

Volume 01, Issue 01, Desember 2023

- Evaluasi Ketebalan Perkerasan Lentur dengan Metode Desain Manual 2017 pada Proyek Peningkatan Jalan Provinsi Simpang Durian Mulo – Namo Ukur, Langkat** 1-8
DOI : <https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50648>
Daniel Gultom, Yudha Hanova
- Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase pada Jl. Asrama Sei Kambing C-II Kota Medan** 9-18
DOI : <https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50235>
Elly Ria Silaban, Ahmad Bima Nusa
- Kajian Mutu Beton dengan Perbandingan Mix Design pada Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan** 19-28
DOI : <https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50319>
Rizky Pratama Budiman, Yudha Hanova
- Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal serta Penataannya pada Simpang Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi menggunakan Program PTV Vissim** 29-40
DOI : <https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.51368>
Jasman Sembiring, Hamidun Batubara, Dody Taufik Sibuea, Ernesto Maringan Ramot Silitonga
- Skema Pengerukan Sedimentasi dalam Perencanaan Pelabuhan Pangkalan Susu** 41-52
DOI : <https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.53988>
Tri Rahayu, Radian Radian, Muhammad Qarinur

SMART

**JURNAL TEKNIK SIPIL
MANAJEMEN KONSTRUKSI
DAN ARSITEKTUR**

Volume 01, Issue 01, Desember 2023

Editor in Chief

Dr. Ernesto Maringan Ramot Silitonga, S.T., DEA.

Civil Engineering Study Program, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Psr.V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

Section Editors

Syahreza Alvan, S.T., M.Si.

Construction Management Study Program, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Psr.V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

Irma Novrianty Nasution., S.T., M.Ds.

Construction Management Study Program, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Psr.V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

Muhammad Qarinur, M.Eng.

Civil Engineering Study Program, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Psr.V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

Baiq Heny Sulistiawati, S.T., M.Eng.

Road and Bridge Design Engineering Study Program, Politeknik Negeri Semarang,
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

Aiun Hayatu Rabinah, S.T., M.Eng.

Building Maintenance and Repair Engineering Study Program, Politeknik Negeri Semarang,
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

Reviewers

Prof. Dr. Ing. Ir. Johannes Tarigan

Civil Engineering Study Program, Universitas Sumatera Utara,
Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Dr. Ir. Rahmi Karolina, S.T., M.T., IPM

Civil Engineering Study Program, Universitas Sumatera Utara,
Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Irwan Suranta Sembiring, ST., MT.

Civil Engineering Study Program, Universitas Sumatera Utara,
Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Henny Lydiasari, S.T., M.Sc.

Researcher, Indonesian Oil Palm Research Institute,
Jl. Brigjend Katamso No.51, Kp. Baru, Kec. Medan Maimun, Kota Medan, Sumatera Utara 20158

Prof. Dr. Manlian Ronald A. Simanjuntak, S.T., M.T.

Civil Engineering Study Program, Universitas Pelita Harapan,
Jl. M. H. Thamrin Boulevard 1100 Lippo Village Tangerang 15811

Dr.-Ing. Jack Widjajakusuma

Civil Engineering Study Program, Universitas Pelita Harapan,
Jl. M. H. Thamrin Boulevard 1100 Lippo Village Tangerang 15811

Volume 01, Issue 01, Desember 2023

List of Contents

- | | |
|--|--------------|
| <p>Evaluasi Ketebalan Perkerasan Lentur dengan Metode Desain Manual 2017 pada Proyek Peningkatan Jalan Provinsi Simpang Durian Mulo – Namo Ukur, Langkat DOI : https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50648 Daniel Gultom, Yudha Hanova</p> | 1-8 |
| <p>Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase pada Jl. Asrama Sei Kambing C-II Kota Medan DOI : https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50235 Elly Ria Silaban, Ahmad Bima Nusa</p> | 9-18 |
| <p>Kajian Mutu Beton dengan Perbandingan Mix Design pada Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan DOI : https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.50319 Rizky Pratama Budiman, Yudha Hanova</p> | 19-28 |
| <p>Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal serta Penataannya pada Simpang Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Resmi menggunakan Program PTV Vissim DOI : https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.51368 Jasman Sembiring, Hamidun Batubara, Dody Taufik Sibuea, Ernesto Maringan Ramot Silitonga</p> | 29-40 |
| <p>Skema Pengerukan Sedimentasi dalam Perencanaan Pelabuhan Pangkalan Susu DOI : https://doi.org/10.24114/smart.v1i1.53988 Tri Rahayu, Radian Radian, Muhammad Qarinur</p> | 41-52 |

Evaluasi Ketebalan Perkerasan Lentur dengan Metode Desain Manual 2017 pada Proyek Peningkatan Jalan Provinsi Simpang Durian Mulo – Namu Ukur, Langkat

Daniel Gultom^{1,*}, Yudha Hanova¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia 20216

*penulis koresponden: danielgultom1507@gmail.com

Diterima: 15 September 2023; Disetujui: 17 November 2023

Abstrak

Ruas jalan Simpang Durian Mulo–Namu Ukur Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara adalah salah satu ruas jalan lintas provinsi dengan status jalan kolektor primer kelas III. Ruas jalan ini banyak dilalui oleh kendaraan berat yang melebihi kapasitas maksimum rencana, hal tersebut mengakibatkan kerusakan berat pada ruas jalan. Peningkatan kendaraan bermuatan berat yang melintas di ruas jalan Simpang Durian Mulo–Namu Ukur Kabupaten Langkat dalam beberapa dekade terakhir telah menimbulkan kerusakan struktur pada ruas jalan tersebut. Desain infrastruktur jalan dianalisis memakai metode Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2017. Langkah pertama adalah mengumpulkan data lalu lintas, termasuk volume lalu lintas harian rata-rata. Langkah kedua adalah pengumpulan data geoteknik, seperti data *California Bearing Ratio* (CBR), dan data *Sandcone test*. Kemudian langkah terakhir adalah perencanaan detail konstruksi perkerasan jalan termasuk spesifikasi material, dan ketebalan lapisan. Hasil analisa diperoleh bahwa konstruksi desain yang dibangun terdiri dari empat lapis perkerasan yaitu, lapisan permukaan (AC-WC, AC-BC) setebal 10 cm, lapisan fondasi kelas A setebal 40 cm, dan urugan pilihan setebal 10 cm, dengan total ketebalan sebesar 60 cm. Pelaksanaan di lapangan didapat ketebalan 56,5 cm sehingga diperoleh perbedaan ketebalan sebesar 3,5 cm. Perbedaan ketebalan terjadi akibat cuaca yang kurang bagus pada saat pekerjaan pemadatan, sehingga terjadi penurunan ketebalan pada lapisan.

Kata Kunci: Geoteknik, Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR), Jalan Kelas III B

Abstract

The Simpang Durian Mulo–Namu Ukur road section, Langkat Regency, North Sumatra Province is one of the cross-provincial road sections which has class III primary collector road status. This section of road is heavily trafficked by heavy vehicles that exceed the maximum planned capacity, this results in serious damage to this section of road. The increase in heavily laden vehicles plying the Simpang Durian Mulo–Namu Ukur road in Langkat Regency in the last few decades has caused structural damage to this section of road. Road infrastructure design was analyzed using the 2017 Road Pavement Design Manual method. The first step was to collect traffic data, including average daily traffic volume. The second step is collecting geotechnical data such as CBR (California Bearing Ratio) data and Sandcone Test data. Then the final step is detailed planning of road pavement construction including material specifications and layer thickness. The analysis results show that the construction design consists of four layers of pavement, namely, a surface layer (AC-WC, AC-BC) 10 cm thick, a class A foundation layer 40 cm thick, and selected embankments 10 cm thick, with a total thickness of 60 cm. Implementation in the field obtained a thickness of 56.5 cm so that a thickness difference of 3.5 cm was obtained. This difference in thickness occurred due to bad weather during compaction work, resulting in a reduced layer thickness.

Keywords: Geotechnical, Average Daily Traffic (ADT), Road Class III B

1. Pendahuluan

Jalan merupakan fasilitas transportasi yang paling sering digunakan oleh sebagian besar masyarakat, sehingga

mempengaruhi aktifitas kegiatan sehari-hari masyarakat secara umum. Jalan sebagai prasarana transportasi darat harus mampu memberikan pelayanan semaksimal mungkin kepada masyarakat

sehingga masyarakat dapat menggunakannya untuk melakukan aktivitas kegiatan sehari-hari. Ruas jalan Simpang Durian Mulo – Namo Ukur adalah termasuk jalan lintas provinsi yang terletak di Kabupaten Langkat. Ruas jalan ini merupakan penghubung antar kota dan daerah yang membantu kegiatan mobilitas penduduk setiap harinya, sehingga dibutuhkan infrastruktur yang memadai agar membantu memajukan daerah tersebut. Ruas jalan ini sudah mengalami kerusakan, sehingga dilakukan *overlay* terhadap ruas jalan ini sepanjang 1,1 km dengan lebar 4,5 m.

Kerusakan jalan yang terjadi di berbagai daerah saat ini merupakan permasalahan yang begitu kompleks bagi para pengguna jalan seperti waktu tempuh yang lama, terjadinya kemacetan lalu lintas, dan kecelakaan lalu lintas sehingga mengalami kerugian waktu maupun tenaga (Akbar & Wesli, 2016; Hangge dkk., 2022; Rifqi & Fitriani, 2020). Peningkatan arus kendaraan yang lewat ruas jalan mampu memberi pengaruh terhadap daya dukung tanah sebagai lapisan dasar jalan. Daya dukung tanah sangat berperan penting dalam menjaga ketahanan dan kekuatan suatu konstruksi jalan (Akbar & Wesli, 2016). Keawetan dan kekuatan suatu konstruksi jalan bisa dipengaruhi oleh daya tahan tanah dalam menahan beban (Amran & Surandono, 2017). Adanya perencanaan yang matang sebelum melakukan proses pembangunan konstruksi jalan sangatlah penting supaya konstruksi jalan mampu bertahan sesuai waktu yang telah direncanakan sebelumnya (Mulyo dkk., 2023).

Apabila sebelum pembangunan jalan sudah direncanakan dengan matang maka konstruksi jalan dapat berfungsi dengan baik serta dapat menahan beban arus kendaraan yang lewat dan mendistribusikan beban tersebut ke lapisan bawah tanah dengan tidak memicu kerusakan pada konstruksi jalan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Manual Desain Perkerasan jalan (MDP 2017) (PUPR, 2017). Metode MDP 2017 juga mengacu pada metode AASHTO 1993 (AASHTO, 1993). Namun,

karena MDP 2017 merupakan manual yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, parameter pada MDP 2017 ini lebih sesuai dengan kondisi di Indonesia dan sudah diklasifikasikan berdasarkan kondisi masing-masing provinsi di Indonesia (Bakri, 2020; Ottu dkk., 2023). Oleh karena itu, penggunaan MDP 2017 untuk perancangan perkerasan lebih sesuai dengan kondisi lalu lintas dan iklim di Indonesia. Pada studi ini, faktor beban berlebih dengan dominasi jenis kendaraan kontainer peti kemas akan menjadi fokus beban lalu lintas pada analisis efisiensi tebal perkerasan kaku dengan metode MDP 2017.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini lokasi penelitian terletak pada jalan simpang durian mulo – namo ukur kabupaten langkat (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.2. Langkah-langkah Penentuan Tebal Perkerasan Lentur

Langkah-langkah dari desain tebal perkerasan lentur menggunakan MDP 2017 adalah sebagai berikut (PUPR, 2017):

- Menentukan umur rencana.
- Menentukan nilai-nilai sesuai umur rencana yang dipilih.

- c. Menentukan tipe perkerasan lentur.
- d. Menentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam.
- e. Menentukan struktur desain fondasi perkerasan yang dipakai.
- f. Menentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat.

2.3. Analisis Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas didefinisikan sebagai sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan waktu (hari, jam, atau menit). Lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satuan hari. Dari lama waktu pengamatan untuk mendapatkan nilai lalu lintas harian rata-rata, dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata yaitu:

- a. Lalu lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT), yaitu volume lalu lintas harian yang diperoleh dari nilai rata-rata jumlah kendaraan selama satu tahun penuh. (LHRT = Jumlah kendaraan dalam 1 tahun / 365).
- b. Lalu lintas Harian Rata-Rata (LHR), yaitu volume lalu lintas harian rata-rata yang diperoleh dari nilai rata-rata jumlah kendaraan selama beberapa hari pengamatan. (LHRT = Jumlah kendaraan dalam 1 tahun / Jumlah hari pengamatan).

2.4. Volume Lalu Lintas harian (VLHR)

Volume lalu lintas harian adalah jumlah kendaraan yang melewati / melintasi salah satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (kendaraan/hari, kendaraan/jam). Dari hasil survei akan diperoleh lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) yaitu jumlah kendaraan lalu lintas dalam satu tahun dibagi dengan 365 hari.

2.5. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan menggunakan *Vechile Damage Factor* (VDF) masing-masing kendaraan niaga sebagai berikut:

$$ESATH - 1 = (\sum LHRJK \times VDFJK) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (1)$$

dengan *ESATH* adalah kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama, *LHRJK* adalah lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan / hari), *VDFJK* adalah faktor ekivalen beban (*vechile damage factor*) tiap jenis kendaraan niaga, *DD* adalah faktor distribusi arah, *DL* adalah faktor distribusi lajur, *CESAL* adalah kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan *R* adalah faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

2.6. Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan atau korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka dapat menggunakan Tabel 1 (PUPR, 2017).

$$R = \frac{(1 + i)UR - 1}{i} \quad (2)$$

dengan *R* adalah faktor pertumbuhan lalu lintas, *i* adalah laju pertumbuhan lalu lintas (%), dan *UR* adalah umur rencana (tahun).

Tabel 1. Faktor laju pertumbuhan lalu lintas.

| | Jawa | Sumatera | Kalimantan | Rata-rata Indonesia |
|----------------------|------|----------|------------|---------------------|
| Arteri dan Perkotaan | 4,80 | 4,83 | 5,14 | 4,75 |
| Kolektor rural | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| Jalan Desa | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

2.7. Data Teknis

Adapun data teknis dari pelaksanaan lapis perkerasan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang Pekerjaan : 1,1 km
- b. Lebar Pengaspalan : 4,8 m
- c. Suhu Aspal : 125-140°C
- d. Lebar Bahu Jalan : 1 m

2.8. Data Pengujian Kepadatan Tanah

Pengujian kepadatan tanah dilakukan dengan menggunakan pengujian Sand Cone test dan Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Nilai kepadatan tanah hasil akhirnya berupa nilai California Bearing Ratio (CBR). Hasil dari pengujian kepadatan tanah dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2. Data hasil pengujian sand cone test STA 0+450, 0+550, 0+650, dan 0+750.

| Tes Kepadatan Lapangan <i>Sand Cone Method</i> (AASHTO T 190-82) (AASHTO, 2004) | | | | | |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| STA | | 0+450 | 0+550 | 0+650 | 0+750 |
| Kepadatan Basah | gr/cm ³ | 2.501 | 2.502 | 2.555 | 2.522 |
| Kepadatan Kering | gr/cm ³ | 2.423 | 2.415 | 2.415 | 2.444 |
| Kepadatan kering maksimum | gr/cm ³ | 2.190 | 2.190 | 2.190 | 2.190 |
| Kepadatan kering maksimum koreksi | % | 2.400 | 2.410 | 2.404 | 2.397 |
| Derajat kepadatan di lapangan | % | 100.97 | 100.20 | 100.44 | 101.98 |
| Kadar air | % | 3.2 | 3.6 | 5.8 | 3.2 |

Tabel 3. Data hasil pengujian sand cone test STA 0+850, 0+950, dan 0+1050.

| Tes Kepadatan Lapangan <i>Sand Cone Method</i> (AASHTO T 190-82) (AASHTO, 2004) | | | | |
|--|--------------------|--------|--------|--------|
| STA | | 0+850 | 0+950 | 0+1050 |
| Kepadatan Basah | gr/cm ³ | 2.519 | 2.493 | 2.493 |
| Kepadatan Kering | gr/cm ³ | 2.470 | 2.406 | 2.420 |
| Kepadatan kering maksimum | gr/cm ³ | 2.190 | 2.190 | 2.190 |
| Kepadatan kering maksimum koreksi | % | 2.406 | 2.406 | 2.408 |
| Derajat kepadatan di lapangan | % | 100.97 | 100.20 | 100.44 |
| Kadar air | % | 2.0 | 3.6 | 3.0 |

Tabel 4. Data hasil pengujian CBR korelasi data DCP.

| No | STA | Posisi (L / CL / R) | Nilai CBR (%) | CBR Terkoreksi Faktor Musim |
|---|-------|------------------------|------------------|--------------------------------|
| Kabupaten Langkat Ruas 18 (Segmen 1) | | | | |
| 1 | 0+000 | L | 3,62 | 2,90 |
| 2 | 0+000 | R | 9,10 | 7,28 |
| 3 | 0+100 | L | 20,79 | 16,64 |
| 4 | 0+100 | R | 19,76 | 15,81 |
| 5 | 0+200 | L | 50,73 | 40,58 |
| 6 | 0+200 | R | 26,97 | 21,58 |
| 7 | 0+275 | L | 50,73 | 40,58 |
| 8 | 0+275 | R | 26,97 | 21,58 |
| Kabupaten Langkat Ruas 18 (Segmen 2) | | | | |
| 9 | 0+100 | L | 16,57 | 13,26 |
| 10 | 0+100 | R | 20,39 | 16,31 |
| 11 | 0+200 | L | 16,57 | 13,26 |
| 12 | 0+200 | R | 20,88 | 16,70 |
| 13 | 0+300 | L | 16,40 | 13,12 |
| 14 | 0+300 | R | 20,74 | 16,59 |
| Kabupaten Langkat Ruas 18 (Segmen 3) | | | | |

| No | STA | Posisi (L / CL / R) | Nilai CBR (%) | CBR Terkoreksi Faktor Musim |
|----|-------|------------------------|------------------|--------------------------------|
| 15 | 0+000 | L | 35,96 | 28,77 |
| 16 | 0+000 | R | 34,55 | 27,64 |
| 17 | 0+100 | L | 5,93 | 4,74 |
| 18 | 0+100 | R | 19,76 | 15,81 |
| 19 | 0+200 | L | 2,24 | 1,79 |
| 20 | 0+200 | R | 6,26 | 5,01 |
| 21 | 0+300 | L | 2,30 | 1,84 |
| 22 | 0+300 | R | 6,31 | 5,05 |
| 23 | 0+400 | L | 9,44 | 7,55 |
| 24 | 0+400 | R | 7,37 | 5,89 |
| 25 | 0+500 | L | 7,92 | 6,33 |
| 26 | 0+500 | R | 8,05 | 6,44 |
| 27 | 0+600 | L | 7,96 | 6,36 |
| 28 | 0+600 | R | 15,02 | 12,01 |
| 29 | 0+700 | L | 9,39 | 7,52 |
| 30 | 0+700 | R | 15,02 | 12,01 |
| 31 | 0+800 | L | 16,65 | 13,32 |
| 32 | 0+800 | R | 18,32 | 14,65 |
| 33 | 0+875 | L | 11,63 | 9,31 |
| 34 | 0+875 | R | 16,36 | 13,08 |

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Lalu-lintas Jalan

Data volume lalu lintas harian (VLHR) ruas jalan Simpang Durian Mulo-Namo Ukur Kabupaten Langkat diambil pada (STA 0+000 – STA 1+100) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data lalu lintas harian ruas jalan Simpang Durian Mulo – Namo Ukur (LHR Jalan).

| Jenis Kendaraan | VLHR |
|------------------------|------|
| Kendaraan ringan 2 ton | 37 |
| Mobil pribadi | 21 |
| Truck 2 as | 11 |
| Total | 69 |

Data perencanaan lalu lintas Jalan Simpang Durian Mulo – Namo Ukur Kabupaten Langkat (STA 0+000 – STA 1+100) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data perencanaan lalu lintas harian ruas jalan Simpang Durian Mulo – Namo Ukur.

| No | Data | Keterangan |
|----|-----------------------------|----------------------|
| 1 | Jenis jalan | Kolektor |
| 2 | Umur Rencana (UR) | 20 tahun (2022-2042) |
| 3 | Pertumbuhan lalu lintas (i) | 3,50 % |
| 4 | Distribusi kendaraan | Satu lajur dua arah |

3.2. Rencana Jumlah Kendaraan dalam Periode Akhir Umur Rencana

Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen sepanjang usia yang telah direncanakan disebut dengan *CESAL* yaitu total kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain sesuai panjang umur yang telah direncanakan.

Penentuan kumulatif beban sumbu standar ekuivalen sepanjang usia yang telah direncanakan, terdapat berbagai aspek penting diantaranya yaitu:

- Menetapkan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF). Nilai VDF ialah penghimpunan nilai ekuivalen dari sumbu roda transportasi belakang dan depan.
- Menetapkan faktor pertumbuhan lalu lintas (R). Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas yaitu:

$$R_{(2022-2042)} = 28,27$$

Maka untuk perhitungan analisis nilai faktor pertumbuhan lalu lintas pada tahun 2022-2042 (20 tahun) didapat hasil faktor pertumbuhan lalu lintas selama 20 tahun yaitu 28,27.

- Menentukan faktor distribusi lajur (DL). Penetapan pendistribusian lajur bisa mengacu dari Tabel 7 faktor pendistribusian lajur Bina Marga 2017.

Tabel 7. Faktor distribusi lajur.

| Jumlah lajur setiap arah | Kendaraan niaga pada lajur desain(% terhadap populasi kendaraan niaga) |
|--------------------------|--|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 |
| 3 | 60 |
| 4 | 50 |

- d. Menetapkan faktor distribusi arah (DD). Pengaruh pendistribusian arah jalan umum ialah:
 Distribusi arah= 0,5
- e. Beban sumbu standar kumulatif. Hasil perhitungan analisis beban sumbu standar kumulatif didapat hasil ESA5

(2022-2042) untuk kendaraan ringan 2 ton sebesar 0; ESA5 (2022-2042) untuk kendaraan mobil pribadi sebesar 108.344,7; dan ESA5 (2022-2042) untuk kendaraan truk 2 as sebesar 419.964,98. Nilai *cummulative equivalent single axle load* (CESAL) untuk periode 2022-2042 (20 tahun) atau umur rencana (UR) selama 20 tahun. Nilai – nilai ESA5 untuk jenis kendaraan lainnya dapat dilihat pada Tabel 2 dari perhitungan Tabel 8, maka didapat nilai CESAL5 sebesar 0,52 juta. Jadi nilai CESAL5 adalah 0,52 juta.

Tabel 8. Nilai CESAL hasil perhitungan MDP 2017.

| Jenis Kendaraan | LHR (2022) | VDF normal | LHR (2042) | ESA5 (2022- 2042) |
|------------------------|------------|------------|------------|-------------------|
| Kendaraan ringan 2 ton | 37 | 0 | 1045,9 | - |
| Mobil pribadi | 21 | 1 | 593,67 | 108.344,7 |
| Truk 2 as | 11 | 7,4 | 310,97 | 419.964,98 |
| Total | | | | 528.309,68 |
| CESAL | | | | 528.309,68 |

3.3. Menentukan Desain Pondasi

Untuk mengetahui desain tebal perkerasan lentur terdapat dari berbagai kelas sesuai dengan perhitungan dan ketentuan perkerasan jalan. Bagan desain yang didapat sesuai dengan perhitungan pada perkerasan jalan lentur ini adalah bagan desain kelas 3B. Berdasarkan perhitungan MDP 2017, sehingga diperoleh hasil perencanaan desain tebal perkerasan lentur diantaranya:

- a. LFA Kelas A = 400 milimeter
- b. AC WC = 40 milimeter
- c. AC Base = 0 milimeter
- d. AC BC = 60 milimeter

3.4. Desain Perkerasan Lentur pada Jalan Simpang Durian Mulo – Namo Ukur STA 0+000 – 1+100

Hasil yang didapat dari perhitungan perkerasan jalan lentur menggunakan metode MDP 2017 diperoleh total ketebalan perkerasan setebal 60 cm, yaitu Lapis permukaan setebal 10 cm, lapis pondasi kelas A setebal 40 cm, dan urugan pilihan setebal 10 cm (Gambar 2). Sementara pekerjaan yang dilaksanakan di lapangan didapat ketebalan 56,5 cm, di mana didapat perbedaan ketebalan lapisan sebesar 3,5 cm dari hasil perhitungan menggunakan metode MDP 2017.



Gambar 2. Detail tebal perencanaan perkerasan lentur.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, hasil tebal perkerasan lentur yang didapat di lapangan diperoleh tebal lapis permukaan sebesar 9,5 cm, lapis pondasi kelas A sebesar 17 cm, lapis pondasi kelas B sebesar 20 cm, dan urugan pilihan sebesar 10 cm, sehingga total tebal perkerasan lentur di lapangan yaitu 56,5 cm. Sedangkan hasil dari perhitungan tebal lapis perkerasan lentur dari metode MDP 2017 diperoleh ketebalan 60 cm. Selisih ketebalan dari metode MDP 2017 dengan pekerjaan di lapangan sebesar 3,5 cm. Karena hasil yang didapat memiliki selisih ketebalan dari perencanaan MDP 2017 dengan pelaksanaan di lapangan, maka dapat disimpulkan hasil perencanaan tidak sesuai dengan pekerjaan di lapangan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Daftar Pustaka

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993* (Vol. 1). Aashto.
- AASHTO. (2004). *AASHTO T 190-02 , ASTM D 2844-69 (1975) Standard Method of Test for Resistance R-Value and Expansion Pressure of Compacted Soils*.
- Akbar, S. J., & Wesli, W. (2016). Studi Korelasi Daya Dukung Tanah Dengan Indek Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Bina Marga. *Teras Jurnal*, 4(1), 61–70. <https://doi.org/10.29103/tj.v4i1.32>
- Amran, Y., & Surandono, A. (2017). ANALISA DAYA DUKUNG TANAH (DDT) PADA SUB GRADE/TANAH DASAR (Studi Kasus Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara, 38 B Banjar Rejo Lampung Timur-Batas Kota Metro). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/tp.v7i1.569.g404>
- Bakri, M. D. (2020). KOMPARASI DESAIN TEBAL PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2017 DAN METODE AASHTO 1993. *Jurnal Borneo Saintek*, 3(2), 47–60. https://doi.org/10.35334/borneo_saintek.v3i2.1669
- Hangge, E. E., Karels, D. W., & Kapitan, A. O. (2022). Pengaruh Karakteristik Tanah Dasar Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 155–168.
- Mulyo, Y. S., Maria, K., & Ridwan, M. (2023). *Analisis Penentuan Jenis Perkerasan pada Perencanaan Jalan Menggunakan MDPJ 2017 (Study Kasus Jalan Tarumanagara City)*. 3, 6088–6102. <https://doi.org/10.31004/innovative.v3i3.2312>
- Ottu, M. A., Ircham, I., & Anggorowati, D. A. V. (2023). Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 Pada Jalan Denggung–Wonorejo, Sleman. *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 2(2).
- PUPR. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2017* (R. Sihombing (ed.); Nomor 02). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rifqi, M., & Fitriani, H. (2020). Identifikasi Kerusakan Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Soekarno – Hatta, Palembang. *JURNAL SAINTIS*, 20(01), 19–26. [https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20\(01\).4072](https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20(01).4072)

[This page is intentionally left blank]

Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase pada Jl. Asrama Sei Kambing C-II Kota Medan

Elly Ria^{1,*}, Ahmad Bima Nusa¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia 20216

*penulis koresponden: ellyria72@gmail.com

Diterima: 30 Agustus 2023; Disetujui: 28 November 2023

Abstrak

Permasalahan berupa kemunculan genangan air di Kota Medan akibat tingginya intensitas curah hujan dan tidak dapat ditampungnya limpasan air hujan oleh drainase semakin mengkhawatirkan dalam beberapa tahun belakangan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari masalah-masalah apa yang membuat genangan air tidak sepenuhnya mengalir ketika intensitas hujan sangat besar dan mengetahui metode apa yang layak digunakan untuk mengukur debit banjir rencana sesuai intensitas curah hujan di tempat dilakukannya penelitian yaitu pada Jl. Asrama Sei Kambing C-II Kota Medan. Metode penelitian dilakukan secara kuantitatif dengan metode rasional untuk mengukur debit banjir rencana serta membandingkan antara dua metode yakni Van Breen dengan Mononobe. Dari hasil perhitungan perbandingan debit banjir rencana ($Q_{Rasional}$) dan debit saluran drainase eksisting ($Q_{Eksisting}$) saluran drainase bagian kanan (persegi) dan kiri (trapesium) dapat disimpulkan intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen lebih rendah dibandingkan metode Mononobe. Kapasitas drainase tipe persegi menggunakan metode Van Breen dengan nilai rata-rata $Q_{Eksisting}$ sebesar $3,893 \text{ m}^3/\text{det}$ dapat memenuhi debit banjir rencana pada periode kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun dengan $Q_{Rasional}$ masing-masing sebesar $2,561 \text{ m}^3/\text{det}$, $2,869 \text{ m}^3/\text{det}$, $2,475 \text{ m}^3/\text{det}$, $3,073 \text{ m}^3/\text{det}$, dan $3,114 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan kapasitas drainase tipe trapesium tidak memenuhi debit banjir rencana untuk seluruh periode ulang, di mana pada periode terkecil selama 2 tahun diperoleh $Q_{Rasional}$ sebesar $2,561 \text{ m}^3/\text{det}$ lebih besar daripada $Q_{Eksisting}$ sebesar $1,703 \text{ m}^3/\text{det}$. Oleh karena itu, saluran drainase eksisting tipe persegi mampu menampung aliran air saat intensitas curah hujan tinggi dibandingkan dengan saluran drainase eksisting tipe trapesium pada lokasi penelitian ini.

Kata Kunci: Curah Hujan, Debit Banjir, Drainase Perkotaan.

Abstract

The problem of the emergence of waterlogging in Medan City due to the high intensity of rainfall and the inability to accommodate rainwater runoff by drainage has become increasingly worrying in recent years. This study aims to find out what problems make puddles not fully flow when the intensity of rain is very large and find out what methods are feasible to use to measure planned flood discharge according to rainfall intensity at the place where the research was conducted, namely on Jl. Asrama Sei Kambing C-II Medan City. The research method was carried out quantitatively with a rational method to measure planned flood discharge and compared between two methods, namely Van Breen and Mononobe. From the calculation of the comparison of planned flood discharge ($Q_{Rasional}$) and existing drainage channel discharge ($Q_{Existing}$) right (square) and left (trapezoidal) drainage channels, it can be concluded that the intensity of rainfall using the Van Breen method is lower than the Mononobe method. The square-type drainage capacity using the Van Breen method with an average $Q_{Existing}$ value of $3,893 \text{ m}^3/\text{sec}$ can meet planned flood discharge in the 2nd, 5th, 10th, 25th, and 50-year periods with $Q_{Rasional}$ of $2,561 \text{ m}^3/\text{sec}$, $2,869 \text{ m}^3/\text{sec}$, $2,475 \text{ m}^3/\text{sec}$, $3,073 \text{ m}^3/\text{sec}$, and $3,114 \text{ m}^3/\text{sec}$, respectively. Meanwhile, the trapezoidal type drainage capacity does not meet the planned flood discharge for the entire recurrence period, where in the smallest period for 2 years obtained $Q_{Rasional}$ of $2,561 \text{ m}^3/\text{sec}$ greater than $Q_{Existing}$ of $1,703 \text{ m}^3/\text{sec}$. Therefore, the existing square-type drainage channel is able to accommodate the flow of water when rainfall intensity is high compared to the existing trapezoid-type drainage channel at this study site.

Keywords: Rainfall, Flood Discharge, Urban drainage.

1. Pendahuluan

Manusia membutuhkan air untuk konsumsi sehari-hari, seperti minum,

memasak, dan membersihkan diri. Selain itu, air juga esensial dalam sektor pertanian untuk irigasi tanaman yang menjadi sumber pangan bagi populasi

global (Qarinur dkk., 2022). Akan tetapi, apabila kelebihan dan kekurangan air ini dalam keadaan ekstrim tentu dapat menimbulkan bencana, seperti banjir ataupun kekeringan. Penyebab salah satu banjir dikarenakan drainase tidak bisa menampung limpasan air yang ada, akibat debit air meningkat sehingga kapasitas saluran tidak mampu mengalirkan air. Oleh karena itu, agar seluruh debit air bisa ditampung dengan baik, maka diperlukan pembangunan drainase sebagai upaya pengendalian banjir. Drainase merupakan sistem bangunan air untuk menangani persoalan kelebihan air akibat intensitas curah hujan yang besar untuk menghindari terjadinya genangan air (Suripin, 2004). Cara pengaliran air dengan adanya saluran tersier untuk menampung air hujan dan mengalir ke drainase yang lebih besar (sekunder dan primer) selanjutnya jatuh ke sungai dan laut (Kodoatie, 2005). Perkembangan daerah adalah hal yang sangat berpengaruh pada perencanaan drainase, membuat tanah tidak mampu meresap pada saat intensitas hujan yang besar dikarenakan banyaknya penggunaan lahan bangunan serta lahan pengaspalan jalan. Maka sebaiknya dimensi saluran drainase yang direncanakan lebih besar untuk mendapatkan besaran curah hujan (F. Lubis, 2016). Alat informasi pada mitigasi bencana yakni perencanaan pemetaan wilayah yang tergenang banjir bisa dijadikan alternatif upaya dalam mengendalikan banjir melalui metode *non structural* (Zevri, 2019).

Data intensitas hujan di wilayah aliran air ketika kejadian muncul dijadikan dasar dalam proses menghitung debit rencana (Wesli, 2008). Akan tetapi, dibutuhkan beberapa metode yang berbeda dalam menentukan kemampuan penampungan debit air pada saluran drainase atas intensitas curah hujan yang ada (Purba dkk., 2021). Hal ini yang perlu diteliti dalam mempengaruhi penyebab terjadinya genangan di lokasi penelitian. Untuk daerah perkotaan saluran perlu dibangun yang cukup besar sesuai dengan debit banjir rencana, dalam mempercepat pembuangan air hujan agar tidak ada

genangan (A. H. Lubis & Terunajaya, 2013).

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah untuk mencari tahu masalah apa saja yang membuat genangan air tidak sepenuhnya mengalir ketika debit hujan sangat besar yang mengakibatkan drainase tidak dapat menampungnya, serta berapa besar kapasitas penampung yang layak digunakan dalam menampung debit banjir pada drainase dan mengetahui tipe drainase yang paling efektif apakah mampu mengalirkan air dan menampung air jika terjadi intensitas hujan yang tinggi. Perlu diperhatikan metode mana yang paling efektif dalam menghitung intensitas curah hujan, baik menggunakan metode Van Breen atau Mononobe, terutama saat diterapkan pada saluran drainase dengan tipe persegi atau tipe trapesium yang memiliki dimensi yang sama. Selain itu, perlu juga dilakukan evaluasi terhadap kapasitas saluran drainase di Jl. Asrama Sei Kambing C-II untuk memastikan bahwa saluran tersebut dapat menampung aliran banjir dengan efisien.

Dalam rangka menentukan hasil debit banjir rencana, penting untuk menganalisis intensitas hujan dan memperoleh nilai debit dengan mempertimbangkan frekuensi hujan. Parameter perhitungan metode distribusi Log Person III dengan periode ulang 100, 50, 25, 15, 10, atau 2 tahun digunakan untuk menghasilkan nilai intensitas hujan yang diperlukan (Soemarto, 1987). Setelah mendapatkan distribusi yang dianggap paling cocok, langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan dengan sampel data. Hal ini dilakukan guna memastikan bahwa hasil debit rencana yang dihasilkan, sebagaimana dijelaskan oleh (Sitohang dkk., 2022), sesuai dengan kondisi lapangan dan dapat memberikan gambaran yang akurat terkait pengelolaan aliran banjir di wilayah tersebut.

2. Metodologi

Daerah Kecamatan Medan Helvetia memiliki luas $\pm 13,16$ km² (1.316 ha). Adapun lokasi studi penelitian diambil pada kawasan drainase Jl. Asrama Sei

Sikambang C-II tepatnya pada koordinat $3^{\circ}35'36''\text{N}$ $98^{\circ}37'42''\text{E}$, di mana lokasi ini salah satu titik rawan banjir yang pernah terjadi pada 18 november 2022 dengan total area wilayah tergenang di wilayah Medan Helvetia sebesar $1,46 \text{ km}^2$ yang menggenangi jalan dan permukaan warga dengan ketinggian $\pm 70 \text{ cm}$. Saluran yang diteliti sepanjang 600 m dari titik belakang

Rumah Sakit Hermina sampai Jl. Bakti Luhur (Gambar 1). Untuk mengetahui besarnya hujan rencana, perlu diketahui tingginya curah hujan yang terjadi dalam analisis hidrologi yang dihitung melalui metode rata-rata aljabar yang akan menghasilkan data hujan di wilayah yang mengalami banjir.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.1. Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Peristiwa hujan lebat mampu mempengaruhi analisis frekuensi maupun probabilitasnya yang mana data tersebut bisa dimanfaatkan untuk mengetahui besaran hujan rencana. Parameter yang berhubungan dengan analisa data seperti kemiringan/kecondongan (koefisien *skewness*), koefisien variasi, simpangan baku, dan rata-rata secara keseluruhan tergabung dalam perhitungan distribusi frekuensi. Proses analisa debit banjir rencana di bidang hidrologi banyak menggunakan perhitungan distribusi frekuensi berikut ini.

a. Distribusi Normal

Berikut perhitungan atau persamaan distribusi Gauss atau kurva normal:

$$K_T = \frac{K_T - \bar{X}}{s} \quad (1)$$

dengan K_T adalah faktor frekuensi, S adalah deviasi standar nilai varian, \bar{X}

dengan curah hujan maksimal rata-rata (mm/hari), dan X_T adalah curah hujan rencana (mm/hari).

b. Distribusi Log Normal

Berikut persamaan dalam menghitung log normal:

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } \bar{X}} + K_T \cdot S \text{ Log } X \quad (2)$$

dengan $\text{Log } X_T$ adalah nilai logaritma hujan rencana pada periode ulang T , dan K_T adalah faktor frekuensi yang jumlahnya sesuai nilai T .

c. Distribusi Log Person III

Berikut persamaan dalam menghitung log person III:

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (3)$$

Log curah hujan rancangan pada suatu periode ulang dihitung dengan persamaan:

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K_T \times S_T \quad (4)$$

dengan X_i adalah curah hujan rancangan, X_T adalah seberapa besar peristiwa pada

periode ulang, S_d adalah simpangan baku, K adalah konstanta (dari tabel), dan $\log X_T$ adalah rata-rata logaritma atas hujan maksimal tahunan.

d. Distribusi Probabilitas

Berikut persamaan yang harus digunakan dalam menghitung distribusi probabilitas yang menggunakan data populasi terbatas:

$$X_T = \bar{x} + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \times S_X \quad (5)$$

dengan X_T adalah besarnya kejadian untuk priode ulang, n adalah lama pengamatan, X_i adalah curah hujan maksimum (mm), S_n ialah banyaknya data n atau reduced standar deviasi, Y_n banyaknya data n atau reduced mean.

Pada Tabel 1 memperlihatkan hasil variasi reduksi yang diperoleh dari data curah hujan rata-rata pengamatan pada beberapa periode ulang.

Tabel 1. Variasi reduksi (Suripin, 2004).

| Periode Ulang T (Tahun) | Y_T | Periode Ulang T (Tahun) | Y_T |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| 2 | 0,3665 | 100 | 4,6001 |
| 5 | 1,4999 | 200 | 5,296 |
| 10 | 2,2504 | 500 | 6,214 |
| 20 | 2,9702 | 1000 | 6,919 |
| 25 | 3,1985 | 5000 | 8,539 |
| 50 | 3,9019 | 10000 | 9,921 |

2.2. Uji Smirnov- Kolmogorov

Besaran peluang melalui uji kecocokan jenis non parametik ini umumnya hanya dilakukan melalui proses pengurutan data yang paling besar ke yang paling kecil tanpa menggunakan fungsi distribusi tertentu. Oleh karena itu, perbedaan maksimal antara fungsi probabilitas kumulatif dengan fungsi kumulatif sampelnya atau nilai D akan dihitung melalui uji *Smirnov* dan *Kolmogorov* lalu dilakukan perbandingan antara nilai D dengan Do . Apabila $D < Do$, maka distribusinya akan diterima.

Berikut persamaan Weinbull yang digunakan dalam mengurutkan keseluruhan data untuk mengetahui setiap peluang empirisnya:

$$P = \frac{m}{N+1} \quad (6)$$

dengan P adalah peluang pengamatan, n adalah banyaknya data atau jumlah kejadian, dan m adalah nomor urutan data sesudah proses pengurutan dari yang terbesar ke data terkecil.

Peluang pengamatan dengan peluang teoritis:

$$D_{mask} = \text{maksimum } [P(X_n) - P'(X_n)] \quad (7)$$

dengan $P'(X_n)$ adalah persamaan distribusi serta peluang teoretis yang digunakan, $P(X_n)$ adalah peluang pengamatan, dan D adalah selisih maksimal diantara peluang pengamatan dan peluangnya.

2.3. Debit Banjir Rencana Metode Rasional

Berikut persamaan dalam mengukur laju aliran permukaan puncak melalui metode rasional:

$$Q = 0,2778 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (8)$$

denga, Q adalah debit air m³/det, I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), A adalah luas wilayah aliran air (Ha), dan C adalah koefisien aliran. Pada Tabel 2 harga C menentukan faktor yang mempengaruhi hubungan antara hujan dan aliran pengaruh penutupan lahan, dan tata guna lahan dapat dilihat.

Tabel 2. Koefisien pengaliran (Suripin, 2004).

| No | Daerah | Koefisien aliran (C) |
|----|--|----------------------|
| 1 | Perniagaan | 0,90 – 0,95 |
| 2 | industri | 0,80 – 0,90 |
| 3 | Perumahan rapat | 0,70 -- 0,80 |
| 4 | Perumahan kerapatan sedang (20-60 rumah /Ha)VV | 0,40 – 0,70 |
| 5 | Perumahan yang tidak terlalu rapat (20 rumah/Ha) | 0,20 – 0,40 |
| 6 | Tanah dan wilayah reaksi | 0,20 – 0,30 |

Kirpich (1940) menyatakan bahwa dalam menaksirkan waktu konsentrasi diperlukan rumusan berikut ini:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (9)$$

dengan t_c adalah waktu konsentrasi (jam), S adalah kemiringan dari rerata saluran utama (m), dan L adalah panjang saluran utama (km).

2.4. Intensitas Curah Hujan

Dalam menentukan luas penampang dari hasil intensitas dianalisis terlebih dahulu kemiringan rata rata drainase, dengan persamaan sebagai berikut:

$$s = \frac{H}{0,9 \times L} \quad (10)$$

dengan, H adalah perbedaan tinggi dari titik jeter jauh drainase dengan titik pengamatannya (km), L adalah panjang drainase pengamatan (km).

Perhitungan curah hujan melalui teknik Mononobe bisa dilakukan melalui persamaan-persamaan berikut:

a. Metode Mononobe

Metode Mononobe ini menghitung intensitas curah hujan durasi mm/jam

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^{2/3}}{t_c} \quad (11)$$

dengan R_{24} adalah curah hujan rencana selama 24 jam, t_c adalah durasi/lama turunnya hujan (jam), dan I adalah intensitas hujan(mm/jam).

b. Metode Van Breen

Metode Van Breen menghitung intensitas curah hujan periode ulang pertahun mm/hari

$$I = \frac{54 R_T + 0,07 R_T^2}{t_c + 0,3 R_T} \quad (12)$$

dengan R_T adalah tingginya curah hujan dalam T tahun (mm/hari), I_T adalah intensitas curah hujan T (tahun).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Curah Hujan Rencana

Melalui metode rata-rata aljabar, diakumulasikan rata-rata curah hujan harian untuk menemukan data maksimum dari curah hujan. Tabel 3 memperlihatkan perhitungan secara keseluruhan rata-rata curah hujan maksimum periode 10 tahun.

Tabel 3. Data curah hujan BMKG tahun 2013-2022.

| Tahun | Curah Hujan Maksimum (mm) |
|-------|---------------------------|
| 2013 | 498,3 |
| 2014 | 325,7 |
| 2015 | 448,6 |
| 2016 | 580,8 |
| 2017 | 529,4 |
| 2018 | 609 |
| 2019 | 455,6 |
| 2020 | 615 |
| 2021 | 519,4 |
| 2022 | 525,9 |

Melalui analisa frekuensi dan probabilitas, selanjutnya dihitung pola distribusi dengan mengacu pada data curah hujan rata-rata maksimal yang sebelumnya didapatkan.

a. Parameter Rata-rata

$$(\bar{X}) = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{5107,7}{10} = 510,77 \text{ mm}$$

b. Simpangan Baku (s)

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{67382,94}{10-1}} = 86,527 \text{ mm}$$

c. Koefisien varian (Cv)

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{3264,80}{239,9208} = 0,169 \text{ mm}$$

d. Koefisien skewness (Cs)

$$Cs = \frac{n \cdot \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) \cdot s^3} = \frac{10(-4314779,05)}{(9 \times 8)(86,527)^3} = -0,925$$

e. Pengukuran Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4}{s^4} = 2,556$$

3.2. Pemilihan jenis sebaran

Penelitian ini menggunakan pengujian parameter dengan uji sebaran dengan metode Smirnov Kolmogorov. Dapat dilihat pada Tabel 4 merupakan distribusi curah hujan yang diantaranya memenuhi parameter pemilihan distribusi curah hujan.

Tabel 4. Parameter pemilihan distribusi curah hujan.

| No | Nama Periode | Persyaratan | Hasil | Keterangan |
|----|-----------------------|--|---------------------------------|-------------------|
| 1 | Gumbel | Cs = 1.139 Ck = 5,4 | -0,925 2,556 | Tidak memenuhi |
| 2 | Normal | Cs > 0,159 Cv > 0,060 | -0,925 2,556 | Tidak memenuhi |
| 3 | Log Normal | Cs > Cv ³ +3Cv Ck > Cv 8+6 Cv ⁶ +15 Cv ⁴ +16 Cv ² +3 | -1,588 3,76 | Tidak memenuhi |
| 4 | Log Person III | selain dari nilai diatas Ck> | Cs= -1,416 Ck = 3,22 | Memenuhi |

Dari hasil parameter pada Tabel 4 maka bisa dikatakan Log Person tipe III menjadi jenis sebaran yang layak digunakan karena telah memenuhi kriteria. Berikutnya dilakukan pengujian parameter menggunakan metode Smirnov Kolmogorov.

distribusinya bisa diterima untuk mengukur distribusi peluang data debitnya karena $D < D_0$ ($0,202 < 0,41$) dengan N sebanyak 10 dan derajat kepercayaannya pada D_0 adalah 5%. Pada Tabel 5 memperlihatkan hasil analisa curah hujan menggunakan distribusi Log Person III.

3.3. Uji Smirnov Kolmogorov

Dari perhitungan yang telah dilakukan menegaskan bahwa hasil persamaan

Tabel 5. Hasil perhitungan curah hujan distribusi Log Person III.

| Periode ulang Tahun | $\sum \text{Log } \bar{X}$ | K_T | S log x | Hujan Rencana (X_T) | Hujan Rencana Tahun (mm) |
|---------------------|----------------------------|-------|---------|-------------------------|--------------------------|
| X2 | 2,702 | 0,225 | 0,081 | 2,720 | 524,97 |
| X5 | 2,702 | 0,832 | 0,081 | 2,769 | 588,12 |
| X10 | 2,702 | 0,041 | 0,081 | 2,705 | 507,20 |
| X25 | 2,702 | 1,198 | 0,081 | 2,799 | 629,81 |
| X50 | 2,702 | 1,27 | 0,081 | 2,805 | 638,35 |
| X100 | 2,702 | 1,318 | 0,081 | 2,809 | 644,11 |

Dari Tabel 5 dengan menggunakan distribusi Log Person III diperoleh hasil hujan rencana tahunan. Selanjutnya hasil analisa digunakan untuk memperoleh hasil intensitas curah hujan dengan menggunakan metode Mononobe dan Van Breen.

3.4. Analisis Intensitas Curah Hujan

Berikut hasil analisa upaya penetapan intensitas hujan dengan data-data durasi hujannya menggunakan data durasi hujan dengan metode Mononobe dan Van Breen. Waktu konsentrasi (t_c) adalah waktu yang dibutuhkan saat air hujan pada titik hujan dengan menghitung kemiringan (s):

a. Metode Mononobe

Perhitungan debit banjir rencana dengan periode ulang 2 tahun:

Kemiringan rata-rata drainase:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times s} \right)^{0,385}$$

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times 600^2}{1000 \times 0,00056} \right)^{0,385}$$

$$t_c = 0,799538 \text{ jam}$$

Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil perhitungan intensitas curah hujan dengan periode 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun menggunakan metode Mononobe.

Tabel 6. Intensitas curah hujan menggunakan metode Mononobe.

| No | Periode | R ₂₄ (mm) | t _c (jam) | I (mm/jam) |
|----|---------|----------------------|----------------------|------------|
| 1 | 2 | 524,97 | 0,7995 | 211,293 |
| 2 | 5 | 588,12 | 0,7995 | 236,709 |
| 3 | 10 | 507,20 | 0,7995 | 204,141 |
| 4 | 25 | 629,81 | 0,7995 | 253,490 |
| 5 | 50 | 638,35 | 0,7995 | 256,928 |
| 6 | 100 | 644,11 | 0,7995 | 259,246 |

b. Metode Van Breen

Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen sebagai berikut:

$$I = \frac{90\% \times X_{24}}{4} = 118, 118 \text{ mm/jam}$$

Dapat dilihat pada Tabel 7 hasil perhitungan debit banjir rencana dengan periode 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun dengan metode *Van Breen*.

Tabel 7. Intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen.

| No | periode | R ₂₄ (mm) | I (mm/jam) |
|----|---------|----------------------|------------|
| 1 | 2 | 524,97 | 118,118 |
| 2 | 5 | 588,12 | 132,326 |
| 3 | 10 | 507,20 | 114,120 |
| 4 | 25 | 629,81 | 141,707 |
| 5 | 50 | 638,35 | 143,629 |
| 6 | 100 | 644,11 | 363,330 |

Tabel 8. Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode Mononobe.

| No | Periode | Luas (m) | C | I (mm/jam) | A (km ²) | Q _{Rasional} (m ³ /det) |
|----|---------|----------|-----|------------|----------------------|---|
| 1 | 2 | 600 | 0,6 | 211,293 | 0,130 | 4,578 |
| 2 | 5 | 600 | 0,6 | 236,709 | 0,130 | 5,129 |
| 3 | 10 | 600 | 0,6 | 204,141 | 0,130 | 4,423 |
| 4 | 25 | 600 | 0,6 | 253,490 | 0,130 | 5,493 |
| 5 | 50 | 600 | 0,6 | 256,928 | 0,130 | 5,567 |
| 6 | 100 | 600 | 0,6 | 259,246 | 0,130 | 5,621 |

Diperoleh debit banjir rencana dengan menggunakan metode Van Breen dalam prosedur pengujiannya data diurutkan dari

Dari hasil perhitungan intensitas curah hujan menggunakan metode Mononobe dan Van Breen selanjutnya akan digunakan menghitung analisis debit banjir rencana (metode rasional).

3.5. Metode Rasional

Luas area genangan yang digunakan sebesar 1,46 km² (146 ha). Untuk mengetahui koefisien pengaliran pada perumahan kerapatan sedang (20-60) rumah/ha, koefisien yang digunakan pengaliran sebesar 0,6.

$$Q_{Rasional} = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$= 0,278 \cdot (0,6) \times 211,293 \times 0,130$$

$$= 4,578 \text{ m}^3/\text{det}$$

Untuk menghitung kala ulang debit banjir rencana 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun dengan metode Mononobe dapat dilihat pada Tabel 8.

yang terbesar ke terkecil untuk dianalisa, sehingga hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan debit banjir menggunakan metode Van Breen.

| No | Periode | Luas (m) | C | I (mm/jam) | A (km) | Q _{Rasional} (m ³ /det) |
|----|---------|----------|-----|------------|--------|---|
| 1 | 2 | 600 | 0,6 | 118,12 | 0,130 | 2,561 |
| 2 | 5 | 600 | 0,6 | 132,33 | 0,130 | 2,869 |
| 3 | 10 | 600 | 0,6 | 114,12 | 0,130 | 2,475 |
| 4 | 25 | 600 | 0,6 | 141,71 | 0,130 | 3,073 |
| 5 | 50 | 600 | 0,6 | 143,63 | 0,130 | 3,114 |
| 6 | 100 | 600 | 0,6 | 363,33 | 0,130 | 7,878 |

3.6. Perhitungan kecepatan aliran

Penampang drainase sekunder kanan pada titik 1 sekunder kanan tipe persegi:

Diketahui:

$b = 190$ cm (data yang diperoleh dari hasil survei)

$h = 230$ cm

$x = 30$ cm

$$s = \frac{h}{0,9 \times 600}$$

$$s = \frac{0,3 \text{ m}}{0,9 \times 600 \text{ m}}$$

$s = 0,0005$

Luas permukaan (A):

$$A = (b \times h)$$

$$= 1,9 \times 2,3$$

$$= 4,37 \text{ m}^2$$

Keliling Basah (P):

$$P = b + 2 \times h$$

$$= 1,9 + (2 \times 2,3)$$

$$= 6,5 \text{ m}$$

Dihitung nilai Hidrolis (R):

$$R = A/P$$

$$= 4,37/6,5$$

$$= 0,672 \text{ m}$$

Kecepatan Aliran

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{0,014} \times (0,672)^{\frac{2}{3}} \times (0,0005)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1,226 \text{ m/det}$$

Perhitungan daya tampung debit saluran:

$$Q_s = V \times A$$

$$= 12,97 \text{ m/det} \times 4,370 \text{ m}^2$$

$$= 56,688 \text{ m}^3/\text{det}$$

Pada Tabel 10 diperlihatkan hasil analisis dari luas dan keliling drainase dengan tipe persegi untuk menentukan debit air dan kecepatan air pada penampang.

Tabel 10. Hasil perhitungan saluran sekunder eksisting kanan (persegi).

| No | b (m) | h (m) | s | Luas permukaan (A) m ² | Keliling basah (P) m | Hidrolis (R) | Kecepatan (V) | Q _{Eksisting} (m ³ /det) |
|--------------------|-------|-------|--------|-----------------------------------|----------------------|--------------|---------------|--|
| 1 | 1,90 | 2,30 | 0,0005 | 4,370 | 6,5 | 0,672 | 1,226 | 5,357 |
| 2 | 1,90 | 2,00 | 0,0005 | 3,800 | 5,9 | 0,644 | 1,191 | 4,526 |
| 3 | 1,80 | 1,87 | 0,0005 | 3,366 | 5,54 | 0,608 | 1,146 | 3,857 |
| 4 | 1,80 | 1,80 | 0,0005 | 3,240 | 5,4 | 0,6 | 1,136 | 3,681 |
| 5 | 1,70 | 1,20 | 0,0005 | 2,040 | 4,1 | 0,498 | 1,003 | 2,046 |
| jumlah | | | | 16,816 | 27,440 | 3,022 | 5,702 | 19,467 |
| rata - rata | | | | 3,363 | 5,488 | 0,604 | 1,140 | 3,893 |

Penampang drainase sekunder kiri pada titik 1 tipe trapesium:

Diketahui:

$b = 1,20$ m

$h = 1,20$ m

$y = 0,02$ m

$$s = 0,1/(0,9 \times 600)$$

$$s = 0,0002$$

Luas permukaan (A):

$$A = (b + m \times h) \times h$$

$$= (1,20 + (1 \times 1,20)) \times 1,20$$

$$= 2,640$$

Keliling basah (P):

$$P = b + 2 \times h \sqrt{(m^2) + 1}$$

$$= 1,20 + 2 \times 1,20 \sqrt{(1^2+1)}$$

$$= 4,594 \text{ m}$$

hidrolis (R):

$$R = A/P$$

$$= 2,64/4,594$$

$$= 0,574 \text{ m}$$

Kecepatan aliran:

Koefisien pengaliran *manning* untuk kondisi saluran beton halus sambung baik dan rata 0,014 sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0,014} \times (0,574)^{\frac{2}{3}} \times (0,0002)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,698 \text{ m/det}$$

$$= 0,698 \text{ m/det}$$

Perhitungan daya tampung debit saluran :

$$Q_s = V \times A$$

$$= 0,698 \times 2,640$$

$$= 1,843 \text{ m}^3/\text{det.}$$

Tabel 11 merupakan hasil dari perhitungan saluran drainase trapesium untuk menentukan debit dan kecepatan air pada saluran.

Tabel 11. Hasil perhitungan saluran sekunder eksisting kiri (trapesium).

| No | b (m) | h (m) | S | Luas permukaan (A) m ² | Keliling (P) m | Hidrolis (R) | Kecepatan (V) | Q _{Eksisting} (m ³ /det) |
|-------------|-------|-------|--------|-----------------------------------|----------------|--------------|---------------|--|
| 1 | 1,20 | 1,20 | 0,0002 | 2,640 | 4,594 | 0,575 | 0,698 | 1,843 |
| 2 | 1,20 | 1,20 | 0,0002 | 2,640 | 4,594 | 0,575 | 0,698 | 1,843 |
| 3 | 1,15 | 1,15 | 0,0002 | 2,473 | 4,403 | 0,562 | 0,688 | 1,700 |
| 4 | 1,10 | 1,10 | 0,0002 | 2,310 | 4,211 | 0,549 | 0,677 | 1,564 |
| 5 | 1,10 | 1,10 | 0,0002 | 2,310 | 4,211 | 0,549 | 0,677 | 1,564 |
| jumlah | | | | 12,373 | 22,013 | 2,808 | 3,438 | 8,514 |
| rata - rata | | | | 2,475 | 4,403 | 0,562 | 0,688 | 1,703 |

Dari hasil perhitungan dilakukan perbandingan $Q_{Eksisting}$ dan $Q_{Rasional}$ saluran drainase di Jl. Asrama Sei Kambing C-II dapat dilihat bahwa penampang saluran drainase kanan tipe persegi dan bagian kiri jalan dengan tipe trapesium tidak mampu menampung dan mengalirkan air pada seluruh periode kala ulang dengan menggunakan metode Mononobe. Akan tetapi, dengan metode Van Breen tipe drainase persegi mampu menampung aliran air dengan periode 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun di mana lebih layak digunakan dalam memenuhi debit banjir rencana dibandingkan tipe trapesium.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan perbandingan $Q_{Rasional}$ dan $Q_{Eksisting}$ saluran drainase tipe persegi dan trapesium dapat disimpulkan intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen lebih rendah dibandingkan metode Mononobe. Kapasitas drainase tipe persegi dengan intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen dapat memenuhi debit banjir rencana untuk periode kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun dengan $Q_{Rasional}$ masing-masing sebesar 2,561 m³/det, 2,869 m³/det, 2,475 m³/det, 3,073 m³/det, dan 3,114 m³/det, yaitu lebih kecil dari pada debit saluran drainase eksisting ($Q_{Eksisting}$) sebesar 3,893 m³/det. Sedangkan kapasitas drainase tipe trapesium tidak memenuhi debit banjir rencana untuk seluruh periode kala ulang. Dengan perhitungan intensitas curah hujan menggunakan metode Van Breen yang paling efektif adalah tipe penampang persegi untuk periode 2, 5, 10, 25, dan 50

tahun. Sedangkan hasil perhitungan dengan metode Mononobe tipe penampang saluran persegi dan trapesium tidak mampu mengalirkan aliran air jika terjadi intensitas curah hujan yang tinggi pada seluruh periode kala ulang. Oleh karena itu, perlu dilakukan penghimbau kepada masyarakat setempat agar dapat memelihara dan menjaga saluran drainase tetap bersih sehingga penampang saluran drainase yang ada tetap mampu menampung debit curah hujan. Selain itu, Pemerintah setempat perlu untuk melakukan perencanaan ulang kembali untuk saluran drainase yang sudah ada, dan memberikan tindakan tegas terhadap masyarakat yang membuang sampah sembarangan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Daftar Pustaka

- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362.
- Kodoatie, R. J. (2005). Pengantar Manajemen Infrastruktur (Edisi Revisi). *Yogyakarta: Pustaka Pelajar*.
- Lubis, A. H., & Terunajaya. (2013). Analisa Intensitas Curah Hujan Maksimum terhadap Kemampuan Drainase Perkotaan (Studi Kasus Drainase Jalan Sisingamangaraja Kota Sibolga). *Teknik Sipil*, 2(1), 1–9.
- Lubis, F. (2016). Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan

- Drainase Pemukiman di Kecamatan Kandis. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2(1), 34–46. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SIKLUS/article/view/293>
- Purba, N. A. H., Lukman, A., & Sarifah, J. (2021). Perbandingan Metode Mononobe dan Metode Van Breen untuk Pengukuran Intensitas Curah Hujan Terhadap Penampang Saluran Drainase. *Jurnal Buletin Utama Teknik*, 16(2), 119–125.
- Qarinur, M., Silitonga, E. M. R., Sibuea, D. T. A., & Rahayu, T. (2022). Evaluasi Neraca Air Daerah Irigasi Sei Belutu Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 89–100. <https://doi.org/10.29244/jstil.7.1.89-100>
- Sitohang, A., Siburian, M. T., Naibaho, R., Sitohang, O., & Sitindaon, C. (2022). Analisis Kapasitas Saluran Drainase Jalan Sisingamangaraja Kota Porsea. 3(1), 30–43.
- Soemarto, C. D. (1987). Hidrologi Teknik Edisi Ke - 2. Penerbit Erlangga, Jakarta., 23–34.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. In *ANDI Offset* (Vol. 7). ANDI Offset.
- Wesli. (2008). Drainase Perkotaan. In *Graha Ilmu*. Graha Ilmu.
- Zevri, A. (2019). STUDI PEMETAAN DAERAH GENANGAN BANJIR DAS SEI KAMBING DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS. *TERAS JURNAL*, 9(2), 165. <https://doi.org/10.29103/tj.v9i2.233>

Kajian Mutu Beton dengan Perbandingan *Mix Design* pada Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan

Rizky Pratama Budiman^{1,*}, Yudha Hanova¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia 20216

*penulis koresponden: r.pratamabudiman@gmail.com

Diterima: 3 September 2023; Disetujui: 3 Desember 2023

Abstrak

Kegiatan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan memerlukan anggaran yang cukup besar dalam pelaksanaannya. Hal ini dikarenakan banyaknya pekerjaan yang dilaksanakan pada Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan ini. Oleh karena itu adanya dasar keinginan untuk melakukan kegiatan minimalis anggaran biaya pada pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan yaitu dengan meminimalisir *mix design* pada fondasi *bored pile*. Terdapat beberapa faktor lain yang menjadi alasan dipilihnya kegiatan minimalis ini yaitu kegiatan minimalis dipilih karena terdapat *mix design* yang dianggap melebihi standar, serta dipilihnya fondasi *bored pile* karena jumlah fondasi *bored pile* yang digunakan pada pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan cukup besar. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dan memeriksa perubahan mutu beton setelah dilakukannya kegiatan minimalis *mix design* sebanyak 5%. Penelitian ini menggunakan 2 jenis benda uji yaitu kubus dan silinder yang masing-masing digunakan sebanyak 5 sampel. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan, hasil penelitian dari benda uji kubus belum memenuhi persyaratan standar beton K350 yaitu sebesar 31,2 MPa dikarenakan hasil benda uji kubus hanya sebesar 25,36 MPa, sedangkan pada benda uji silinder telah memenuhi persyaratan beton K350 dikarenakan memiliki mutu beton sebesar 33,18 MPa dan hasil benda uji silinder dapat memenuhi persyaratan minimalis *mix design* beton fondasi *bored pile* yang digunakan.

Kata Kunci: Fondasi, Minimalisir, Mutu Beton.

Abstract

Medan Merdeka Square Revitalization activities require a sizable budget in its implementation. This is due to the large amount of work being carried out on the Revitalization of Merdeka Square in the City of Medan. Therefore, there is a basic desire to carry out activities to minimize budget costs for the Medan Merdeka Field Revitalization work, namely by minimizing the *mix design* on *bored pile* foundations. There are several other factors that are the reason for choosing this minimization activity, namely the minimization activity is chosen because there is a *mix design* that is considered to exceed the standard, and the *bored pile* foundation is chosen because the number of *bored pile* foundations used in the Merdeka field revitalization work in Medan City is quite large. The purpose of this research is to find out and examine changes in concrete quality after minimizing the *mix design* by 5%. This study used 2 types of specimens, namely cubes and cylinders, each of which used 5 samples. Based on the results of the research and tests carried out, the results of the research on the cube test object did not meet the requirements of the K350 concrete standard, namely 31,2 MPa because the results of the cube test object were only 25,36 MPa, while the cylindrical test object met the K350 concrete requirements because it has concrete quality of 33,18 MPa and the results of the cylindrical test object can meet the requirements for minimizing the *mix design* of the *bored pile* foundation concrete use.

Keywords: Foundation, Minimize, Concrete Quality.

1. Pendahuluan

Alun-alun merupakan tanah lapang terbuka dan luas untuk umum berbentuk persegi empat mendekati bujur sangkar yang terletak di pusat kota (Ashadi, 2017). Ciri khas dari sebuah alun-alun adalah terletak di kediaman penguasa daerah dan sekelilingnya terdapat masjid, gedung,

pengadilan, penjara, pasar, toko-toko, kantor pos, halte kendaraan umum, dan fasilitas lainnya (Raap, 2017). Alun-alun juga merupakan aset kekayaan daerah yang bisa dijual sebagai objek pariwisata dan alun-alun tidak boleh kehilangan makna filosofinya sebagai warisan kekayaan budaya nasional (Arianto, 2013).

Proses pembangunan infrastruktur alun-alun kota di beberapa kota metropolitan sudah sangat berkembang. Hal ini dikarenakan perkembangan penduduk yang cukup pesat dan kebutuhan masyarakat akan sarana dan prasarana. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya agar kebutuhan penduduk terhadap fasilitas umum dapat terpenuhi. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan membuat alun-alun yang memiliki ruang yang dapat dimanfaatkan pada kondisi tertentu. Dengan pembangunan infrastruktur alun-alun kota yang baik diharapkan dapat menjadi sarana ruang terbuka bagi publik yang bertujuan untuk menunjang pelestarian dan pengamanan lingkungan alam.

Perencanaan pekerjaan revitalisasi yang mencakup banyak item pekerjaan membuat Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan memerlukan biaya yang cukup besar. Pemerintah Kota Medan mengeluarkan anggaran sebesar Rp313 Miliar untuk Revitalisasi Lapangan Merdeka Tahun 2023 (Aldi, 2023). Biaya ini digunakan untuk merealisasikan perencanaan yang telah direncanakan sebelumnya. Namun di balik perencanaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan yang baik untuk kemajuan Kota Medan itu sendiri, tidak sedikit masyarakat Kota Medan yang memberi kritikan tentang kegiatan revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan yang menggunakan anggaran yang cukup besar (Medan Talk Viral, 2022).

Masyarakat Kota Medan menganggap kegiatan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan terlalu menghabiskan anggaran daerah. Banyak masyarakat Kota Medan yang menyayangkan anggaran yang cukup besar digunakan untuk merevitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan. Mereka menganggap kegiatan revitalisasi Lapangan Merdeka bukan hal yang *urgent* untuk dilakukan, dan berpendapat bahwa sebaiknya lebih mementingkan kemaslahatan kebutuhan masyarakat. Di laman komentar tersebut masyarakat juga berkomentar bahwa anggaran untuk pekerjaan revitalisasi Lapangan Merdeka seharusnya digunakan untuk pekerjaan normalisasi drainase dan

sungai guna mengurangi resiko banjir yang sering terjadi di Kota Medan yang dianggap salah satu masalah yang lebih mendesak, serta memperbanyak perbaikan jalan yang merupakan fasilitas penting yang sering digunakan masyarakat Kota Medan (Ardi, 2023).

Masalah tersebut menimbulkan dasar pemikiran untuk melakukan kegiatan manajemen biaya pada pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan. Kegiatan manajemen dilakukan pada item pekerjaan yang dianggap bisa diminimalisir pekerjaannya namun masih sesuai dengan peraturan yang ditetapkan sebelumnya. Pada penelitian ini, item pekerjaan yang direncanakan dilakukannya kegiatan manajemen adalah campuran beton pada fondasi *bored pile*. Kegiatan manajemen ini didasari dari beberapa alasan yaitu, banyaknya fondasi *bored pile* yang digunakan pada pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan, yang berarti pada pekerjaan fondasi *bored pile* ini banyak menggunakan beton *ready mix* sebagai salah satu bahan utama dalam pembuatan fondasi *bored pile*. Kemudian penelitian ini juga didasari pada analisa *job mix design* salah satu *batching plant* yang digunakan pada pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan untuk pekerjaan fondasi *bored pile* yang dianggap melebihi standar campuran beton yang ditentukan oleh peraturan Standar Nasional Indonesia. Maka dari itu, *mix design* dari *batching plant* tersebut digunakan sebagai dasar kegiatan manajemen biaya yang dilakukan pada penelitian ini. Kegiatan meminimalisir *mix design* pada penelitian ini direncanakan sebesar 5% dari obyek studi penelitian. Nilai ini diambil berdasarkan analisa perbandingan *job mix design* yang digunakan pada *batching plant* sebagai obyek penelitian terhadap *job mix design* peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007) (Badan Standardisasi Nasional, 2007). Perbandingan antara *job mix design* tersebut tidak teralau signifikan maka dari itu kegiatan minimalisir *job mix design* beton pada penelitian ini diambil hanya sebesar 5%.

Beberapa analisis tentang perbandingan mutu beton dari berbagai *ready mix*

sebelumnya dilakukan pada evaluasi mutu beton berbagai *ready mix* pada proyek gedung parkir Yogyakarta *International Airport*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti meneliti dan merekayasa kembali *ready mix* yang digunakan pada proyek gedung parkir Yogyakarta *International Airport* dan melakukan pengujian kuat tekan beton silinder sesuai Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS) tahun 2019 yang dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari (Nurokhman dkk., 2021).

2. Metodologi

2.1. Lokasi Pengambilan Data dan Penelitian

Pengambilan data sekunder dilaksanakan pada Proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan yang berlokasi di

Jalan Kesawan, Kecamatan Medan Barat, Kota Medan, Sumatera Utara (Gambar 1). Lokasi proyek berada pada koordinat 3.590345° LU dan 98.67818° BT. Pembangunan Lapangan Merdeka Kota Medan yang bertujuan sebagai wajah baru alun-alun kota Medan memiliki banyak unsur pengerjaan, mulai dari infrastruktur, ruang terbuka hijau, serta sarana ekonomi yang bakal menjadi hal yang baik bagi masyarakat. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Perumahan Kawasan Permukiman dan Penataan Ruang (PKPPR) Kota Medan, revitalisasi yang dilakukan pada Proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan mencakup dua lantai *basement* yang tengah dibangun untuk menampung 425 lot parkir roda empat dan 381 lot parkir roda dua. *Basement* lantai 1 memiliki luas 20.290 m^2 , sedangkan luas *basement* lantai 2 (lantai dasar) sebesar 21.369 m^2 (Ardi, 2023).



Gambar 1. Lokasi pengambilan data penelitian.

Basement lantai 1 akan terdapat kantor polisi, kantor pengolahan cagar budaya, museum kota Medan dan *city planning gallery*. Di samping itu, Lapangan Merdeka Kota Medan juga akan memiliki area Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) sebanyak 8 unit dan area retail sebanyak 23 unit guna menunjang kegiatan ekonomi masyarakat Kota Medan. Selain itu, *basement* lantai 1 juga memiliki area parkir roda dua dan roda empat, mushola serta dilengkapi dengan toilet umum. Sedangkan *basement* lantai 2 akan terdapat *hall* Pemko Medan, *art gallery*, dan auditorium (*theater 2 studio*). Selain itu terdapat juga area UMKM untuk 8 unit dan areal *retail* untuk 25 unit, ruang pengelolaan sampah dan limbah, ruang utilitas genset, panel, kendali operasional gedung, dan mekanikal. Permukaan Lapangan Merdeka Kota Medan akan terdapat panggung rakyat berukuran 1.859,7 m², juga terdapat *jogging track* lebih kurang panjang 400 meter, lapangan olahraga *outdoor*, ruang terbuka publik, dan *skate park*. Kemudian akan terdapat taman, area bermain anak, *dry mountain waterplay*, serta Tugu Proklamasi yang ditata ulang agar kesan monumentalnya terasa kuat (Ardi, 2023).

Lokasi pengambilan data penelitian sebagai data primer penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton Kampus Universitas Harapan Medan, dengan benda uji sebanyak 10 sampel, yaitu 5 sampel benda uji kubus berukuran 15x15x15 cm dan 5 sampel benda uji silinder berukuran Ø15 x 30 cm.

2.2. Tahap Pengumpulan Data Penelitian

Pada tahap ini data diperoleh dari Pekerjaan Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan. Data yang diperoleh antara lain:

- Gambar rencana proyek.
- Data *job mix design* pada proyek.
- Data hasil kuat tekan beton sebagai dasar perbandingan mutu beton yang direncanakan proyek dengan hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium.

Pengumpulan data atau informasi dari pelaksanaan proyek sangat bermanfaat untuk mengkaji kuat tekan beton serta

digunakan sebagai data perbandingan terhadap data hasil penelitian yang akan dilaksanakan di dalam laboratorium. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

- Data primer merupakan data hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium. Data ini berupa foto, gambar pelaksanaan, data teknis berupa data beton dan pemeriksaan kuat tekan beton.
- Data sekunder merupakan data material, data *job mix design* serta data perencanaan fondasi *bored pile* yang digunakan pada proyek konstruksi. Data ini diperoleh dari kontraktor atau instansi terkait pelaksanaan proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan.

2.3. Tahap Analisis Data

Teknik analisis data merupakan suatu kegiatan pemeriksaan terhadap instrumen penelitian seperti dokumen, catatan, dan rekaman dalam suatu penelitian. Analisis data juga merupakan sebuah proses yang bersifat sistematis dalam mencari dan menyusun data yang telah didapatkan melalui dokumentasi, wawancara dan sebagainya. Tahap analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengkaji *mix design* dan data hasil kuat tekan beton yang didapatkan dari proyek konstruksi untuk mengetahui mutu beton sebagai data pembanding dari penelitian dengan menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007).
- Melakukan penelitian dari perencanaan *mix design* beton yang telah direncanakan dengan menggunakan 2 contoh benda uji yaitu kubus dan silinder dengan masing-masing 5 sampel beton yang akan diuji pada umur 28 hari untuk mendapatkan hasil kuat tekan dan mutu beton.
- Membandingkan kedua data yang telah diperoleh, yaitu data dari proyek konstruksi dan data hasil laboratorium untuk memeriksa perubahan kuat tekan dari hasil penelitian laboratorium. Kuat tekan hasil penelitian laboratorium adalah hasil kuat tekan dari kegiatan

minimalisir *mix design* proyek konstruksi sebesar 5%.

2.4. Tahap Pemeriksaan Data

Pemeriksaan Mutu Beton dengan sistem ini berdasarkan tabel yang telah ditetapkan pada Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007). Perbandingan mutu beton karakteristik dan satuan MPa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat halus.

| Mutu Beton (K) | Mutu Beton (MPa) |
|----------------|------------------|
| K 100 | 7.4 |
| K 125 | 9.8 |
| K 150 | 12.2 |
| K 175 | 14.5 |
| K 200 | 16.9 |
| K 225 | 19.3 |
| K 250 | 21.7 |
| K 275 | 24.0 |
| K 300 | 26.4 |
| K 325 | 28.8 |
| K 350 | 31.2 |

Pemeriksaan mutu beton juga dilakukan dengan penerimaan mutu beton untuk benda uji yang dirawat di laboratorium yang disyaratkan SNI 03-2847-2002 (Badan Standardisasi Nasional, 2002) dengan persyaratan sebagai berikut:

- Rata-rata dari 3 (tiga) nilai kuat tekan atau mutu beton benda uji yang berurutan tidak ada boleh ada yang kurang dari nilai $f'c$ rencana.
- Rata-rata dari 2 (dua) nilai kuat tekan atau mutu beton benda uji yang berurutan tidak boleh kurang dari nilai ($f'c - 3,5$ MPa).

3. Hasil

3.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat sangat diperlukan dalam pembuatan beton, pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui sifat karakteristik agregat yang diperoleh dari alam atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Pemeriksaan agregat juga dimaksud untuk menentukan pembagian butir agregat (gradasi) agregat halus dan kasar serta untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat, berat volume agregat, analisa saringan, gradasi agregat, serta kadar air suatu agregat yang digunakan. Pemeriksaan pada agregat halus dan agregat kasar yang berasal dari alam yaitu yang diperoleh dari sungai Wampu Binjai sesuai dengan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat halus (Simanjuntak dkk., 2021).

| No | Pengujian | Satuan | Agregat Halus | Keterangan |
|----|---------------------|--------------------|---------------------------|------------|
| 1 | Zat organik | - | Standar No.3 (kuning tua) | Memenuhi |
| 2 | Berat jenis (SSD) | - | 2,60 | Memenuhi |
| 3 | Berat isi | gr/cm ³ | 1,455 | Memenuhi |
| 4 | Penyerapan air | % | 1,799 | Memenuhi |
| 5 | <i>Fine modulus</i> | - | 2,69 | Memenuhi |
| 6 | Kadar air | % | 3,53 | Memenuhi |
| 7 | Kadar Lumpur | % | 3,075 | Memenuhi |

Tabel 3. Hasil pemeriksaan agregat kasar (Simanjuntak dkk., 2021).

| No. | Pengujian | Satuan | Agregat Kasar | | Hasil | Keterangan |
|-----|---------------------|--------------------|---------------|-----------|-------------------|------------|
| | | | Batu Pecah | Batu Guli | | |
| | Ukuran max | mm | 40 | | Ditetapkan | |
| 1 | Berat jenis (SSD) | - | 2,66 | 2,74 | 2,58 – 2,83 | memenuhi |
| 2 | Berat isi | gr/cm ³ | 1,52 | 1,68 | 1,4 – 1,9 | memenuhi |
| 3 | Penyerapan air | % | 2,23 | 1,77 | < 3 | memenuhi |
| 4 | <i>Fine modulus</i> | - | 7,31 | 6,94 | 5,1 – 7,8 | memenuhi |
| 5 | Kadar air | % | 3,5 | 3 | 3 -5 | memenuhi |
| 6 | Kadar Lumpur | % | 0,65 | 0,87 | < 1 | memenuhi |
| 7 | Keausan | % | 16,75 | 11,95 | < 20 | memenuhi |

3.2. Hasil Minimalisir *Mix Design*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan memeriksa perubahan dan perbandingan kuat tekan benda uji antara data sekunder penelitian terhadap data hasil penelitian yang disebabkan oleh kegiatan minimalisir *job mix design* yang telah direncanakan sebelumnya. Kegiatan minimalisir *job mix design* dilakukan sebesar 5% dari data sekunder penelitian yaitu *job mix design* pada *project requirement* Proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan. *Data job mix design* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data *job mix design* hasil penelitian.

| Material | Indeks |
|----------------|---------|
| Semen (kg) | 427.5 |
| Pasir (kg) | 691.6 |
| Split 2-3 (kg) | 691.6 |
| Split 1-2 (kg) | 345.8 |
| Air (ltr) | 158.175 |
| Retarder (ltr) | 1.2825 |

3.3. Hasil Kuat Tekan Aktual

Pemeriksaan kuat tekan beton pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban tekan aktual yang diterima oleh benda uji hasil penelitian, hasil dari pemeriksaan kuat tekan benda uji penelitian ini kemudian dibandingkan dengan data hasil pemeriksaan kuat tekan benda uji data sekunder penelitian untuk mengetahui perbandingan dan kelayakan benda uji penelitian terhadap kuat tekan yang telah direncanakan. Data kuat tekan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemeriksaan kuat tekan beton hasil penelitian.

| No Sampel | Benda Uji Kubus (kN) | Benda Uji Silinder (kN) |
|-----------|----------------------|-------------------------|
| Sampel 1 | 570 | 592.5 |
| Sampel 2 | 622.5 | 652.5 |
| Sampel 3 | 570 | 547.5 |
| Sampel 4 | 510 | 577.5 |
| Sampel 5 | 595 | 562.5 |

3.4. Hasil Pemeriksaan Mutu Beton

Pemeriksaan mutu beton pada penelitian ini ditujukan untuk memeriksa mutu beton

berdasarkan hasil pemeriksaan kuat tekan yang telah dilakukan, serta membandingkan mutu beton antara data skunder penelitian dengan kuat tekan hasil penelitian yang akan menjadi jawaban dari permasalahan serta tujuan penelitian yang telah direncanakan. Data perhitungan mutu beton disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan mutu beton benda uji hasil penelitian.

| No Sampel | Benda Uji Kubus (MPa) | Benda Uji Silinder (MPa) |
|-----------|-----------------------|--------------------------|
| Sampel 1 | 25 | 33.5 |
| Sampel 2 | 27.7 | 36.9 |
| Sampel 3 | 25 | 31 |
| Sampel 4 | 22.7 | 32.7 |
| Sampel 5 | 26.4 | 31.8 |

4. PEMBAHASAN

4.1. Perbandingan Data *Job Mix Design*

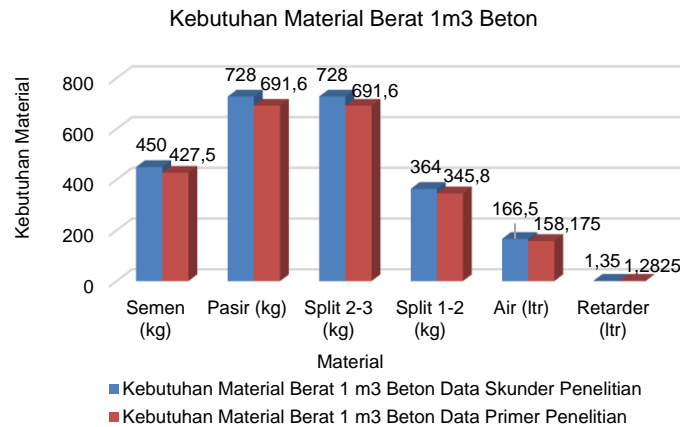
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan memeriksa perubahan dan perbandingan kuat tekan benda uji antara data sekunder penelitian terhadap data hasil penelitian yang disebabkan oleh kegiatan minimalisir *job mix design* yang telah direncanakan sebelumnya. Kegiatan minimalisir yang *job mix design* dilakukan sebesar 5% dari data skunder penelitian yaitu *job mix design* pada *project requirment* Proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Kota Medan. Perbandingan *job mix design* data sekunder penelitian dengan *job mix design* hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan *job mix design* penelitian.

| Komposisi Material Beton | Data Sekunder Penelitian | Data Primer Penelitian |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Semen (kg) | 450 | 427.5 |
| Pasir (kg) | 728 | 691.6 |
| Split 2-3 (kg) | 728 | 691.6 |
| Split 1-2 (kg) | 364 | 345.8 |
| Air (ltr) | 166.5 | 158.175 |
| Retarder (ltr) | 1.35 | 1.2825 |

Kebutuhan *job mix design* data primer penelitian adalah hasil minimalisir sebesar 5% dari *job mix design* data sekunder penelitian. Data perbandingan *job mix*

design antara data sekunder penelitian dengan data primer penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan *job mix design*.

4.2. Perbandingan Kuat Tekan Aktual

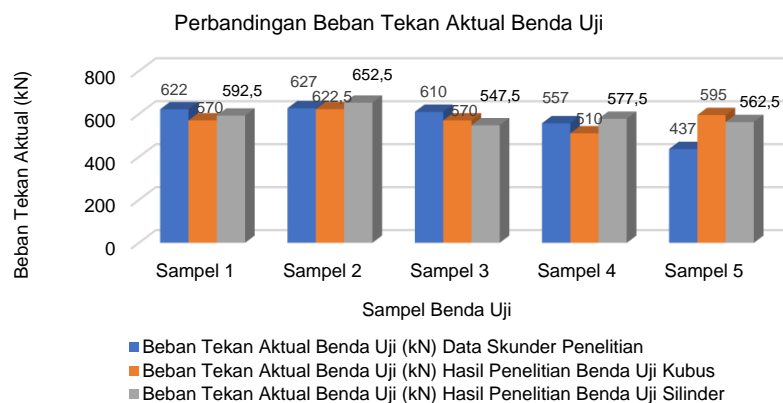
Pemeriksaan kuat tekan pada penelitian ini ditujukan untuk memeriksa beban tekan aktual yang dapat diterima benda uji dari hasil campuran beton yang telah direncanakan serta membandingkan kuat tekan antara kuat tekan data sekunder penelitian dengan kuat tekan hasil penelitian yang dilakukan dengan dua jenis benda uji, yaitu benda uji kubus dengan benda uji silinder. Data hasil pemeriksaan

kuat tekan benda uji dapat dilihat pada Tabel 8.

Dari data hasil pemeriksaan kuat tekan pada Tabel 8. hasil dari pemeriksaan, kuat tekan beton memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan antara data sekunder penelitian dengan data hasil penelitian baik pada benda uji kubus ataupun benda uji silinder. Perbandingan kuat tekan beton data sekunder penelitian dengan hasil penelitian dua jenis benda uji disajikan pada Gambar 3.

Tabel 8. Perbandingan kuat tekan aktual penelitian.

| No Sampel | Data Sekunder Penelitian (kN) | Data Primer Benda Uji Kubus (kN) | Data Primer Benda Uji Silinder (kN) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Sampel 1 | 622 | 570 | 592.5 |
| Sampel 2 | 627 | 622.5 | 652.5 |
| Sampel 3 | 610 | 570 | 547.5 |
| Sampel 4 | 557 | 510 | 577.5 |
| Sampel 5 | 437 | 595 | 562.5 |



Gambar 3. Diagram perbandingan kuat tekan penelitian.

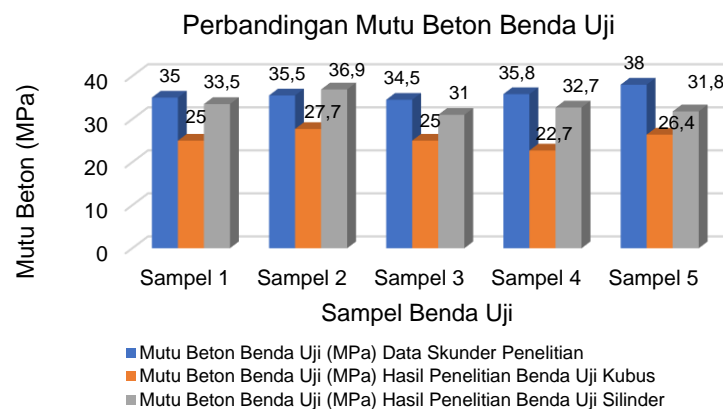
4.3. Perbandingan Mutu Beton Benda Uji

Pemeriksaan mutu beton pada penelitian ini ditujukan untuk memeriksa mutu beton berdasarkan hasil pemeriksaan kuat tekan yang telah dilakukan, serta membandingkan mutu beton antara data sekunder penelitian dengan kuat tekan hasil penelitian yang akan menjadi jawaban dari permasalahan serta tujuan penelitian yang telah direncanakan sebelumnya. Data perbandingan mutu beton antara data sekunder dan data hasil penelitian dapat

dilihat pada Tabel 9. Dari data Tabel 9 diketahui bahwa mutu beton dari hasil penelitian benda uji kubus belum memenuhi persyaratan sebagai beton K350 yang disyaratkan, sedangkan hasil pemeriksaan mutu beton silinder memenuhi persyaratan sebagai mutu beton K350 yang di syaratkan oleh Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007). Data perbandingan mutu beton setiap data percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 9. Perbandingan mutu beton benda uji penelitian.

| No Sampel | Data Sekunder Penelitian (MPa) | Data Primer Benda Uji Kubus (MPa) | Data Primer Benda Uji Silinder (MPa) |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Sampel 1 | 35 | 25 | 33.5 |
| Sampel 2 | 35.5 | 27.7 | 36.9 |
| Sampel 3 | 34.5 | 25 | 31 |
| Sampel 4 | 35.8 | 22.7 | 32.7 |
| Sampel 5 | 38 | 26.4 | 31.8 |



Gambar 4. Diagram perbandingan mutu beton.

5. Kesimpulan

Hasil pemeriksaan mutu beton pada benda uji kubus masih belum sesuai rencana desain karena belum mencapai persyaratan pada Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007) yaitu sebesar 31,2 MPa, karena hanya mendapatkan mutu beton rata-rata sebesar 25,36 MPa dan hasil pemeriksaan mutu beton pada benda uji silinder sebesar 33,18 MPa dianggap sudah memenuhi persyaratan pada Standar Nasional Indonesia (SNI DT-91-0008-2007) yaitu sebesar 31,2 MPa dan telah memenuhi persyaratan evaluasi dan penerimaan mutu beton untuk benda uji yang dirawat di laboratorium yang disyaratkan Standar

Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002). Perbedaan mutu beton terjadi dikarenakan perbedaan dimensi benda uji dan mungkin terjadi akibat kurangnya ketelitian dalam pemeriksaan alat-alat dalam kegiatan penelitian.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, pada dasarnya berjalan dengan baik. Namun diharapkan kepada peneliti selanjutnya lebih memperdalam kembali mengenai faktor-faktor tentang kegiatan penelitian tentang manajemen volume *mix design* beton dan diharapkan kepada pelaksana proyek lebih memperhatikan tentang manajemen bahan guna menjaga optimalisasi biaya pada suatu pekerjaan bila diperlukan ke depannya.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Daftar Pustaka

- Aldi, N. (2023). *Pemkot Medan Habiskan Rp 313 M untuk Revitalisasi Lapangan Merdeka di 2023*. detik. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-6506485/pemkot-medan-habiskan-rp-313-m-untuk-revitalisasi-lapangan-merdeka-di-2023>
- Ardi. (2023). *Pemko Medan Akan Siapkan Bioskop Di Lapangan Merdeka*. medantalk. <https://medantalk.com/pemko-medan-akan-siapkan-bioskop-di-lapangan-merdeka-dukung-perfilman-lokal-wali/>
- Arianto, R. A. (2013). Perubahan Tata Ruang dan Sosial Alun-Alun Semarang Tahun 1967-1972. *Unnes*, 2(6), 1–6. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijhe>
- Ashadi. (2017). Alun-Alun Kota Jawa. In A. Ghazi (Ed.), *Arsitektur UMJ Press* (1 ed., Nomor September). Arsitektur UMJ Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2007). *Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*. SNI DT-91-0008-2007.
- Medan Talk Viral. (2022). *Revitalisasi Lapangan Merdeka / Merdeka Walk Sedang Berlangsung*. medantalk. <https://medantalk.com/revitalisasi-lapangan-merdeka-merdeka-walk-sedang-berlangsung-apa-kenangan-terindah-yang/>
- Nurokhman, N., Suharyanto, I., & Rochmawati, U. (2021). Evaluasi Mutu Beton Dari Berbagai Ready Mix Pada Gedung Parkir Yogyakarta International Airport. *CivETech*, 3(2), 55–65. <https://doi.org/10.47200/civetechn.v3i2.1058>
- Raap, O. J. (2017). *Kota Di Djawa Tempo Doeloe*. Kepustakaan Populer Gramedia. <https://books.google.co.id/books?id=BrQ8DwAAQBAJ>
- Simanjuntak, J. O., Sidabutar, R. A., Pasaribu, H., Saragi, Y. R. R., & Sitorus, S. (2021). Sifat Dan Karakteristik Campuran Beton Menggunakan Batu Pecah Dan Batu Guli Dari Sungai Binjai. *Jurnal Visi Eksakta*, 2(2), 239–254. <https://doi.org/10.51622/eksakta.v2i2.397>

[This page is intentionally left blank]

Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal serta Penataannya pada Simpang Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi menggunakan Program PTV Vissim

Jasman Sembiring¹, Hamidun Batubara^{1,*}, Dody Taufik Absor Sibuea¹, Ernesto Maringan Ramot Silitonga¹

¹Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, Indonesia 20221

*penulis koresponden: bhamidunbbarakelas@gmail.com

Diterima: 12 Oktober 2023; Disetujui: 8 Desember 2023

Abstrak

Simpang tidak bersinyal tiga lengan Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi merupakan simpang yang sering terdapat konflik antar kendaraan yang disebabkan tidak adanya penataan yang baik di sekitaran simpang yang membuat kondisi lalu lintas tidak teratur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang kondisi eksisting dan melakukan evaluasi sehingga dapat diberikan solusi serta penataan untuk meningkatkan kinerja simpang tidak bersinyal tiga lengan Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi menggunakan program PTV-Vissim. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif dengan metode survei langsung untuk mengumpulkan data primer, dan data sekunder. Setelah dilakukan penelitian dan pengolahan data, diketahui bahwa jam puncak tertinggi terjadi pada hari Senin, 21 Maret 2022 pukul 08.00 - 09.00 WIB dengan volume kendaraan kondisi eksisting 4986 kendaraan/jam, panjang antrian rata-rata 125 meter, tingkat pelayanan rata-rata mendapatkan nilai *Level of Service E* (LOS_E), nilai tundaan kendaraan rata-rata 40 detik, derajat kejenuhan 1,28 (macet). Kondisi setelah dilakukan penataan jalan berupa pelebaran jalan pada pendekatan jalan karya wisata dengan lebar 5,4 meter menjadi 10,7 meter diperoleh hasil panjang antrian rata-rata 2 meter, tingkat pelayanan rata-rata menjadi LOS_A, nilai tundaan 5 detik, dan derajat kejenuhan 0,44 (lancar). Prediksi kondisi 5 tahun ke depan diperoleh panjang antrian 19 meter, tingkat pelayanan rata-rata menjadi LOS_C, nilai tundaan 17 detik, derajat kejenuhan 0,56 masuk dalam kategori lancar mendekati ramai lancar. Dapat disimpulkan bahwa pemilihan pelebaran jalan sebagai penataan untuk memperbaiki kinerja simpang berhasil namun tidak dapat bertahan lama seiring dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,83% setiap tahunnya sehingga perlu dicari opsi perbaikan lainnya.

Kata Kunci: Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas, *Level of Service*, Persimpangan.

Abstract

Three-leg unsignalized intersection Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi is an intersection where conflicts often occur between different vehicles, there is no good arrangement around the intersection which makes traffic conditions irregular. This study aims to analyze the performance of the intersection of existing conditions and evaluate it so that solutions and arrangements can be given to improve the performance of the three-arm unsignalized intersection of Jalan Karya Wisata – Jalan Eka Rasmi using the PTV-VISSIM program. This research uses quantitative research with direct survey method to collect primary data, secondary data. After doing research and data processing, it is known that the highest peak hour is on Monday, March 21, 2022 at 08.00 - 09.00 WIB with the volume of vehicles being 4986 vehicles/hour, the average queue length is 125 meters, the average service level gets a LOS_E value, the average vehicle delay value is 40 seconds, the degree of saturation is 1.28 (defective). Conditions after road structuring in the form of road widening on the road work approach with a width of 5.4 meters to 10.7 meters obtained an average queue length of 2 meters, the average service level becomes LOS_A, the delay value is 5 seconds, the degree of saturation is 0,44 (fluent). Prediction of the condition for the next 5 years is obtained. The queue length is 19 meters, the average service level is LOS_C, the delay value is 17 seconds, the saturation degree is 0.56. It can be concluded that the selection of road widening as an arrangement to improve intersection performance is successful but cannot last long along with traffic growth of 4.83% each year so it is necessary to look for other improvement options.

Keywords: Traffic engineering management, *Level of Service*, Intersection.

1. Pendahuluan

Persoalan transportasi merupakan masalah yang umum terjadi di setiap kota-kota besar, yang disebabkan oleh persoalan transportasi yang terus berkembang seiring dengan pertumbuhan dari suatu wilayah perkotaan. Pada jalan perkotaan, meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya guna pemenuhan kepentingan manusia akan berdampak pada kemacetan (Morlok, 1988). Infrastruktur jalan yang sangat terbatas dibarengi dengan kinerja fasilitas yang belum optimal serta kurangnya disiplin dalam berlalu lintas para pengguna jalan juga berperan dalam peningkatan permasalahan lalu lintas.

Kota Medan adalah kota terbesar di Sumatera Utara dengan tingkat aktivitas yang tinggi, hal tersebut berpengaruh terhadap aktivitas pergerakan yang tinggi. Besarnya aktivitas pergerakan tersebut merupakan salah satu faktor utama kemacetan di Kota Medan. Kemacetan lalu lintas juga berakibat negatif, seperti polusi udara meningkat, tingkat kecelakaan dan lain lain, sehingga menjadi sangat berpengaruh terhadap kenyamanan masyarakat. Kemacetan lalu lintas di Kota Medan sendiri kerap terjadi di beberapa titik persimpangan.

Sistem Jaringan Jalan merupakan satu kesatuan ruas jalan yang saling menghubungkan dan mengikat pusat kegiatan/pusat pertumbuhan, dan simpul transportasi dengan wilayah yang berada dalam pengaruh pelayanannya dalam satu hubungan hierarkis (UU RI No. 2 Tahun 2022). Dimana pada sistem jaringan jalan terdapat simpang, yaitu titik dimana bertemunya arus kendaraan dari berbagai ruas jalan yang berbeda dan merupakan tempat di mana kendaraan melakukan perubahan arah pergerakan lalu lintas (MKJI, 1997). Namun seiring dengan perkembangan zaman di mana pertumbuhan kendaraan yang sangat tinggi dan tidak diimbangi dengan peningkatan prasarana jalan membuat

simpang tak bersinyal tidak berfungsi sebagaimana mestinya yang berdampak pada terjadinya kemacetan. Seperti yang terjadi pada simpang tak bersinyal 3 Lengan JL. Karya Wisata – JL. Eka Rasmi yang merupakan salah satu simpang yang sering terjadi kemacetan khususnya pada jam jam puncak, simpang tersebut terletak pada daerah pemukiman dan perbelanjaan yang mengakibatkan tingginya aktivitas di sekitarnya.

Simpang tak bersinyal JL. Karya Wisata – JL. Eka Rasmi merupakan simpang 3 lengan yang kerap terjadi konflik antar kendaraan pada setiap lajur pada pendekatnya, serta kurangnya penataan di sekitaran simpang tersebut yang menyebabkan ketidakteraturan kondisi lalu lintasnya. Kondisi tersebut dapat diantisipasi dengan menerapkan manajemen dan rekayasa lalu lintas, yaitu serangkaian usaha dan kegiatan yang meliputi perencanaan, pengadaan, pemasangan, pengaturan, dan pemeliharaan fasilitas perlengkapan jalan dalam rangka mewujudkan, mendukung dan memelihara keamanan, keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas (UU RI No. 22 Tahun 2009, 2009). Berdasarkan uraian yang disebutkan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang kondisi eksisting dan melakukan evaluasi terhadap simpang tak bersinyal 3 lengan JL. Karya Wisata - JL. Eka Rasmi dengan menggunakan perangkat lunak PTV Vissim (*Student Version*), sehingga dapat diberikan solusi serta penataannya untuk peningkatan kinerja simpang serta perbaikan penerapan perbaikan yang dibutuhkan guna memperlancar arus kendaraan. Adapun evaluasi yang dilakukan untuk penataan simpang adalah pelebaran ruas jalan.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Definisi Persimpangan

Persimpangan adalah ruang dimana bertemunya atau persilangan dari dua atau lebih ruas jalan. Persimpangan umumnya

terdiri dari simpang sederhana yaitu pertemuan dua ruas jalan sampai persimpangan kompleks yang terdapat pertemuan beberapa ruas jalan. Menurut Hobbs (1995), persimpangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua sistem jalan. Ketika berkendara di dalam kota, orang dapat melihat bahwa kebanyakan jalan di daerah perkotaan biasanya memiliki persimpangan, di mana pengemudi dapat memutuskan untuk jalan terus atau berbelok dan pindah jalan.

2.2. Simpang Tak Bersinyal

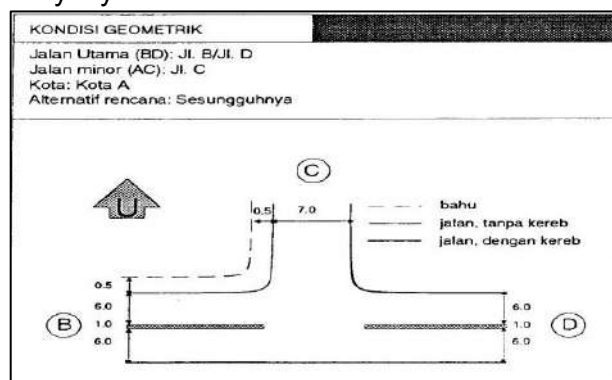
Pengendalian untuk simpang tak bersinyal didasarkan oleh aturan dasar lalu lintas Indonesia yakni pemberian jalan untuk kendaraan dari sebelah kiri. Parameter kinerja simpang tak bersinyal yaitu:

1. Kapasitas
2. Derajat kejenuhan
3. Peluang antrian.
4. Tundaan.

2.3. Data Masukan Analisis Simpang Tidak Bersinyal

2.3.1. Kondisi Geometrik

Kondisi geometrik memuat informasi diantaranya bahu jalan, median, lebar jalur lalu lintas efektif, dan kerib. Gambar 1 menunjukkan contoh bagian geometrik jalan untuk sketsa data masukan geometrik di mana lebar jalur lalu lintas efektif 7,0 m dengan lebar bahu jalan 0,5 m tanpa kerib yang dilengkapi dengan median selebar 1,0 meter.

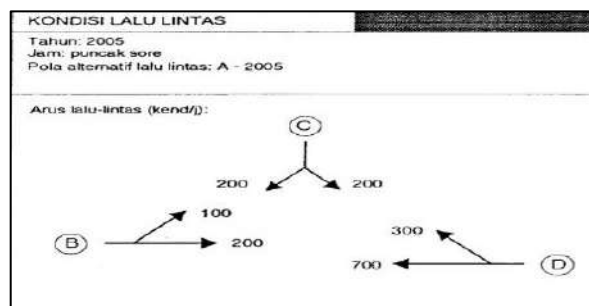


Gambar 1. Contoh sketsa data masukan geometri (MKJI, 1997).

2.3.2. Kondisi Lalu Lintas

Analisa mengenai kondisi lalu lintas ditentukan oleh tingkat arus atau lalu lintas harian rata-rata tahunan dengan faktor K untuk konversi Lintas Harian Rata-rata menjadi arus per jam. Gambaran tentang arus lalu lintas diperlukan untuk perencanaan perubahan sistem pengaturan simpang.

Gambar 2 menampilkan contoh sketsa arus lalu lintas pada simpang dengan 3 lengan untuk tiap pergerakan arus kendaraan (kend/jam) pada setiap lengannya. Sebagai contoh diambil lengan simpang B dengan pergerakan arus lalu lintas belok kiri sebesar 100 kend/jam dan pergerakan arus lalu lintas lurus sebesar 200 kend/jam.



Gambar 2. Contoh sketsa arus lalu lintas (MKJI, 1997).

2.3.3. Kondisi Lingkungan

Informasi berkaitan dengan kondisi lingkungan dibutuhkan guna pengisian formulir USIG-II ANALISA (unsignalized-II atau formulir simpang tak bersinyal).

a. Kelas Ukuran Kota

Faktor ini hanya dipengaruhi oleh variabel besar kecilnya jumlah penduduk dalam juta. Tabel 1 memperlihatkan kelas ukuran kota yang ditentukan berdasarkan jumlah penduduknya (satuan juta jiwa).

Tabel 1. Kelas ukuran kota (MKJI, 1997).

| Ukuran Kota | Jumlah Penduduk (Juta) |
|--------------|------------------------|
| Sangat Kecil | < 0,1 |
| Kecil | 0,1 – 0,5 |
| Sedang | 0,5 – 1,0 |
| Besar | 1,0 – 3,0 |
| Sangat Besar | 3,0 |

b. Kelas Hambatan Samping

Akibat adanya aktivitas di samping jalan akan berdampak terhadap hambatan samping, contohnya pejalan kaki atau penyeberang jalan, naik atau turun penumpang angkutan umum, keluar masuk kendaraan serta parkir pada badan jalan.

2.3.4. Arus Lalu Lintas (Q)

Pada perhitungan kapasitas, digunakan arus lalu lintas tertinggi per jamnya dengan interval 15 menit. Arus kendaraan merupakan tiap pergerakan kendaraan per

jam yang dianalisa sebagai persentase mobil penumpang.

$$Q_{smp} = Q_{kend} \times emp_{LV} + Q_{kend} \times emp_{HV} + Q_{kend} \times emp_{MC} \tag{1}$$

dengan Q_{smp} adalah total arus (smp/jam), Q_{kend} adalah arus lalu lintas tiap simpang (smp/jam), dan emp adalah ekivalensi mobil penumpang (KR=1, KB=1,3 dan SM=0,5).

2.3.5. Lebar Pendekat Jalan Rata - Rata

Untuk jalan utama dan minor, lebar pendekat rata-rata dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut:

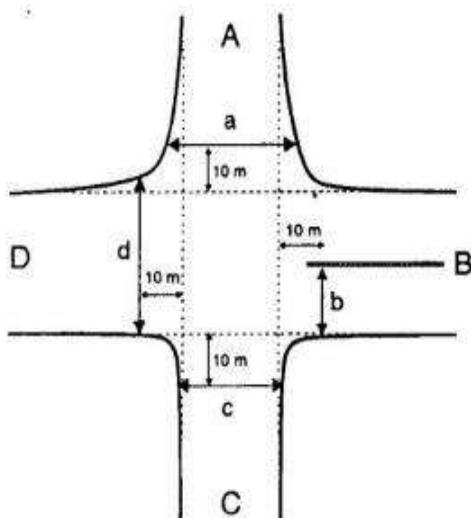
$$W_{AB} = (W_A + W_B) \tag{2}$$

dengan lebar pendekat rata-rata seluruh simpang:

$$W_1 = (W_A + W_C + W_B) \tag{3}$$

dengan W_{AB} adalah rata-rata lebar pendekat jalan mayor, W_C adalah rata-rata lebar pendekat minor, dan W_1 adalah rata-rata lebar pendekat jalan utama.

Pada Gambar 3 ditunjukkan contoh lebar pendekat masing-masingnya untuk simpang dengan empat lengan. Dengan rata-rata lebar pendekat utama $WB_{BD B} = \frac{(b+d)}{2}$ dan lebar rata-rata pendekat minor $WB_{AC B} = \frac{(a/2+c/2)}{2}$



| Lebar rata-rata pendekat minor dan utama W_{AC}, W_{BD} | Jumlah lajur (total untuk kedua arah) |
|---|---------------------------------------|
| $WB_{BD B} = (b+d/2)/2 < 5,5$ | 2 |
| $\geq 5,5$ | 4 |
| $WB_{AC B} = (a/2+c/2)/2 < 5,5$ | 2 |
| $\geq 5,5$ | 4 |

Gambar 3. Lebar pendekat rata-rata (MKJI, 1997).

2.3.6. Jumlah Lajur dan Tipe Simpang

Untuk penentuan jumlah lajur diperoleh dari rata-rata lebar pendekat jalan pada jalan mayor. Sementara pada penentuan banyaknya lengan diperoleh dari tipe simpang.

2.3.7. Kapasitas Simpang Tak Bersinyal

a. Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas dasar adalah total kapasitas simpang pada kondisi yang ditentukan (kondisi dasar). Penentuan kapasitas dasar diperoleh dari tipe simpang yang mana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kapasitas dasar (C_0) (MKJI, 1997).

| Tipe Simpang (IT) | Kapasitas dasar (smp/jam) |
|-------------------|---------------------------|
| 322 | 2700 |
| 342 | 2900 |
| 324 atau 344 | 3200 |
| 422 | 2900 |
| 424 atau 444 | 3400 |

b. Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (F_w)

Lebar masuk simpang digunakan untuk menentukan faktor penyesuaian lebar pendekat (F_w) dimana lebar masuk simpang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor penyesuaian lebar pendekat (F_w) (MKJI, 1997).

| Tipe simpang | Faktor penyesuaian lebar pendekat (F_w) |
|--------------|---|
| 422 | $0,7 + 0,0866 W_1$ |
| 424 atau 444 | $0,61 + 0,074 W_1$ |
| 322 | $0,73 + 0,076 W_1$ |
| 324 | $0,62 + 0,0646 W_1$ |
| 342 | $0,0698 W_1$ |

c. Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama (F_M)

Tipe median jalan digunakan untuk penentuan faktor penyesuaian median jalan utama. Tabel 4 menunjukkan pemilihan faktor koreksi jalan utama yang didasari oleh ada atau tidaknya median serta tipe median yang ditemukan.

Tabel 4. Faktor penyesuaian median jalan utama (F_M) (MKJI, 1997).

| Uraian | Tipe Median | Faktor penyesuaian median (F_M) |
|--|-------------|-------------------------------------|
| Tidak ada median jalan utama | Tidak ada | 1,00 |
| Ada median jalan utama, lebar < 3 m | Sempit | 1,05 |
| Ada median jalan utama, lebar \geq 3 m | Lebar | 1,20 |

d. Kapasitas (C)

Kapasitas persimpangan dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$C = C_0 \times F_w \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI} \quad (\text{smp/jam}) \quad (4)$$

dengan C adalah kapasitas (smp/jam), C_0 adalah Kapasitas dasar (smp/jam), F_w adalah faktor penyesuaian lebar masuk, F_M adalah faktor penyesuaian tipe median jalan, F_{CS} adalah faktor penyesuaian ukuran kota, F_{RSU} adalah faktor koreksi kendaraan tak bermotor dan hambatan samping dan lingkungan jalan, F_{LT} adalah faktor koreksi belok kiri, F_{RT} adalah koreksi belok kanan, dan F_{MI} adalah faktor koreksi rasio arus jalan simpang.

2.3.8. Kinerja Lalu Lintas

Menurut Hendarto dkk. (2001), kinerja jalan merupakan ukuran kuantitas dan kualitas yang mengijinkan kecukupan dan kualitas pelayanan kendaraan dengan fasilitas jalan yang ada. Dimana kinerja lalu lintas adalah ukuran kuantitatif untuk kondisi operasional fasilitas, serta perilaku lalu lintas secara umum ditunjukkan dalam kapasitas, derajat kejenuhan dan tundaan peluang antrian. Berkaitan dengan kinerja lalu lintas, tingkat pelayanan berhubungan dengan kecepatan operasional atau fasilitas jalan, yang tergantung pada perbandingan antara arus terhadap kapasitas, oleh sebab itu, tingkat pelayanan pada suatu jalan tergantung pada arus lalu lintas (Tamin, 2000).

a. Derajat Kejenuhan (*DS*)

Derajat kejenuhan merupakan rasio arus berbanding dengan kapasitas. Sementara untuk perhitungan derajat kejenuhan simpang yaitu perbandingan dari arus lalu lintas total dalam smp per jam dengan besarnya kapasitas simpang dalam smp per jam.

$$DS = Q_{TOT} / C \quad (5)$$

dengan *DS* adalah derajat kejenuhan, *C* adalah kapasitas (smp/jam), dan *Q_{TOT}* adalah jumlah arus total pada simpang (smp/jam).

Derajat kejenuhan selanjutnya akan diinterpretasikan dalam *Level of Service* (LoS) yaitu tingkat pelayanan jalan. Tingkat pelayanan (LoS) untuk persimpangan ditentukan oleh perhitungan atau penundaan pengendalian yang diukur dan ditentukan untuk setiap pergerakan pada masing-masing pendekat (Transportation Research Board, 2010).

b. Tundaan

Tundaan merupakan total waktu rata-rata terhambatnya kendaraan ketika melintas pada suatu persimpangan. Terjadinya hambatan disebabkan oleh kendaraan yang berhenti akibat antrian di simpang sampai kendaraan keluar dari simpang yang diakibatkan tidak memadainya kapasitas.

2.4. Program VISSIM (*Visual Simulation*)

VISSIM merupakan alat bantu atau perangkat lunak simulasi lalu lintas untuk keperluan rekayasa lalu lintas, perencanaan transportasi, waktu sinyal, angkutan umum serta perencanaan kota yang bersifat mikroskopis dalam aliran lalu lintas multi – moda yang diterjemahkan secara visual dan dikembangkan pada tahun 1992 oleh salah satu perusahaan IT di negara Jerman (Dheby, 2016). Setelah menginput parameter input maka akan dihasilkan parameter *output* antara lain (VISSIM, 2007):

- Panjang antrian (*queue*)
- Tundaan (*delay*)

c. Pemodelan simulasi simpang

d. Video hasil simulasi yang dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan.

2.5. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 4 ditunjukkan diagram alir penelitian yang diawali dengan survei pendahuluan pada lokasi pengamatan dan studi pustaka serta metodologi penelitian yang dilaksanakan. Tahapan berikutnya adalah survei lokasi langsung pada lokasi pengamatan dan tahap pengambilan data yang digunakan untuk penelitian, dimana data yang diperoleh tersebut berikutnya dilanjutkan pada tahapan pengolahan data serta pembahasan hasil penelitian.

2.5.1. Metode Analisa Data

Dari metode survei yang telah dijelaskan sebelumnya, data berikutnya diperoleh di lapangan serta dilakukan pengolahan data. Selanjutnya data geometrik simpang, data volume jam puncak dan data karakteristik kendaraan diolah untuk memperoleh nilai kinerja simpang serta selanjutnya digunakan program *Microsimulator PTV Vissim* untuk tahap simulasi. Adapun *ouput* yang diperoleh program *vissim* antara lain:

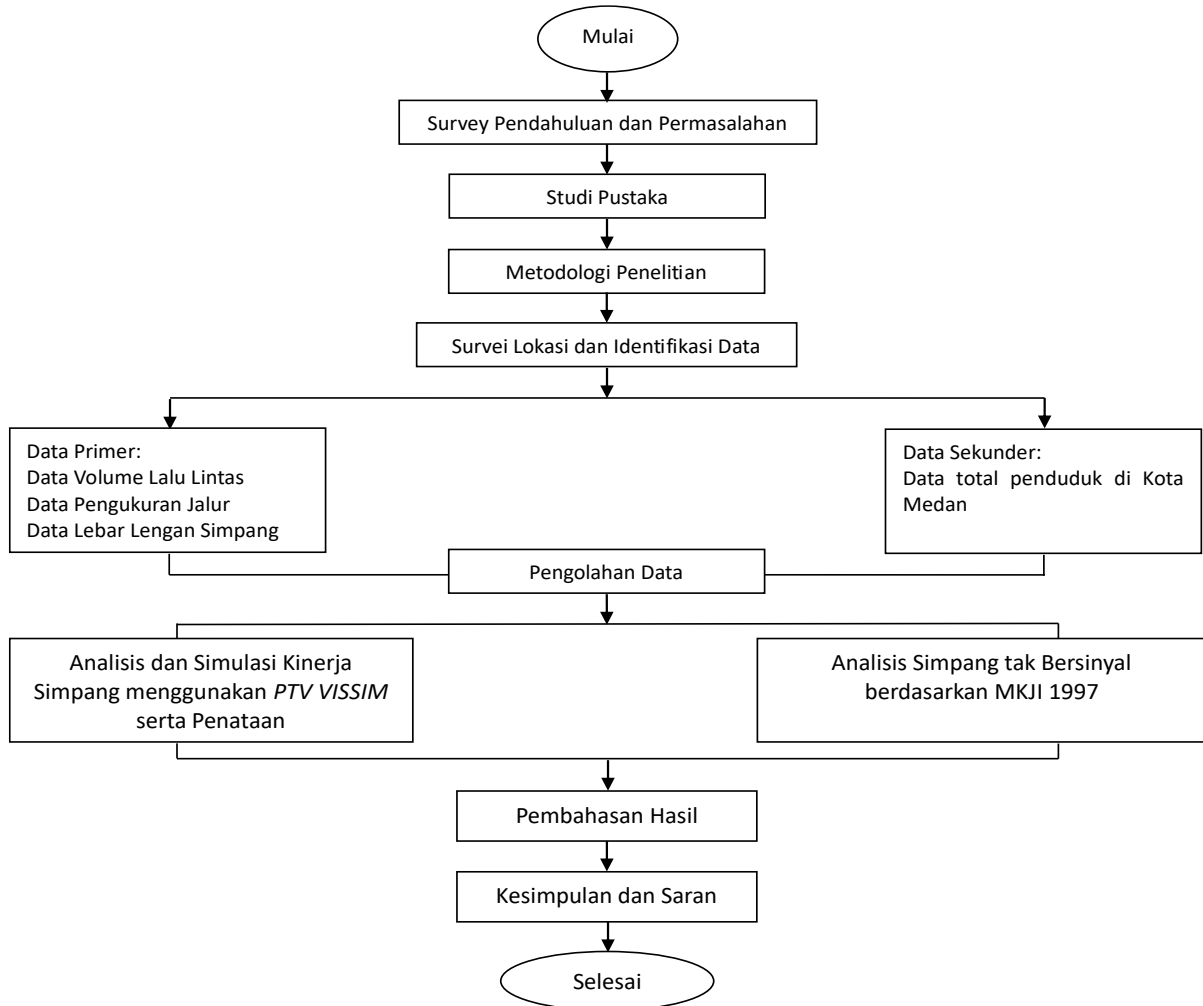
- Tundaan (*delay*) pada *network performance results*.
- Panjang antrian tiap pendekat pada *queue results*.
- Simulasi simpang dalam model
- Video, yang nantinya dievaluasi dan menghasilkan solusi pada persimpangan Tak Bersinyal 3 Lengan JL. Karya Wisata – Eka Rasmi.

2.5.2. Aplikasi PTV Vissim

Dalam menjalankan simulasi, beberapa parameter yang digunakan pada simpang tak bersinyal antara lain:

- Membuat connector dengan cara menciptakan *link*.
- Menginput tipe kendaraan serta kecepatannya.
- Vehicle Inputs* untuk input data volume lalu lintas pada.
- Memilih rute kendaraan.

- e. Input siklus persinyalan.
 f. Memilih konflik area.
 g. Masukkan tipe evaluasi dan running simulasi.
 h. Membuat kalibrasi dengan cara coba-coba hingga memperoleh output mendekati hasil observasi.
 i. Mulai dari langkah ke 7 hingga output mendekati hasil observasi.

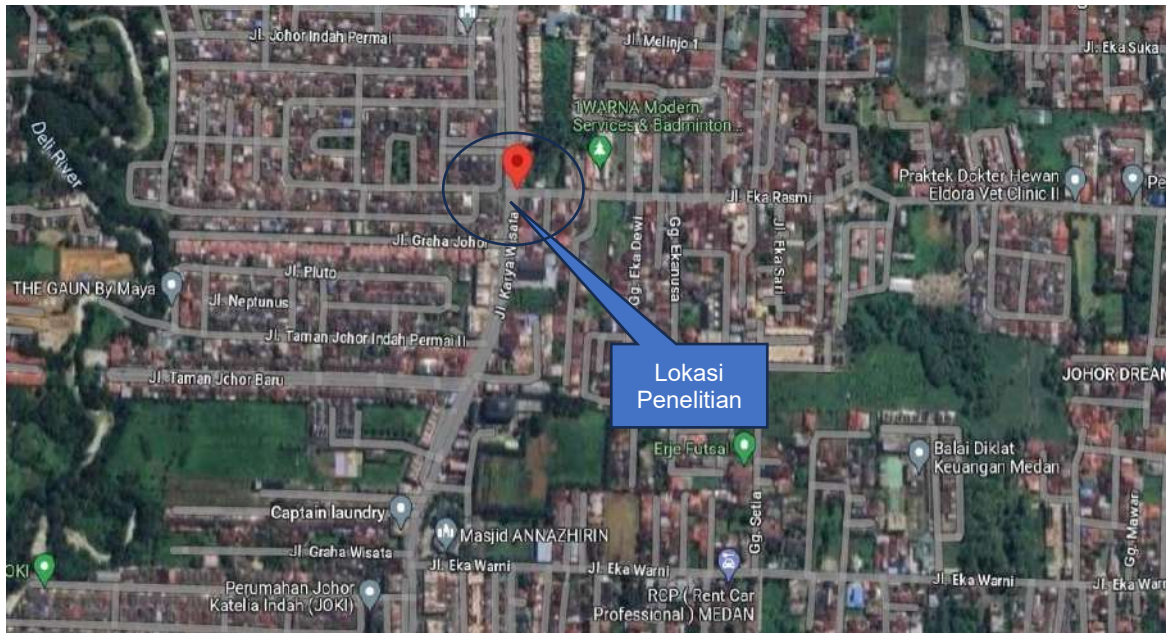


Gambar 4. Diagram alir penelitian.

2.5.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi pada Simpang Tiga Jalan Karya Wisata - Jalan Eka Rasmi, Kecamatan Medan Johor, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara (dengan koordinat garis Lintang dan Bujur: $3^{\circ} 31' 29.71''$, $98^{\circ} 39' 46.81''$). Lokasi penelitian ditunjukkan

pada Gambar 5, yang berlokasi pada simpang Jalan Karya Wisata - Jalan Eka Rasmi. Simpang dengan 3 lengan yang terletak pada sekitar kawasan pemukiman dan perbelanjaan, sedemikian hingga berdampak terhadap tingginya volume kendaraan pada sekitar lokasi pengamatan.



Gambar 5. Lokasi penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Geometrik Persimpangan Kondisi Eksisting

Dari survey langsung yang dilaksanakan, diperoleh data geometrik jalan yang dapat ditampilkan pada Tabel 5. Untuk kondisi eksisting, jumlah lajur untuk kedua pendekat sebanyak 2 lajur, dengan lebar masing-masing 2,7 m dan 2,6 m untuk pendekat Jl. Karya Wisata dan Jl. Eka Resmi.

Tabel 5. Data geometrik persimpangan kondisi eksisting.

| No. | Nama Pendekat Smpang | Jumlah Lajur | Lebar Jalan (m) |
|-----|----------------------|--------------|-----------------|
| 1 | Jln. Karya Wisata | 2 | 2.7 |
| 2 | Jln. Eka Resmi | 2 | 2.6 |

3.2. Data Geometrik Persimpangan Kondisi Perbaikan

Hasil survey langsung yang dilaksanakan, diperoleh data geometrik jalan yang

selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 6. Pada tabel 6 ditampilkan jumlah lajur pada kondisi perbaikan, yaitu pada Jl. Karya Wisata yaitu 4 lajur dengan 5.35 m untuk lebar jalan. Sementara jumlah lajur pada Jl. Eka Resmi yaitu 2 lajur dengan lebar jalan 2.6 m.

Tabel 6 Data geometrik persimpangan kondisi perbaikan.

| No. | Nama Pendekat Smpang | Jumlah Lajur | Lebar Jalan (meter) |
|-----|----------------------|--------------|---------------------|
| 1 | Jln. Karya Wisata | 4 | 5.35 |
| 2 | Jln. Eka Resmi | 2 | 2.6 |

3.3. Data Volume Kendaraan

Survey perolehan data volume kendaraan dilaksanakan dengan rekaman video dan perhitungan arus. Pada Tabel 7 disajikan volume kendaraan tertinggi yang diambil pada jam puncak untuk analisisnya, yaitu pada pukul 08.00-09.00 dengan total volume kendaraan sebesar 4986 kendaraan.

Tabel 7. Data volume kendaraan.

| Waktu | Jenis Kendaraan | Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | | Jln. Karya Wisata (Bagian Selatan) | | Jln. Eka Resmi | | Total |
|---------------|-----------------|----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|----------------|-----|-------|
| | | ST | LT | ST | LT | ST | LT | |
| 08.00 – 09.00 | MC | 861 | 385 | 1263 | 114 | 150 | 938 | 4986 |
| | LV | 263 | 91 | 574 | 48 | 53 | 217 | |
| | HV | 6 | 3 | 6 | 2 | 5 | 7 | |

3.4. Data Masukan Volume Kendaraan pada Vissim

Berdasarkan data Volume Kendaraan, selanjutnya data tersebut diolah untuk memperoleh *relative flows* dari masing-

masing tipe kendaraan dan arah kendaraan. Diperoleh *relative flows* tertinggi pada lengan simpang bagian utara yaitu arah pergerakan lurus. Data masukan volume kendaraan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data masukan volume kendaraan.

| PENENTUAN DATA RELATIVE FLOWS/PERSENTASE JAM PUNCAK KENDARAAN | | | | | | |
|---|----------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Jln. Karya Wisata (Utara) | Arah | MC | LV | HV | Total | Relative Flows |
| 1609 | ST | 861 | 263 | 6 | 1130 | 0.702 |
| | LT | 385 | 91 | 3 | 479 | 0.298 |
| | Total | 1246 | 354 | 9 | | 1 |
| | Relative Flows | 0.77439 | 0.22001 | 0.00559 | 1 | |
| Jln. Karya Wisata (Selatan) | Arah | MC | LV | HV | Total | Relative Flows |
| 2007 | ST | 1263 | 574 | 6 | 1843 | 0.918 |
| | LT | 114 | 48 | 2 | 164 | 0.082 |
| | Total | 1377 | 622 | 8 | | 1 |
| | Relative Flows | 0.6861 | 0.30992 | 0.00339 | 1 | |
| Jl. Eka Rasmi | Arah | MC | LV | HV | Total | Relative Flows |
| 1370 | ST | 938 | 217 | 7 | 1162 | 0.848 |
| | LT | 150 | 53 | 5 | 208 | 0.152 |
| | Total | 1088 | 270 | 12 | | 1 |
| | Relative Flows | 0.79416 | 0.19708 | 0.00876 | 1 | |

3.5. Analisis Simpang Tak Bersinyal berdasarkan MKJI 1997

Pada tahap analisis ini dihasilkan nilai derajat kejenuhan, tundaan, dan peluang antrian. Selanjutnya disajikan analisis simpang tak bersinyal untuk kondisi eksisting dan kondisi perbaikan.

a. Formulir USIG-I

Data identitas dan lokasi pengamatan adalah sebagai berikut:

- 1) Kota : Medan
- 2) Provinsi : Sumatera Utara
- 3) Ukuran kota : Besar
- 4) Nama Simpang : simpang tak bersinyal 3 Lengan JL. Karya Wisata – JL. Eka Rasmi

b. Formulir USIG-II (Kondisi Eksisting) Derajat Kejenuhan (DS)

Untuk kondisi eksisting, dihasilkan nilai kapasitas $C = 2457.464$ smp/jam, maka

didapat nilai derajat kejenuhannya yaitu sebesar 1.277, dimana nilai tersebut termasuk dalam kategori kondisi arus lalu lintas macet.

c. Formulir USIG-II (Kondisi Perbaikan) Derajat Kejenuhan (DS)

Dari hasil perolehan nilai kapasitas $C = 7118.558$ smp/jam, maka didapat nilai derajat kejenuhan untuk kondisi perbaikan sebesar 0.441, yang termasuk kedalam kategori kondisi arus lalu lintas lancar.

d. Derajat Kejenuhan Prediksi Volume 5 Tahun ke Depan

Pada prediksi 5 tahun ke depan, diperoleh kapasitas sebesar 3974.2 smp/jam, dan dengan total volume kendaraan bermotor sebesar 7118.558 diperoleh hasil perhitungan untuk nilai derajat kejenuhan sebesar 0.588 (kategori kondisi arus lalu lintas lancar).

3.6. Hasil Kinerja Simpang Kondisi Eksisting

masing-masing lengan simpang ditampilkan pada Tabel 9.

Hasil kinerja simpang pada kondisi eksisting untuk setiap pergerakan pada

Tabel 9. Hasil kinerja simpang kondisi eksisting.

| Movement | | Qlen | Qlen max | Vehs All | LOS (All) | Veh Delay (All) | Derajat Kejenuhan |
|----------------------------------|----|------|----------|----------|-----------|-----------------|-------------------|
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | LT | 105 | 356 | 64 | LOS_E | 37 | 1.28 (Macet) |
| | ST | 137 | 394 | 105 | LOS_E | 49 | |
| Jln. Eka Rasmi | RT | 148 | 292 | 121 | LOS_F | 75 | |
| | LT | 116 | 253 | 19 | LOS_F | 59 | |
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | ST | 125 | 383 | 268 | LOS_C | 21 | |
| | RT | 118 | 406 | 24 | LOS_C | 23 | |
| Kinerja Simpang | | 125 | 406 | 646 | LOS_E | 40 | |

dengan *Qlen* adalah rata-rata panjang antrian (m), *QlenMax* adalah maksimum panjang antrian (m), *VehsAll* adalah kendaraan yang lewat saat simulasi (unit), *LOS (All)* adalah tingkat pelayanan, *VehDelay (All)* adalah tundaan Kendaraan, *LT* adalah kendaraan belok kiri, *ST* adalah kendaraan lurus, dan *RT* adalah kendaraan belok kanan.

Hasil analisis kinerja simpang untuk kondisi eksisting yang ditampilkan pada Tabel 8, memperlihatkan kendaraan melintas tertinggi pada lengan bagian utara dengan arah pergerakan lurus sebesar 268 unit.

Diperoleh nilai tingkat pelayanan simpang pada level E, yang termasuk kedalam kategori kondisi macet.

3.7. Hasil Kinerja Simpang Kondisi Perbaikan

Berikut disajikan hasil kinerja simpang kondisi perbaikan pada Tabel 10. Terlihat bahwa total kendaraan yang melintas sebanyak 787 unit, dengan pergerakan tertinggi pada pendekat bagian Utara, serta kinerja pelayanan simpang keseluruhan dalam level A, yaitu termasuk kedalam kategori kondisi arus lalu lintas lancar.

Tabel 10. Hasil kinerja simpang kondisi perbaikan.

| Movement | | Qlen | Qlen max | Vehs All | LOS (All) | Veh Delay (All) | Derajat Kejenuhan |
|----------------------------------|----|------|----------|----------|-----------|-----------------|-------------------|
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | LT | 2 | 27 | 74 | LOS_A | 4 | 0.44 (Lancar) |
| | ST | 6 | 36 | 185 | LOS_A | 9 | |
| Jln. Eka Rasmi | RT | 3 | 43 | 159 | LOS_A | 8 | |
| | LT | 2 | 32 | 31 | LOS_A | 5 | |
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | ST | 0 | 4 | 312 | LOS_A | 2 | |
| | RT | 1 | 16 | 26 | LOS_A | 5 | |
| Kinerja Simpang | | 2 | 43 | 787 | LOS_A | 3 | |

3.8. Kinerja Simpang Prediksi 5 Tahun Setelah Perbaikan

Analisis kinerja simpang prediksi 5 tahun setelah perbaikan dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat pelayanan dengan nilai A setelah dilakukan perbaikan berupa pelebaran jalan setelah 5 tahun

kedepan. Berdasarkan data persentase faktor laju pertumbuhan lalu lintas yang dapat digunakan di pulau sumatera mengalami persentase pertumbuhan sebesar 4,83% setiap tahunnya data ini dapat digunakan dari (2015- 2035). Pada Tabel 11 ditampillkan volume simpang kondisi prediksi 5 tahun ke depan, di mana

terjadi peningkatan volume kendaraan dari kondisi eksisting untuk seluruh pendekat simpang. Adapun data hasil kinerja simpang yang telah dianalisis menggunakan alat bantu program PTV Vissim dapat dilihat pada Tabel 12. Pada Tabel 12 disajikan kinerja pelayanan simpang pada masing-masing pergerakan untuk kondisi prediksi 5 tahun ke depan setelah perbaikan, dengan nilai tingkat kinerja simpang pada level C dengan nilai derajat kejenuhan 0.56 dimana kondisi tersebut masih tergolong dalam kategori kondisi arus lalu lintas lancar.

Tabel 11. Volume Simpang Kondisi Prediksi 5 Tahun Ke Depan

| No. | Nama Pendekat Simpang | Volume Kondisi Eksisting | Volume Kondisi Prediksi 5 Tahun Kedepan |
|-----|----------------------------------|--------------------------|---|
| 1 | Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | 1609 | 2037 |
| 2 | Jln. Eka Rasmi | 2007 | 2541 |
| 3 | Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | 1370 | 1734 |

Tabel 12. Hasil Analisis VISSIM Kondisi Prediksi 5 Tahun Ke Depan

| Movement | | Qlen | Qlen max | Vehs All | LOS (All) | Veh Delay (All) | Derajat Kejenuhan |
|----------------------------------|----|------|----------|----------|-----------|-----------------|-------------------|
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | LT | 43 | 125 | 97 | LOS_E | 36 | 0.56 (Lancar) |
| | ST | 50 | 134 | 201 | LOS_E | 43 | |
| Jln. Eka Rasmi | RT | 12 | 86 | 197 | LOS_B | 14 | |
| | LT | 8 | 75 | 38 | LOS_A | 10 | |
| Jln. Karya Wisata (Bagian Utara) | ST | 0 | 18 | 380 | LOS_A | 2 | |
| | RT | 1 | 36 | 30 | LOS_A | 6 | |
| Kinerja Simpang | | 19 | 134 | 943 | LOS_C | 17 | |

4. Kesimpulan

Hasil analisis kinerja simpang kondisi eksisting dengan simulasi menggunakan perangkat lunak Vissim diperoleh kondisi eksisting tingkat pelayanan terburuk terjadi pada pendekat Jalan Eka Rasmi dengan nilai LOS_F yang diakibatkan oleh titik konflik yang cukup tinggi dan besarnya volume kendaraan dari pendekat lain yang bersinggungan langsung Jalan Eka Rasmi. Untuk tingkat pelayanan terbaik terjadi pada pendekat Jalan Karya Wisata (Bagian Selatan), sedangkan untuk tingkat pelayanan rata-rata yang terjadi pada simpang mendapatkan nilai LOS_E yang mengacu pada nilai tundaan sebesar 40 detik (berdasarkan analisis *software* Vissim) dan nilai dari derajat kejenuhan sebesar 1.28, kategori macet (berdasarkan hitungan manual yang mengacu pada MKJI). Berdasarkan hasil tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan lebih lanjut

seperti pelebaran jalan untuk meningkatkan nilai pelayanan yang terjadi pada simpang tersebut.

Hasil evaluasi menggunakan perangkat lunak Vissim diperoleh hasil analisis kondisi penataan setelah dilakukan pelebaran jalan pada pendekat Jalan Karya Wisata yang sebelumnya dengan lebar 5,4 meter menjadi 10,7 meter dengan tingkat pelayanan menjadi LOS_A yang mengacu pada nilai tundaan sebesar 5 detik dan dengan hitungan manual derajat kejenuhan menjadi 0,44 dengan kategori (Lancar). Serta hasil analisis Vissim kondisi perbaikan prediksi 5 tahun ke depan diperoleh nilai tingkat pelayanan rata-rata simpang menjadi LOS_C pada nilai tundaan sebesar 17 detik, dan nilai derajat kejenuhan menjadi 0,56 kategori lancar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemilihan pelebaran jalan sebagai perbaikan untuk memperbaiki kinerja

simpang dapat dilakukan dan berhasil, namun tidak dapat bertahan lama seiring dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,83% setiap tahunnya sehingga perlu dicari atau dilakukan opsi perbaikan lainnya.

Adapun saran yang dapat diberikan antara lain: untuk memperoleh hasil yang lebih baik, dilakukan survei tidak hanya pada hari atau jam puncak, melainkan pada waktu dan jam lainnya, serta perlunya peningkatan dalam perilaku berkendara yang baik guna mengurangi permasalahan kemacetan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Daftar Pustaka

Dhebys, d. (2016). Penggunaan Vissim Model Pada Jalur Lalu Lintas Empat Ruas. Malang: Jurnal Teknologi Informasi. Universitas Politeknik Negeri Malang.

Hobbs, F. (1995). Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

MKJI. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Jakarta: Direktorat Jenderal Binamarga.

Morlok, E. K. (1988). Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Jakarta: Erlangga.

Sri Hendarto, et.al. (2001). Dasar-Dasar Transportasi. Bandung: Penerbit ITB Bandung.

Tamin, O. Z. (2000). Perencanaan dan pemodelan Transportasi. Bandung: Penerbit ITB Bandung.

Transportation Research Board, 2. H. (2010). Highway Capacity Manual (HCM). Washington D.C.: Nasional Research Council Washington D.C.

UU RI No. 2 Tahun 2022. (2022). Undang-undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Jalan. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

UU RI No. 22 Tahun 2009. (2009). Undang-undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

VISSIM, 8. U. (2007). User Manual VISSIM 8.0. VISSIM.

Skema Pengerukan Sedimentasi dalam Perencanaan Pelabuhan Pangkalan Susu

Tri Rahayu¹, Radian², Muhammad Qarinur^{3,*}

¹Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia 20238

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia 20216

³Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia 20221

*penulis koresponden: m.qarinur@unimed.ac.id

Diterima: 6 Desember 2023; Disetujui: 19 Desember 2023

Abstrak

Pelabuhan menjadi aspek krusial dalam sistem transportasi laut Republik Indonesia. Masalah pendangkalan di pelabuhan, terutama di kolam dan alur pelayaran, memerlukan penanganan khusus untuk menjaga kelancaran arus pelayaran. Penelitian ini membahas teknik pengerukan yang tepat sebagai solusi dalam mengatasi masalah pendangkalan di Alur Pelayaran Sembilan, Sumatera Utara. Metode penelitian melibatkan analisis data angin, hidroceanografi, dan survei batimetri di sepanjang Alur Pelayaran Sembilan. Hasil penelitian memberikan pemahaman mendalam tentang kondisi perairan dan kebutuhan pengerukan. Tata letak rencana pengerukan telah disusun untuk meningkatkan kedalaman alur pelayaran guna mendukung pengapalan batubara ke Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 Sumatera Utara. Rencana pengerukan ini melibatkan tiga lokasi, dengan total volume material keruk sekitar $\pm 700.000 \text{ m}^3$. Proses pengerukan dilakukan dengan kapal keruk *Trailing Hopper Suction Dredger* (THSD) berkapasitas 2.000 m^3 . Material hasil pengerukan kemudian ditempatkan di lokasi penempatan khusus di laut. Selain itu, hubungan arus pasang surut dengan jalur peredaran air juga dianalisis untuk memahami pengaruhnya terhadap sedimentasi di pelabuhan. Studi ini memberikan wawasan tentang kompleksitas infrastruktur maritim, termasuk strategi pengerukan dan penanganan sedimentasi, untuk memastikan efisiensi dan kelancaran operasional pelabuhan di Alur Pelayaran Sembilan.

Kata Kunci: Alur Pelayaran, Lalu Lintas Pelayaran, Pendangkalan.

Abstract

Ports play a crucial role in the maritime transportation system of the Republic of Indonesia. The issue of sedimentation in ports, particularly in basins and navigation channels, requires specialized intervention to maintain the smooth flow of maritime traffic. This research explores appropriate dredging techniques as a solution to address sedimentation issues in the Sembilan Shipping Channel, North Sumatra. The research methodology involves the analysis of wind data, hydroceanography, and bathymetric surveys along the Sembilan Shipping Channel. The research findings provide an in-depth understanding of the water conditions and dredging requirements. Dredging layout plans have been formulated to increase the depth of the shipping channel, supporting the shipment of coal to the North Sumatra Steam Power Plant 2. This dredging plan encompasses three locations, with a cumulative dredged material volume of approximately $\pm 700,000 \text{ m}^3$. Dredging processes are carried out using a *Trailing Hopper Suction Dredger* (THSD) with a capacity of $2,000 \text{ m}^3$. The dredged material is then deposited at designated locations in the sea. Furthermore, the relationship between tidal currents and the water circulation path is analyzed to comprehend their influence on sedimentation in the port. This study offers insights into the complexity of maritime infrastructure, including dredging strategies and sedimentation management, to ensure the efficiency and smooth operation of the port in the Sembilan Shipping Channel.

Keywords: Shipping Channel, Maritime Traffic, Sedimentation.

1. Pendahuluan

Negara Republik Indonesia, yang memiliki bentuk kepulauan dengan wilayah yang sangat luas, mendambakan keberadaan sistem transportasi yang efektif, yang

mencakup aspek keamanan, biaya terjangkau, kelancaran, kecepatan, kemudahan, keteraturan, dan kenyamanan (Kementerian Perhubungan, 2008). Setiap tahap pembangunan memerlukan sistem

transportasi yang efisien sebagai prasyarat utama untuk menjamin kelancaran pelaksanaan pembangunan. Salah satu komponen penting dalam sistem transportasi ini adalah subsistem angkutan laut.

Dalam kerangka subsistem angkutan laut, pelabuhan menjadi suatu prasyarat yang esensial. Secara umum, pelabuhan dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah perairan yang dilindungi dari pengaruh gelombang, badai, atau arus, sehingga kapal-kapal dapat berputar dengan mudah dan aman di area *turning basin*, serta dapat bersandar atau membongkar muatan dengan lancar, mendukung aktivitas bongkar muat barang, dan mengakomodasi pengangkutan penumpang.

Perencanaan, pembangunan, dan pengembangan pelabuhan perlu diperhatikan dari berbagai aspek, seperti sosial ekonomi, politik, teknik (*engineering*), dan operasional. Dari segi teknis dan operasional, pelabuhan seringkali menghadapi tantangan fisik, seperti masalah sedimentasi atau pendangkalan, terutama di kolam pelabuhan dan alur pelayaran. Pendangkalan merupakan masalah umum yang sering terjadi di pelabuhan, disebabkan oleh endapan sedimen. Kompleksitas dan besarnya masalah pendangkalan semakin meningkat jika pelabuhan tersebut terletak di muara sungai (*estuary*). Oleh karena itu, dalam merencanakan pembangunan dan pengembangan pelabuhan, penanganan masalah pendangkalan, terutama di kolam pelabuhan dan alur pelayaran, menjadi krusial untuk memastikan kelancaran arus pelayaran. Oleh karena itu, penelitian dan penerapan teknik pengerukan yang tepat sangat penting agar pelabuhan dapat berfungsi secara efisien, stabil, dan sesuai dengan tujuan pembangunan nasional.

Penelitian dalam bidang transportasi laut, pengerukan alur pelayaran, dan perawatan pelabuhan menyoroti aspek-aspek krusial yang berkaitan dengan infrastruktur maritim. Dalam konteks transportasi laut, Josep (2019) menunjukkan peran penting pesisir pantai, penyeberangan laut, dan

alur pelayaran dalam angkutan domestik dan internasional. Pengerukan alur pelayaran menjadi fokus untuk memastikan kedalaman yang memadai sesuai dengan draft kapal. Hasil penelitian Ayu dkk. (2020) menunjukkan bahwa pendangkalan di Kolam Pelabuhan Peti Kemas Belawan dapat mengakibatkan kapal kandas, memerlukan pengerukan untuk menjamin keamanan dan efisiensi.

Studi oleh Sugianto (2009) dan Satriadi (2013) mengeksplorasi pola *transport* sedimen dan konsentrasi sedimen tersuspensi di Teluk Bayur dan Pelabuhan Bojonegara, menunjukkan bahwa pola arus dan aktivitas pengerukan dapat memengaruhi kualitas perairan. Siry (2011) menyoroti proses pendangkalan di Pelabuhan Minyak PT Caltex Pacific Indonesia, mengidentifikasi energi gelombang dan pasang sebagai faktor utama dalam pendangkalan. Raga (2015) dan Firdaus dkk. (2013) membahas perawatan alur pelayaran di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, menekankan perlunya pengerukan untuk mengatasi pendangkalan yang dapat dipengaruhi oleh pasang surut dan arus. Selain itu, Taredja & Nugroho (2018) menunjukkan perlunya penanganan sedimentasi di terminal pelabuhan, dengan pengerukan alur sebagai strategi yang efektif.

Penelitian oleh Sinaga (2015) meninjau kelayakan operasional Pelabuhan Pangkalan Susu, menggambarkan perlunya penyesuaian prosedur operasional untuk mendukung perubahan status pelabuhan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang kompleksitas infrastruktur maritim, mencakup strategi pengerukan, penanganan sedimentasi, dan penyesuaian operasional untuk memaksimalkan efisiensi pelabuhan.

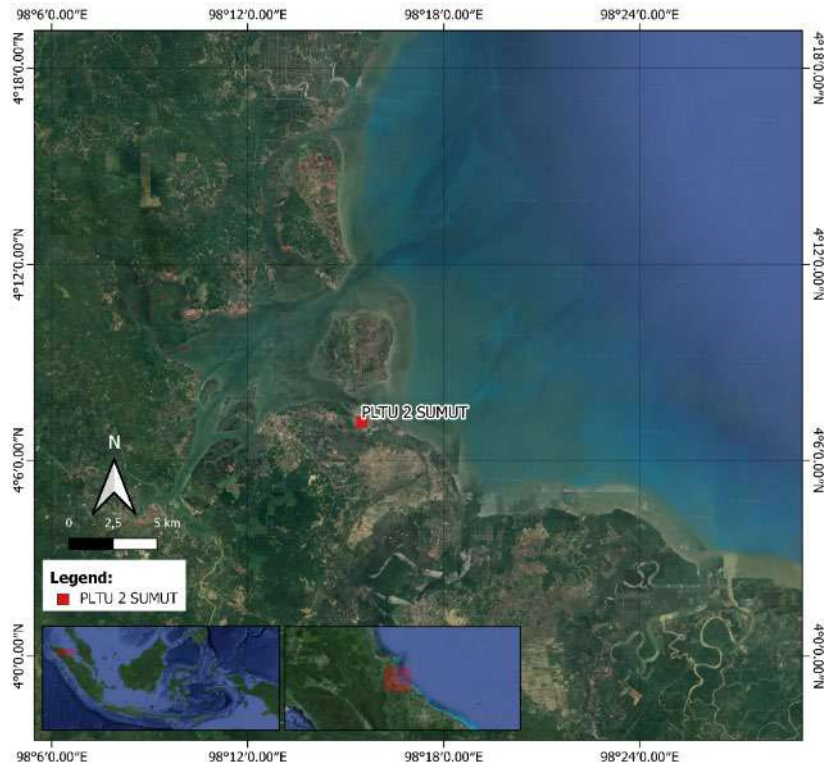
2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi rencana kegiatan pengerukan alur pelayaran kapal batubara menuju Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 Sumatera Utara (PLTU 2 Sumut) adalah di Perairan Selat Malaka yaitu di Alur Pelayaran Sembilan yang terletak di

Kecamatan Pangkalan Susu Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara (Gambar 1). Adapun letak lokasi rencana kegiatan pada arah Barat berbatasan dengan alur pelayaran menuju Pelabuhan Pangkalan Susu. Pada daerah ini terdapat kegiatan nelayan berupa pemasangan jaring apung dan keramba terutama di sekitar Pesisir Pulau Sembilan. Bagian Selatan

berbatasan dengan Pulau Sumatera yaitu Kecamatan Pangkalan Susu. Pada daerah ini ditemukan adanya tumbuhan mangrove sebagai vegetasi tutupan lahan di sepanjang garis pantai dan di lokasi ini adalah lokasi PLTU 2 Sumut sebagai tujuan pengapalan batubara. Sedangkan pada arah Utara berbatasan dengan Pulau Sembilan.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.2. Data Angin

Data angin yang digunakan untuk meramalkan gelombang berasal dari pengukuran di permukaan laut di lokasi yang bersangkutan. Informasi ini dapat diperoleh melalui pengukuran langsung di atas permukaan laut atau melalui pengukuran darat yang dilakukan dekat dengan lokasi peramalan, yang kemudian diubah menjadi data angin di laut. Kecepatan angin diukur dengan *anemometer* dan umumnya dinyatakan dalam satuan knot. Satu knot setara dengan panjang satu menit garis bujur yang ditempuh melalui katulistiwa dalam satu jam, atau dapat dijelaskan sebagai $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/d}$. Data angin disajikan seperti yang terlihat dalam Tabel 1. Jumlah data angin seperti yang

ditunjukkan dalam Tabel 1 tersebut untuk setahun pengamatan.

2.3. Hidroceanografi

Secara umum pantai sekitar Alur Pelayaran Sembilan memperlihatkan kondisi yang mendukung pertukaran massa air, dari sebaran mangrove yang umumnya terdapat hampir di semua sisi pantai pulau. Pada daerah dengan keberadaan mangrove dalam bentuk *spot – spot* (kepadatan rendah) menunjukkan bahwa energi yang berkembang pada sisi Timur lebih besar dibandingkan sisi Baratnya. Informasi lain menunjukkan bahwa perambatan gelombang relatif kecil pada sisi Barat akibat topografi yang landai, dibandingkan pada sisi Timur.

2.4. Survei Batimetri

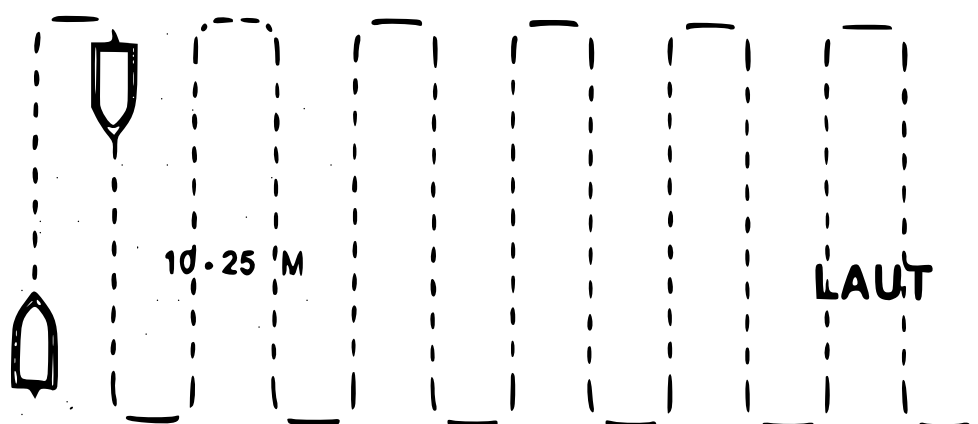
Survei batimetri atau sering disebut dengan pemeruman (*sounding*), dimaksudkan untuk mengetahui keadaan topografi laut sehingga kedalaman dasar laut dapat dihitung dan selanjutnya volume material kerukan dapat diketahui dengan pasti. Cara yang dipakai dalam pengukuran ini adalah dengan menentukan posisi-posisi kedalaman laut pada jalur memanjang dan jalur melintang untuk *cross check*. Penentuan posisi-posisi kedalaman ditentukan dengan menggunakan *Differential Global Positioning System* (DGPS).

Survei batimetri (*bathymetry*) diperlukan untuk mengetahui kondisi topografi dasar perairan di sepanjang alur pelayaran yang akan dikeruk yaitu mencakup sepanjang Alur pelayaran Sembilan, dan sebagai dasar dalam menentukan volume material kerukan yang akan dikeruk. Survei batimetri dilakukan dengan cara pengukuran *Echosounding*. Kawasan yang disurvei adalah di sepanjang Alur Pelayaran Sembilan dengan panjang 17,26 km dengan menggunakan alat *Echosounder Raytheon DE-719C* dan *Global Positioning System* (GPS) untuk mencatat kedalaman (koordinat z) dan lokasi titik pengukuran (koordinat x,y). Referensi koordinat adalah koordinat

Universal Transverse Mercator (UTM) dan koordinat lokal. *Benchmark* (BM) terdekat untuk pengikatan adalah BM Perusahaan Listrik Negara (PLN) 2 yang sudah ada di lokasi. Secara umum kegiatan survei batimetri terdiri dari:

- Menentukan/mendirikan stasiun pasang surut.
- Pengukuran kedalaman menggunakan *Echosounder* dan pengukuran posisi horizontal pada perairan dengan menggunakan DGPS.
- Pengukuran pemantauan.
- Penggambaran.

Jalur *sounding* merujuk pada rute kapal yang melakukan *sounding* dari titik awal hingga titik akhir di suatu kawasan survei. Jarak antara jalur *sounding* disesuaikan dengan tingkat resolusi yang diinginkan, umumnya berkisar antara 20 hingga 50 meter. Setiap jalur *sounding* melibatkan pengambilan data kedalaman perairan setiap 5 hingga 10 meter. Titik awal dan akhir dari setiap jalur *sounding* dicatat, dan data tersebut diinput ke dalam perangkat pengukur yang dilengkapi dengan *Echosounder Raytheon tipe DE-719C*. Perangkat ini digunakan sebagai referensi perjalanan *motorboat* sepanjang jalur *sounding*. Gambaran contoh dari jalur *sounding* di kawasan survei dapat ditemukan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi pergerakan perahu menyusuri jalur *sounding*.

2.4.1. Peralatan Survei

Alat survei yang digunakan dalam pengukuran batimetri meliputi:

- Echosounder Raytheon tipe DE-719C* dilengkapi dengan teknologi penentuan

posisi GPS, yang memungkinkan alat ini mendapatkan posisi pada kerangka horizontal dengan bantuan satelit. Keberadaan fasilitas ini menghilangkan kebutuhan untuk melakukan kontrol posisi dari suatu titik tetap di darat dalam kerangka horizontal.

- b. *Notebook* adalah sebuah komputer portabel yang diperlukan untuk menyimpan data yang diunduh dari alat penerima GPS.
- c. Perahu digunakan untuk membawa *surveyor* dan peralatan pengukuran menjelajahi jalur-jalur *sounding* yang telah ditentukan.
- d. Papan duga digunakan dalam kegiatan pengamatan fluktuasi muka air laut, khususnya dengan memanfaatkan *Automatic Water Level Recorder*.
- e. Peralatan keselamatan yang diperlukan selama kegiatan survei dilakukan antara lain *Life Jacket*.
- f. Formulir pencatatan data pasang surut.

2.4.2. Koreksi Kedalaman

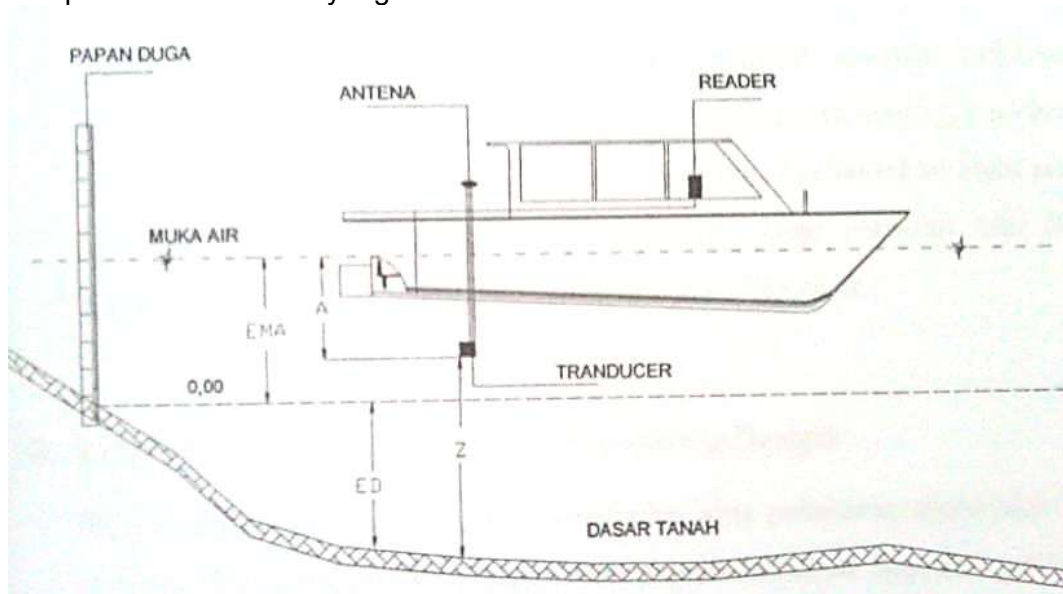
Data yang direkam oleh alat GPS *Receiver* mencakup jarak antara *transducer* alat dan dasar perairan. *Transducer* ini diposisikan di tengah bagian samping kapal, berada di bawah permukaan air yang tidak

terpengaruh oleh pasang surut. Oleh karena itu, diperlukan koreksi kedalaman terhadap perubahan pasang surut. Gambar 3 menyajikan sketsa definisi berbagai panjang yang terlibat dalam proses koreksi ini. Elevasi dasar saluran dihitung dari nol papan duga, disebut sebagai (ED), sebagaimana dijelaskan dalam persamaan berikut.

$$ED = Z + A - EMA \quad (1)$$

dengan Z adalah kedalaman air hasil *sounding* [m], A adalah jarak *transducer* ke muka air [m], dan EMA adalah elevasi muka air diukur dari nol papan duga [m].

Hasil dari koreksi awal menghasilkan elevasi dasar perairan terhadap nol papan duga. Elevasi ini selanjutnya dihubungkan dengan elevasi *Lowest Low Water Level* (LLWL) yang dihitung pada awal data pasang surut.



Gambar 3. Penempatan peralatan *Echosounder* dan GPS *Receiver*.

Tabel 1. Catatan kondisi angin di Pelabuhan Pangkalan Susu.

| Month | Beaufort scale (wind force) | Calm | | N | | NE | | E | | SE | | S | | SW | | W | | NW | |
|--------|-----------------------------|-------|---------|------|--------|------|---------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | h | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) | H | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) |
| Jan | <1 | 11.23 | (46.79) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.80 | (3.33) | 1.36 | (5.67) | 0.13 | (0.54) | 0.22 | (0.92) | 0.03 | (0.13) | 0.51 | (2.13) | 0.45 | (1.88) | 2.39 | (9.96) |
| | 03-May | | | 1.39 | (5.79) | 2.87 | (11.96) | 0.19 | (0.79) | 0.06 | (0.25) | 0.03 | (0.13) | 0.06 | (0.25) | 0.03 | (0.13) | 0.91 | (3.79) |
| | >5 | | | | | 0.10 | (0.42) | | | | | | 0.03 | (0.13) | 0.03 | (0.13) | 0.03 | (0.13) | |
| Feb | <1 | 11.96 | (49.83) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.35 | (1.46) | 1.53 | (6.38) | 0.11 | (0.46) | 0.39 | (1.63) | 0.18 | (0.75) | 0.54 | (2.25) | 0.50 | (2.08) | 1.39 | (5.79) |
| | 03-May | | | 0.32 | (1.33) | 4.75 | (19.79) | 0.14 | (0.58) | 1.07 | (4.46) | 0.04 | (0.17) | 0.14 | (0.58) | 0.11 | (0.46) | 0.60 | (2.50) |
| | >5 | | | 0.04 | (0.17) | | | | | 0.07 | (0.29) | | | | | | | | |
| March | <1 | 14.48 | (60.33) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.25 | (1.04) | 2.00 | (8.33) | 0.19 | (0.79) | 0.22 | (0.92) | | | 0.45 | (1.88) | 0.03 | (0.13) | 1.00 | (4.17) |
| | 03-May | | | 0.48 | (2.00) | 3.74 | (15.58) | 0.10 | (0.42) | 0.29 | (1.21) | 0.09 | (0.38) | 0.16 | (0.67) | 0.06 | (0.25) | 0.39 | (1.63) |
| | >5 | | | 0.03 | (0.13) | 0.13 | (0.54) | | | | | | | | | | | 0.06 | (0.25) |
| April | <1 | 13.63 | (56.79) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.36 | (1.50) | 1.80 | (7.50) | 0.20 | (0.83) | 0.43 | (1.79) | | | 0.40 | (1.67) | 0.10 | (0.42) | 0.66 | (2.75) |
| | 03-May | | | 0.54 | (2.25) | 3.54 | (14.75) | 0.43 | (1.79) | 0.16 | (0.67) | | | 0.34 | (1.42) | 0.03 | (0.13) | 0.40 | (1.67) |
| | >5 | | | | | 0.03 | (0.13) | 0.07 | (0.29) | 0.03 | (0.13) | | | | | | | 0.07 | (0.29) |
| May | <1 | 14.00 | (58.33) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.29 | (1.21) | 1.23 | (5.13) | 0.42 | (1.75) | 0.97 | (4.04) | 0.03 | (0.13) | 0.42 | (1.75) | 0.29 | (1.21) | 0.77 | (3.21) |
| | 03-May | | | 0.13 | (0.54) | 1.39 | (5.79) | 1.00 | (4.17) | 0.87 | (3.63) | 0.03 | (0.13) | 0.16 | (0.67) | 0.29 | (1.21) | 0.29 | (1.21) |
| | >5 | | | | | 0.03 | (0.13) | 0.03 | (0.13) | 0.03 | (0.13) | 0.03 | (0.13) | 0.06 | (0.25) | | | 0.06 | (0.25) |
| June | <1 | 15.18 | (63.25) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | | | 2.32 | (9.67) | 0.22 | (0.92) | 1.24 | (5.17) | | | 0.89 | (3.71) | 0.14 | (0.58) | 0.74 | (3.13) |
| | 03-May | | | 0.22 | (0.92) | 1.57 | (6.56) | | | 0.37 | (1.54) | 0.07 | (0.29) | 0.07 | (0.29) | | | 0.52 | (2.17) |
| | >5 | | | 0.21 | (0.29) | | | 0.07 | (0.29) | | | | | | | | | 0.07 | (0.29) |
| July | <1 | 12.14 | (50.58) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-Mar | | | 0.22 | (0.92) | 1.31 | (5.46) | 0.28 | (1.17) | 0.78 | (3.25) | 0.14 | (0.58) | 1.12 | (4.67) | 0.18 | (0.75) | 0.95 | (3.96) |
| | 03-May | | | 0.21 | (0.88) | 2.60 | (10.83) | 0.35 | (1.46) | 1.44 | (6.00) | 0.18 | (0.75) | 0.28 | (1.17) | 0.04 | (0.17) | 0.57 | (2.38) |
| | >5 | | | | | | | | | | | | 0.08 | (0.33) | 0.04 | (0.17) | 0.18 | (0.75) | |
| August | <1 | 13.33 | (55.54) | | | | | | | | | | | | | | | | |

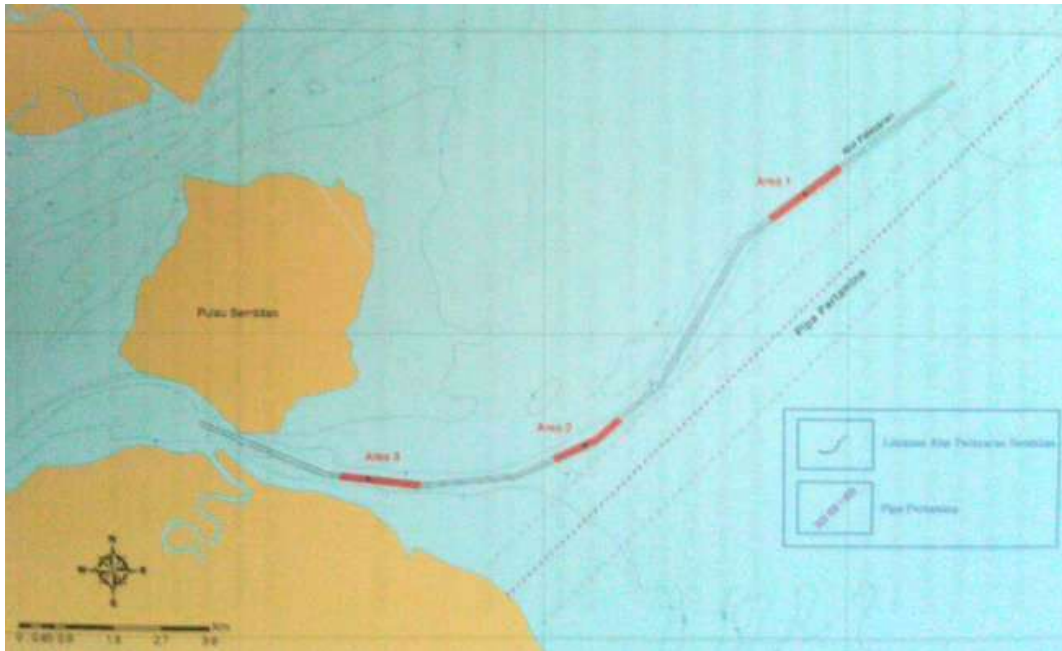
| Month | Beaufort scale (wind force) | Calm | | N | | NE | | E | | SE | | S | | SW | | W | | NW | |
|-----------|-----------------------------|-------|---------|------|--------|------|---------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | | h | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) | H | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) | h | (%) |
| September | 01-Mar | | | 0.26 | (1.08) | 1.56 | (6.50) | 0.46 | (1.92) | 0.96 | (4.00) | 0.07 | (0.29) | 0.82 | (3.42) | 0.17 | (0.71) | 0.75 | (3.13) |
| | 03-May | | | 0.39 | (1.63) | 1.77 | (7.38) | 0.43 | (1.79) | 0.95 | (3.96) | | | 0.16 | (0.67) | 0.19 | (0.79) | 0.39 | (1.63) |
| | >5 | | | | | | | | | | | 0.03 | (0.13) | 0.06 | (0.25) | | | 0.13 | (0.54) |
| | <1 | 13.23 | (55.13) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| October | 01-Mar | | | 0.23 | (0.96) | 1.93 | (8.04) | 0.33 | (1.38) | 0.80 | (3.33) | 0.07 | (0.29) | 0.60 | (2.50) | 0.20 | (0.83) | 0.47 | (1.96) |
| | 03-May | | | 0.30 | (1.25) | 2.54 | (10.58) | 1.00 | (4.17) | 0.66 | (2.75) | 0.03 | (0.13) | 0.14 | (0.58) | 0.06 | (0.25) | 0.36 | (1.50) |
| | >5 | | | 0.03 | (0.13) | | | | | | | | | 0.03 | (0.13) | | | 0.06 | (0.25) |
| | <1 | 13.74 | (57.25) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| November | 01-Mar | | | 0.83 | (3.46) | 1.81 | (7.54) | 0.25 | (1.04) | 0.39 | (1.63) | 0.16 | (0.67) | 0.65 | (2.71) | 0.35 | (1.46) | 1.48 | (6.17) |
| | 03-May | | | 0.84 | (3.50) | 1.84 | (7.67) | 0.13 | (0.54) | 0.29 | (1.21) | 0.06 | (0.25) | 0.25 | (1.04) | 0.16 | (0.67) | 0.48 | (2.00) |
| | >5 | | | | | 0.03 | (0.13) | | | | | | | 0.03 | (0.13) | | | 0.03 | (0.13) |
| | <1 | 11.98 | (49.92) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| December | 01-Mar | | | 1.75 | (7.29) | 1.50 | (6.25) | 0.11 | (0.46) | 0.11 | (0.46) | 0.04 | (0.17) | 0.15 | (0.63) | 0.77 | (3.21) | 1.41 | (5.88) |
| | 03-May | | | 1.64 | (6.83) | 1.42 | (5.92) | 0.11 | (0.46) | 0.07 | (0.29) | | | 0.22 | (0.92) | 0.07 | (0.29) | 1.06 | (4.42) |
| | >5 | | | 0.11 | (0.46) | | | | | | | | | | | | | 0.04 | (0.17) |
| | <1 | 11.75 | (48.96) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| December | 01-Mar | | | 0.78 | (3.25) | 1.10 | (4.58) | 0.04 | (0.17) | 0.04 | (0.17) | 0.12 | (0.50) | 0.90 | (3.75) | 0.51 | (2.13) | 1.49 | (6.21) |
| | 03-May | | | 1.53 | (6.38) | 2.47 | (10.29) | 0.24 | (1.00) | 0.47 | (1.96) | 0.04 | (0.17) | 0.39 | (1.63) | 0.16 | (0.67) | 1.88 | (7.83) |
| | >5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tata Letak Rencana Pengerukan

Lokasi kegiatan pengerukan adalah di Alur Pelayaran Sembilan. Panjang Alur Pelayaran Sembilan adalah $\pm 17,26$ km yang memiliki kedalaman bervariasi yaitu 3,0 s.d 14,0 m LWS. Untuk bisa digunakan sebagai alur pelayaran *Barges* batubara dengan bobot 8.000 DWT dan lebar *Barges*

20 m, maka dibutuhkan kedalaman alur pelayaran yang aman lebih dari 7,0 m LWS dan lebar alur 100 m. Oleh karena itu, diperlukan langkah untuk menambah kedalaman alur pelayaran dengan cara pengerukan (*capital dredging*) sehingga diperoleh kedalaman alur yang diinginkan. Tata letak rencana kegiatan pengerukan adalah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tata letak rencana pengerukan.

3.2. Hubungan Arus Pasang Surut dengan Jalur Peredaran Air

Pengaruh pasang surut terhadap mekanisme sedimentasi di perairan pelabuhan yang terletak di muara sungai adalah sangat dominan, di mana pada waktu air pasang bahan-bahan endapan yang bersumber dari laut akan terbawa masuk ke dalam *basin* (kolam pelabuhan), alur laut, dan ke lokasi-lokasi lainnya. Demikian pula pada saat air surut bahan-bahan endapan dari sumber-sumber muara sungai, rawa-rawa dan sekitarnya akan terbawa masuk pula ke daerah pelabuhan.

Perilaku aliran-aliran arus pasang surut lepas pantai dipantau dengan sistem "*float tracks* (jejak apungan/pelampung)", dari situasi yang berlaku selama pasang surut musim hujan dan pasang surut penuh di Pangkalan Susu. Perilaku aliran dipantau

pada kedalaman 1 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, dan 5 m di bawah permukaan air.

3.3. Proses Pengerukan

Pengerukan dikenal dalam teknik pembangunan pelabuhan sebagai metode yang mendukung proses penggalian dan penimbunan tanah (*excavating and dumping, cut and fill*) baik di dalam air/laut maupun di darat. Proses pengerukan umumnya terjadi pada tahap pembangunan pelabuhan (*capital dredging*), ketika kolam pelabuhan dibuat, dasar pelabuhan dipersiapkan sebagai fondasi pemecah gelombang, dan kebutuhan lainnya. Tindakan ini melibatkan pembuatan alur-alur pelayaran dan kanal agar dapat dilalui oleh kapal-kapal. Pemilihan jenis pengerukan, baik itu untuk jenis kapal tertentu, bagian pelabuhan tertentu, atau menggunakan berbagai jenis alat/kapal keruk (*dredger*), bergantung pada kebutuhan dan spesifikasi proyek.

Oleh karena itu, kapal keruk berperan sebagai kapal kerja yang penting, baik dalam pelaksanaan investasi maupun pemeliharaan pelabuhan. Selain itu, pengerukan juga dilakukan untuk menjaga dan memelihara alur pelayaran, kolam, atau sungai (*maintenance dredging*) sebagai respons terhadap proses pergerakan dan pengendapan lumpur (*sediment transport*). Dalam operasionalnya pengerukan dapat dibedakan atas:

- a. Pengerukan awal (*capital dredging*) merujuk pada kegiatan pengerukan yang dilakukan dalam rangka pengembangan pelabuhan. Contohnya termasuk pembuatan atau pelebaran kolam pelabuhan, serta pemeliharaan atau perdalam alur laut (*sea channel*) dan sejenisnya.
- b. Pengerukan pemeliharaan (*maintenance dredging*) adalah tindakan pengerukan yang dilakukan untuk menjaga kedalaman kolam atau alur pelayaran, yang mungkin terpengaruh oleh pergerakan dan pengendapan sedimen.

3.3.1. Pengerukan Alur

Setelah kapal keruk sampai di lokasi kegiatan maka selanjutnya dilakukan

pengerukan yang dimulai dari area-1 hingga area-3. Jenis kapal keruk ini memiliki lengan keruk penghisap di kedua sisi lambungnya. Pada operasionalnya pipa penghisap diturunkan sampai ke dasar perairan dan berfungsi menghisap material dasar perairan melalui kepala keruk yang kemudian dialirkan/dipompakan ke dalam penampung di lambung kapal (*Barge*). Jika *Barge* telah penuh, maka kapal berlayar menuju ke lokasi penempatan material kerukan.

3.3.2. Penempatan Material Pengerukan

Penempatan material kerukan direncanakan adalah di laut. Lokasi penempatan lumpur material kerukan di laut ditetapkan oleh instansi yang berwenang. Setelah sampai di lokasi penempatan material kerukan maka seluruh material keruk dikeluarkan melalui pintu khusus di dasar lambung. Lokasi yang memungkinkan menjadi area penempatan material kerukan adalah di laut kedalaman lebih dari 20 m. Lokasi penempatan material kerukan di laut adalah sebagaimana tertera pada Gambar 5. Setelah *Barge* kosong, maka kapal kembali ke lokasi pengerukan untuk melakukan pengerukan kembali.



Gambar 5. Lokasi penempatan material kerukan di laut.

3.4. Jenis Kapal Keruk

Perairan Pangkalan Susu sebagai alur pelayaran kapal batubara menuju PLTU 2 Sumut adalah berupa tanah lempung berpasir sehingga kapal keruk yang cocok digunakan adalah jenis kapal keruk tipe *Trailing Hopper Suction Dredger* (THSD) berkapasitas 2.000 m³ dengan *draft* penuh 3 m. Kapal ini termasuk kapal keruk yang ramah lingkungan, karena menggunakan alat keruk hisap tank (*Hopper Dredger*).

Kapal keruk dianggap sebagai salah satu varian kapal kerja yang memiliki peran penting, baik dalam konteks investasi maupun pemeliharaan pelabuhan. Sebagai contoh, dalam menjaga kedalaman alur pelayaran untuk navigasi kapal batubara dari pelabuhan Pangkalan Susu menuju PLTU 2 Sumut, jenis kapal keruk tertentu digunakan, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jenis kapal keruk pada pelabuhan Pangkalan Susu.

| No. | Jenis Kapal Keruk | Kapasitas (m ³) | Keterangan |
|-----|---|-----------------------------|------------------------|
| 1. | <i>Trailing Hopper Suction Dredger</i> (THSD) | 2000 | <i>Draft</i> penuh 3 m |
| 2. | <i>Clamshell/Grapple Dredger</i> | 2900 | |

3.5. Jenis Kapal Bongkar Muat

Beberapa jenis kapal yang melakukan kegiatan bongkar muat di pelabuhan Pangkalan Susu dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk memenuhi persyaratan alur pelayaran dengan kedalaman minimal 7,0 m LWS dan dengan lebar 100 m di Alur Pelayaran Sembilan sepanjang 17,26 km maka dibutuhkan pengerukan pada tiga lokasi (Tabel 4). Dengan demikian total volume material kerukan yang akan

dihasilkan dari proses pengerukan Alur Pelayaran Sembilan adalah ± 700.000 m³.

Tabel 3. Jenis kapal yang bongkar muat di pelabuhan Pangkalan Susu.

| No | Jenis Kapal | Tonnase (DWT) |
|----|-------------------|---------------|
| 1. | Kapal Tongkang | 8.000 |
| 2. | (<i>Barges</i>) | 6.500 |
| 3. | Kapal Tanker | 3.500 |
| | Kapal Tanker | |

Tabel 4. Pembagian area dan volume pengerukan.

| Lokasi | Lebar (m) | Panjang Alur (m) | Kedalaman (m) | Volume (m ³) |
|------------------|-----------|------------------|---------------|--------------------------|
| km ± 2,70–3,20 | 100 | 500 | 2 | 100.000 |
| km ± 6,60–7,10 | 100 | 500 | 4 | 200.000 |
| km ± 11,80–15,80 | 100 | 4000 | 1 | 400.000 |
| | | | Total | 700.000 |

4. Kesimpulan

Dari hasil dan analisis yang telah disajikan, dapat disimpulkan bahwa rencana pengerukan di Alur Pelayaran Sembilan telah melibatkan pertimbangan yang cermat. Lokasi kegiatan pengerukan pada alur dengan panjang sekitar ±17,26 km dan kedalaman bervariasi antara 3,0 hingga 14,0 m LWS menuntut peningkatan kedalaman agar dapat digunakan sebagai alur pelayaran bagi *Barges* batubara. Pengaruh pasang surut terhadap mekanisme sedimentasi di pelabuhan,

khususnya yang terletak di muara sungai, menunjukkan dominansinya selama pasang surut, baik dari laut maupun dari muara sungai dan rawa sekitarnya. Proses pengerukan menjadi langkah krusial dalam pembangunan pelabuhan, dengan dua jenis utama: pengerukan mula untuk pembangunan pelabuhan dan pengerukan pemeliharaan untuk menjaga kedalaman alur pelayaran. Jenis kapal keruk yang dipilih, yaitu *Trailing Hopper Suction Dredger* (THSD), terbukti ramah lingkungan karena menggunakan alat keruk hisap *tank*. Berbagai jenis kapal,

seperti kapal tongkang dan kapal tanker, terlibat dalam kegiatan bongkar muat di Pelabuhan Pangkalan Susu. Rencana pengerukan ini melibatkan tiga lokasi dengan total volume material kerukan sekitar $\pm 700.000 \text{ m}^3$. Keseluruhan informasi ini memberikan gambaran menyeluruh tentang tata letak rencana pengerukan, pengaruh arus pasang surut, jenis kapal yang terlibat, dan pentingnya pengerukan untuk menjaga kedalaman alur pelayaran di pelabuhan tersebut.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Daftar Pustaka

- Ayu, S. M., Dwi Suryo P, A. A., Subardjo, P., Widada, S., & Purwanto, P. (2020). Pengukuran Batimetri Untuk Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan Peti Kemas Belawan Sumatera Utara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(3), 210–224. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i3.8154>
- Firdaus, S. R., Saputro, S., & Satriadi, A. (2013). Studi Pengerukan Alur Pelayaran Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Oseanografi*, 2(3), 274–279.
- Josep, A. A. (2019). Analisis Manfaat dalam Proyek Pengerukan Studi Kasus: Alur Pelayaran Surabaya Timur. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 21(1), 35–40. <https://doi.org/10.25104/transla.v21i1.1168>
- Kementerian Perhubungan. (2008). Rencana Pembangunan Jangka Panjang Departemen Perhubungan 2005-2025. In *Efikasi Diri dan Pemahaman Konsep IPA dengan Hasil Belajar Ilmu Pengetahuan Alam Siswa Sekolah Dasar Negeri Kota Bengkulu*. Kementerian Perhubungan.
- Raga, P. (2015). Dampak Pengerukan dan Reklamasi Dalam Pembangunan Pengoperasian Pelabuhan di Indonesia. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 17(4), 188–198. <https://doi.org/10.25104/transla.v17i4.1405>
- Satriadi, A. (2013). Kajian Transpor Sedimen Tersuspensi Untuk Perencanaan Pembangunan Pelabuhan Bojonegara Banten. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(2), 68–77.
- Sinaga, R. (2015). Kelayakan Pengoperasian Pelabuhan Pangkalan Susu Sebagai Pelabuhan Umum. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 17(3), 121–128. <https://doi.org/10.25104/transla.v17i3.1409>
- Siry, H. Y. (2011). Studi Sebaran Sedimen Dasar dan Pendangkalan Di Pelabuhan Minyak PT Caltex Pacific Indonesia Dumai, Riau Pasca Pengerukan 1990. *Jurnal Widyariset*, 14(3), 643–650.
- Sugianto, D. N. (2009). Simulasi Model Transpor Sedimen Tersuspensi Untuk Mendukung Perencanaan Pelabuhan Teluk Bayur, Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2), 46–54.
- Taredja, K. W., & Nugroho, E. O. (2018). Penanganan Sedimentasi di Pelabuhan Tanjung Api-Api pada Sungai Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(3), 117. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i3.117>