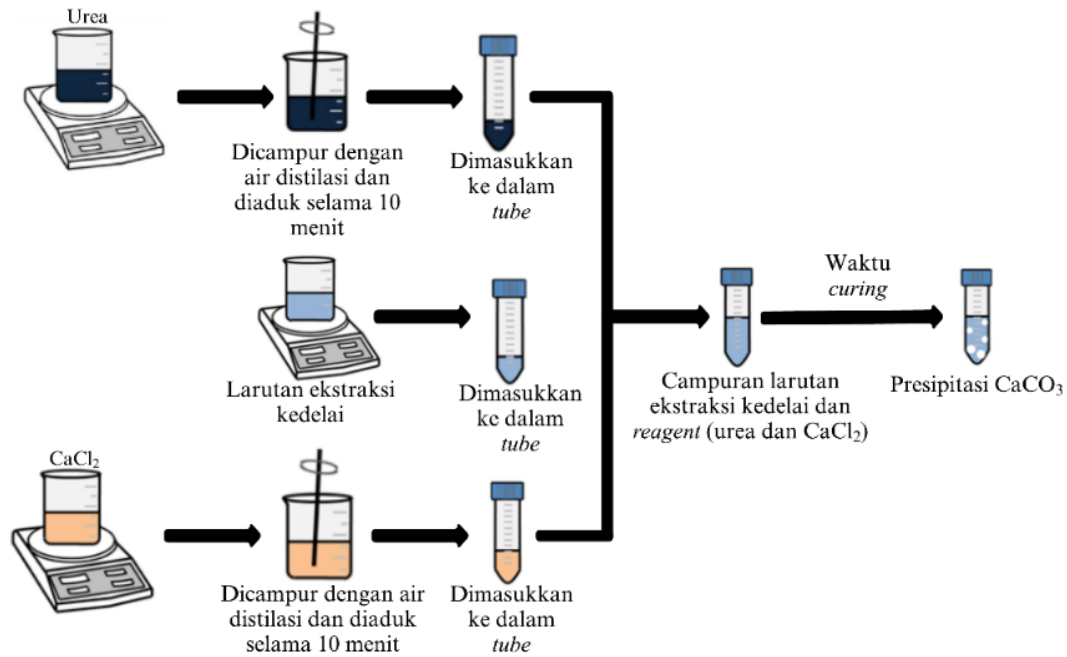
*Precipitation test* atau sering juga disebut *test tube experiment* dilakukan untuk mengetahui massa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terbentuk atau terendapkan dari campuran larutan dengan variasi konsentrasi kedelai, konsentrasi *reagent*, dan kadar etanol. Hasil yang diperoleh dari *test tube experiment* berupa rasio presipitasi atau pengendapan  $\text{CaCO}_3$ . Rasio presipitasi merupakan rasio antara massa aktual endapan hasil pengujian dengan massa teoritis (massa  $\text{CaCO}_3$  maksimum yang mampu terbentuk). Rasio presipitasi dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3).

$$\text{Rasio presipitasi (\%)} = \frac{a_m}{t_m} \quad (2)$$

$$t_m = C \times V \times M \quad (3)$$

Tabel 2. Experimental Condition Pengujian Precipitation Test

No Sampel	Konsentrasi Reagent (mol/L)	Larutan Ekstraksi kedelai		
		Konsentrasi Kedelai (g/L)	Air Distilasi (%)	Pelarut Etanol (%)
P1	1	20	100	0
P2	1	40	100	0
P3	1	60	100	0
P4	1	80	100	0
P5	1	100	100	0
P1-20	1	20	80	20
P2-20	1	40	80	20
P3-20	1	60	80	20
P4-20	1	80	80	20
P5-20	1	100	80	20
P1-30	1	20	70	30
P2-30	1	40	70	30
P3-30	1	60	70	30
P4-30	1	80	70	30
P5-30	1	100	70	30



Gambar 3. Skematik Prosedur *Test Tube Experiment*

Jumlah larutan ekstraksi kedelai dan larutan *reagent* yang dibutuhkan sebanyak 30 ml setiap *tube* sampel pengujian. Perbandingan campuran  $\text{CaCl}_2$  : urea : ekstraksi kedelai adalah 1:1:2. Semua sampel *tube* yang berisi larutan disusun pada *tube rack* dan di-*curing* selama 7 hari pada suhu ruang (Loebis Putra, 2022; Pratama dkk., 2021). Setelah 7 hari, larutan di dalam *tube* disaring menggunakan kertas *filter* dan endapan yang terbentuk pada dinding *tube* beserta kertas *filter* kemudian dipanaskan pada oven selama 3 hari dengan suhu  $60^\circ\text{C}$  sampai *tube* dan kertas *filter* kering. Variasi konsentrasi *test tube experiment* yang digunakan disajikan pada

Tabel 2 dan skema *precipitation test* disajikan pada Gambar 3.

#### 2.4.

No Sampel	Konsentrasi <i>Reagent</i> (mol/L)	Larutan Ekstraksi kedelai		
		Konsentrasi Kedelai (g/L)	Air Distilasi (%)	Pelarut Etanol (%)
P1	1	20	100	0
P2	1	40	100	0
P3	1	60	100	0
P4	1	80	100	0
P5	1	100	100	0
P1-20	1	20	80	20
P2-20	1	40	80	20
P3-20	1	60	80	20
P4-20	1	80	80	20
P5-20	1	100	80	20
P1-30	1	20	70	30
P2-30	1	40	70	30
P3-30	1	60	70	30
P4-30	1	80	70	30
P5-30	1	100	70	30

Uji

#### Kuantifikasi Massa Endapan $\text{CaCO}_3$

Kalsinasi menggunakan *furnace* ditujukan untuk menghilangkan senyawa organik endapan  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan selama masa *curing time* sehingga jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dapat diketahui dengan pasti jumlahnya (Afifah dan Cahyaningrum, 2020). Persiapan dimulai dengan menimbang sampel hasil *presipitasi test* dipanaskan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  menggunakan tanur selama 1 jam pada variasi tanpa etanol, etanol 20% dan 30% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L untuk mengetahui jumlah senyawa organik dan  $\text{CaCO}_3$  dengan cara membakar habis senyawa organiknya (Kristianingrum, 2012). Setelah dikeluarkan dari tanur, sampel dimasukkan ke dalam desikator sampai mencapai suhu ruang dan ditimbang kembali berat akhirnya. Perbedaan antara berat awal sebelum ditanur dengan berat akhir setelah ditanur dikatakan sebagai senyawa organik (kedelai).

#### 2.5. XRD (X-Ray Diffraction)

Instrumen yang digunakan berupa XRD Malvern PANalytical Empyrean Diffractometer yang beroperasi dengan voltase 40 kV dan 40 mA. Panjang gelombang radiasi X-Ray Cu-K $\alpha$  yang digunakan sebesar 1,542 Å serta pengolahan data XRD menggunakan *software* Match! yang dapat memberikan informasi mengenai komposisi mineral (kalsit, vaterit, aragonit, maupun mineral tidak terdefinisi hasil sampingan dari CaCO<sub>3</sub>) dan komposisi fase kristal maupun fase *amorphous* yang terbentuk pada setiap sampel secara otomatis. Mekanisme *software* Match! dalam menentukan komposisi mineral, fase kristal dan *amorphous* melalui identifikasi kesesuaian *peak* (puncak) dengan sudut difraksi 2 $\theta$  dan intensitasnya sesuai dengan mineralnya serta mencatat luas area dari setiap *peak* tersebut. Pada penelitian ini, pengujian XRD dilakukan untuk sampel yang dibuat dengan konsentrasi 50 g/L baik pada penggunaan etanol 20%, etanol 30%, dan tanpa etanol.

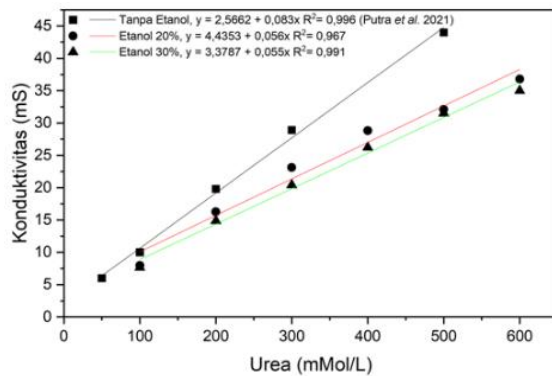
## 2.6. SEM (Scanning Electron Microscope)

Instrumen yang digunakan berupa SEM JEOL JSM-IT 200 dengan parameter perbesaran 1000x, 5000x, 10000x, HV. 10kV, dan *spotsize* 4. Sampel yang digunakan untuk pengujian berbentuk bubuk dengan ukuran sampel lolos 270 mesh atau 325 mesh dengan sampel berada dalam keadaan kering/tidak basah dan lembab. Sebelum di uji, sampel di *coating* terlebih dahulu untuk meningkatkan kualitas citra. Pada penelitian ini, pengujian SEM dilakukan untuk sampel yang dibuat dengan konsentrasi 50 g/L pada penggunaan etanol 20% dan etanol 30%.

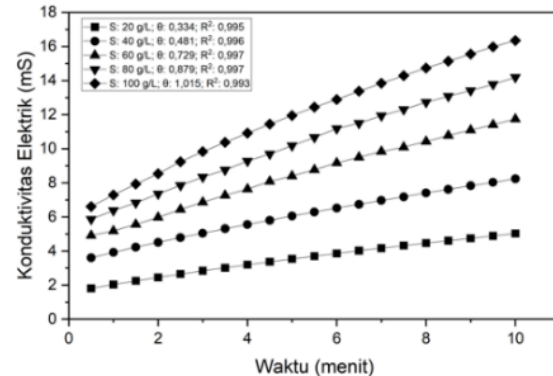
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengendapan CaCO<sub>3</sub>

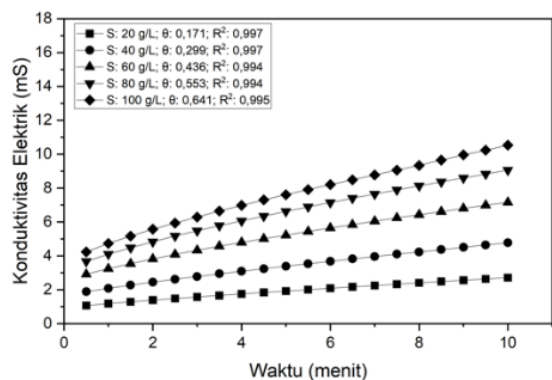
Grafik hasil pencatatan konduktivitas elektrik antara tanpa etanol, etanol 20%, dan etanol 30% akan menghasilkan nilai *slope* yang kemiringannya akan digunakan untuk mengetahui laju hidrolisis yang terjadi. Nilai *slope* untuk variasi tanpa etanol dapat dilihat pada Gambar 4b, variasi etanol 20% pada Gambar 4c, dan variasi etanol 30% pada Gambar 4d. Nilai kemiringan pada grafik ini selanjutnya dibandingkan dengan kemiringan pada kurva standar dengan nilai 0,083 untuk tanpa etanol, nilai 0,056 untuk etanol 20%, dan nilai 0,055 untuk etanol 30% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a. Hasil kemiringan laju konduktivitas elektrik dibandingkan dengan kemiringan grafik standar mengikuti Persamaan (1) menghasilkan nilai laju hidrolisis seperti Gambar 4e.



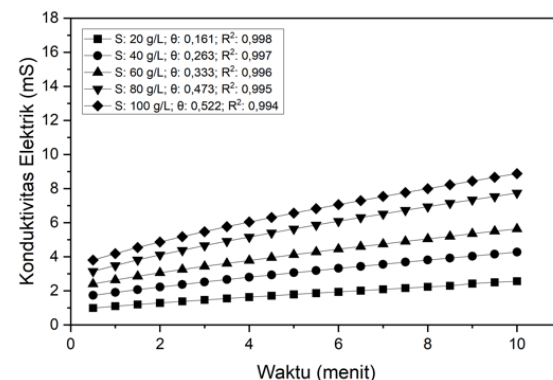
(a)



(b)

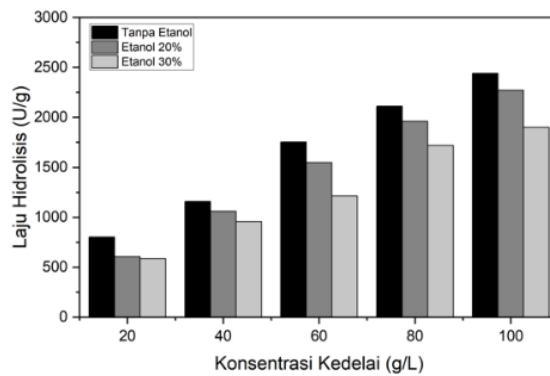


(c)



(d)



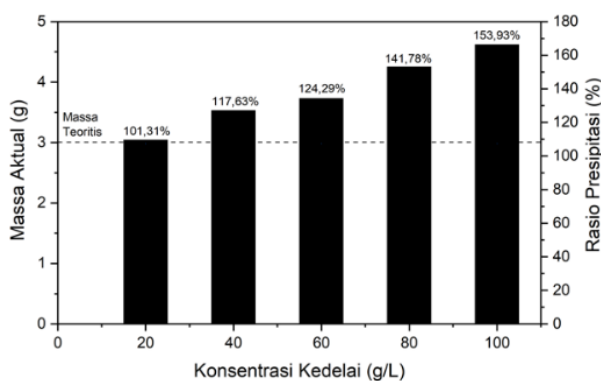


(e)

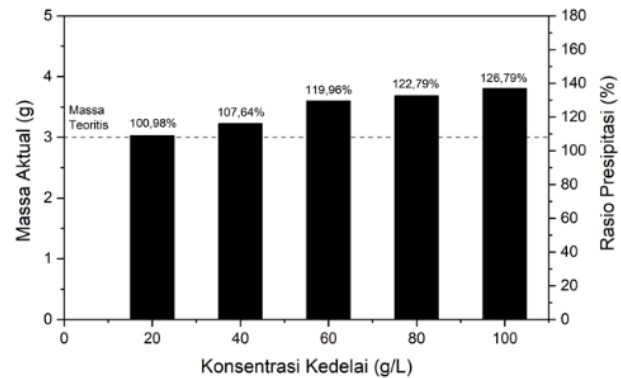
Gambar 4. Hasil Pengujian Laju Hidrolisis, (a) Kurva Standar Laju Hidrolisis, (b) Konduktivitas Elektrik pada Konsentrasi Urea 1,0 mol/L Tanpa Etanol, (c) Konduktivitas Elektrik pada Konsentrasi Urea 1,0 mol/L dengan Etanol 20%, (d) Konduktivitas Elektrik pada Konsentrasi Urea 1,0 Mol/L dengan Etanol 30%, dan (e) Rekapitulasi Hasil Laju Hidrolisis pada Variasi Tanpa Etanol, Etanol 20%, dan 30%.

Berdasarkan Gambar 4e, nilai laju hidrolisis terendah tanpa penggunaan etanol ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 803 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 2439 U/g. Nilai laju hidrolisis terendah kadar etanol 20% ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 605 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 2271 U/g. Nilai laju hidrolisis terendah kadar etanol 30% ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 586 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 1898 U/g. Satuan U/g (unit/gram) mempresentasikan 1 unit enzim *urease* mampu menghidrolisis 1  $\mu\text{mol}$  urea per menitnya. Penggunaan enzim *urease* murni pada konsentrasi 1 g/L pada metode *calcite precipitation* memiliki nilai laju hidrolisis 200 U/g sehingga dapat disimpulkan dengan laju hidrolisis 200 U/g ini mampu untuk menghasilkan  $\text{CaCO}_3$  sehingga untuk semua variasi dapat dijadikan pengganti enzim *urease* karena memiliki nilai laju hidrolisis lebih dari 200 U/g (Putra dkk., 2021). Selain itu, laju hidrolisis yang semakin besar mengindikasikan bahwa reaksi terbentuknya  $\text{CaCO}_3$  lebih cepat. Trend hasil perbandingan antara tiga variasi etanol (Gambar 4e) menunjukkan nilai laju hidrolisis pengendapan semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi kedelai yang digunakan dan akan mempengaruhi proses pengendapan  $\text{CaCO}_3$  lebih cepat.

Hasil endapan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk hasil tes presipitasi disajikan pada Gambar 5 yang disajikan dalam dua parameter yang berbeda seperti massa aktual yang terbentuk (g) dan rasio presipitasi  $\text{CaCO}_3$  (%). Rasio presipitasi mengalami peningkatan secara terus menerus dari konsentrasi kedelai 20 g/L menuju konsentrasi kedelai 100 g/L. Hal ini berarti semakin besar konsentrasi kedelai yang digunakan untuk menghidrolisis urea dengan konsentrasi yang sama akan menghasilkan laju hidrolisis yang semakin besar dan menghasilkan rasio presipitasi yang besar juga. Hal ini berkaitan juga dengan meningkatnya konsentrasi bubuk kedelai sangat berperan dalam meningkatkan laju hidrolisis sehingga mampu meningkatkan massa kalsit (Loebis dan Putra, 2022). Hasil massa aktual  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk kebanyakan lebih besar daripada masa teoritisnya sehingga menghasilkan rasio presipitasi lebih dari 100%. Hal tersebut, terjadi karena endapan yang terbentuk pada *tube* tidak seluruhnya menghasilkan  $\text{CaCO}_3$  tetapi terdapat juga material lain yang terbentuk seperti produk sampingan dan material organik.

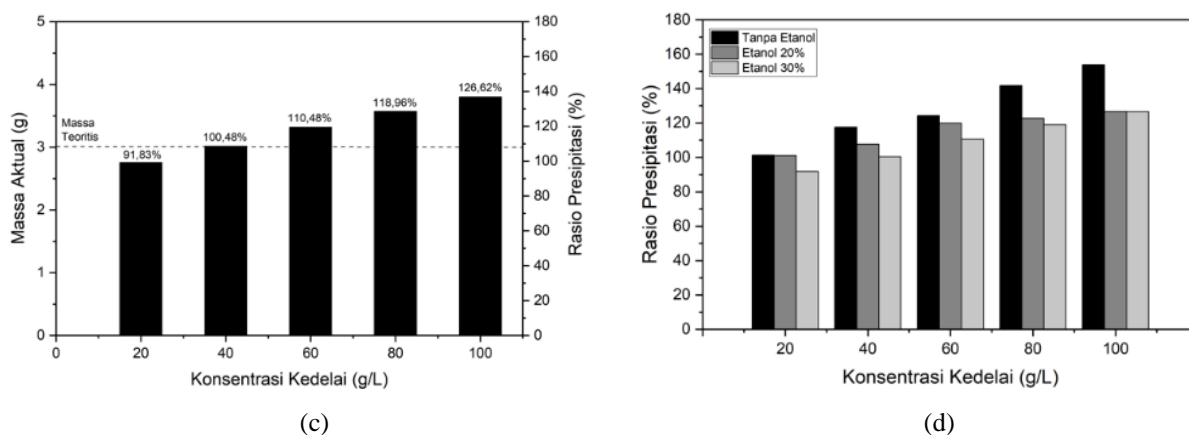


(a)



(b)





Gambar 5. Hasil *Precipitation Test*, (a) Tanpa Etanol, (b) Etanol 20%, (c) Etanol 30%, dan (d) Perbandingan Rasio Presipitasi Tanpa Etanol, Etanol 20%, dan Etanol 30%

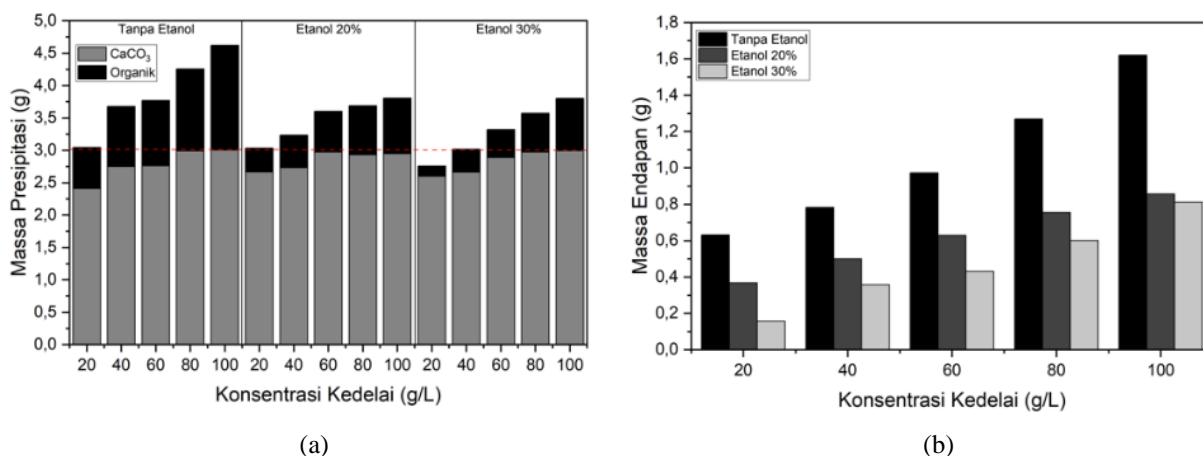
Hasil rasio presipitasi pada seluruh variasi konsentrasi kedelai pada kadar etanol yang berbeda disajikan pada Gambar 5d. Nilai laju hidrolisis sebesar 803 U/g pada konsentrasi 20 g/L tanpa etanol mampu menghasilkan presipitasi 101,31%; laju hidrolisis 605 U/g pada konsentrasi kedelai 20 g/L saat penggunaan etanol 20% juga mampu menghasilkan rasio presipitasi sebesar 100,98% sedangkan nilai laju hidrolisis sebesar 585 U/g hanya mampu menghasilkan rasio presipitasi sebesar 91,82%. Hasil rasio presipitasi tanpa penggunaan etanol memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan etanol sejalan dengan pendapat penelitian Cuccurullo dkk., (2022). Hal ini dipengaruhi saat pencampuran larutan kedelai dengan  $\text{CaCl}_2$  dan urea yang mana larutan kedelai yang mengandung etanol menghasilkan supernatan (Lai dkk., 2023) sedangkan larutan kedelai tanpa etanol tidak menghasilkan supernatan sehingga saat proses penyaringan menggunakan saringan nomor 400, butiran bubuk kedelai yang tidak larut dalam air ikut lolos saringan dan ikut mengendap di dalam *tube* (Cuccurullo dkk., 2022).

### 3.2 Kuantifikasi Massa dan Bentuk Mineral Endapan $\text{CaCO}_3$

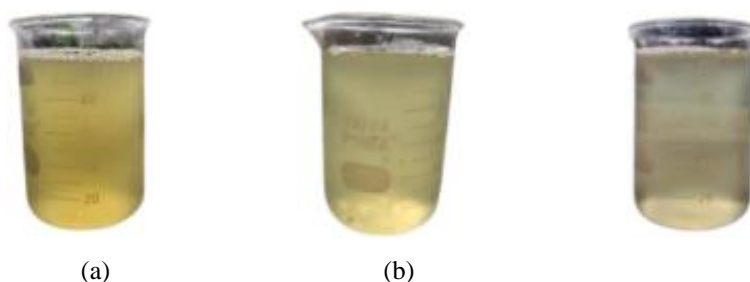
Hasil evaluasi kuantifikasi massa endapan  $\text{CaCO}_3$  yang dilakukan pada larutan tanpa etanol, etanol 20%, etanol 30% dapat dilihat pada Gambar 6a. Berdasarkan komposisi massa  $\text{CaCO}_3$  dan massa kedelai yang tidak larut, massa  $\text{CaCO}_3$  maksimum terbentuk pada konsentrasi 60 g/L pada etanol 20% dan 100 g/L pada etanol 30% dengan secara berurutan sebesar 2,97 g dan 2,99 g. Pada larutan SCU-CP tanpa etanol, massa  $\text{CaCO}_3$  maksimum juga terbentuk pada konsentrasi 100 g/L sebesar 3,00 g. Tanpa adanya etanol, massa  $\text{CaCO}_3$  pada konsentrasi 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, dan 80 g/L secara berurutan sebesar 2,41 g; 2,75 g; 2,76 g; dan 2,99 g. Penggunaan etanol 20% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L menghasilkan massa  $\text{CaCO}_3$  secara berurutan sebesar 2,66 g; 2,73 g; 2,93 g; dan 2,95 g. Penggunaan etanol 30% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, dan 80 g/L menghasilkan massa  $\text{CaCO}_3$  secara berurutan sebesar 2,60 g; 2,66 g; 2,89 g; dan 2,97 g. Secara keseluruhan, kalsit yang dihasilkan dari penggunaan etanol 20% lebih tinggi dibanding penggunaan etanol 30% maupun tanpa etanol.

Pada Gambar 6b, massa organik yang tidak larut baik pada pembuatan larutan kedelai dengan penggunaan etanol 20% maupun etanol 30% lebih sedikit dibandingkan larutan kedelai tanpa menggunakan etanol. Hal ini berkaitan dengan penggunaan etanol yang dapat mengurangi kadar organik yang dihasilkan pada metode *calcite precipitation* seperti penelitian yang dilakukan oleh Lai dkk., (2023). Saat penuangan larutan kedelai dengan larutan *reagent*, larutan ekstraksi kedelai yang terpakai hanya bagian supernatannya dan bubuk kedelai mengendap saat proses pembuatan larutan ekstraksi kedelai (Lai dkk., 2023).

Penggunaan supernatan tentunya ikut menurunkan jumlah bubuk kedelai yang ikut lolos ayakan No. 400 dan membuat larutan memiliki tingkat kekeruhan yang rendah (Gambar 7 **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.**) sehingga turunnya kadar organik mempengaruhi jumlah endapan  $\text{CaCO}_3$  menurun dan jumlah  $\text{CaCO}_3$  meningkat. Jumlah  $\text{CaCO}_3$  pada etanol 20% lebih tinggi daripada penggunaan etanol 30% (Gambar 6a) berarti enzim *urease* dalam supernatan larutan kedelai etanol 20% lebih tinggi dibanding supernatan larutan kedelai etanol 30%. Ekstraksi enzim yang optimal akan menghasilkan massa  $\text{CaCO}_3$  yang lebih tinggi karena peningkatan laju reaksi dan aktivitas enzim *urease* sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Robinson (2015).



Gambar 6. Hasil Pengujian Pengendapan Kalsit (a) Massa Presipitasi, dan (b) Massa Organik



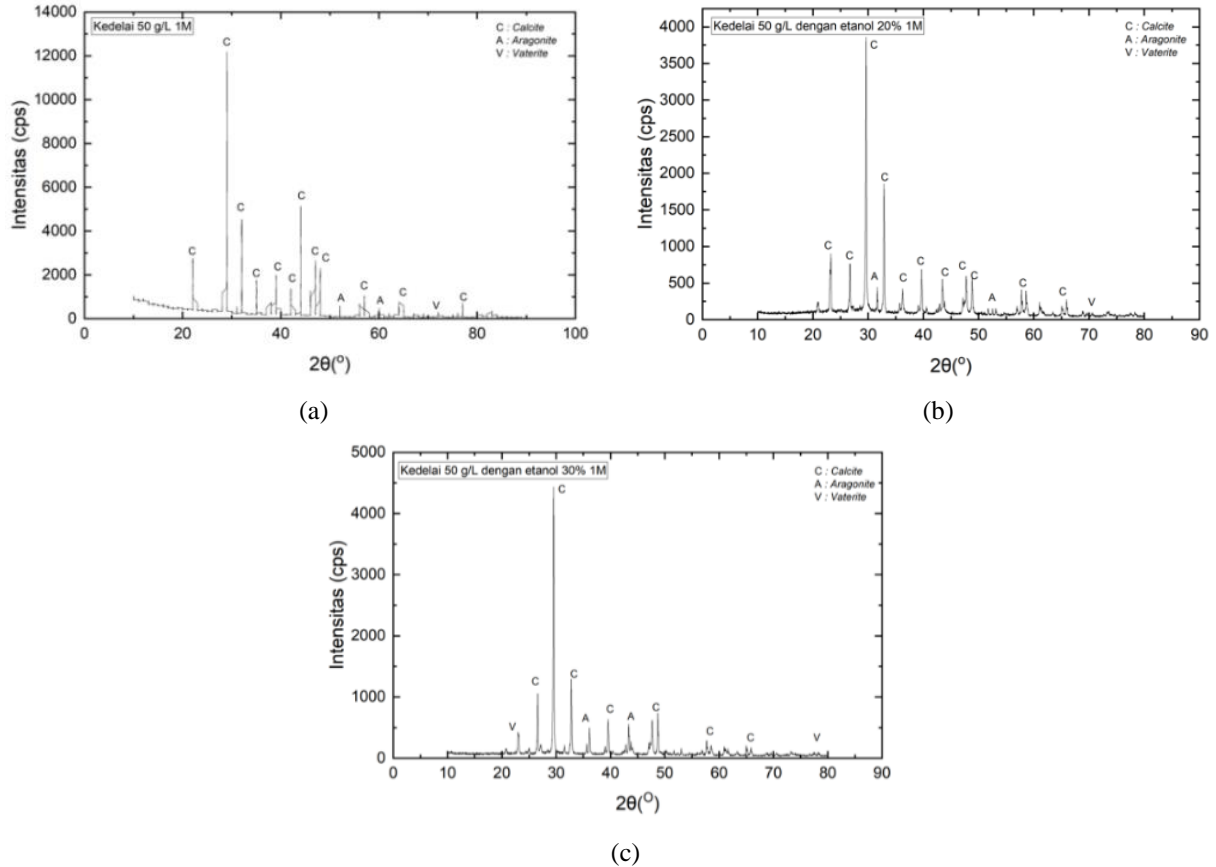
Gambar 7. Tingkat Kekeruhan Larutan Ekstrak Kedelai 20 g/L, (a) Tanpa Etanol, (b) Etanol 20%, dan (c) Etanol 30%

Peningkatan konsentrasi ekstraksi kedelai untuk berbagai perlakuan mengakibatkan peningkatan massa organik yang tidak terlarut. Massa organik tidak terlarut yang tersisa pada perlakuan tanpa menggunakan etanol lebih tinggi dibandingkan menggunakan etanol. Massa organik yang tidak terlarut sudah tidak berbentuk butiran lagi karena supernatan hanya mengandung nutrisi yang terdapat pada sel tanaman kedelai (Peng dkk., 2020) dan lolos ayakan No. 400. Oleh karena itu, massa organik tidak terlarut pada perlakuan menggunakan etanol lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan etanol. Kandungan nutrisi termasuk enzim *urease* yang terkandung di dalam larutan kedelai menggunakan etanol lebih tinggi dibandingkan tanpa etanol. Ekstraksi enzim yang optimal akan menghasilkan massa presipitasi yang lebih tinggi karena meningkatkan aktivitas enzim *urease* dan laju reaksi (Robinson, 2015). Selain itu, supernatan yang dihasilkan mampu meningkatkan laju hidrolisis seperti penelitian yang dilakukan oleh Cuccurollo *et al.* 2022 membuktikan bahwa ekstrak kedelai dalam bentuk supernatan memiliki aktivitas enzim *urease* lebih tinggi dibandingkan ekstrak kedelai yang diperoleh dari larutan bubuk kedelai. Oleh karena itu, penggunaan etanol 20% pada konsentrasi kedelai 60 g/L dapat dipilih untuk larutan *grouting* sampel tanah pasir karena massa kalsit yang optimal dibandingkan dengan konsentrasi kedelai lainnya. Selain itu, konsentrasi kedelai 60 g/L dengan etanol 20% memiliki nilai laju hidrolisis (sebesar 1547 U/g) cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis enzim *urease* komersial Kishida (sebesar 1615,7 U/g).

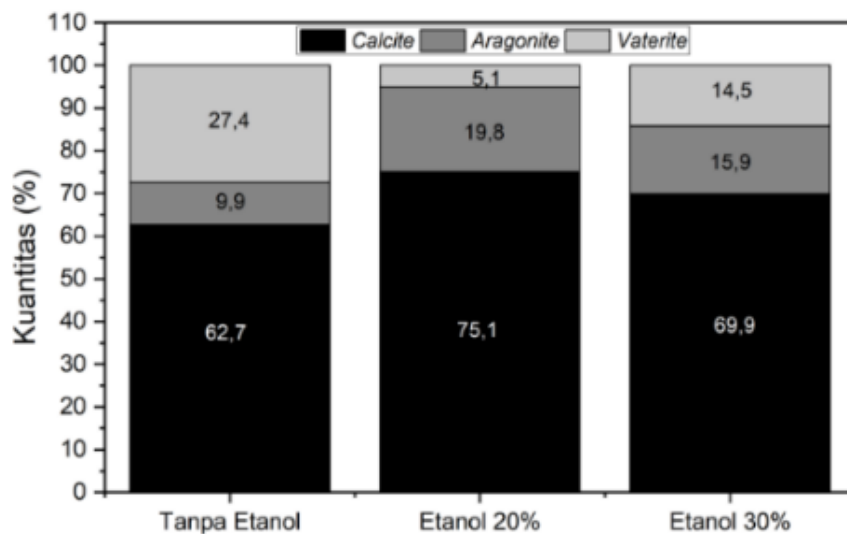
Hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) antara pembuatan larutan SCU-CP (*Soybean Crude Urease- Calcite Precipitation*) dengan penggunaan etanol maupun tanpa etanol pada mineral CaCO<sub>3</sub> disajikan pada Gambar 8. **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** untuk kedelai 50 g/L. Penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L dalam analisis XRD karena dianggap cukup dekat dengan nilai optimum penggunaan konsentrasi kedelai 60 g/L. Pada penelitian yang dilakukan Putra dkk., (2021) konsentrasi larutan kedelai 50 g/L tanpa penggunaan etanol dapat digunakan sebagai pengganti enzim *urease* komersial karena nilai laju hidrolisisnya 1600 U/g mendekati nilai laju hidrolisis *urease* komersial. Selain itu, pemilihan yang sedikit di bawah optimal (konsentrasi 50 g/L) dianggap cukup memadai untuk menghasilkan kristal dengan karakteristik dan komposisi yang diinginkan.

Komposisi mineral CaCO<sub>3</sub> pada variasi tanpa menggunakan etanol maupun menggunakan etanol disajikan pada Gambar 9. Pada penggunaan etanol baik etanol 20% maupun 30% menghasilkan komposisi kalsit tertinggi dibandingkan dengan pembuatan larutan SCU-CP tanpa menggunakan etanol. Penggunaan etanol juga dapat

menurunkan vaterit yang mana vaterit memiliki sifat yang paling tidak stabil dibandingkan dengan kalsit dan aragonit sejalan dengan penelitian Shen dkk., (2007). Dari tren yang dihasilkan, penggunaan etanol dapat meningkatkan kualitas material dengan semakin bertambahnya kalsit yang terbentuk. Berdasarkan hasil Gambar 9, penggunaan etanol 20% dalam pembuatan larutan SCU-CP dapat menghasilkan jumlah kalsit yang paling besar dibandingkan pembuatan larutan SCU-CP tanpa etanol maupun dengan etanol 30% sebesar 75,1% dengan vaterit hanya 5,1%.

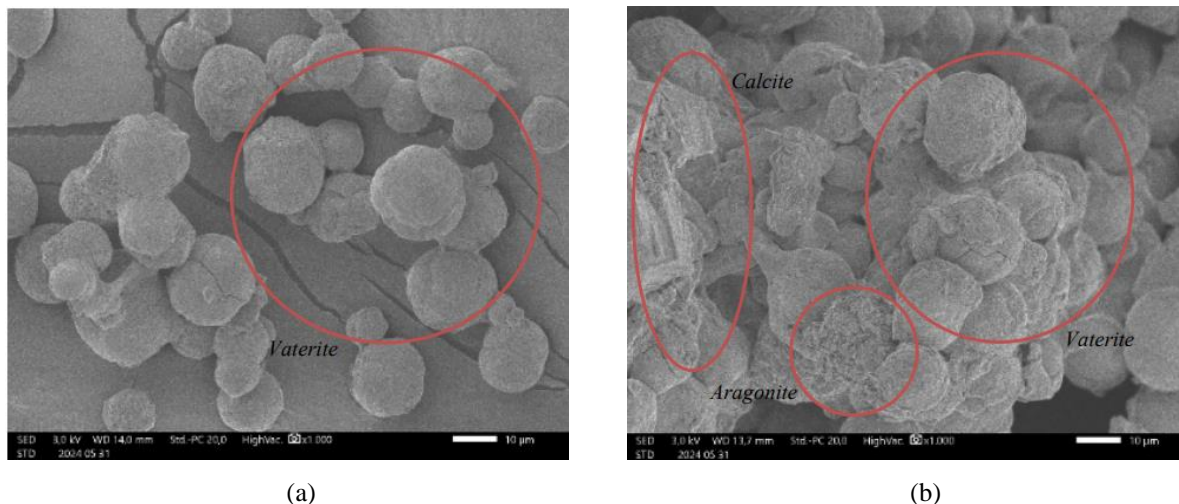


Gambar 8. Hasil uji XRD pada konsentrasi kedelai 50 g/L, (a) Tanpa etanol, (b) Etanol 20%, dan (c) Etanol 30%



Gambar 9. Komposisi endapan CaCO<sub>3</sub> yang terbentuk pada *polypropylene tube* berdasarkan hasil XRD

Bentuk material endapan  $\text{CaCO}_3$  berdasarkan uji SEM pada penggunaan etanol 20% dan 30% dapat dilihat pada Gambar 10 untuk konsentrasi kedelai 50 g/L dengan perbesaran 1000x. Hasil yang dominan pada masing-masing kadar etanol berupa kalsit dibandingkan dengan vaterit dan aragonit. Selain itu, mineral-mineral yang terbentuk dapat saling tumpang-tindih sehingga saling menutupi. Pada Gambar 10a, terlihat vaterit menempel pada kalsit dan Gambar 10b menunjukkan bahwa vaterit sedang rekristalisasi menjadi kalsit.



Gambar 10. Hasil pengujian SEM konsentrasi kedelai 50 g/L, (a) Etanol 20%, dan (b) Etanol 30%

Mineral  $\text{CaCO}_3$  terbagi menjadi tiga bentuk kristal anhidrat (vaterit, aragonit, dan kalsit) (Beck and Andreassen, 2010). Setiap polimorf memiliki bentuk yang khas seperti aragonit yang memiliki bentuk jarum (*orthorombic*), vaterit yang berbentuk bulat (*hexagonal*), dan kalsit yang berbentuk belah ketupat (*rhombohedral*) (Sand dkk., 2012) seperti yang terlihat jelas pada Gambar 10b yang sejalan dengan penelitian Back and Andreassen (2010). Kristal bentuk *rhombohedral* merupakan bentuk yang terbaik dibandingkan *orthombic* maupun *hexagonal* karena permukaan kontak yang lebih besar dan sudut-sudut yang lebih tajam (Mulyaningsih, 2018) memungkinkan kalsit lebih efektif dalam mengikat dan mengunci ruang antar partikel tanah sehingga dapat meningkatkan nilai kohesi dan kekuatan tanah.

Bentuk bulat memiliki bidang kontak yang kecil sehingga akan mengurangi kemampuan mengikat dan mengisi ruang diantara butiran tanah sehingga mengurangi efektivitas perkuatan. Sedangkan bentuk jarum yang pipih tidak memberikan penguncian (*interlocking*) yang baik dengan tanah sejalan dengan penelitian Mulyaningsih (2018). Bentuk jarum dan bulat juga menunjukkan proses pengendapan kurang optimal dikarenakan proses kalsinasi yang terhambat (Putra dkk., 2017). Selain itu, kandungan organik yang ada juga menyebabkan kedelai tidak larut sehingga menghambat proses kalsinasi (Baiq dkk., 2020). Oleh karena itu, kadar organik sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan kalsit yang mana semakin kecil kandungan organiknya akan memperlancar proses kalsinasi. Penggunaan metode SCU-CP tanpa etanol terbukti dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan pengukuran kekuatan geser tanah atau *shear direct* dengan hasil pengujian nilai kohesi dan sudut gesek semakin besar yang berarti tingkat kepadatan yang diperoleh dengan penggunaan SCU-CP semakin besar dan daya dukung tanah meningkat, sebagaimana juga yang dihasilkan Mubarrak dan Putra (2023). Hal ini terjadi karena endapan  $\text{CaCO}_3$  mengisi ruang pori tanah membuat nilai kohesi dan sudut gesek meningkat sehingga endapan  $\text{CaCO}_3$  dan partikel tanah berikatan dengan kuat sejalan dengan penelitian yang dilakukan Wibawa and Hisyam (2015). Metode SCU-CP dengan penggunaan etanol menghasilkan jumlah fasa kalsit lebih besar daripada metode SCU-CP tanpa penggunaan etanol berarti hasil pengukuran *shear direct* juga akan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih besar dibandingkan metode SCU-CP tanpa etanol dan dapat diaplikasikan langsung ke tanah untuk perbaikan tanah.

## Kesimpulan

Semakin tinggi konsentrasi kedelai yang digunakan semakin meningkatkan laju hidrolisis urea. Peningkatan ini berpengaruh terhadap peningkatan rasio presipitasi. Komposisi terbaik diperoleh dengan penggunaan konsentrasi kedelai 60 g/L dengan kadar etanol 20% dengan hasil masa  $\text{CaCO}_3$  optimum sebesar 2,97 g. Nilai laju hidrolisis konsentrasi kedelai 60 g/L pada etanol 20% sebesar 1547 U/g dan nilainya cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis enzim *urease* komersial Kihsidea (1615,7 U/g) sehingga konsentrasi kedelai 60 g/L dengan kadar etanol 20% dapat digunakan sebagai larutan *grouting*. Pembuatan larutan SCU-CP dengan menambahkan etanol terbukti dapat mengurangi kadar organik serta meningkatkan kualitas material endapan  $\text{CaCO}_3$  dengan fasa kalsit terbentuk lebih banyak dibandingkan vaterit dan aragonit. Selain itu, bentuk kristal kalsit *rhombohedral* menjadi bentuk terbaik dalam mengikat tanah karena memiliki permukaan kontak yang lebih besar dibandingkan bentuk *orthombic* dan *hexagonal*.

## Saran

Penggunaan etanol dapat mengurangi kadar organik material endapan SCU-CP, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efektifitas SCU-CP sebagai metode perbaikan tanah. Namun, perlu dilakukan penelitian lanjutan berupa perlakuan langsung ke tanah untuk membuktikan bahwa peningkatan kualitas material endapan berkorelasi dengan peningkatan kekuatan tanah.

## Daftar Notasi

$\theta_{ms}$	= kemiringan ( <i>slope</i> ) sampel hasil pengukuran
$\theta_{sc}$	= kemiringan ( <i>slope</i> ) sampel kurva standar
$v$	= volume sampel (L)
$N$	= konsentrasi akhir amonia (mMol/L)
$a_m$	= massa aktual hasil pengujian (gram)
$t_m$	= massa teoretis CaCO <sub>3</sub> (gram)
$C$	= konsentrasi larutan (mol/L)
$V$	= volume larutan (L)
$M$	= massa molar CaCO <sub>3</sub> (100,087 gram/mol)

## Daftar Pustaka

- Afifah, F., & Cahyaningrum, S. E. (2020). Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit dari tulang sapi (Bos Taurus) menggunakan teknik kalsinasi synthesis and characterization of hydroxyapatite from cow bones (Bos Taurus) using calcination techniques. *UNESA Journal of Chemistry*, 9(3), 189–196.
- Baiq, H. S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., & Johan, E. (2020). Examination of calcite precipitation using plantderived urease enzyme for soil improvement. *GEOMATE Journal*, 19(72), 231–237.
- Beck, R., & Andreassen, J.-P. (2010). The onset of spherulitic growth in crystallization of calcium carbonate. *Journal of Crystal Growth*, 312(15), 2226–2238.
- Cuccurullo, A., Gallipoli, D., Bruno, A. W., Augarde, C., Hughes, P., & La Borderie, C. (2022). Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 30, 100230.
- Fondjo, A. A., Theron, E., & Ray, R. P. (2021). Stabilization of expansive soils using mechanical and chemical methods: a comprehensive review. *Civ Eng Archit*, 9(5), 1295–1308.
- Gao, Y., He, J., Tang, X., & Chu, J. (2019). Calcium carbonate precipitation catalyzed by soybean urease as an improvement method for fine-grained soil. *Soils and Foundations*, 59(5), 1631–1637.
- Kristianingrum, S. (2012). Kajian berbagai proses destruksi sampel dan efeknya. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 2.
- Lai, H.-J., Cui, M.-J., Wu, S.-F., Yang, Y., & Chu, J. (2023). Extraction of crude soybean urease using ethanol and its effect on soil cementation. *Soils and Foundations*, 63(3), 101300.
- Lee, S., & Kim, J. (2020). An experimental study on enzymatic-induced carbonate precipitation using yellow soybeans for soil stabilization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(7), 2026–2037.
- Loebis, A. R., & Putra, H. (2022). Efektivitas metode calcite precipitation dengan biocatalyst bubuk kedelai sebagai metode biogrouting untuk mencegah likuifaksi tanah pasir. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 23–34.
- Mulyaningsih, S. (2018). *Kristalografi & Mineralogi*. Akpind Press.
- Nemati, M., & Voordouw, G. (2003). Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically in situ. *Enzyme and microbial technology*, 33(5), 635–642.
- Neupane, D., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Ando, Y. (2015). Distribution of mineralized carbonate and its quantification method in enzyme mediated calcite precipitation technique. *Soils and Foundations*, 55(2), 447–457.
- Peng, Y., Kersten, N., Kyriakopoulou, K., & van der Goot, A. J. (2020). Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH. *Journal of Food Engineering*, 275, 109875.
- Pratama, G. B. S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Putra, H. (2021). Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012035>
- Putra, H., Erizal, Sutoyo, Simatupang, M., & Yanto, D. H. Y. (2021). Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals*, 11(9), 1044.
- Putra, H., Yasuhara, H., Erizal, Sutoyo, & Fauzan, M. (2020). Review of enzyme-induced calcite precipitation as a ground-improvement technique. *Infrastructures*, 5(8), 66.

- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Hirata, A. (2017). Optimization of enzyme-mediated calcite precipitation as a soil-improvement technique: The effect of aragonite and gypsum on the mechanical properties of treated sand. *Crystals*, 7(2), 59.
- Robinson, P. K. (2015). *Enzymes: principles and biotechnological applications*. Essays in biochemistry, 59, 1.
- Sand, K. K., Rodriguez-Blanco, J. D., Makovicky, E., Benning, L. G., & Stipp, S. L. S. (2012). Crystallization of CaCO<sub>3</sub> in water–alcohol mixtures: spherulitic growth, polymorph stabilization, and morphology change. *Crystal Growth & Design*, 12(2), 842–853.
- Shen, Y., Xie, A., Chen, Z., Xu, W., Yao, H., Li, S., Huang, L., Wu, Z., & Kong, X. (2007). Controlled synthesis of calcium carbonate nanocrystals with multi-morphologies in different bicontinuous microemulsions. *Materials Science and Engineering: A*, 443(1–2), 95–100.
- Wardoyo, S., Destiasari, F., Wayhudin, W., Hasibuan, G., & Sollu, W. P. (2019). Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Whiffin, V. S. (2004). *Microbial CaCO<sub>3</sub> precipitation for the production of biocement*. Murdoch University.
- Wibawa, A., & Hisyam, E. S. (2015). Pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap nilai kuat geser tanah lempung. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 3(2), 65–71.



# Pembuatan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dari *Crude Palm Oil* (CPO) *Off Grade* dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi

Hendriyana, Andini Hizbiyati, Fajar Subagja, dan Disti Ayu Hania

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

[hendriyana@lecture.unjani.ac.id](mailto:hendriyana@lecture.unjani.ac.id), [hizbiyati@gmail.com](mailto:hizbiyati@gmail.com), [fajar230200@gmail.com](mailto:fajar230200@gmail.com), [distiayuu2002@gmail.com](mailto:distiayuu2002@gmail.com)

## Abstrak

*Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau biodiesel dengan bahan baku berupa minyak kelapa sawit adalah salah satu bahan bakar nabati pengganti bahan bakar fosil. Minyak kelapa sawit dengan kandungan asam lemak bebas yang masih tinggi dikenal dengan istilah *CPO-off grade*. Proses yang dapat digunakan untuk menurunkan asam lemak bebas dalam *CPO-off grade* adalah esterifikasi. Katalis digunakan dalam proses pembuatan biodiesel agar mampu menghasilkan biodiesel dengan mutu yang sesuai dengan standar. Pengaruh konsentrasi katalis  $H_2SO_4$  dan NaOH dalam proses produksi biodiesel akan dipelajari dalam penelitian ini. Proses esterifikasi dilakukan dengan tiga variasi katalis  $H_2SO_4$  yaitu A=1%-massa; B=2%-massa; dan C=3%-massa, sedangkan dalam proses transesterifikasi menggunakan 3 variasi konsentrasi katalis NaOH yaitu A=1%-massa; B=2%-massa; dan C=3%-massa. Kualitas biodiesel yang dihasilkan ditentukan melalui nilai perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air, dan titik nyala. Dari penelitian ini diperoleh bahwa konsentrasi katalis dalam proses produksi biodiesel mempengaruhi terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Konsentrasi katalis  $H_2SO_4$  dan NaOH 1%-massa adalah konsentrasi yang optimum karena menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang memenuhi standar SNI Biodiesel 7182:2015 dengan perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air dan titik nyala berturut-turut adalah 79%, 861,12 kg/m<sup>3</sup>, 4,08 mm<sup>2</sup>/s(cSt), 0,44 mg NaOH/g FAME, 0,28%, 0,028% dan 184°C.

Kata kunci: *CPO-off grade*, Esterifikasi, Transesterifikasi, FAME

## Abstract

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) or biodiesel, derived from palm oil, is a renewable fuel alternative to fossil fuels. Crude Palm Oil with high free fatty acid (FFA) content is commonly referred to as off-grade CPO. The esterification process can reduce FFA levels in off-grade CPO. Catalysts play a critical role in producing biodiesel that meets quality standards. This study examines the effect of  $H_2SO_4$  and NaOH catalyst concentrations on biodiesel production. Esterification was performed using three variations of  $H_2SO_4$  concentration: A=1%-mass, B=2%-mass, and C = 3%-mass. Transesterification utilized three NaOH concentrations: A=1%-mass, B=2%-mass, and C=3%-mass. Biodiesel quality was evaluated based on yield, density, kinematic viscosity, acid number, FFA, water content, and flash point. The study found that catalyst concentration significantly affects biodiesel quality. The optimal catalyst concentrations were 1%-mass for both  $H_2SO_4$  and NaOH, producing biodiesel that met SNI Biodiesel 7182:2015 standards. The results included a yield of 79%, density of 861.12 kg/m<sup>3</sup>, kinematic viscosity of 4.08 mm<sup>2</sup>/s(cSt), acid number of 0.44 mg NaOH/g FAME, FFA content of 0.28%, water content of 0.028%, and flash point of 184°C.

Keywords: *CPO-off grade*, Esterification, Transesterification, FAME

## 1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia menjadi salah satu penghasil utama *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di Dunia. Dari 34 provinsi yang tersebar di seluruh Indonesia, 22 provinsi diantaranya berhasil mengembangkan perkebunan kelapa sawit (Irawan dan Soesilo, 2021). Hal ini berkaitan erat dengan adanya visi dalam mewujudkan Indonesia mengganti bahan bakar fosil sebanyak 25% di tahun 2025 dalam rangka konservasi energi dan diversifikasi energi (Hutapea, 2012).

Pemilihan CPO sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel harus diperhatikan guna menghasilkan biodiesel yang berkualitas baik. *CPO-off grade* adalah istilah yang digunakan untuk CPO yang memiliki asam lemak yang tinggi. Tingginya kadar asam lemak ini yang kemudian menjadikan *CPO-off grade* dikecualikan dalam penggunaannya sebagai bahan baku yang akan dikonsumsi. Pengolahan lebih lanjut sangat dibutuhkan untuk mengurangi tingkat asam lemak hingga tidak lebih dari 5%. Kualitas CPO yang digunakan dalam proses pengolahan lebih lanjut seperti pembuatan minyak goreng menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan untuk memenuhi permintaan konsumen CPO. Oleh sebab itu, *CPO-off grade* dapat dijadikan bahan baku alternatif dalam proses pengolahan biodiesel (Budiawan dkk., 2013).

### Info Makalah:

Dikirim : 12-06-24;

Revisi 1 : 12-12-24;

Diterima : 01-09-25.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62815-7326-7759

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

Biodiesel adalah hasil dari proses konversi trigliserida menjadi metil ester secara transesterifikasi dengan penggunaan katalis basa (Jiuxu, 2013). Bahan baku yang dapat digunakan dalam proses pengolahan biodiesel adalah bahan dengan kandungan trigliserida lebih dari 95% dan kandungan FFA antara 2-5% (Ayhan, 2009). Proses esterifikasi dapat digunakan untuk



menurunkan kadar FFA. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Arita dkk (2008) meningkatnya kandungan katalis asam sulfat dalam proses esterifikasi akan menurunkan kadar FFA. Namun dengan jumlah katalis asam sulfat yang berlebih justru akan membuat produk lebih berwarna gelap serta terjadinya reaksi samping antara asam sulfat dengan metanol yang akan menghasilkan dimetil eter sehingga menyebabkan penurunan FFA semakin lambat dan akan mempengaruhi parameter mutu lainnya (Ramadhas, 2005).

Jumlah katalis yang digunakan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi harus dipilih dengan tepat sehingga biodiesel yang dihasilkan bisa sesuai dengan standar mutu yang ada. Maka dari itu, penentuan penggunaan komposisi katalis perlu dilaksanakan dalam penelitian ini hingga mampu menghasilkan biodiesel yang sesuai dengan standar yang berlaku.

## 2. Metode

Proses pembuatan biodiesel dari bahan baku berupa *CPO-off grade* dilakukan melalui 3 tahapan yaitu persiapan bahan baku, reaksi transesterifikasi-esterifikasi, dan uji karakteristik biodiesel. Dengan alat penelitian yang digunakan adalah *hot plate stirrer*, gelas kimia, gelas erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, corong pisah, timbangan, termometer, pipet, oven, piknometer, viskometer *Ostwald*, dan Buret. Bahan penelitian yang digunakan dalam proses esterifikasi dan juga transesterifikasi adalah bahan baku berupa *CPO-off grade*, alkohol 96%, katalis berupa  $H_2SO_4$  dan NaOH, metanol 99%, aquadest dan indikator PP.

Proses penelitian ini dilaksanakan dalam 3 proses yaitu karakterisasi bahan baku, proses esterifikasi dan transesterifikasi. Adapun tahapan yang dilaksanakan di setiap prosesnya adalah sebagai berikut:

### 2.1. Karakterisasi *CPO-off grade*

Karakteristik *CPO-off grade* yang diuji dalam penelitian ini adalah berupa kadar air, bilangan asam, kadar FFA, viskositas kinematik serta massa jenisnya. Pengujian kadar FFA yang digunakan adalah dengan menambahkan alkohol 96% dan dipanaskan sambil diaduk selama 10 menit kemudian ditambahkan indikator PP dan dititrasi dengan menggunakan NaOH.

### 2.2. Tahap Esterifikasi

*CPO-off grade* dicampurkan dengan metanol dan katalis  $H_2SO_4$  (1%-massa, 2%-massa, dan 3%-massa). Lalu, diaduk sambil dipanaskan hingga temperatur konstan sebesar  $60^\circ C$  selama 2 jam. Campuran trigliserida dan metil ester yang terbentuk dipisahkan dan dicuci dengan menggunakan air hangat dengan temperatur  $80^\circ C$  hingga menghasilkan pH netral. Evaporasi digunakan untuk memisahkan kadar air yang terdapat dalam campuran.

### 2.3. Tahap transesterifikasi

*CPO-off grade* yang telah melalui proses esterifikasi sebelumnya kemudian ditambahkan dengan katalis berupa NaOH (1%-massa, 2%-massa, dan 3%-massa) dan dipanaskan sambil diaduk dengan temperatur  $60^\circ C$  selama 2 jam. Biodiesel yang terbentuk dipisahkan dan dicuci dengan air hangat hingga pH air menjadi netral yang kemudian dipisahkan kembali dari air dengan menggunakan corong pisah. Analisa selanjutnya dilaksanakan untuk mengetahui kualitas biodiesel berupa bilangan asam, massa jenis, kadar air serta viskositas kinematiknya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik *CPO-off grade*

Karakteristik *CPO-off grade* yang digunakan sebagai bahan baku dalam proses produksi biodiesel disajikan dalam Tabel 1. Hasil uji menunjukkan bahwa *CPO-off grade* yang digunakan sudah sesuai dengan syarat sebagai bahan baku pada proses produksi biodiesel dengan kandungan air sebesar 0,31%-massa. Proses pembuatan biodiesel akan terhambat apabila kandungan air dalam bahan baku masih tinggi. Tingginya kadar air dalam bahan baku akan menghasilkan reaksi samping berupa reaksi saponifikasi dan menurunkan laju konversi trigliserida menjadi biodiesel (Atadashi dkk, 2012).

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik *Crude Palm Oil*

Parameter	Satuan	<i>CPO-off grade</i>	CPO (Ketaren,2005)
		Nilai	Nilai
Viskositas kinematik	$mm^2/s/ (cSt)$	4,61	-
FFA	%	83,88	0,5
Kadar Air	%-massa	0,31	0,5
Bilangan asam	KOH/g	39,6	6,9
Massa Jenis	$kg/m^3$	889	895

Kemurnian minyak dan asam lemak penyusunnya akan sangat mempengaruhi nilai massa jenis (Pranowo dkk, 2014). Angka tingkat kejenuhan minyak memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan massa jenisnya, semakin tinggi kejenuhan maka massa jenis minyak akan semakin rendah (Altun dkk, 2010). Dalam penelitian ini dihasilkan

bahwa *CPO-off grade* memiliki massa jenis  $889 \text{ kg/m}^3$  yang masih berada pada rentang massa jenis sesuai standar SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan bahwa *CPO-off grade* memiliki asam lemak penyusun dan kemurnian yang baik.

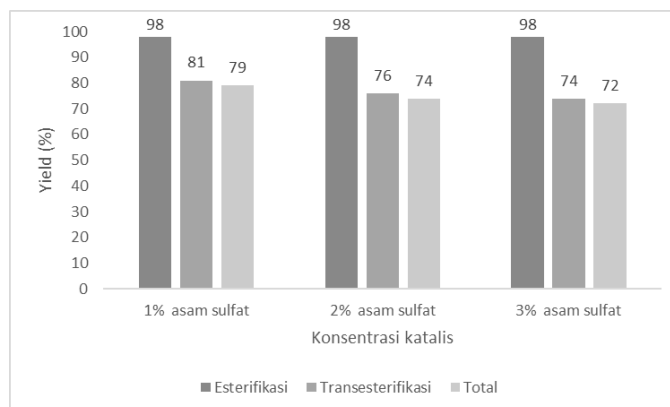
Nilai viskositas dari minyak hasil proses transesterifikasi akan lebih rendah daripada bahan bakunya (Knothe dkk, 2005). Nilai viskositas kinematik yang diperoleh dalam penelitian ini adalah  $4,61 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) yang menunjukkan bahwa nilai ini masih berada dalam rentang sesuai standar yaitu  $2,3-6 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt). Nilai viskositas kinematik ini menunjukkan adanya rantai karbon yang panjang serta tingkat kejenuhan asam lemak yang tinggi.

Bilangan asam dalam minyak menunjukkan jumlah asam lemak bebas dalam minyak tersebut. Bilangan asam yang tinggi juga menjadi salah satu indikator minyak tersebut dikategorikan kedalam minyak *off grade*. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai bilangan asam dalam *CPO-off grade* adalah  $39,6 \text{ mg KOH/g}$ , lebih tinggi apabila dibandingkan dengan standar yang tertulis menurut Karen dalam Tabel 1. Hasil pengukuran kadar FFA dalam *CPO-off grade* juga menghasilkan nilai yang sangat tinggi yaitu  $83,88\%$ . Berdasarkan tingginya nilai FFA dalam *CPO-off grade*, maka *CPO-off grade* perlu melalui proses esterifikasi menurunkan kadar FFA. Penurunan kadar FFA dalam proses esterifikasi terjadi karena konversi asam lemak bebas yang berberat molekul tinggi menjadi metil ester yang berberat molekul lebih rendah (Djenar dan Lintang, 2012).

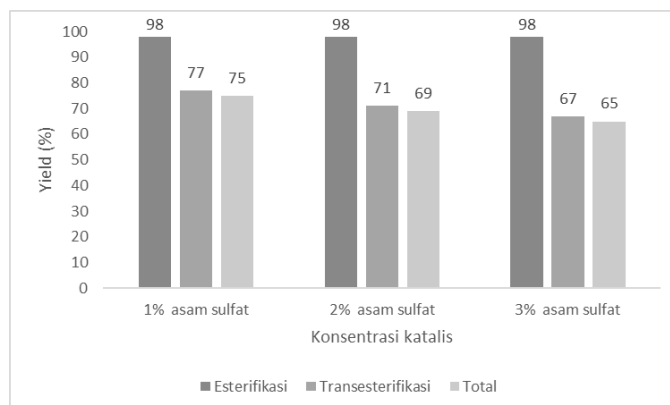
### 3.2. Yield Biodiesel

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam proses esterifikasi dan juga katalis NaOH dalam proses transesterifikasi. Hasil penelitian berupa *yield* yang diamati dalam hal ini adalah *yield* hasil esterifikasi, transesterifikasi dan juga *yield* total dalam reaksi pembentukan biodiesel.

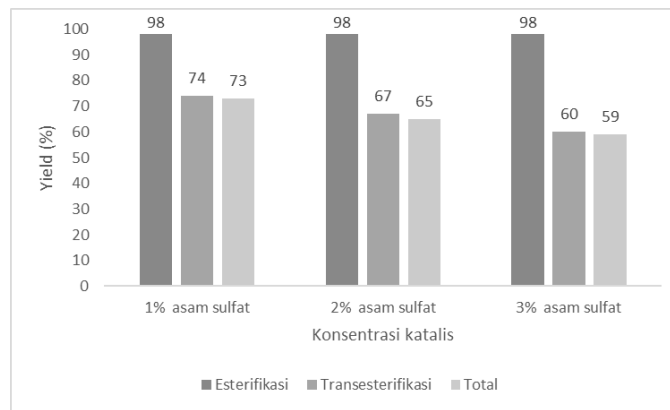
Dari hasil pengukuran *yield* dalam berbagai variasi katalis diperoleh nilai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. *Yield* Biodiesel dengan Katalis NaOH 1%



Gambar 2. *Yield* Biodiesel dengan Katalis NaOH 2%



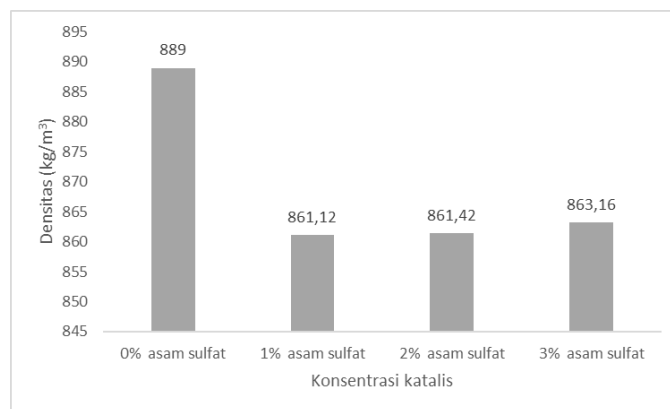
Gambar 3. Yield Biodiesel dengan Katalis NaOH 3%

Berdasarkan Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa *yield* hasil transesterifikasi dan juga *yield* total proses semakin menurun dengan meningkatnya jumlah katalis  $H_2SO_4$  yang digunakan dalam proses esterifikasi. Hasil *yield* juga semakin menurun dengan meningkatnya katalis NaOH yang digunakan. Jumlah katalis asam sulfat yang berlebih justru akan membuat produk lebih berwarna gelap serta terjadinya reaksi samping antara asam sulfat dengan metanol yang akan menghasilkan dimetil eter sehingga menyebabkan penurunan FFA semakin lambat dan akan mempengaruhi parameter mutu lainnya (Ramadhas, 2005).

### 3.3. Analisis Mutu Biodiesel

#### 3.3.1. Massa Jenis

Kualitas pembakaran yang terjadi dalam suatu mesin akan dipengaruhi oleh massa jenis minyak yang digunakan. Beberapa parameter yang dapat dipengaruhi oleh nilai massa jenis minyak adalah angka setana, viskositas, serta nilai kalor. Massa jenis juga merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan, penyimpanan, transportasi dan juga distribusi dari biodiesel (Barbas dan Todorut, 2011). Hasil pengukuran massa jenis dari biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 4 berikut.

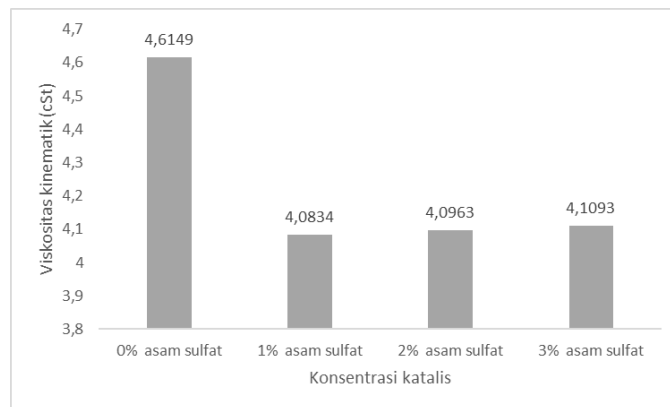


Gambar 4. Massa Jenis Biodiesel

Apabila dibandingkan dengan *range* standar massa jenis biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 yaitu sebesar 850-890  $kg/m^3$ , maka massa jenis yang dihasilkan biodiesel dalam penelitian ini masih masuk kedalam rentang nilai massa jenis yang ditetapkan. Nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan massa jenis dari bahan baku yaitu *CPO-off grade*. Penurunan massa jenis ini dapat disebabkan oleh adanya pemutusan rantai gliserol yang terdapat dalam *CPO-off grade* (Aziz, 2008).

#### 3.3.2. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan sifat yang penting dalam karakteristik biodiesel karena mempengaruhi tingkat kemudahan nyala mesin, kualitas penyemprotan, ukuran dari partikel yang keluar dari *nozzle*, serta kualitas dari pembakaran mesin yang digunakan (Barbas dan Todorut, 2011). Viskositas kinematik *CPO-off grade* yang telah melalui proses transesterifikasi dapat dilihat dalam Gambar 5.

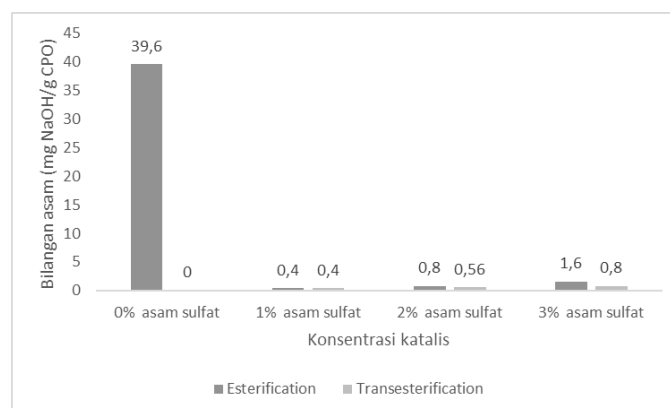


Gambar 5. Viskositas Kinematik Biodiesel

Viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan akan berbeda dengan bahan baku, hal ini disebabkan oleh adanya perubahan panjang rantai asam lemak yang menjadi lebih pendek setelah melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi (Djenar dan Lintang, 2012). Dari hasil penelitian, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan sudah berada dalam rentang standar yang ditetapkan.

### 3.3.3. Bilangan Asam

Penurunan bilangan asam secara signifikan terjadi pada proses esterifikasi, yaitu dari 39,6 mg NaOH/g minyak menjadi 0,4-1,6 mg NaOH/g minyak (Gambar 6). Nilai ini masih belum mencapai standar yang ditetapkan, hal ini dapat disebabkan karena adanya proses hidrolisis serta oksidasi yang berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi di dalam minyak akan menghasilkan asam organik serta proses hidrolisis akan menghasilkan asam lemak bebas yang akan meningkatkan nilai bilangan asam (Barabas dan Todorut, 2011).



Gambar 6. Bilangan Asam Biodiesel

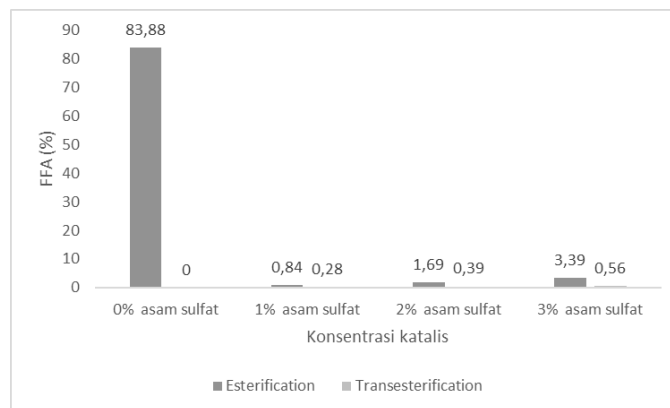
J. Van Gerpen, dkk, (2004) menyatakan dalam penelitiannya bahwa metil ester dan air akan terbentuk akibat adanya konversi asam lemak bebas, hal ini menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan nilai bilangan asam. Sementara itu Knothe dkk (2005) menyatakan bahwa reaksi ini akan berlangsung dengan baik jika metanol bereaksi dengan asam lemak untuk memproduksi metil ester dan air. Nilai bilangan asam yang diperoleh mengalami penurunan pada penggunaan katalis asam sulfat 2% dan 3% -massa yaitu dari 0,8 mg KOH/g biodiesel menjadi 0,56 mg KOH/g biodiesel hal ini dapat disebabkan oleh pembentukan ester dari reaksi asam lemak bebas dan minyak dengan ion metoksida (Kusumaningsih dkk., 2006).

Bilangan asam mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis yang digunakan, hal ini menunjukkan bahwa jumlah katalis akan mempengaruhi nilai bilangan asam pada biodiesel yang dihasilkan. Dari hasil penelitian diperoleh nilai konsentrasi katalis yang optimum untuk menurunkan nilai bilangan asam adalah 1%-massa.

### 3.3.4. FFA (Free Fatty Acid)

Nilai FFA pada hasil proses esterifikasi memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan nilai FFA pada bahan baku. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa kadar FFA pada bahan baku berupa *CPO-off grade* adalah 83,88% kemudian turun setelah melalui proses esterifikasi menjadi 0,84% pada katalis 1%-massa, 1,69% pada katalis 2%-massa dan 3,39% pada katalis 3%-massa. Nilai FFA kemudian mengalami penurunan kembali setelah melalui tahapan transesterifikasi yaitu menjadi 0,28% pada katalis 1%-massa, 0,39 % pada katalis 2%-massa dan 0,56% pada katalis 3%-massa.

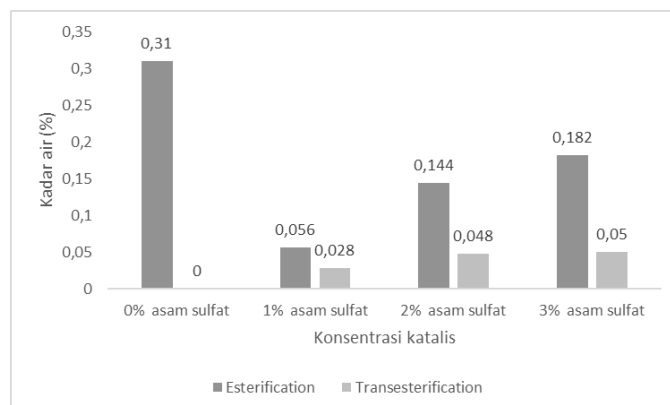
Penurunan ini dapat menjadi salah satu faktor penentu bahwa proses esterifikasi dan transesterifikasi berjalan secara efektif.



Gambar 7. Nilai FFA Biodiesel

### 3.3.5. Kadar Air

Kandungan air dalam setiap tahapan proses persiapan hingga penyimpanan dalam produksi biodiesel akan menimbulkan permasalahan bila tidak ditangani dengan tepat. Pembentukan kristal es pada temperatur 0°C yang akan mempercepat proses pembentukan gel dari residu bahan bakar. Hal lain yang mungkin terjadi adalah pada proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa akan terjadi penyerapan air yang lebih tinggi oleh komponen monogliserida dan digliserida dibandingkan dengan metil ester (Atadashi dkk., 2012). Hasil pengukuran kadar air pada biodiesel dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Kadar Air Biodiesel

### 3.3.6. Titik Nyala Biodiesel

Hasil yang diperoleh dalam uji titik nyala biodiesel ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Uji *Flash Point*

Sampel	Satuan	Nilai	SNI 7182:2015
1% asam sulfat	°C	184	100
2% asam sulfat	°C	184	100
3% asam sulfat	°C	183	100

Titik nyala (*flash point*) adalah salah satu parameter penting dalam keamanan terhadap kebakaran serta dalam proses penyimpanannya. Nilai ini dapat diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* (ASTM) (Nasrun dkk, 2016). Titik nyala (*flash point*) juga dapat mengindikasikan tinggi atau rendahnya nilai volatilitas dan kemampuan untuk terbakar (Setiawan, 2012). Pengujian titik nyala digunakan untuk mengukur suhu paling rendah yang dapat dicapai ketika campuran uap minyak dan udara terbakar sesaat setelah api dilewatkan di atasnya. Nilai yang diperoleh dapat digunakan untuk menunjukkan apakah biodiesel yang dihasilkan termasuk dalam bahan bakar yang mudah atau sukar terbakar. Dari hasil uji yang ditunjukkan di Tabel 2 sampel biodiesel yang dihasilkan memiliki nilai titik nyala di atas standar SNI yang berlaku.

### 3.4. Ringkasan Hasil Penelitian

Hasil uji analisis setiap parameter biodiesel dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Ringkasan Data Hasil Penelitian

Parameter	Variasi Katalis			SNI Biodiesel 7182:2015	Satuan	Keterangan
	1%	2%	3%			
Yield	79	74	72	-	%	-
Massa jenis	861,12	861,42	863,16	850-890	kg/m <sup>3</sup>	Sudah memenuhi SNI
Viskositas Kinematik	4,08	4,09	4,1	2,3 - 6	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Sudah memenuhi SNI
Bilangan Asam	0,44	0,63	0,89	0,5 (maks)	KOH/g	Sudah memenuhi SNI
FFA	0,28	0,39	0,56	-	%	-
Kadar Air	0,028	0,048	0,05	0,05	%-vol	Sudah memenuhi SNI
Flash Point	184	184	183	Min. 100	°C	Sudah memenuhi SNI

Berdasarkan ringkasan hasil penelitian di Tabel 3 dapat dilihat bahwa kualitas mutu biodiesel yang dihasilkan mencapai kondisi optimum dengan penggunaan konsentrasi katalis sebesar 1%-massa pada tahapan esterifikasi dan transesterifikasi karena pada kondisi ini seluruh parameter uji yang dilaksanakan menghasilkan angka yang masuk dalam standar SNI yang ditentukan dengan nilai terbaik apabila dibandingkan dengan konsentrasi katalis lainnya.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsentrasi katalis 1%-massa dalam proses produksi biodiesel dalam tahap esterifikasi maupun transesterifikasi mampu menghasilkan biodiesel yang sudah memenuhi nilai yang distandarkan dalam SNI Biodiesel 7182:2015. Hasil optimal yang diperoleh pada parameter perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air dan titik nyala berturut-turut adalah 79%, 861,12 kg/m<sup>3</sup>, 4,08 mm<sup>2</sup>/s(cSt), 0,44 mg NaOH/g FAME, 0,28%, 0,028% dan 184°C.

### Daftar Pustaka

- Altun, S, F Yasar , dan C Oner . “The Fuel Properties of Methyl Ester Produced from Canola Oil-Animal Tallow Blends by Base-Catalyzed Transesterification.” *Interntional Journal of Engineering Research and Development*, 2010: 2-5.
- Atadashi, I.M., M.K Aroua, A.R. Abdul Aziz, dan N.M.N Sulaiman. “Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks.” *Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks*, 2012: 3275-3285.
- Aziz, I, S Nurbayati, dan B Ulum . “Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi.” 2011.
- Barabas, I, dan I Todorut. “Biodiesel Quality, Standards, and Properties in Dr. Gisela Montero (Ed.) Biodiesel Quality, Emissions, and By-Products.” Croatia: InTech, 2011.
- Budiawan, R, Zulfansyah, R Fatra, dan Z Helwani. “Off-grade Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two Step Processes.” *ChESA Conference*. Januari. Banda Aceh. *Chemical Engineering on Science and Application*, 2013: 7:40-50.
- Djenar, N.S., dan N Lintang. “Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (Aleurites trisperma) Dalam Pembuatan Biodiesel.” *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 2012: 215-221.
- Hutapea, Maritje. “Kebijakan dan Program Pengembangan Bahan Bakar Nabati.” *Lokakarya Penggunaan Minyak Nabati Murni pada Motor Diesel dan Rekayasa*, 2012.
- Irawan, B., & Soesilo, N.I., (2021). Dampak Kebijakan Hilirisasi Industri Kelapa Sawit terhadap Permintaan CPO pada Industri Hilir. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*. <https://dx.doi.org/10.22212/jekp.v11i1.2023>
- Knothe, G, J.V. Gerven , dan J Krahl. “The Biodiesel Handbook.” United States of America: AOCS Press., 2005.
- Kusumaningsih, T, Pranoto, dan R Saryoso. “Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Jarak: Pengaruh Suhu dan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa.” *Jurnal Bioteknologi*, 2006: 20-26.
- Nasrun, K Eddy, dan S Inggit. “Studi Awal Produksi Bahan Bakar.” *Jurnal Teknologi*, 2016: 30-44.
- Pranowo, D, M Syakir , B Prastowo, M Herman , A Anullah, dan Sumanto. “Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping.” *IAARD Press.*, 2014.
- Ramadhass, A.S., S Jayaraj, dan C Muraleedharan. “Biodiesel production from high FFA rubber seed oil.” *Fuel* 84:, 2005: 335-340.
- Van Gerpen, J, B Shanks, R Pruszko, D Clements,, dan G Knothe. “Biodiesel Production technology. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.” 2004. Dutty, H. B. H., Mowla, M. M., & Mou, M. A. (2019). A Statistical mmWave Channel Modeling for Railway Communications Backhaul in 5G Networks. 3rd International Conference on Electrical, Computer and Telecommunication Engineering, ICECTE 2019, 121–124. <https://doi.org/10.1109/ICECTE48615.2019.9303579>

# The Effect of Al-Zn Composition and Immersion Time in The Galvalume Process on Low Carbon Steel Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Rate

Iskandar Muda<sup>1</sup>, Pradoto Ambardi<sup>1</sup>, Martijanti<sup>2</sup> and Kiki Fadlurahman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Metallurgical Engineering Study Program, Faculty of Manufacturing Technology, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Manufacturing Technology, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

[dr.ir.iskandarmuda@gmail.com](mailto:dr.ir.iskandarmuda@gmail.com), [pradambardi@gmail.com](mailto:pradambardi@gmail.com), [martijanti@yahoo.co.id](mailto:martijanti@yahoo.co.id), [fadlurahmankiki@gmail.com](mailto:fadlurahmankiki@gmail.com)

## Abstrak

Pengaruh komposisi Al-Zn dan lama masa tahan terhadap tebal, pembentukan struktur lapisan, sifat mekanik dan ketahanan korosi selama proses galvalume celup panas pada baja karbon rendah telah dilakukan. Baja karbon rendah yang digunakan dengan komposisi kimia 0,01-0,25% karbon. Parameter yang digunakan adalah Al55%-Zn45%, Al60%-Zn40%, dan Al65%-Zn35%. Variasi waktu perendaman yang digunakan adalah 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Sampel kemudian diuji meliputi pengujian mikro Vickers, ketebalan lapisan, metalografi dengan mikroskop optik, Scanning Electron Microscope (SEM/EDS), difraksi sinar-X (XRD), dan uji potensial dinamik. Nilai kekerasan lapisan tertinggi yang diperoleh dari hasil pengujian pada variasi komposisi Al55%-Zn45% dengan lama *holding time* 30 detik adalah 208,20 HV. Nilai kekerasan lapisan terendah yang diperoleh dari hasil pengujian pada variasi komposisi Al65%-Zn35% dengan waktu tahan 10 detik adalah 172,16 HV. Nilai ketebalan lapisan terendah pada waktu tahan perendaman 10 detik adalah 342,0  $\mu\text{m}$ . Nilai ketebalan lapisan tertinggi pada waktu tahan perendaman 30 detik adalah 1358,0  $\mu\text{m}$ . Kisaran laju korosinya adalah 2,097-4,69 mpy.

Kata kunci: Hot Dip galvalume, Al-Zn, Low carbon steel, Thickness Hardness, Corrosion rate

## Abstract

The effect of Al-Zn composition and holding time on thickness, layer structure formation, mechanical properties, and corrosion resistance during the hot dip galvalume process on low-carbon steel has been carried out. Low-carbon steel is used with a chemical composition of 0.01-0.25% Carbon. The parameters used were Al55%-Zn45%, Al60%-Zn40%, and Al65%-Zn35%. The variations in immersion time used were 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds. The samples were tested, including Vickers micro testing, layer thickness, metallography with an optical microscope, Scanning Electron Microscope (SEM/EDS), X-ray diffraction (XRD), and dynamic potential testing. The highest layer hardness value obtained from the test results on the Al55%-Zn45% composition variation with a holding time of 30 seconds was 208.20 HV. The lowest layer hardness value obtained from the test results on the composition variation of Al65%-Zn35% with a holding time of 10 seconds is 172.16 HV. The lowest layer thickness value at a holding time of 10 seconds is 342.0  $\mu\text{m}$ . The highest layer thickness value at a holding time of 30 seconds is 1358.0  $\mu\text{m}$ . The range of corrosion rates is 2.097-4.69 mpy.

Keywords: Hot Dip galvalume, Al-Zn, Low carbon steel, Thickness Hardness, Corrosion rate

## 1. Pendahuluan

Coated steel sheets have been widely used as steel sheet products for household appliances and building materials. In particular, since 2019, PT Alexindo has developed and commercialized highly corrosion-resistant Zn-Al coated steel sheets (Nakamura & Haruta, 2023; บรรพต & Bunphot, 2022). One of the major developments in zinc alloys with aluminium was to overcome the challenges associated with using these materials in various corrosive environments and reduce the material's weight and cost (Saarimaa et al., 2024a). Coated steels are widely used in industries for their low cost along with their higher quality and lower environmental polluting effects (Yadav et al., 2023). The use of pre-coated steel is dominant in industries and other sectors mainly due to the economic benefits and lower environment-polluting effects (Nakamura & Haruta, 2023; Saarimaa et al., 2024a; บรรพต & Bunphot, 2022). Higher corrosion resistance is required for these steels because corrosion degrades the structures and reduces their strengths with different levels of impact, starting from human safety concerns to resource and environmental degradability (Yadav et al., 2024). However, no universal system has yet emerged that can replace galvalume-coated steel in the mass production of vehicle bodies, due to its combination of corrosion resistance, toughness, and cost-effectiveness. At the same time, international automotive regulations demand increased fuel efficiency, which can be achieved by balancing the weight of the car body with the use of more resistant steel, without compromising safety standards (Bolsanello et al., 2024) Reports indicate

### Info Makalah:

Dikirim : 11-18-24;

Revisi 1 : 01-21-25;

Diterima : 01-21-25.

### Penulis Korespondensi:

Telp : +62 813-8308-2545

e-mail : [dr.ir.iskandarmuda@gmail.com](mailto:dr.ir.iskandarmuda@gmail.com)



that an increase in fuel efficiency of 5.5% for a reduction in car weight of about 10%. In addition, anthropogenic activities trigger significant concentrations of pollutants that can increase the aggressiveness of exposure conditions, especially in densely populated urban and industrial areas with repeated acid rain episodes. Therefore, advances in galvalume steel require the development of more durable, reliable and sustainable anticorrosive coatings, reducing the need for additional corrosion protection on coated components while reducing costs and fuel consumption in cars. Compared with galvanizing which is mostly zinc, then galvalume with 55% Al has the advantage that Aluminium corrodes more slowly than Zn in most atmospheres because its barrier layer is a very passive aluminium oxide (G. Liu et al., 2024). However, this passive layer prevents aluminium from making a significant contribution to cathodic (sacrificial) protection. Cathodic protection is the strong point of zinc coatings, so if the coating is cut or scratched, the zinc near the exposed area will corrode first. Zinc-aluminium alloys combine the strengths of zinc and aluminium, providing better passive barrier protection than ordinary galvanizing, and better sacrificial protection than alloy coatings with lower zinc compositions (Mora & Ballester, 2019; Saarimaa et al., 2024b). To improve the performance of Galvalume coating, the expected microstructure, and better properties can be obtained by adding 1~3% Magnesium into Galvalume coating (55%Al-Zn). The effect of magnesium on the corrosion resistance of 55%Al-Zn coating is that the number of surface spangles by adding 2% magnesium does not change significantly; the corrosion resistance of 55%Al-Zn-2%Mg coating becomes much better (Ding et al., 2021; Q. Liu et al., 2024). The effects of cooling rate on the phase constitution, microstructural length scale, and microhardness of the directional solidification experiments of Galvalume alloy (Zn-55Al-1.6Si) were investigated through directional solidification experiments at different drawing speeds, indicating that the microstructure of the directional solidification Galvalume alloy is composed of primary Al dendrites, Si-rich phase, and ternary eutectic (Zn-Al-Si) at drawing speeds ranging from 5 to 400  $\mu\text{m s}^{-1}$ . As the drawing speed increases, the segregation of Si elements becomes more intensive, increasing the area fraction of the Si-rich phase. In addition, the primary Al dendrites show significant refinement with the increase in drawing speed (Li et al., 2024).

## 2. Method

### 2.1. Materials and Equipment

#### 2.1.1. Materials

This time, the base metal material used in the galvalume process is cold rolled sheet steel with a chemical composition as shown in Table 1. The coating materials used in the galvalume process are Aluminium Ingot, Zinc Ingot, and Silicon. For the pickling and cleaning process, a solution of hydrochloric acid (HCl), Caustic Soda (NaOH), Zinc Ammonium Chloride (ZAC), and distilled water is used.

Table 1. Chemical composition of carbon steel.

Class	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
SPCC	0,15 max	0.60 max	0.100 max	0,05 max	99.29 - 100

#### 2.1.2. Equipment

### 2.2. Surface Preparation

The material used is low carbon steel with dimensions of 100 mm x 80 mm and a thickness of 0.8 mm.

- Physical (mechanical)

Cleaning process Physical cleaning can be in the form of sanding using a grinding machine, which includes smoothing out uneven surfaces and removing scratches and burrs attached to the surface of the specimen. The sandpaper used is 80 mesh, 1000 mesh, and 1500 mesh.

- Chemical

Cleaning process The Chemical cleaning process is the process of cleaning the dirt attached to the surface of the specimen using chemicals. This cleaning process is included in Figure 1.

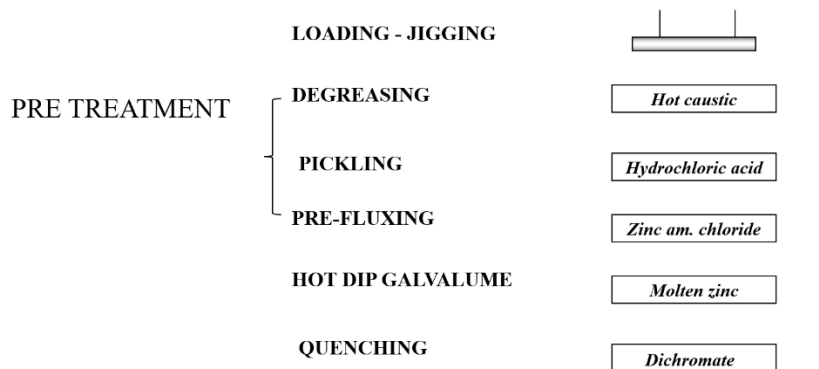


Figure 1. Hot Dip Galvalume Process Sequence

(a) Degreasing

The degreasing process is a process that aims to remove dirt, oil, grease, paint, and other solid impurities attached to the surface of the specimen. The cleaning process is carried out using a solution of NaOH (caustic soda) with a concentration of 10% at 70°C-90°C for approximately 10 minutes.

(b) Rinsing I

Process Rinsing aims to clean the NaOH in the degreasing which is still attached to the surface of the specimen using clean water at room temperature.

(c) Pickling

The pickling aims to remove rust attached to the surface of the specimen by immersing it in a solution of HCl (hydrochloric acid) or a solution of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% for 15-20 minutes.

(d) Rinsing II

The rinsing process aims to clean the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> attached to the specimen during the pickling using clean water at room temperature.

(e) Fluxing

The fluxing is an initial coating process using Zinc Ammonium Chloride (ZAC) with a concentration of 20% – 30% for 5 – 8 minutes. The fluxing process is carried out to act as a base layer to strengthen the zinc layer during the coating process, as a catalyst for the Fe-Zn coating reaction, and to prevent the oxidation process from occurring before the galvalume process. The fluxing takes place at a temperature of 60°C-80°C, this is intended so that the transfer of heat to the specimen takes place slowly and gradually so that no plastic deformation occurs which can interfere with the process of attaching the zinc to the workpiece during the galvalume process.

(f) Drying

The drying process is a drying and preheating process using hot gas with a temperature of around 150°C, the aim is to remove any liquid that may be present on the surface of the specimen which can cause a steam explosion during the galvalume process

(g) The Hot Dip Galvalume Process

For specimens that have undergone the pre-treatment stage and have been cleaned of all impurities, the next step is the dipping process. During the galvalume process, molten zinc coats the steel by forming a layer of zinc steel and then a completely aluminium zinc layer is formed on the outer surface of the steel, the minimum solution used is 60% aluminium and 40% zinc with a temperature of 700 °C. The parameters used were Al55%-Zn45%, Al60%-Zn40%, and Al65%-Zn35%. The variations in immersion time used were 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds. The samples, including Vickers micro testing, layer thickness, metallography with an optical microscope, Scanning Electron Microscope (SEM/EDS), X-ray diffraction (XRD), and dynamic potential testing, were tested.

(h) Corrosion testing

Potentiodynamic testing was conducted at the Chemistry and Corrosion Laboratory, Jenderal Achmad Yani University, Bandung. This test aims to determine the corrosion rate of low-carbon steel that has not been hot dip galvalume and galvalume steel. In this potentio test, the CorrTest Electrochemical Workstation tool was used using a Pt (platinum) counter electrode and an Ag/AgCl reference electrode, in the Indial configuration -0.25 V, Final +0.25 V, and Scan Rate 0.5 mV/s.

(i) Micro Vickers testing

The microhardness test of Vickers uses an indentation load of 25 grams with a measurement time of 30 seconds, the hardness measurement is carried out at 3 indentation points on all specimens. The two diagonals of the indentation marks on the surface of the specimen are measured with a microscope and entered into the formula, so that the results of the Vickers hardness are obtained.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Visual and Macro Examination

Observation of all specimens can be seen in Fig. 2 In the figure it is clear that there is a difference in the physical comparison of the specimens before and after coating with the hot dip galvalume method. The uncoated test object is dark gray, has sandpaper lines, and is slightly shiny.



Figure 2. Specimens Before The Immersion Process (Magnification)

In contrast to the hot-dipped test specimens, the surface is bright grey. The color of this coating is due to the coating of the aluminium-zinc alloy. Figure 3, this chemical composition is based on the standard operating procedure at the Galvalume factory of PT Alexindo, namely with a composition of Al 55% and Zn 45% with varying times of 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds, it shows that at 10 seconds there are still bubbles on the surface of the sample, currently the nucleation of the Al-Zn Alloy is occurring, before the nucleation develops, it has been cooled directly by being dipped in water. In the image with a time of 20 seconds, the bubbles of the nucleation have decreased, some have formed grains, but the spangles are not yet visible, and the grains are still in a flat shape. With a time of 30 seconds, grains have formed and there are still some nuclei although in very small amounts. The grains that are formed have not formed spangles, because the time to form spangles is not enough. Compared with 60% Al-40% Zn Alloy, Figure 4 shows significant differences. At 10 seconds of immersion time, there are uncoating areas, and bubbles are still found in the coating. At 20 seconds of immersion time, the coating is good, only a few areas still have bubbles. At 30 seconds immersion time, the coating is relatively better, better than 55% Al-45% Zn Alloy. The results of the galvalume process with a chemical composition of 65% aluminium with 35% Zinc are shown in Figure 5. The number of bubbles on the coating is visible, sequentially seen at hot dip times of 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds there is no significant change, whereas in the three samples, many bubbles were found on the coating. Commercial coatings with an appearance like this cannot be accepted by the market, where the market is more accepting of coating surfaces with a chemical composition of 55% Aluminium and 60% Aluminium, namely, there are no bubbles that can reduce the beauty of the appearance of the coating surface. With coating surface, Zn-rich dendritic areas, and Al-rich dendritic areas, the surface of the galvalume coating exhibits an even more intricate pattern. For galvalume, the Al-rich areas between the depressions had very finely distributed Zn phases, while the biggest continuous Zn phases were found within the surface depressions. According to XPS studies, each coating's outermost few nanometers were made up of (i) a layer rich in Al and O, (ii) some carbon impurities, and (iii) very little Zn. Si made up around 5% of the galvalume surface. As a result, the topmost layer of all substrates is comparable and primarily made of aluminium oxide, which covers the Al- and Zn-rich phases equally (Saarimaa et al., 2024a).



Figure 3. The Results of The Galvalume Process with a Composition of 55% Aluminium and 45% Zinc, with a Hot Dip Time of 10 Seconds, 20 Seconds, and 30 Seconds.



Figure 4. The Results of The Galvalume Process With a Composition of 60 % Aluminium and 40% Zinc, With a Hot Dip Time of 10 Seconds, 20 Seconds, and 30 Seconds.

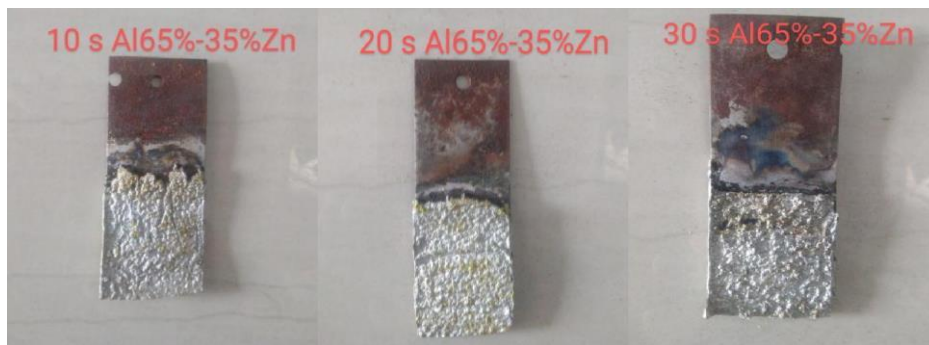


Figure 5. The Results of The Galvalume Process with a Composition of 55% Aluminium and 45% Zinc, with a Hot Dip Time of 10 Seconds, 20 Seconds, and 30 Seconds.

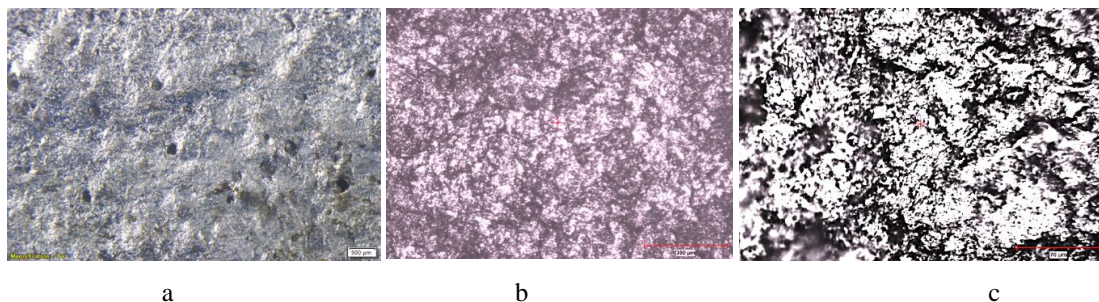


Figure 6. Taking Photos of The Galvalume Surface, (a) Surface Macro with Alloy Composition 60% Al and 40% Zn, Magnification 4 X, (b) Surface Macro with Alloy Composition 60% Al and 40% Zn, Magnification 50 X and (c) Surface Micro with Alloy Composition 60% Al and 40% Zn, Magnification 200 X.

Figure 6 a. shows a macro photo with a magnification of 4 X, it can be seen that there is a coating surface with a very smooth spangle, this is due to the very fast nucleation process because the cold rolled sheet plate that is hot dip galvalume has a temperature that is not too high because it is not possible to get a high temperature, different from the continuous galvalume line process before entering the hot dip galvalume, the temperature is kept high at around 700 °C in the Snout in Hot Dip Galvalume process. Small spangles or hot dip galvalume without spangles are usually found in electric pole steel whose pre-heating process of hot dip galvalume is not too high. Wet storage spots are a feature that closely resembles the black patches that were seen. The protective oxide that forms in the air on the surface of galvalume gives it exceptional resilience to atmospheric conditions. However, a more rapid form of corrosion occurs through the development of hydrated aluminium oxide in the presence of water or moisture and the absence of unrestricted access to dry air. Under these circumstances, the Galvalume sheet's surface look may deteriorate in as short as 24 to 48 hours because no barrier oxide layer is present. Like "wet storage spots," these tiny pores, particularly at the crystal surfaces, permit moisture to enter the air and cause black oxidation. At a magnification of 50 X as seen in Figure 6 b, only grain boundaries with a 10-70 µm diameter are visible. So with the naked eye, the spangles will not be visible, like continuous galvalume line products. Figure 6 c with a magnification of 200 X, inside the grains there are small grains again, with a size of 100 µm. The main parameter in hot dip galvalume that must also be considered is the temperature before the hot dip galvalume process, in addition to the chemical composition also plays a crucial role, in getting a good coating.



### 3.2. Examination by Optical Microscope

The results of the microstructure examination using an optical microscope on the cross-section of hot dip galvalume are shown in Figure 7, which shows the Al-Zn alloy layer, which consists of cold rolled sheet steel, intermetallic layer, and top layer.

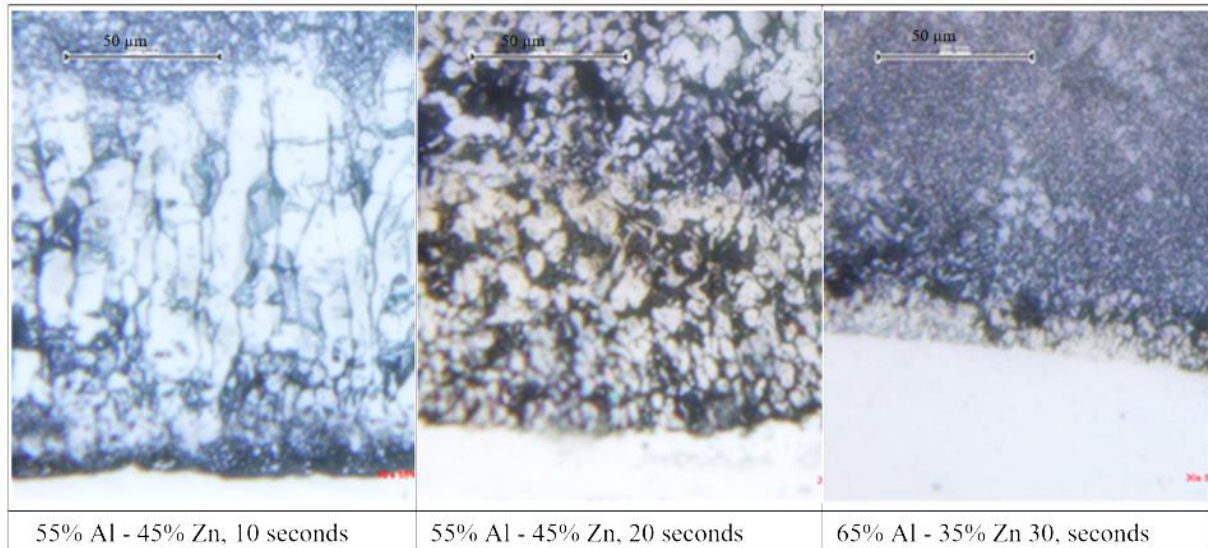


Figure 7. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 55% and 45% Zinc.

In Figure 7. With 55% Al, a hot dip galvalume time of 10 seconds, shows the topmost spangled coating surface, consisting of an excellent dendritic network, so that when viewed from Figure 6 a, no spangles are visible, because the grains are excellent. The bottom of the spangle grain is Al-rich dendritic and below it is Zn-rich dendritic. At the bottom, the grains become smaller again because they are rich in alloy with the steel. With a hot dip time of 20 seconds, the grains that form the spangle on the surface of the galvalume remain small, so that they do not produce spangles that can be seen with the naked eye. The dendritic structure in the middle area begins to form equiaxial grains, and the area's microstructure bordering the steel as the base material is relatively smooth. At a hot dip time of 30 seconds, the grains produced are relatively the same between the surface of the galvalume, the middle of the galvalume, and the base part compounded with the raw material plate in the form of low-carbon steel.

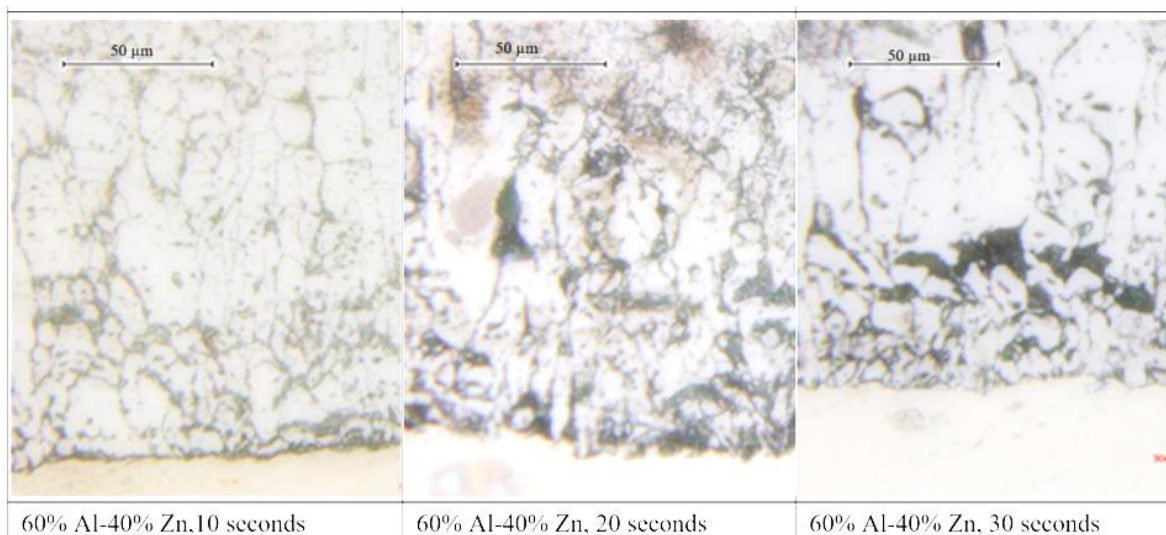


Figure 8. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 60% and 40% Zinc.

In Figure 8 with a composition of 60% Aluminium and 40% zinc, a hot dip time of 10 seconds, dendritic structures are still found on the entire cross-section of galvalume. The grains are still relatively small on the galvalume surface, so no spangles are found when viewed in macro at 4X magnification. At a dip time of 20 seconds and 30 seconds, dendritic microstructures are still found. In the part between Al-Zn and steel, relatively small grains are found.

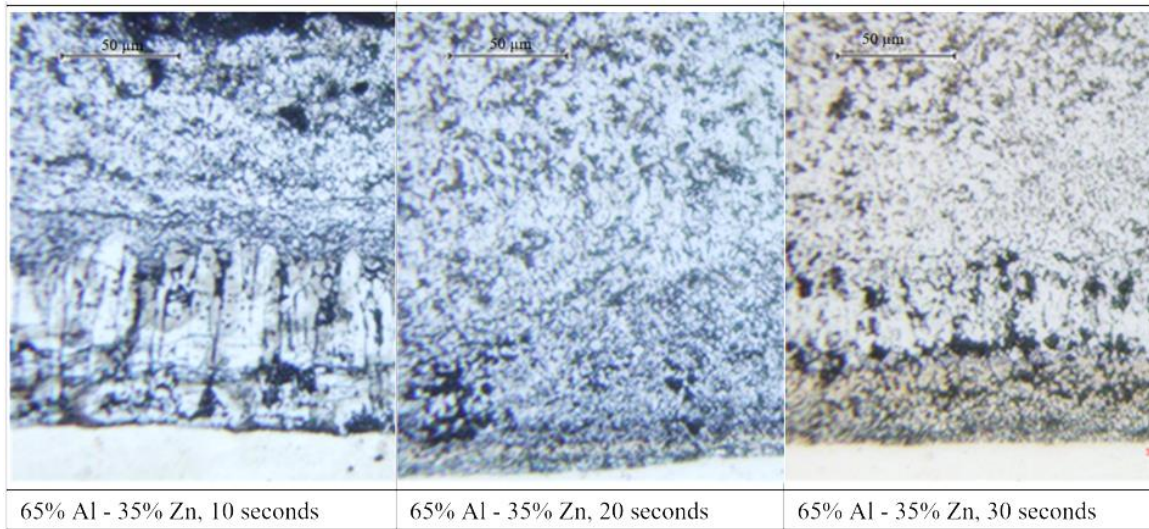


Figure 9. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 65% and 35% Zinc.

In Figure 9. It has a chemical composition of 65% aluminium and 35% zinc. At the time of hot dip 10 seconds, dendritic microstructure is still found, but the surface is still with excellent grains so what is seen on the surface from above, no spangles are found because the grain size on the surface is too small. For hot dip times of 20 and 30 seconds, the microstructure is relatively the same and the size is relatively the same, so that when viewed from the surface of galvalume, no spangles occur on the surface of galvalume.

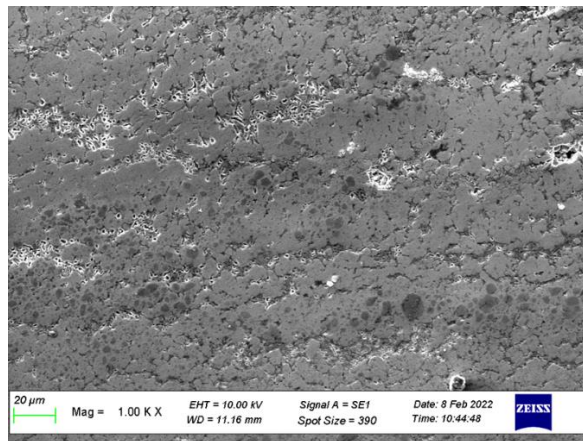


Figure 10. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 60% and 40% Zinc,  
Using a Scanning Electron Microscope Magnification 1000 times.

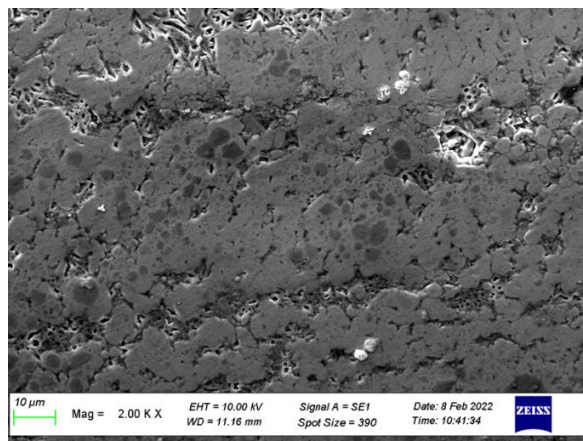


Figure 11. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 60% and 40% Zinc,  
Using a Scanning Electron Microscope Magnification 2000 times.



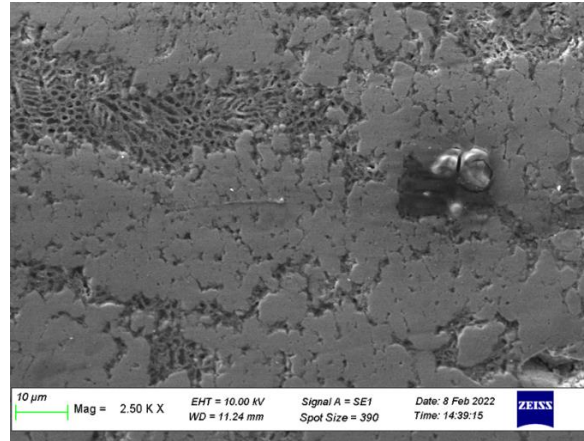


Figure 12. Cross-Section Microstructure Image of Aluminium 60% and 40% Zinc, Using a Scanning Electron Microscope Magnification 2500 times.

Identification of the microstructure of the galvalume cross-section can be seen in Figure 10 with a magnification of 1000 times, Figure 11 with a magnification of 2000 times, and Figure 12, using a magnification of 2500 times. The results show that the eutectic region is a Zn<sub>2</sub>Mg/Zn/Al compound, while the black phase is FCC Al, the grey phase is Zn<sub>2</sub>Mg and the white phase as a matrix is HCP Zn.

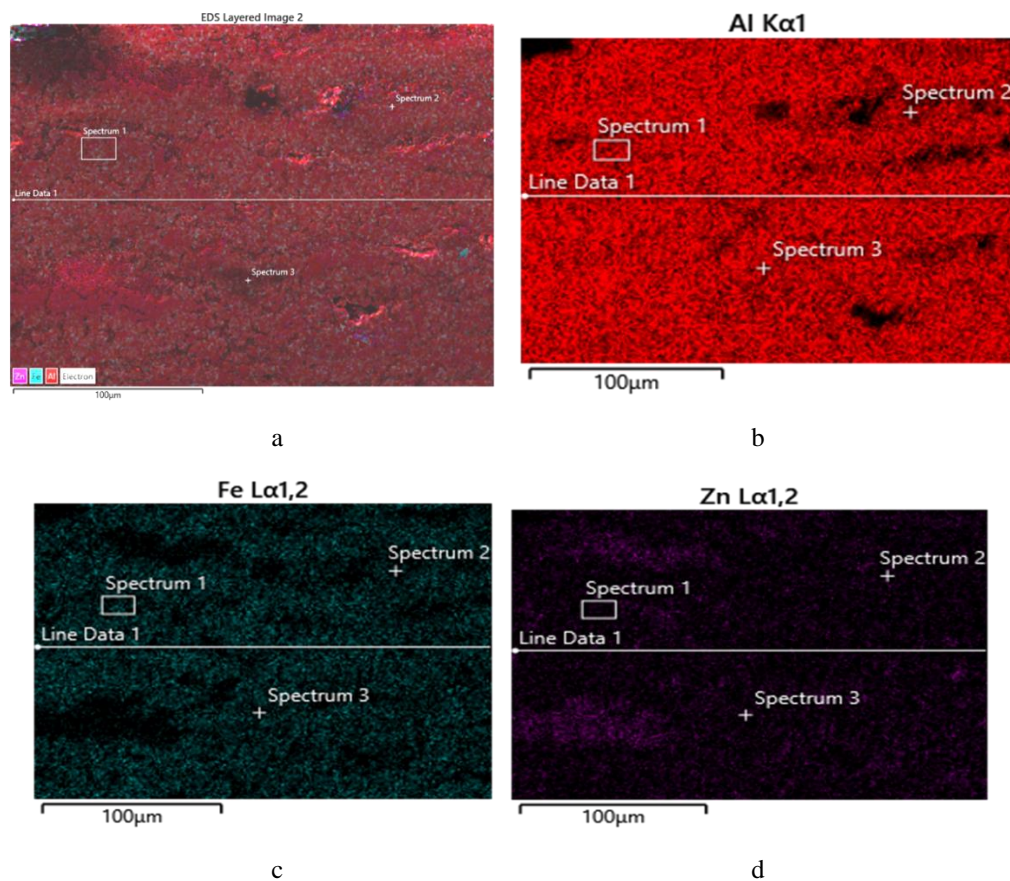


Figure 13. Results of X-Ray Mapping on The Cross-Section Galvalume Using a Scanning Electron Microscope (SEM). (a) Secondary Electron Image of Galvalume; (b) 52 % - 95 % of The Aluminium Element's Surface in a Steel X-Ray image; (c) 28%-43% of The Ferrum Element's Surface in a Galvalume X-Ray Image; (d) 3 % - 10 % of The Zinc Element's Surface in a Galvalume X-Ray Image.

### 3.3. Examination by Using X-Ray Diffraction on Galvalume Cross-Section.

X-ray diffraction testing on hot dip Galvalume with Aluminium 55% and 45% Zinc coating specimens conducted at Metallurgy Laboratory Unjani. This test was conducted to determine the phase formed in the composition layer of



55% Aluminium and 45% zinc, so observations were made on the surface of the hot dip galvalume coating specimen. From Figure 13, it can be seen that. The following phases can be seen in all ternary phase diagrams of all elements used in the Aluminium 55% and 45% Zinc alloy. Table 1. above shows the presence of Al, Zn, Al-Fe, and Fe-Zn. The existence of Al-Fe compounds is intermetallic and Al rice dendritic, Zn rice dendritic is a coating alloy. The description of  $Al_3Fe$  and  $Al_{5.4}Fe_2$  shows that the intermetallic compounds formed in the galvalume coating cannot be predicted well in each process, but what is certain is the formation of Fe-Al compounds as the intermetallic area.

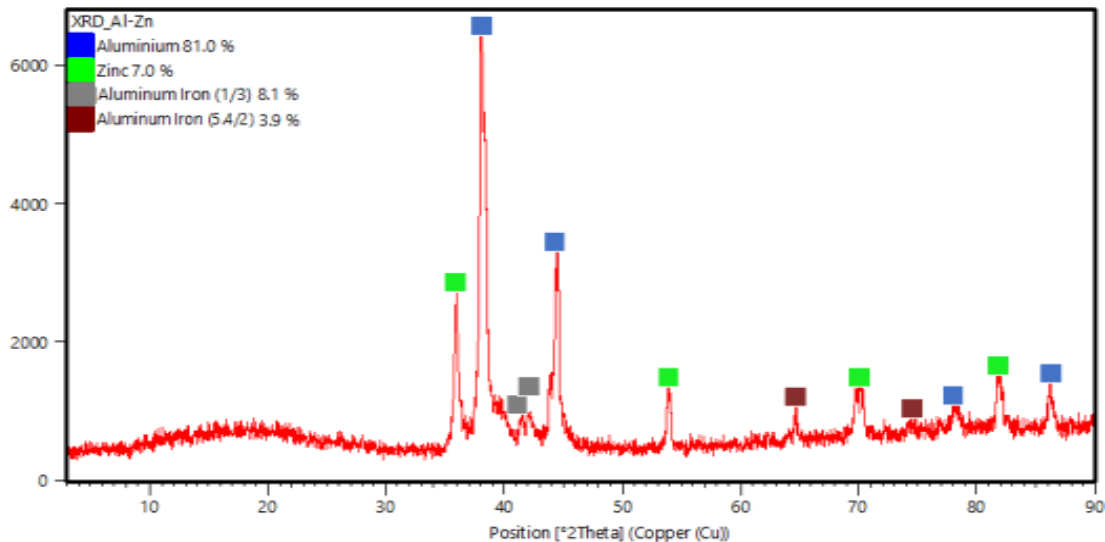


Figure 14. X-Ray Diffraction Results on The Cross-Section Galvalume Aluminium 55% and 45% Zinc

The results of processing with Highscore software, show the phases in the galvalume layer, namely Al-Fe compounds are intermetallic, namely Aluminium Iron ( $Al_3Fe$ ), Aluminium Iron ( $Al_{5.4}Fe_2$ ), and Al rice dendritic, Zn rice dendritic. Al rice dendritic and Zn rice dendritic validation is very strong, namely appearing in 4 peaks, followed by Aluminium Iron ( $Al_3Fe$ ) and Aluminium Iron ( $Al_{5.4}Fe_2$ ).

Table 1. Processing of X-Ray Diffraction Data Using Highscore Software.

No	Symbol (Color)	Position (2Theta)	Aluminium (Al)	Zinc (Zn)	Aluminium Iron ( $Al_3Fe$ )	Aluminium Iron ( $Al_{5.4}Fe_2$ )
1		35.961		√		
2		38.108	√			
3		42.796			√	
4		43.928			√	
5		44.480	√			
6		53.974		√		
7		64.00				√
8		64.60		√		
9		70.24				√
10		78.22	√			
11		81.834		√		
12		86.231	√			

### 3.4. Results of Micro Vickers Hardness Testing on Galvalume Cross-Section

From Figure 15 it can be seen that the longer the hot dip galvalume time, the harder the galvalume layer will be. This can be seen from the microstructure in Figure 7, Figure 8, and Figure 9, there is a grain shrinkage in the microstructure of hot dip time of 10 seconds, 20 seconds, and 30, this is because the fast hot dip time of 10 seconds does not allow the formation of many grain cores so that the grains become large, while the time of 20 and 30 seconds will cause nucleation so that the results of the microstructure. In addition, a matrix is formed with a rich aluminium dendritic and a rich zinc dendritic which forms intermetallic compound precipitates such as  $Al_3Fe$  and  $Al_{5.4}Fe_2$ . This precipitation functions as precipitation hardening with hot dip galvalume samples of 20 seconds and 30 seconds.

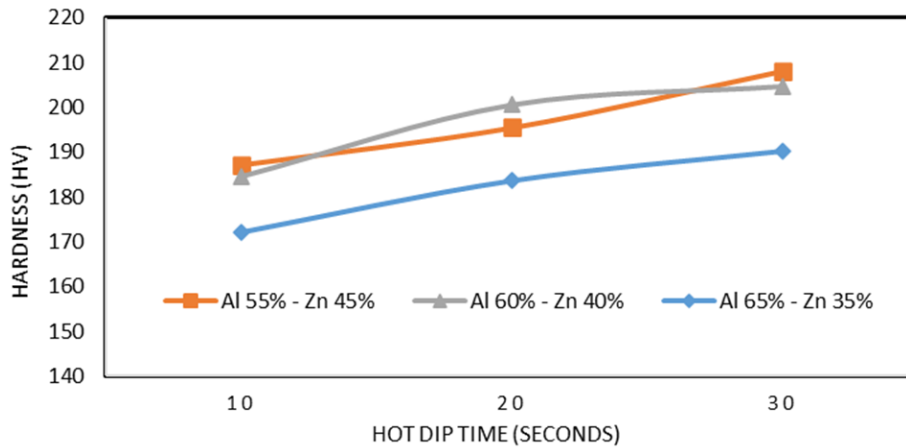


Figure 15. Effect of Hot Dip Galvalume Time on Hardness in the Galvalume Coating Area.

### 3.5. Test Results of Thickness Inspection on The Galvalume

From Figure 16 it can be seen that the longer the hot dip galvalume time is directly proportional to the influence of the layer thickness, namely the longer the thicker. This is because the liquid metal has a longer time to stick to its first coating sequentially. In this case, it is known that the longer hot dip galvalume time can make the Al-Zn base metal layer thicker so that it can be deposited well and perfectly on the steel surface which results in the expansion of the interdendritic area rich in Zn, and rich in Al and provides the ability of the Al Zn composition to grow so that the size of the Al, Zn dendrites grows increasingly larger, followed by the formation of intermetallic precipitar which makes the grains increasingly have to. The effect of variations in immersion time on the hot dip galvalume coating process has a significant impact on the thickness value of the resulting specimen. From the thickness test data, a graph of the average thickness of the hot dip galvalume coating results is obtained for each variation of the specimen composition and different immersion time variations, namely 10 seconds, 20 seconds, and 30 seconds at a temperature of 700 °C. It can be seen in Figure 16, where the average thickness data obtained is the lowest layer thickness with a holding time of 10 seconds of 342.0 μm and the highest thickness value with a holding time of 30 seconds of 1358.0 μm. The holding time of hot dip galvalume is directly proportional to the thickness of the layer which gets thicker over time.

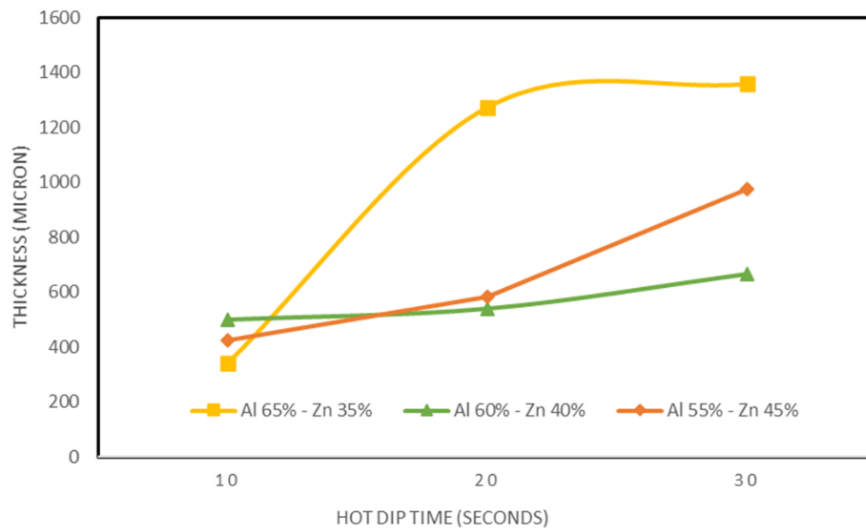


Figure 16. Effect of Hot Dip Galvalume Time on The Thickness of The Galvalume Layer

### 3.6. Results of Potentiodynamic Testing on The Galvalume

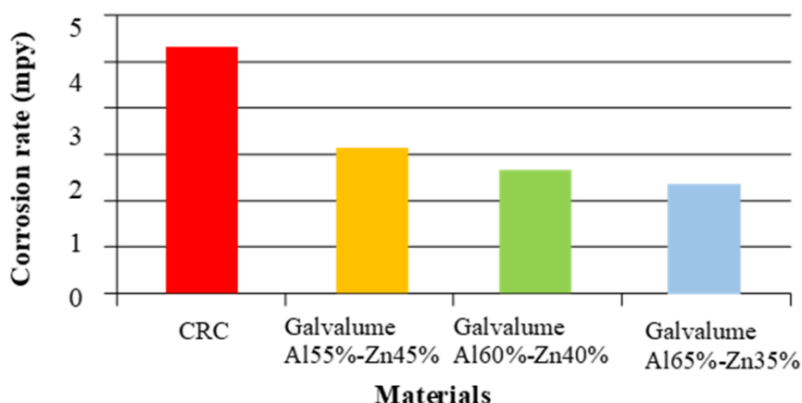


Figure 17. Effect of Corrosion Rate on Low Carbon Steel and Galvalume Coating Alloy Materials.

The test aims to determine the corrosion rate of the test object by comparing low carbon steel (CRC) before hot dip galvalume as the base metal and low carbon steel that has been hot dip galvalume with variations in the composition of Al55%-Zn45, Al60%-Zn40%, and Al65%-Zn35%, the test was carried out using the Corrtest Electrochemical Tool and processed with the Corrtest V5 software.

The potentiodynamic test result data is in the form of ICORR which is then converted into mills per year (mpy). The lower the mpy value, the lower the corrosion rate value, and can be analogized to better corrosion resistance. If the mpy value is higher, the corrosion rate value is higher and is analogized to the decreasing/worse corrosion resistance. The corrosion rate value of low carbon steel with a simulation of 1M NaCl electrolyte solution has the highest value of 4.69 mpy, which can be converted to 0.11 mm/year. The corrosion rate value of Al55%-Zn45% alloy steel has a corrosion rate value of 2.759 mpy or 0.070 mm/year. The corrosion rate value Al60%-Zn40% alloy steel has a corrosion rate value of 2.255 mpy or 0.057 mm/year. The corrosion rate value of Al65%-Zn35% alloy steel has the lowest corrosion rate value of 2.097 mpy or 0.053 mm/year. From these data, it can be seen that sequentially the corrosion rate values of low-carbon steel that has not been hot-dip galvalume and low-carbon steel that has been hot-dip galvalume show a tendency that the corrosion rate value has decreased quite significantly, although in comparison between various compositions of galvalume steel values, it is not too significant, the corrosion rate value continues to decrease according to the variation in the composition of %wt Al contained which is greater than %wt Zn. This is because the higher Al content in the coating composition can reduce the corrosion rate and improve corrosion resistance to be better. Aluminium will form aluminium oxide compounds on the surface of the coating.

### Conclusion

The results of visual and macro examinations on the surface of galvalume did not find spangles, this is due to the very fine grain size, cooling for 10 seconds, 20 seconds and 30 seconds is still fast when the layer is dried on the outside air again.

The microstructure of aluminium-rich phases, zinc-rich phases in the form of a matrix, and intermetallic compounds  $Al_3Fe$  and  $Al_{5,4}Fe_2$  in the form of precipitates that spread over the galvalume layer were discovered by metallographic investigations conducted using an optical microscope. The liquid metal did not have enough time to form a core with a galvalume hot dip time of 10 seconds, and a dendritic structure was formed. A hot dip time of 20 seconds produced multiple cores, and the grains were rather small. The grains became smoother at 30 minutes, when the hot dip time was smoother than at 20 seconds, and the coarsest grains were hot dip at 10 seconds.

The metallographic results of the galvalume cross-section under the scanning electron microscope show that the colored phase is rich in FCC aluminium and the white matrix is rich in HCP Zn. The results of the scanning electron microscope (SEM) X-ray mapping of the galvalume cross-section, there are 52% to 95% of the aluminium element surface in the steel X-ray image; there are 28% to 43% of the iron element surface in the galvalume X-ray image; and 3% to 10% of the zinc element surface in the galvalume X-ray image.

The coating's thickness is impacted by variations in the hot dip coating procedure. The coating will be thicker the longer the hot dip time, which is directly correlated with the immersion time. There was a range of thickness values from 342.0  $\mu\text{m}$  to 1358.0  $\mu\text{m}$ .

Variations in composition and hot dip time significantly affect the hardness of the coating. The longer the hot dip galvalume time, the higher the hardness value obtained, because the grains become finer, due to the formation of more nucleation at longer hot dip galvalume times. The effect of the composition variation is the composition of the Zn element in the Al-Zn alloy layer, where the characteristic of Zn is to increase the hardness value. The test object with the highest hardness value is 55% Aluminium and 45% zinc with a 30-second hot dip galvalume time of 208.20 HV.

For the test object with the lowest hardness value, namely with a composition of 65% Aluminium and 35% zinc with a 10-second hot dip galvalume time of 172.16 HV.

The variation of Al-Zn composition affects the corrosion rate results, sequentially the corrosion rate values of low carbon steel that has not been hot-dipped galvalume and low carbon steel that has been hot-dipped galvalume show a trend that the corrosion rate value has decreased significantly, although the comparison between the variations in the composition of galvalume steel is not too significant, the corrosion rate value continues to decrease according to the variation in the composition of %wt Al contained is greater than %wt Zn. This is because the higher Al content in the coating composition can suppress the corrosion rate and increase corrosion resistance to be better. Al forms a more rust-resistant Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compound. The corrosion rate value of low carbon steel with a simulation of 1 M NaCl electrolyte solution has the highest value of 4.69 mpy, which can then be converted to 0.11 mm/year. The corrosion rate value of galvalume, with a coating content of 55% Aluminum-45% Zinc has a corrosion rate value of 2.759 mpy or 0.070 mm/year. The corrosion rate value of galvalume with a chemical composition of 60% Aluminum-40% Zinc has a corrosion rate value of 2.255 mpy or 0.057 mm/year. The corrosion rate value of galvalume with a chemical composition of 65% Aluminum-35% Zinc coating has the lowest corrosion rate value of 2.097 mpy or 0.053 mm/year.

## References

- Bolsanello, M. F. ; Abreu García, A. ; Da, C., Lima, L. X. ; Neto, B. K. ; Ferreira, J. L. ; Rossi, J. L. ; Fernandes Bolsanello, M., Abreu García, A., Xavier, L., Lima, C., Neto, B. K., Ferreira, J. L., Rossi, J. L., Costa, I., Souto, R. M., & Izquierdo, J. (2024). Contributions to a More Realistic Characterization of Corrosion Processes on Cut Edges of Coated Metals Using Scanning Microelectrochemical Techniques, Illustrated by the Case of ZnAlMg-Galvanized Steel with Different Coating Densities. *Materials* 2024, Vol. 17, Page 1679, 17(7), 1679. <https://doi.org/10.3390/MA17071679>
- Ding, Z. L., Zhang, J., Jiang, S. M., & Zhang, Q. F. (2021). Effect of Magnesium on Corrosion Resistance of Galvalume Coating. *Journal of Physics: Conference Series*, 2101(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2101/1/012078>
- Li, J. P., Qiao, D. G., Li, J., Luo, X. Y., Peng, P., Yan, X. T., & Zhang, X. D. (2024). Effects of cooling rate on microstructure and microhardness of directionally solidified Galvalume alloy. *China Foundry*, 21(3), 213–220. <https://doi.org/10.1007/S41230-024-3093-Y/METRICS>
- Liu, G., Teng, H., Xu, C., Shang, T., Jiang, G., & Liu, Z. (2024). Influence of Si contents on the microstructure and corrosion resistance of the Zn-Al-Mg-Si alloys. *Metallurgical Research and Technology*, 121(2). <https://doi.org/10.1051/METAL/2024003>
- Liu, Q., Cao, Y., Chen, S., Xu, X., Yao, M., Fang, J., Lei, K., & Liu, G. (2024). Hot-Dip Galvanizing Process and the Influence of Metallic Elements on Composite Coatings. *Journal of Composites Science* 2024, Vol. 8, Page 160, 8(5), 160. <https://doi.org/10.3390/JCS8050160>
- Mora, E. C., & Ballester, V.-A. C. (2019). Review and long-term corrosion analysis of coatings based on ZincAluminium-Magnesium alloys, as an alternative to traditional zincbased coatings for cable trunking systems in electrical installations. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 2(1), 50–79. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.03.06>
- Nakamura, F., & Haruta, K. (2023). *Coated Steel Sheets and Related Technologies to Realize a Comfortable Life by Being Environmentally-friendly, and to Meet Social Needs Such as National Resilience and Countermeasures for Aging Infrastructure*.
- Saarimaa, V., Kaleva, A., Ismailov, A., Virtanen, M., Levänen, E., & Väisänen, P. (2024a). Corrosion mechanisms of Al-alloyed hot-dipped zinc coatings in wet supercritical carbon dioxide. *Materials and Corrosion*, 75(7), 891–901. <https://doi.org/10.1002/MACO.202314081>
- Saarimaa, V., Kaleva, A., Ismailov, A., Virtanen, M., Levänen, E., & Väisänen, P. (2024b). Corrosion mechanisms of Al-alloyed hot-dipped zinc coatings in wet supercritical carbon dioxide. *Materials and Corrosion*, 75(7), 891–901. <https://doi.org/10.1002/MACO.202314081>
- Yadav, M., Saha, J. K., & Ghosh, S. K. (2023). Evaluation of mechanical and tribological behavior of galvanized, galvalume and polyurethane-coated steel sheets. *Engineering Research Express*, 5(1), 015064. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ACC1C3>
- Yadav, M., Saha, J. K., & Ghosh, S. K. (2024). Evaluation of Corrosion Behaviour of Galvanised, Galvalume and Colour-Coated Steel Sheets. *Archives of Metallurgy and Materials*, 865–879. <https://doi.org/10.24425/AMM.2024.150907>
- บุรพท, น., & Bunphot, A. (2022). *STUDY ON ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANCE OF HOT-DIP GALVANIZED STRUCTURAL STEEL IN THAILAND*.

# Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Sebelum dan Setelah Pembangunan *Underpass* Dewi Sartika Kota Depok dengan Metode Simulasi Vissim

Antono Damayanto<sup>1</sup>, Agus Juhara<sup>2</sup>, Reynaldi Muhamad A.<sup>2</sup>, Akbar Abde Wiansyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

[antono@ymail.com](mailto:antono@ymail.com), [agus.juhara@yahoo.com](mailto:agus.juhara@yahoo.com), [reynaldimar@gmail.com](mailto:reynaldimar@gmail.com), [akbarabdewiansyah@gmail.com](mailto:akbarabdewiansyah@gmail.com)

## Abstrak

Bangkitan atau tarikan lalu lintas akibat pembangunan kegiatan meningkatkan dampak kemacetan di sekitarnya. Pembangunan *underpass* pada simpang tidak sebidang Jl. Dewi Sartika Depok panjang 975m diperlukan untuk mengurangi kepadatan yang terjadi. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kondisi simpang eksisting dibandingkan setelah pembangunan *underpass*. Metodologi analisis simpang menggunakan PKJI 2023 dan permodelan simulasi Vissim. Hasil evaluasi menunjukkan nilai derajat kejenuhan kondisi eksisting simpang Naming Bothin 0,840; simpang Kartini 0,910; dan simpang Siliwangi 0,390. Setelah pembangunan *underpass* terjadi penurunan volume kendaraan 35,02% pada 5 ruas jalan yaitu Dewi Sartika, Naming Bothin, Kartini, Margonda, dan Siliwangi. Tundaan kendaraan simpang Naming Bothin 81,07%; simpang Kartini 31,66%; dan simpang Siliwangi 6,42%.

Kata kunci: Persimpangan, PKJI 2023, Derajat kejenuhan, Vissim

## Abstract

Traffic generation or attraction due to construction activities increases the impact of congestion around it. The construction of an underpass at the intersection of Jl. Dewi Sartika Depok with a length of 975m is needed to reduce the density that occurs. The purpose of the study was to evaluate the condition of the existing intersection compared to after the construction of the underpass. The intersection analysis methodology used PKJI 2023 and Vissim simulation modeling. The evaluation results showed the value of the degree of saturation of the existing condition of the Naming Bothin intersection 0.840, Kartini intersection 0.910, and Siliwangi intersection 0.390. After the construction of the underpass, there was a decrease in vehicle volume of 35.02% on 5 road sections, namely Dewi Sartika, Naming Bothin, Kartini, Margonda, and Siliwangi. Vehicle delay at the Naming Bothin intersection 81.07%, Kartini intersection 31.66%, and Siliwangi intersection 6.42%.

Keywords: Intersection, PKJI 2023, Degree of saturation, Vissim

## 1. Pendahuluan

Permasalahan transportasi yang dihadapi Kota Depok adalah semakin tingginya kepadatan kendaraan sehingga beban lalu lintas di jalan semakin meningkat. Oleh karena itu diperlukan pembangunan prasarana untuk melayani peningkatan jumlah kendaraan tersebut. Solusi yang dilakukan adalah membuat *underpass*, dan agar penempatan *underpass* sesuai kebutuhan, maka dilakukan analisis dampak lalu lintas akibat pembangunan beberapa pusat kegiatan, yang diperkirakan meningkatkan dampak pada jalan yang berada di sekitar lokasi pembangunan *underpass*.

Pembangunan *underpass* Jl. Dewi Sartika Kota Depok berpengaruh pada lalu lintas di sekitarnya. Pengelolaan lalu lintas di area sekitar pembangunan *underpass* perlu dilakukan dengan baik, agar lalu lintas eksisting dan lalu lintas bangkitan dapat dilayani. Penanganan lalu lintas atau manajemen lalu lintas diperlukan agar prasarana tetap dapat berfungsi dengan baik dan konsep analisis "menginternalkan eksternalitas" dapat di terima.

Akibat hal tersebut di atas, maka akan muncul berbagai hal akibat beroperasinya bangunan tersebut, diantaranya adalah lalu lintas yang dibangkitkan oleh bangunan *underpass* yang mengakibatkan tingkat pelayanan ruas jalan, persimpangan, parkir serta fasilitas pejalan kaki di sekeliling lokasi pembangunan tersebut akan mengalami perubahan atau tingkat pelayanan diperkirakan mengalami perubahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja simpang kondisi eksisting daerah pembangunan *underpass* Dewi Sartika Kota Depok. Permasalahan yang dikaji mencakup evaluasi kinerja ruas jalan sebelum dan setelah pembangunan *underpass* serta penilaian kinerja simpang eksisting. Untuk mencapai tujuan ini penelitian dilakukan dengan memanfaatkan pemodelan mikrosimulasi menggunakan *software* Vissim.

### Info Makalah:

Dikirim : 11-22-23;

Revisi 1 : 11-16-24;

Diterima : 01-21-25.

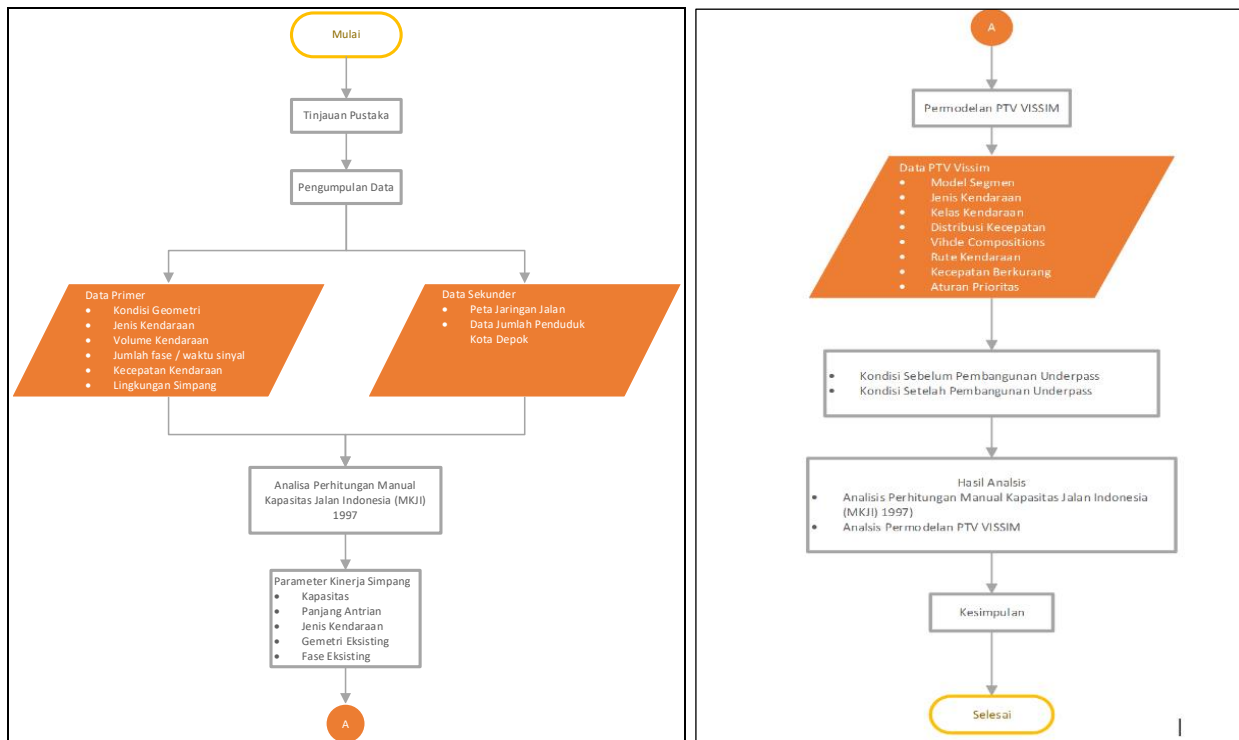
### Penulis Korespondensi:

Telp : +62 811-228-028

e-mail : [antono@ymail.com](mailto:antono@ymail.com)

## 2. Metode

Penyusunan metodologi yang sistematis dan terstruktur diperlukan untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan penelitian ini. Berikut alur penelitian yang dirancang:



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Ardiaz (2017), dalam penelitiannya menyatakan bahwa pembangunan suatu infrastruktur, akan memberikan dampak signifikan terhadap kondisi lalu lintas di sekitarnya yang berpotensi menyebabkan kemacetan, terutama di jam – jam sibuk. Demikian pula dengan pendapat Apriliyanto (2018), menyebutkan bahwa diperlukan rekayasa lalu lintas pada suatu simpang bila terjadi perubahan volume kendaraan pada area yang memiliki hambatan simpang yang tinggi.

Rusgiyanto (2019) menyatakan bahwa metode simulasi dapat mengidentifikasi permasalahan di persimpangan yang menyebabkan kemacetan. Hal ini dapat menggunakan Vissim. Demikian juga pendapat dari beberapa penulis jurnal lain seperti Sari (2017), Tama (2016), Zega (2013), bahwa derajat kejenuhan perlu dianalisis pada suatu simpang dan metode simulasi perlu dilakukan untuk mendapatkan solusi terbaik.

Pada evaluasi suatu persimpangan, pendekatan dengan menggunakan PKJI 2023 (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) dan VISSIM adalah dua metode yang sering digunakan untuk analisis lalu lintas karena memiliki fungsi khusus yang dapat saling melengkapi dalam proses evaluasi.

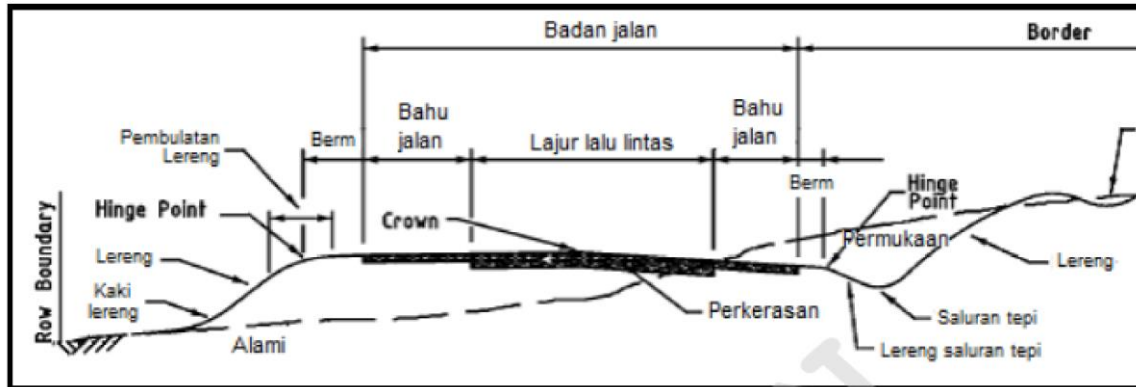
PKJI 2023 adalah panduan standar di Indonesia yang digunakan untuk menentukan besar kapasitas dan kinerja jalan serta persimpangan berdasarkan data lalu lintas lokal dan pada PKJI 2023 tersedia parameter terkait kondisi di Indonesia, seperti volume kendaraan, kapasitas persimpangan dan lainnya. Sedangkan VISSIM adalah perangkat lunak simulasi mikroskopik lalu lintas yang memungkinkan pemodelan detail dari arus kendaraan dan interaksi antar kendaraan di berbagai kondisi lalu lintas sehingga dapat dibuat visualisasi dan analisis simulasi yang lebih mendalam.

Dampak lalu lintas menurut Permenhub RI Nomor PM17/2021 adalah serangkaian kajian dampak lalu lintas dari berbagai pembangunan permukiman, dan lainnya.

Penyelenggaraan bidang lalu lintas dan angkutan jalan menurut PP No.30/2021 terkait dengan beberapa bidang yaitu lalu lintas dan angkutan jalan. Pada saat ini, semua rencana pembangunan permukiman, dan lainnya yang dianggap dapat menimbulkan gangguan keamanan, keselamatan, ketertiban, dan lainnya.

Jalan menurut UU No.38/2004 adalah prasarana transportasi darat terkait dengan lalu lintas yang berada pada dan di atas permukaan tanah, di bawah tanah dan air, serta di atas permukaan air, terkecuali jalan KA, jalan lori, dan jalan kabel.

Prasarana jalan terdiri dari badan jalan, bahu jalan, trotoar, dan seluruh perlengkapan jalan yang merupakan potongan melintang tegak lurus sumbu jalan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Potongan Melintang Jalan  
Sumber: PDGJ 2021

Pada PKJI 2023, simpang dibagi dalam simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal. Simpang tidak bersinyal apabila pada persimpangan tidak memiliki lampu lalu lintas (*Traffic Light*) sehingga dianggap kurang cocok untuk lalu lintas yang tinggi. Untuk analisis simpang bersinyal dengan lalu lintas tinggi di dasarkan pada kriteria berikut:

### 2.1. Kapasitas

Kapasitas total jalan adalah jumlah maksimum lalu lintas yang dapat dilayani oleh suatu jalan atau ruas jalan dalam kondisi tertentu, seperti kecepatan, dan volume kendaraan yang berjalan di jalan tersebut. Kapasitas dasar ( $C_0$ ) yaitu kapasitas pada kondisi tertentu (ideal) dan faktor – faktor penyesuaian (F).

Rumus kapasitas:

$$C = C_0 \times F_W \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI} \quad (1)$$

Variabel masukan pada perhitungan kapasitas (smp/jam) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Uraian Variabel Kapasitas

Tipe Variabel	Uraian Variabel dan Nama	Masukkan	Faktor Model
Geometri	Tipe simpang	IT	
	Lebar rata – rata pendekatan	$W_I$	$F_W$
	Tipe median jalan utama	M	$F_M$
Lingkungan	Kelas ukuran kota	CS	$F_{CS}$
	Tipe lingkungan jalan	RE	
	Hambatan samping	SF	
	Rasio kendaraan tak bermotor	$P_{UM}$	$F_{RSU}$
Lalu Lintas	Rasio belok – kiri	$P_{LT}$	$F_{LT}$
	Rasio belok – kanan	$P_{RT}$	$F_{RT}$
	Rasio arus jalan minor	$Q_{MI}/Q_{TOT}$	$F_{MI}$

### 2.2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan ( $D_j$ ), dihitung dengan rumus:

$$D_j = \frac{q}{C} \quad (2)$$

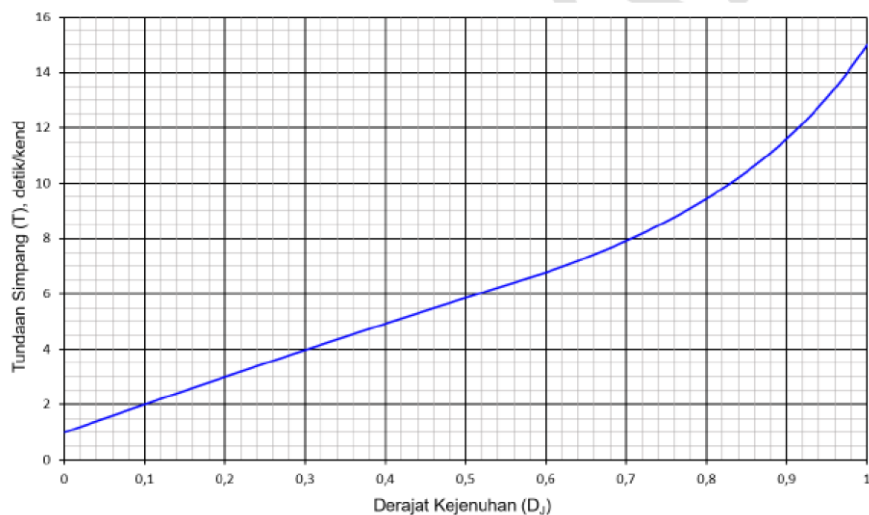
### 2.3. Tundaan

Jenis Tundaan adalah:

#### 1. Tundaan Lalu – Lintas Simpang ( $T_{LL}$ )

Tundaan lalu – lintas simpang merupakan rata-rata tundaan lalu lintas kendaraan bermotor pada simpang.  $T_{LL}$  ditetapkan dari kurva empiris  $T_{LL}$  dan  $D_j$  pada gambar 3 berikut.

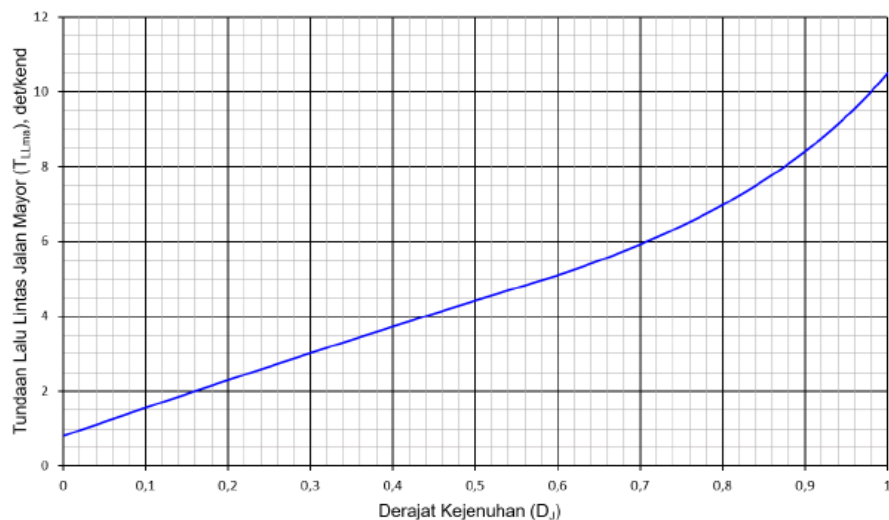




Gambar 3. Tundaan Simpang VS Derajat Kejenuhan  
Sumber: PKJI 2023

## 2. Tundaan Lalu – Lintas Jalan Mayor / Utama ( $T_{LLma}$ )

Tundaan lalu – lintas jalan mayor/utama merupakan rata – rata tundaan lalu lintas kendaraan bermotor pada persimpangan dari jalan-utama.  $T_{LLma}$  ditetapkan dari kurva empiris antara  $T_{LLma}$  dan  $D_j$ , pada gambar 4.



Gambar 4. Tundaan Lalu – Lintas Jalan Utama VS Derajat Kejenuhan  
Sumber: PKJI 2023

## 2.4. Pemodelan Vissim

Pemodelan VISSIM adalah metode simulasi lalu lintas yang digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis aliran kendaraan di suatu jaringan jalan. VISSIM (*Versatile Integrated Simulation System for Traffic*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi lalu lintas di dunia nyata dan menganalisis berbagai skenario lalu lintas, termasuk kepadatan, waktu tempuh, dan dampak dari perubahan infrastruktur atau kebijakan lalu lintas.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Lokasi Penelitian

Pemodelan VISSIM adalah metode simulasi lalu lintas yang digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis aliran kendaraan di suatu jaringan jalan. VISSIM (*Versatile Integrated Simulation System for Traffic*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi lalu lintas di dunia nyata dan menganalisis berbagai skenario lalu lintas, termasuk kepadatan, waktu tempuh, dan dampak dari perubahan infrastruktur atau kebijakan lalu lintas.



Gambar 5. Denah Lokasi Penelitian

### 3.2. Data Layout Simpang

Berikut data *layout* dari simpang yang di analisis.



Gambar 6. Layout Simpang

### 3.3. Data Volume Lalu Lintas

Data volume lalu – lintas pada kondisi eksisting sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Kendaraan pada Simpang Naming Bothin (Sebelum Pembangunan)

Waktu	(1) Utara			(2) Timur			(3) Barat			Total
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	
07:00 – 08:00	2527	0	0	0	0	0	5860	4839	0	13226
08:00 – 09:00	2144	0	0	0	0	0	1584	4430	0	8158
11:00 – 12:00	1820	0	0	0	0	0	1707	3878	0	7405
12:00 – 13:00	1852	0	0	0	0	0	1587	3471	0	6910
16:00 – 17:00	2190	0	0	0	0	0	1570	4424	0	8184
17:00 – 18:00	2151	0	0	0	0	0	1539	4428	0	8118

Sumber: Survei Lapangan

Tabel 3. Rekapitulasi Kendaraan pada Simpang Kartini (Sebelum Pembangunan)

Waktu	(1) Utara			(2) Selatan			(3) Barat			Total
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	
07:00 – 08:00	0	1393	0	0	2701	0	3113	0	0	7207
08:00 – 09:00	0	1280	0	0	2689	0	3101	0	0	7070
11:00 – 12:00	0	1363	0	0	2499	0	2915	0	0	6777
12:00 – 13:00	0	1400	0	0	2388	0	2884	0	0	6672
16:00 – 17:00	0	1231	0	0	2677	0	3082	0	0	6990
17:00 – 18:00	0	1202	0	0	2665	0	3333	0	0	7200

Sumber: Survei Lapangan

Tabel 4. Rekapitulasi Kendaraan pada Simpang Siliwangi (Sebelum Pembangunan)

Waktu	(1) Utara			(2) Barat			(3) Selatan			Total
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	
07:00 – 08:00	1181	1906	0	77	0	2120	0	6423	0	11707
08:00 – 09:00	1062	1878	0	69	0	2108	0	6351	0	11468
11:00 – 12:00	1069	1933	0	76	0	2476	0	5715	0	11269
12:00 – 13:00	1185	1986	0	61	0	2179	0	6109	0	11520
16:00 – 17:00	965	1845	0	56	0	2096	0	6375	0	11337
17:00 – 18:00	983	1868	0	55	0	2091	0	6363	0	11360

Sumber: Survei Lapangan

### 3.4. Data Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan kondisi eksisting sebagai berikut:

Tabel 5. Kecepatan Kendaraan Eksisting (Sebelum Pembangunan)

No	Jenis Kendaraan	Kecepatan Minimum	Kecepatan Maksimum	Kecepatan Rata – Rata
		(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)
1	LV	22	35	29
2	HV	20	28	25
3	MC	31	45	38

Sumber: Survei Lapangan

### 3.5. Data Panjang Antrean

Data panjang antrean terdiri dari panjangnya kendaraan yang mengantre akibat *fase* lampu merah pada setiap lengan simpangnya. Panjang antrean rata-rata kondisi eksisting yang diambil dari jam padat tertinggi yaitu 32 m.

Tabel 6. Panjang Antrean Simpang Siliwangi (Sebelum Pembangunan)

No	Lengan Simpang	Panjang Antrean
		(m)
1	Utara	32
2	Barat	20
3	Selatan	-

Sumber: Survei Lapangan

Rekapitulasi kondisi eksisting simpang yang ditinjau sebagai berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Kondisi Simpang Sebelum Pembangunan

	Simpang		
	Naming Bothin	Kartini	Siliwangi
Kapasitas (smp/jam)	7717	5409	1602
Derajat Kejenuhan ( $D_j$ )	0,842	0,938	0,388
Jumlah Kendaraan Berhenti	-	-	10
Tundaan Rata – Rata (det/smp)	14,04	16,59	19,54

Sumber: Analisis

### 3.6. Pemodelan Vissim

Hasil pemodelan Vissim seperti gambar berikut:



Gambar 7. Hasil pemodelan Vissim

### 3.7. Validasi

Validasi simulasi Vissim dilakukan dengan pendekatan nilai Geoffrey E. Havers (GEH) dengan menggunakan rumus berikut:

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{\text{simulated}} - q_{\text{observed}})^2}{0,5 \times (q_{\text{simulated}} + q_{\text{observed}})}} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan uji metode GEH, simulasi dikatakan memenuhi syarat (sudah valid) nilai yang didapatkan adalah  $<5$ .

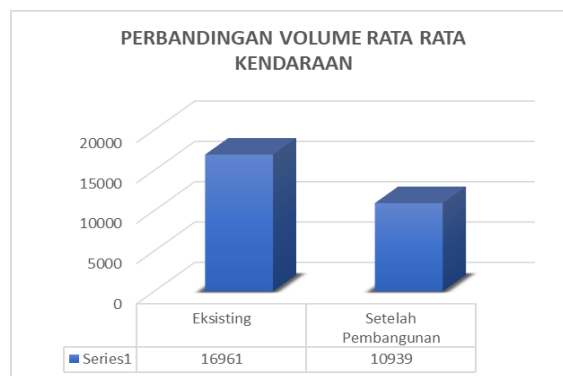
Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai GEH sebelum pembangunan *underpass* adalah  $3,41 \leq 5,00$  (valid) dan nilai GEH setelah pembangunan *underpass* adalah  $3,84 \leq 5,00$  (valid). Jadi secara keseluruhan simulasi yang dilakukan sudah tervalidasi (valid).

### 3.8. Kinerja Simpang

Pada penelitian ini, dengan menggunakan simulasi Vissim, maka kinerja yang digunakan adalah pendekatan volume kendaraan, tundaan dan kecepatan sebelum adanya pembangunan *underpass* dan setelah pembangunan *underpass*. Derajat kejenuhan digunakan pada saat awal untuk memastikan ada atau tidak permasalahan pada simpang yang ditinjau.

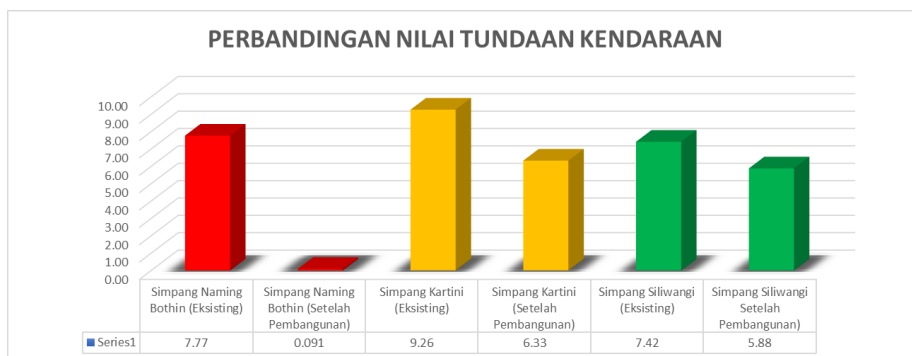
### 3.9. Hasil

Berdasarkan hasil pemodelan sebelum dan setelah dibangun *underpass* didapat:



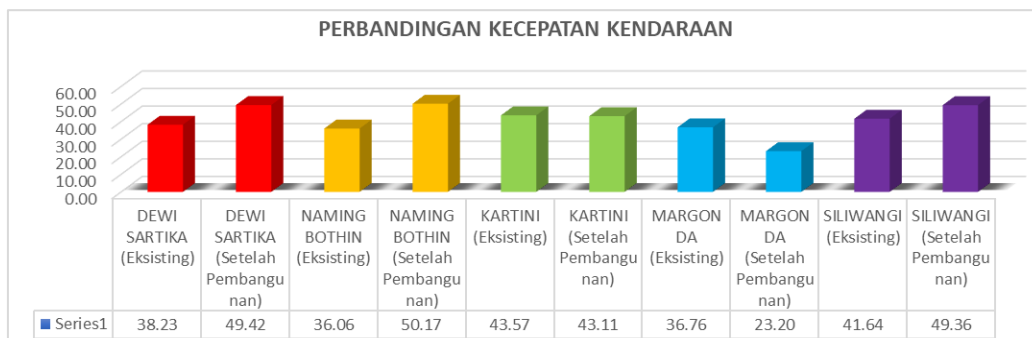
Gambar 8. Perbandingan Volume  
Sumber: Analisis

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 8, volume kendaraan rata – rata eksisting dan setelah pembangunan *underpass*, mengalami penurunan sebesar 35,50% untuk 5 ruas jalan. Hal ini menunjukkan penurunan tingkat kepadatan.



Gambar 9. Perbandingan Nilai Tundaan  
Sumber: Analisis

Pada kondisi setelah pembangunan *underpass* yang ditunjukkan pada gambar 9, menghasilkan penurunan tundaan kendaraan pada 3 simpang yaitu: simpang Naming Bothin sebesar 98,83%; simpang Kartini sebesar 31,66%; dan simpang Siliwangi sebesar 20,71%.



Gambar 10. Perbandingan Kecepatan Kendaraan  
Sumber: Analisis

Gambar 10 menunjukkan kondisi setelah pembangunan *underpass* menghasilkan perubahan pada kecepatan kendaraan pada 5 ruas jalan yaitu 1) Dewi Sartika mengalami peningkatan sebesar 22,65%; 2) Naming Bothin mengalami peningkatan sebesar 28,12%; 3) Kartini mengalami penurunan sebesar 1,05%; 4) Margonda mengalami penurunan 36,90%; 5) Siliwangi mengalami penurunan 37,59%.

### Kesimpulan

Pada kondisi *eksisting* Simpang tak Bersinyal Naming Bothin memiliki Nilai Volume kendaraan saat jam puncak sebesar 13226 kend/jam dengan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,840. Simpang tak Bersinyal Kartini memiliki Nilai Volume kendaraan saat jam padat sebesar 7207 kend/jam dengan nilai derajat kejenuhan 0,910. Simpang Bersinyal Siliwangi memiliki Nilai Volume kendaraan saat jam padat sebesar 11707 kend/jam dengan derajat kejenuhan 0,390 dan panjang antrean rata-rata untuk utara 32 meter, barat 20 meter, dan selatan tidak ada antrean.

Pada kondisi setelah pembangunan *underpass* menghasilkan penurunan pada volume rata – rata kendaraan sebesar 35,50%. Pada 5 ruas jalan yaitu: Dewi Sartika, Naming Bothin, Kartini, Margonda, dan Siliwangi.

Pada kondisi setelah pembangunan *underpass* menghasilkan penurunan pada Tundaan Kendaraan pada 3 Simpang yaitu: Simpang Naming Bothin sebesar 98,83%; Simpang Kartini sebesar 31,66%; dan Simpang Siliwangi sebesar 20,71%.

Pada kondisi setelah pembangunan *underpass* menghasilkan perubahan pada kecepatan kendaraan pada 5 ruas jalan yaitu: Dewi Sartika mengalami peningkatan sebesar 22,65%; Naming Bothin mengalami peningkatan sebesar 28,12%; Kartini mengalami penurunan sebesar 1,05%; Margonda mengalami penurunan 36,90%; Siliwangi mengalami penurunan 37,59%.

Dari hasil analisis setelah pembangunan *underpass*, volume rata – rata kendaraan menjadi lebih rendah, tundaan pada 3 simpang menjadi lebih rendah dan perubahan kecepatan kendaraan pada masing-masing ruas jalan.

### Daftar Notasi

$D_j$  = derajat kejenuhan

$q$  = semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang dengan satuan SMP/jam.

$C$  = kapasitas simpang dalam SMP/jam

### Daftar Pustaka

- Apriliyanto, R., dan Sudinyo, T. (2018) : Analisis Kemacetan dan Perkiraan Tingkat Pelayanan Jalan Pada Masa Mendatang (Studi Kasus Jalan Raya Sawangan Depok). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3(2), 105 – 116.
- Ardiaz, Y.S. (2017) : Analisis Dampak Lalu Lintas Akibat Pembangunan Apartemen Bale Hinggil. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(102), 23 – 34.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023) Pedoman no. 21/SE/Db/2023 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. Indonesia: Republik Indonesia Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). Pedoman No. 20/SE/Db/2021 Tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan. Jakarta. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2021) PM 17 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Analisis Dampak Lalu Lintas. Jakarta: Menteri Perhubungan Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah. (2021) PP 30 Tahun 2021 Tentang Peraturan Pemerintah (PP) tentang Penyelenggaraan Bidang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.
- Rusgisyanto, F., Desijayanti, G., & Islami, W.S. (2019) : Evaluasi Simpang Dikota Cimahi Dengan Metode Simulasi. *Jurnal Transportasi*, 19(3), 171 – 178.
- Sari, Risna. R. (2017): Pengaruh Pemberlakuan Rekayasa Lalu Lintas Terhadap Derajat Kejenuhan Pada Simpang Jalan Pajajaran dan Jalan Pasirkaliki. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 19(2), 104-111.
- Tama, Ishardita, P., Sari, Ratih A., dan Umar, Faishol. (2016) : Analisis Durasi Lampu Lalu Lintas Menggunakan Metode Simulasi. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 4(2), 130 – 140.
- Undang-Undang. (2004). UU no. 38 tahun 2004 Tentang jalan: Jakarta: Presiden Republik Indonesia
- Wijanarko, Iwan., dan Ridho, M. A. (2019) : Faktor -Faktor Pendorong Penyebab Terjadinya Kemacetan Studi Kasus : Kawasan Sukun Banyumanik Kota Semarang. *Jurnal Planologi*, 14(1), 63-74.
- Zega, M. (2013) : Analisis Koordinasi Sinyal Antar Simpang (Studi kasus: Jl. Jamin Ginting-Jl. Pattimura-Jl.Mongonsidi). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 2(1), 90 – 123.