



JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING & INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY

Published by :



Indonesian Society of
Applied Science (ISAS)



**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY (JACEIT)**

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

Volume 2, Nomor 2, Desember 2021

e-ISSN. 2723-5378

**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY
(JACEIT)**

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

VOLUME 2, NOMOR 2, DESEMBER 2021

E-ISSN. 2723-5378

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.52158/](https://doi.org/10.52158/)



Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) adalah sebuah jurnal *blind peer review* yang didedikasikan untuk publikasi hasil penelitian yang berkualitas dalam bidang ilmu Teknik Sipil dan Rekayasa Infrastruktur namun tak terbatas secara implisit. Semua publikasi di junal JACEIT bersifat akses terbuka yang memungkinkan artikel tersedia secara bebas online tanpa berlangganan apapun.

Penerbit

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

Alamat Redaksi

Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email: jaceit@isas.or.id; jaceit.isas@gmail.com



Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

ISAS

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id



SAMBUTAN EDITOR

Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) merupakan jurnal ilmiah yang dikelola dan dipublikasikan oleh **Indonesian Society of Applied Science (ISAS)**, yang merupakan suatu perkumpulan dari konsorsium Pusat/Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri se-Indonesia yang berbadan hukum dari Keputusan Menteri dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia **Nomor AHU-0011316.AH.01.07 Tahun 2019** pada tanggal 8 November 2019.

JACEIT terbit sejak Agustus 2020 dengan ISSN Online 2723-5378, SK LIPI Nomor. 0005.27235378/Jl.3.1/SK.ISSN/2020.08 Tanggal 6 Agustus 2020. **JACEIT** diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu Bulan Agustus dan Desember. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)* merupakan jurnal ilmiah dengan ruang lingkup bidang teknik sipil antara lain bidang struktur, manajemen konstruksi, geoteknik, hidroteknik, material maju, pemetaan/geomatika/ sistem informasi geografis, teknik lingkungan, transportasi dan rekayasa teknologi infrastruktur. **JACEIT** juga sudah terindeks **Google Scholar, ROAD, Crossref, WorldCat, One Search dan GARUDA**. **JACEIT** memiliki DOI: <https://doi.org/10.52158/>. Kami akan terus berupaya dalam meningkatkan lembaga pengindeks agar dapat meningkatkan impact factor OJS **JACEIT**.

Pada Volume 2 No. 2, Desember 2021 ini terdiri atas 6 artikel dengan 14 penulis yang berasal dari 4 Perguruan tinggi di Indonesia, yaitu Politeknik Negeri Banyuwangi, Politeknik Negeri Jakarta, Politeknik Negeri Malang dan Universitas Borneo Tarakan.

Penerbitan Jurnal ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, terutama ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para editor dan reviewer yang sudah rela bekerja keras dalam me-review manuskrip hingga layak publish di Jurnal ini. Kami juga mengapresiasi para peneliti dan praktisi yang sudah menjadikan Jurnal **JACEIT** sebagai media untuk publikasi hasil penelitiannya. Membutuhkan usaha lebih keras untuk mendapatkan submission paper dari kalangan akademisi dari berbagai Perguruan Tinggi Negeri ataupun Swasta. Diharapkan ada suatu kesediaan kerjasama diantara para editor jurnal di Indonesia dalam sharing artikel ilmiah, sehingga bisa memperkaya keilmuan bidang khususnya bidang Teknik Sipil di dalam terbitan Jurnal kami kedepannya.

Semoga manuskrip di Jurnal **JACEIT** dapat menambah khazanah keilmuan dan wawasan ilmiah, khususnya dalam bidang Teknik Sipil. Kritik dan saran membangun tetap kami harapkan untuk perbaikan Jurnal ini.

Ketua Dewan Redaksi,

Zulis Erwanto, S.T., M.T.





Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id

KEPUTUSAN
KETUA INDONESIAN SOCIETY OF APPLIED SCIENCE
NOMOR : 07/ISAS/TU/2021

TENTANG
SUSUNAN DEWAN REDAKSI
JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY
(JACEIT)
PERIODE 2021-2022

KETUA INDONESIAN SOCIETY OF APPLIED SCIENCE

- Menimbang : a. bahwa untuk kelancaran pengelolaan Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) dipandang perlu menetapkan susunan Dewan Redaksinya;
b. bahwa untuk keperluan sebagaimana dimaksud pada poin (a) perlu menetapkan Keputusan Ketua tentang Susunan Dewan Redaksi JACEIT Periode 2021-2022.
- Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 9 Tahun 2018 tentang Akreditasi Jurnal Ilmiah;
3. Surat Keputusan Ketua Forum Direktur Politeknik Negeri se-Indonesia Nomor 129/FDPNI/SK/2021 tentang Kepengurusan Indonesian Society of Applied Science;
- Memperhatikan : Anggaran Dasar/Anggaran Rumah Tangga Indonesian Society of Applied Science

MEMUTUSKAN

- Menetapkan :
Kesatu : Mengangkat mereka yang tersebut namanya pada lampiran Surat Keputusan ini sebagai Dewan Redaksi Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) Periode 2021-2022.
Kedua : Dalam melaksanakan tugas dan fungsi Dewan Redaksi JACEIT berpedoman pada peraturan yang berlaku.

Surat keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkannya dengan ketentuan akan diperbaiki sebagaimana mestinya jika terdapat kekeliruan dalam penetapannya.

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 1 Juli 2021

Ketua,

Prof. Dr. Adrianus Amheka, ST, M.Eng

Tembusan :

1. Wakil Ketua
 2. Arsip
- Indonesian Society of Applied Science





Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id

Lampiran Surat Keputusan

Nomor : 07/ISAS/TU/2021

Tanggal : 1 Juli 2021

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) Periode 2021-2022

Penanggung Jawab : Ketua ISAS

Ketua Dewan Redaksi : Zulis Erwanto, S.T., M.T. (Scopus ID: 57205080742, Sinta ID: 5977090, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia)

Tim Editor

Nama Lengkap	Scopus ID	Sinta ID	Instansi	Kota, Negara
Zulis Erwanto, S.T., M.T.	57205080742	5977090	Politeknik Negeri Banyuwangi	Banyuwangi, Indonesia
Nunung Martina, S.T., M.Si	57223227962	6182411	Politeknik Negeri Jakarta	Jakarta, Indonesia
Merley Misriani, ST., MT.	-	6014462	Politeknik Negeri Padang	Jakarta, Indonesia
Puji Utomo, S.T., M.Eng.	-	6019000	Universitas Teknologi Yogyakarta	Yogyakarta, Indonesia
Anis Rosyidah, S.ST., M.T.	56033494000	6036480	Politeknik Negeri Jakarta	Jakarta, Indonesia
Qurrotus Shofiyah, S.T., M.T.	572203591963	6709680	Politeknik Negeri Banyuwangi	Banyuwangi, Indonesia
Archendri M. Kurniawan, S.Pd., S.T., M.T.	-	6097117	Politeknik Negeri Malang	Malang, Indonesia
Rian Mantasa Salve Prastica, S.T., M.T.	57200571749	6677298	Universitas Gadjah Mada	Yogyakarta, Indonesia





Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id

Tim Reviewer

Nama Lengkap	Scopus ID	Sinta ID	Email	Instansi	Kota, Negara
Dr. Taufiq Rochman, ST., MT.	56071562200	6655058	Taufiq.rochman@polinema.ac.id	Politeknik Negeri Malang	Malang, Indonesia
Prof. Dr. Ir. Lilik Sudiajeng, M.Erg	55189864100	5978223	sudiajeng@pnb.ac.id	Politeknik Negeri Bali	Bali, Indonesia
Sri Wahyuni, ST., MT., Ph.D	57214981361	6028973	yuniteknik@ub.ac.id	Universitas Brawijaya	Malang, Indonesia
Ir. Alan Putranto, ST., MT.	-	6698912	alanputranto@politap.ac.id	Politeknik Negeri Ketapang	Ketapang, Indonesia
Dr. Nawir Rasidi, ST. MT.	57215038530	6013639	nawir.rasidi@polinema.ac.id	Politeknik Negeri Malang	Malang, Indonesia
Tommy Ekamitra Sutarto, ST.M.Sc, Ph.D	56641876700	6085522	tommysutarto@polnes.ac.id	Politeknik Negeri Samarinda	Samarinda, Indonesia
Ir. Putera Agung Maha Agung, M.Eng., Ph.D	-	6198263	Putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id	Politeknik Negeri Jakarta	Jakarta, Indonesia
Adrianus Amheka, Ph.D	56491035100	5980612	Adrianus.amheka@gmail.com	Politeknik Negeri Kupang	Kupang, Indonesia
Himatul Farichah, ST., M.Sc	57212345620	6692937	himatulfarichah@ft.um-surabaya.ac.id	Universitas Muhammadiyah Surabaya	Surabaya, Indonesia
Cintantya Budi Casita, ST., MT.	57212347495	6177899	Cintantyabudi.ts@upnjatim.ac.id	Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur	Surabaya, Indonesia
Dr. Gusfan Halik, ST., MT.	56816987300	5987519	gusfan.teknik@unej.ac.id	Universitas Jember	Jember, Indonesia
Budiman, S.T., M.T.	-	6179861	budiman@polinef.id	Politeknik Negeri Fakfak	Fakfak, Indonesia
Mohamad Galuh Khomari, S.Pd., M.T.	-	6735905	mohamadgaluh@poliwangi.ac.id	Politeknik Negeri Banyuwangi	Banyuwangi, Indonesia
Ir. Hamkah, M.T.	57222086647	6665494	hamkah27@yahoo.co.id	Politeknik Negeri Ambon	Ambon, Indonesia





DAFTAR ISI TERBITAN

No.	Judul – Penulis	Halaman
1	Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Pada Campuran Aspal Beton Lapis AC-BC <i>Hilda Nur Hidayati, Mirza Ghulam Rifqi, M. Shofi'ul Amin</i>	1-6
2	Pengaruh Penambahan Limbah Plastik <i>Low Density Polyethylene</i> Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC <i>Erni Dwi Susanti, Mirza Ghulam Rifqi, M. Shofi'ul Amin</i>	7-13
3	Analisis Perencanaan <i>Sheet Pile</i> pada Tanggul Sungai (Studi Kasus : Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kabupaten Bulungan) <i>Hasrullah, Sebanyak Elia, Dandung Novianto</i>	14-22
4	Analisis <i>Quantity Take-Off</i> Menggunakan BIM Pada Proyek Jalan Tol "X" <i>Karina Travis, Nunung Martina, Safri</i>	23-31
5	Evaluasi Kapasitas Tiang Pancang Miring pada Pilar Jembatan Tipe <i>Pile Cap</i> <i>Ananda Sabiila Rosyada, Andi Indianto</i>	32-38
6	Analisis Faktor Keterlambatan Pada Pembangunan Proyek X <i>Fahira Khairani, Iwan Supriyadi</i>	39-45





Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Pada Campuran Aspal Beton Lapis AC-BC

Hilda Nur Hidayati¹, Mirza Ghulam Rifqi², M. Shofi'ul Amin³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹email: hildanur16@yahoo.co.id*, ²email: mirza@poliwangi.ac.id, ³email: shofiul@poliwangi.ac.id

Abstract

Increased traffic volume growth has an impact on demand for the construction of pavement structures and the use of materials used. Therefore, we need a material that can help coat aggregate materials other than asphalt in order to reduce these effects, for example polymer or plastic materials. One effort that can be done is to modify the effect of adding Low Density Poly Ethylene (LDPE) plastic as an additive in AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) asphalt mixture. The purpose of this study was to determine how the effect of the addition of Low Density Poly Ethylene (LDPE) type plastics as an added ingredient of AC-BC hot asphalt mixture on Marshall characteristics. Tests conducted include aggregate testing, asphalt testing, plastic testing, and Marshall testing. The design of the mixture is done by dry (dry process) using a variation of plastic content of 0%, 2%, 3%, and 4% with each bitumen content of 4.5%, 5%, 5.5%, 6.0 % and 6.5%, the number of test specimens made is 75 test specimens. From the Marshall test results obtained KAO value of 6.5% with a variation in LDPE plastic content of 3%. With a stability value of 1878.40 kg, a flow value of 3.81 mm, an MQ value of 472.5 kg / mm, a VFB / VFA value of 72.55%, a VIM value of 4.29%, and a VMA value of 17.74%.

Keywords: LDPE Plastic, Marshall, Laston AC-BC, KAO, Dry Process

Abstrak

Pertumbuhan volume lalu lintas yang meningkat memberikan dampak terhadap permintaan akan pembangunan struktur perkerasan jalan dan penggunaan material yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu material yang dapat membantu melapisi bahan agregat selain aspal agar dapat mengurangi pengaruh tersebut, contohnya bahan polimer atau plastik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan dilakukan modifikasi pengaruh penambahan plastik *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) sebagai bahan tambahan dalam campuran lapis aspal beton AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan plastik jenis *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) sebagai bahan tambah campuran beraspal panas AC-BC terhadap karakteristik Marshall. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian agregat, pengujian aspal, pengujian plastik, dan pengujian Marshall. Perancangan campuran dilakukan dengan cara kering (*dry process*) menggunakan variasi kadar plastik sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4% dengan masing-masing kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%, jumlah benda uji yang dibuat yaitu 75 benda uji. Dari hasil uji *Marshall* diperoleh nilai KAO sebesar 6,5% dengan variasi kadar plastik LDPE 3%. Dengan nilai stabilitas sebesar 1878,40 kg, nilai flow sebesar 3,81 mm, nilai MQ sebesar 472,5 kg/mm, nilai VFB/VFA sebesar 72,55 %, nilai VIM sebesar 4,29 %, dan nilai VMA sebesar 17,74%.

Kata kunci: Plastik LDPE, *Marshall*, Laston AC-BC, KAO, *Dry Process*

Diterima Redaksi : 04-08-2020 | Selesai Revisi : 29-09-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

1. Pendahuluan

Aspal merupakan salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuatan konstruksi jalan raya. Aspal sebagai bahan pengikat pada perkerasan lentur sangat terpengaruh terhadap cuaca, terutama curah hujan. Curah hujan yang sangat tinggi dapat mempercepat kerusakan jalan dan pelapukan agregat pada konstruksi perkerasan lentur. Oleh karena itu, diperlukan suatu material yang dapat membantu melapisi bahan agregat selain aspal agar dapat mengurangi pengaruh tersebut, contohnya bahan polimer atau plastik.

Salah satu jenis plastik yang digunakan adalah LDPE (*Low Density Poly Ethylene*). LDPE (*Low Density Poly Ethylene*) merupakan jenis plastik *Poly Ethylene* yang bersifat lembut, fleksibel dan mudah didapat. Plastik jenis LDPE (*Low Density Poly Ethylene*) biasa digunakan sebagai plastik jernih pembungkus makanan dan minuman.

Nilai stabilitas pada campuran aspal cenderung meningkat apabila campuran lapis aspal beton atau laston diselubungi dengan limbah plastik LDPE [1]. Pada aspal lapis beton atau laston terdapat 3 lapis, salah satunya yaitu *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) sebagai bahan pengikat. Umumnya laston AC-BC digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Laston AC-BC berfungsi mengurangi tegangan/ regangan akibat beban lalu-lintas dan meneruskannya ke lapis di bawahnya. Jadi, pada laston AC-BC harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi pengaruh penambahan plastik *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) sebagai bahan tambahan dalam campuran lapis aspal beton AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*). Yang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat fisik campuran laston dan karakteristiknya, serta meningkatkan nilai fungsi limbah plastik sebagai wujud kepedulian terhadap lingkungan.

2. Metode Penelitian

Langkah – langkah pelaksanaan penelitian untuk mendapatkan hasil dalam Proyek Akhir ini adalah sebagai berikut :

2.1 Studi Pustaka

Kegiatan ini adalah mengumpulkan materi dan mempelajari referensi yang mendukung dalam penyusunan proyek akhir. Studi literatur ini dilakukan mulai tahap awal sampai akhir.

2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Material agregat kasar dan halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Tegalsari, Banyuwangi, dan bahan pengisi (*filler*). Untuk material plastik LDPE diperoleh dari tempat pengumpul plastik di daerah Rogojampi. Sedangkan material aspal 60/70 diperoleh dari setempat.

2.3 Pengujian Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian terlebih dahulu dilakukan pengujian, agar memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian agregat kasar, pengujian agregat halus, pengujian pasir pantai, pengujian bahan pengisi (*filler*), dan pengujian aspal. Pengujian bahan terdiri dari:

1. Pengujian Aspal
2. Pengujian Agregat
3. Pengujian Plastik LDPE

2.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan plastik jenis LDPE. Variasi kadar plastik yang digunakan yaitu 0%, 2%, 3%, dan 4%. Variasi kadar aspal dibuat 3 benda uji pada masing-masing kadar aspal, karena dibuat perbandingan. Apabila yang memenuhi spesifikasi 2 benda uji dan 1 benda uji tidak lolos, maka benda uji tersebut dinyatakan lolos.

2.5 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan. Pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan alir (*flow*) dari suatu campuran aspal dengan agregat ukuran maksimum 2,54 cm. Pengujian *Marshall* mengacu pada [2].

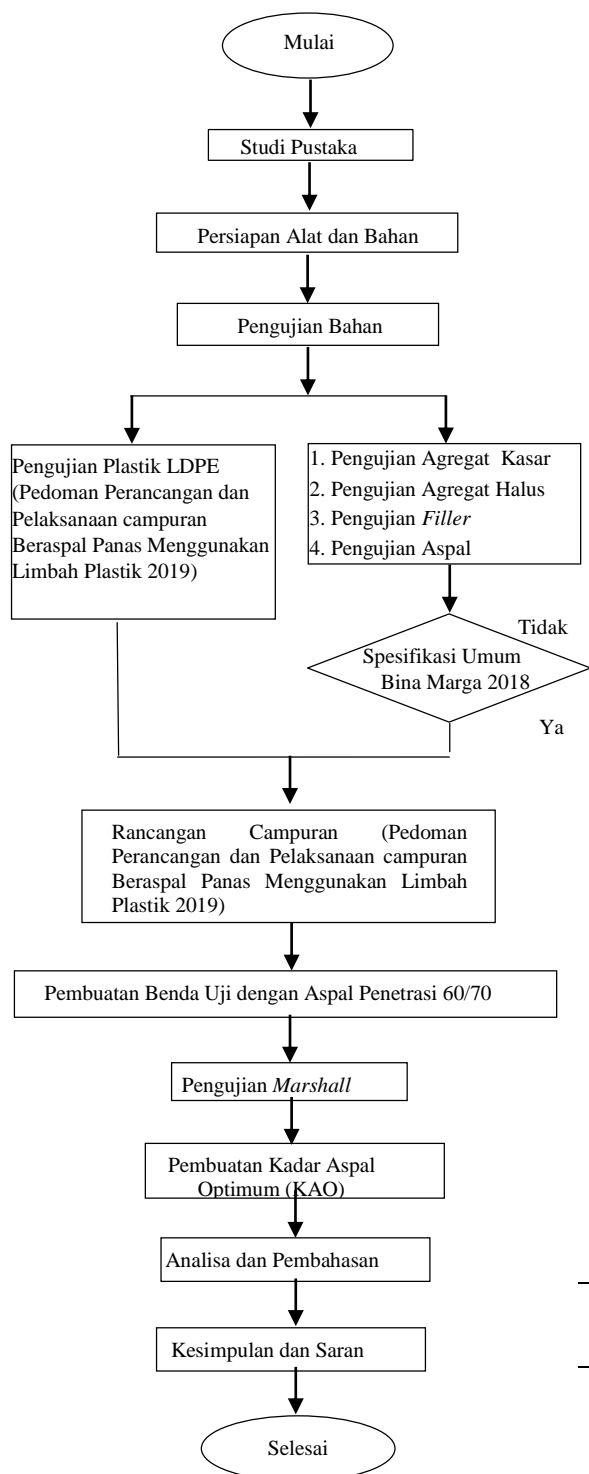
2.6 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah semua data pengujian yang diperlukan terkumpul, selanjutnya akan dilakukan analisa dari data tersebut. Pembahasan hasil analisa mencakup beberapa hal antara lain :

1. Nilai Rongga dalam campuran (VIM)
2. Nilai Rongga dalam agregat (VMA)
3. Nilai Rongga terisi Aspal (VFB)
4. Nilai Kadar aspal optimum
5. Nilai Stabilitas
6. Nilai Kelelahan (*Flow*)
7. Nilai *Marshall Quotient*

2.7 Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir setelah semua proses analisa dan pembahasan selesai, maka di lakukan pembuat kesimpulan. Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian yang telah di lakukan dan saran yang sekiranya ada hal – hal yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ada.



Gambar 1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dan *filler* yang dilakukan meliputi pengujian gradasi analisa saringan, lolos ayakan No.200, berat jenis dan penyerapan air, *impact test*, dan keausan menggunakan mesin *los angeles*. Dengan menggunakan acuan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal

Panas Menggunakan Limbah Plastik 2019. Semua pengujian agregat telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

3.2. Pengujian Aspal Pen 60/70

Pengujian aspal pen.60/70 dilakukan untuk melihat kelayakan aspal yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji telah memenuhi Spesifikasi Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik (2019). Aspal yang digunakan berupa aspal penetrasi 60/70. Pengujian aspal yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis aspal, titik lembek aspal, daktulitas aspal, titik nyala dan titik bakar aspal.

3.3 Pengujian Plastik

Pengujian plastik yang dilakukan yaitu pengujian Kadar air dan telah memenuhi Spesifikasi Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik (2019).

3.4 Hasil Pengujian Marshall

1. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 0%

Hasil pengujian Marshall pada plastik LDPE 0% dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 0%

Variasi Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (Kg/mm)	VFB (%)	VIM (%)	VMA (%)
4,5%	1226,30	2,83	423,90	65,19	8,55	16,45
5,0%	1289,30	2,78	396,40	66,73	5,00	15,89
5,5%	1437,50	3,08	394,00	70,10	5,60	16,08
6,0%	1378,20	3,32	326,00	73,73	8,54	19,81
6,5%	1482,00	3,11	397,80	75,89	4,93	20,38
Spesifikasi BM 2018	>900	2 – 4	>250	>65	3 - 5	>15

2. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 2%

Hasil pengujian Marshall pada plastik LDPE 0% dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 2%

Variasi Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (Kg/mm)	VFB (%)	VIM (%)	VMA (%)
4,5%	1622,80	3,00	467,90	52,25	7,56	15,54
5,0%	1611,60	3,61	427,20	65,73	4,99	15,17
5,5%	1526,40	3,88	449,00	69,90	4,87	15,42
6,0%	1430,10	3,80	377,30	70,11	8,34	19,64
6,5%	1593,10	3,43	436,20	72,79	4,84	17,82
Spesifikasi BM 2018	>900	2 - 4	>250	>65	3 - 5	>15

3. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 3%

Hasil pengujian Marshall pada plastik LDPE 3% dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 3. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 3%

Variasi Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (Kg/mm)	VFB (%)	VIM (%)	VMA (%)
4,5%	1685,20	3,64	506,30	51,68	7,48	15,47
5,0%	1604,20	4,07	464,20	62,18	4,97	14,36
5,5%	1652,60	3,88	463,20	69,10	4,84	15,40
6,0%	1752,40	4,24	432,20	57,90	7,90	16,17
6,5%	1878,40	3,81	472,50	72,55	4,29	17,74
Spesifikasi BM 2018	>900	2 - 4	>250	>65	3 - 5	>15

4. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 4%

Hasil pengujian Marshall pada plastik LDPE 4% dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Plastik LDPE 4%

Variasi Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (Kg/mm)	VFB (%)	VIM (%)	VMA (%)
4,5%	1778,40	3,71	577,30	48,01	6,69	12,76
5,0%	1837,60	4,14	568,40	58,53	4,52	14,35
5,5%	1841,30	4,22	466,20	65,19	4,55	15,14
6,0%	2052,50	4,27	483,50	56,94	5,88	16,08
6,5%	2067,30	4,25	536,00	61,26	4,18	17,17
Spesifikasi BM 2018	>900	2 - 4	>250	>65	3 - 5	>15

3.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal

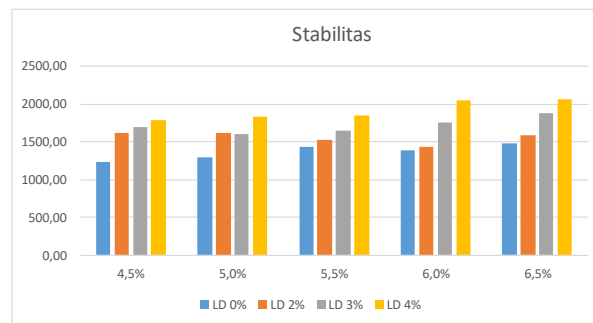
1. Stabilitas

Stabilitas dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan perubahan yang tetap, seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Hasil rekapitulasi nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Macam Campuran	Stabilitas	Stabilitas	Stabilitas	Sstabilitas
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	1226,30	1622,80	1685,70	1778,40
5,0%	1289,30	1611,60	1604,20	1837,60
5,5%	1437,50	1526,40	1652,40	1841,30
6,0%	1378,20	1430,10	1752,40	2052,50
6,5%	1482,00	1593,10	1878,40	2067,30
Spesifikasi BM 2018	MIN. 900	MIN. 900	MIN. 900	MIN. 900

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Rekapitulasi Nilai Stabilitas

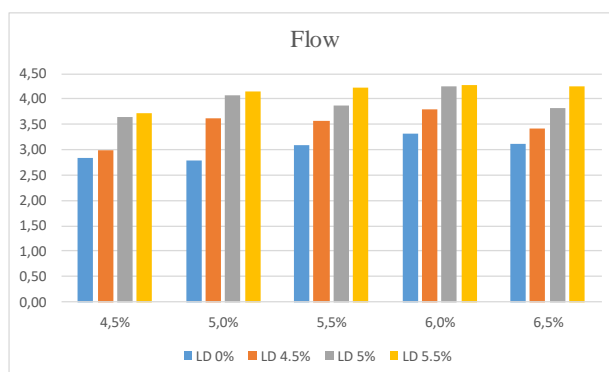
2. Flow (Kelelehan)

Nilai *flow* dipengaruhi oleh gradasi agregat dan proses pemadatan. Campuran aspal dengan nilai *flow* yang terlalu rendah cenderung menyebabkan campuran tersebut menjadi kaku dan getas sedangkan campuran beraspal panas dengan *flow* yang terlalu tinggi cenderung bersifat plastis atau mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas yang tinggi. Hasil rekapitulasi nilai *flow* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Nilai Flow

Macam Campuran	Flow	Flow	Flow	Flow
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	2,83	3,00	3,64	3,71
5,0%	2,78	3,61	4,07	4,14
5,5%	3,08	3,57	3,88	4,22
6,0%	3,32	3,80	4,24	4,27
6,5%	3,11	3,43	3,81	4,25
Spesifikasi BM 2018	2 - 4	2 - 4	2 - 4	2 - 4

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Nilai Flow

3. Marshall Quotient (MQ)

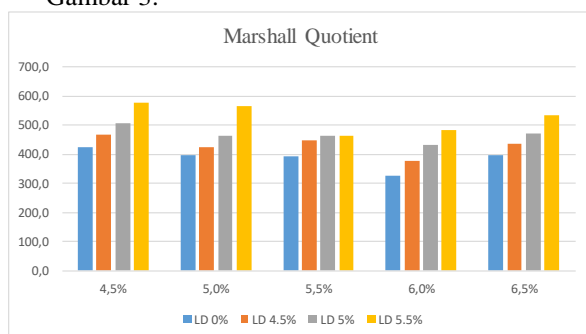
Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan indeks kelenturan suatu campuran berupa perbandingan antara stabilitas terhadap *flow* dengan satuan kg/mm. Nilai *MQ* ini dihubungkan dengan daya tahan perkerasan terhadap deformasi. Semakin

besar nilai *MQ* menandakan campuran semakin kaku/getas sehingga dapat terjadi retak apabila diberi beban, sedangkan semakin kecil nilai *MQ* menandakan campuran semakin lentur dan mampu berdeformasi apabila diberi beban. Hasil rekapitulasi nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rekapitulasi Nilai *MQ*

Macam Campuran	<i>MQ</i>	<i>MQ</i>	<i>MQ</i>	<i>MQ</i>
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	423,9	467,90	506,30	577,30
5,0%	396,4	427,20	464,20	568,40
5,5%	394,0	449,00	463,20	466,20
6,0%	326,0	377,30	432,20	483,50
6,5%	397,8	436,20	472,50	536,00
Spesifikasi BM 2018	>250	>250	>250	>250

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Nilai *MQ*

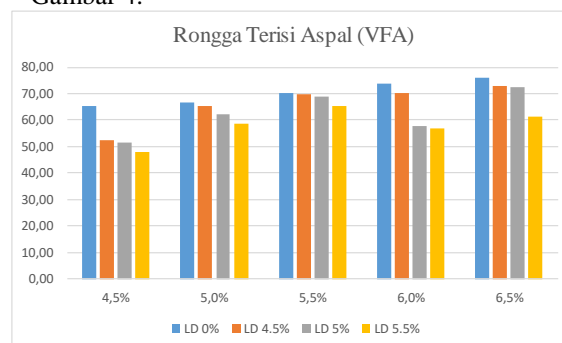
4. Rongga Terisi Aspal (*VFB*)

Nilai *VFB* dipengaruhi oleh jumlah dan temperature pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFB* yang terlalu rendah akan mengurangi keawetan suatu campuran aspal sedangkan nilai *VFB* yang terlalu tinggi campuran aspal mudah mengalami bleeding karena rongga dalam campuran tidak tersedia atau terlalu kecil yang menyebabkan aspal naik ke permukaan. Hasil rekapitulasi nilai rongga terisi aspal (*VFB*) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Rekapitulasi nilai *VFB*

Macam Campuran	<i>VFA/VFB</i>	<i>VFA/VFB</i>	<i>VFA/VFB</i>	<i>VFA/VFB</i>
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	65,19	52,25	51,68	48,01
5,0%	66,73	65,34	62,18	58,53
5,5%	70,10	69,90	69,10	65,19
6,0%	73,73	70,11	57,90	56,94
6,5%	75,89	72,79	72,55	61,26
Spesifikasi BM 2018	MIN 65	MIN 65	MIN 65	MIN 65

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Nilai *VFB*

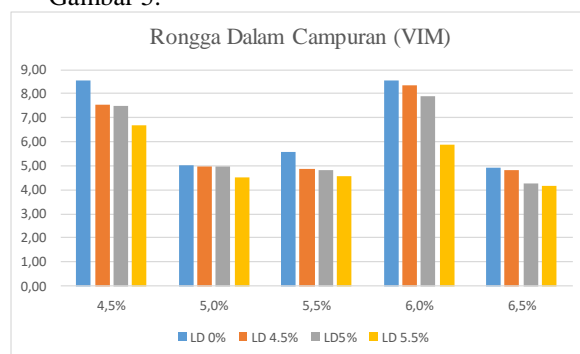
5. Rongga Terisi Aspal *VIM*

Rongga dalam campuran adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam persen volume bulk. Nilai *VIM* dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah dan temperature pemadatan. Hasil rekapitulasi nilai rongga dalam campuran (*VIM*) dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Rekapitulasi nilai *VIM*

Macam Campuran	<i>VIM</i>	<i>VIM</i>	<i>VIM</i>	<i>VIM</i>
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	8,55	7,56	7,48	6,69
5,0%	5,00	4,99	4,97	4,52
5,5%	5,60	4,87	4,84	4,55
6,0%	8,54	8,34	7,90	5,88
6,5%	4,93	4,84	4,29	4,18
Spesifikasi BM 2018	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai *VFB*

6. Rongga Dalam Agregat (*VMA*)

Rongga dalam agregat adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam prosentase volume total campuran. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukan dan temperature pemadatan.

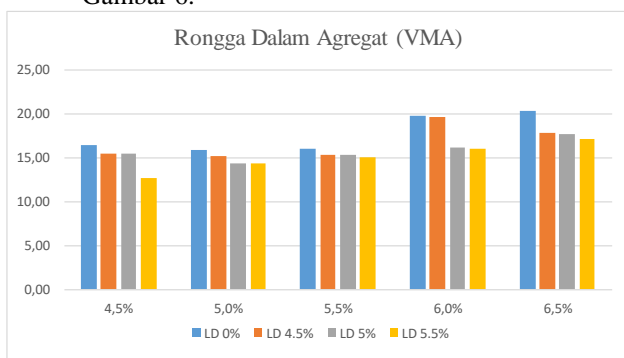
Hasil rekapitulasi nilai rongga dalam agregat (VMA) dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi nilai VMA

Macam Campuran	VMA	VMA	VMA	VMA
	LD 0%	LD 2%	LD 3%	LD 4%
4,5%	16,45	15,54	15,47	12,76
5,0%	15,89	15,17	14,36	14,35
5,5%	16,08	15,42	15,40	15,14
6,0%	19,81	19,64	16,17	16,08
6,5%	20,38	17,82	17,74	17,17
Spesifikasi BM 2018	> 15	> 15	> 15	> 15

█ : Nilai di bawah spesifikasi
 ↑ : Nilai Aspal Optimum (KAO)

Selanjutnya data pengujian tersebut dipaparkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Rekapitulasi Nilai VMA

3.6 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) bertujuan untuk mengetahui kadar aspal yang baik atau kadar aspal efektif pada campuran lapis aspal beton. Dari masing-masing grafik hubungan antara parameter pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5% diperoleh nilai kadar aspal optimum pada setiap grafik hasil pengujian. Hasil pengujian Marshall pada kadar plastik LDPE 0%, 2%, 3% dan 4% kemudian dihubungkan dalam diagram batang yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Pententuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal	4,5%				5,0%				5,5%				6,0%				6,5%			
Kadar Plastik	0%	2%	3%	4%	0%	2%	3%	4%	0%	2%	3%	4%	0%	2%	3%	4%	0%	2%	3%	4%
Stabilitas	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Flow	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
MQ	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
VFB	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
VIM	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
VMA	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Sumber : Pengolahan Data, 2020

Keterangan :

█ : Nilai sesuai spesifikasi
 █ : Nilai di atas spesifikasi

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian terhadap penambahan plastik LDPE sebagai bahan tambah agregat pada campuran laston AC-BC diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin bertambahnya kadar plastik yang digunakan nilai stabilitas semakin tinggi. Semakin tinggi nilai stabilitas mengakibatkan campuran menjadi semakin keras atau mudah retak.
2. Semakin bertambahnya kadar plastik yang digunakan nilai *flow* semakin tinggi. nilai *flow* meningkat karena semakin tinggi kadar plastik menyebabkan campuran menjadi semakin elastis.
3. Semakin bertambahnya kadar plastik LDPE yang digunakan, nilai VIM dan VMA yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini disebabkan plastik dapat menutupi pori pori agregat dan daya ikat agregat jadi semakin kuat. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi plastik LDPE berpengaruh terhadap nilai VIM dan VMA yang dihasilkan.
4. Semakin bertambahnya kadar plastik, nilai VFA/VFB yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini mengakibatkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara yang akhirnya lapis menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan plastik LDPE tidak terlalu mempengaruhi keawetan campuran.
5. Semakin bertambahnya kadar plastik, nilai MQ yang dihasilkan semakin tinggi. Semakin tinggi nilai MQ mengindikasikan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan campuran semakin rentan terhadap keretakan.
6. Pada penelitian ini diperoleh nilai KAO pada kadar aspal 6,5% dengan kadar plastik 3% dan nilai stabilitas 1878,40 kg.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih saya ucapkan kepada orang tua tercinta, segenap pimpinan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, dosen pembimbing, serta teman-teman yang telah memberikan bantuan dan dukungan.

Daftar Rujukan

- [1] Jonathan, C. (2017). *Karakteristik Aspal Beton Menggunakan Agregat Terselimuti Limbah Plastik Low density Polyethylene (LDPE)*. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- [2] SNI 06-2456-1991. (1991). *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.



Pengaruh Penambahan Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC

Erni Dwi Susanti¹, Mirza Ghulam Rifqi², M. Shofi'ul Amin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹email : ernids892@gmail.com*, ²email : mirza@poliwangi.ac*, ³email : shofiul@poliwangi.ac.id

Abstract

The problem of plastic waste is now one of the world's concentrations. Efforts to reduce and prevent many have been done, but in general the results obtained are not comparable with the growing use of plastics that continues to increase, especially plastics that are not managed properly. One of the efforts made is the utilization of plastic waste as added ingredients of Laston AC-WC hot asphalt mixture called modification. The purpose of this study was to determine how the effect of adding Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste to the characteristics of Marshall Laston AC-WC. Tests carried out include aggregate testing, asphalt testing, and plastic testing, and Marshall testing. The design of the mixture is done by dry (dry process) using a variation of plastic content of 0%, 4.5%, 5%, and 5.5%, each of which uses 5 levels of asphalt which is 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7% with 3 specimens each, so that there are a total of 75 specimens. Marshall test results obtained KAO of 6.5% with a variation of plastic content of 5.5%, obtained stability of 2167.40 kg, Flow 3.8 mm, VIM 3.94%, VMA 15.95%, VFA / VFB 77, 12%, and MQ 570.37 kg / mm. So that the addition of LDPE type plastic waste meets (General Specifications of Bina Marga, 2018).

Keywords: Laston AC-WC, LDPE plastic, Marshall, dry process, KAO.

Abstrak

Permasalahan sampah plastik saat ini telah menjadi salah satu konsentrasi dunia. Upaya pengurangan dan pencegahan telah banyak dilakukan, namun secara umum hasil yang didapat tidak sebanding dengan pertumbuhan penggunaan plastik yang terus meningkat khususnya plastik yang tidak terkelola dengan baik. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan tambah campuran beraspal panas Laston AC-WC yang disebut modifikasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) terhadap karakteristik *Marshall* Laston AC-WC. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian agregat, pengujian aspal, pengujian plastik, dan pengujian *Marshall*. Perancangan campuran dilakukan dengan cara kering (*dry process*) menggunakan variasi kadar plastik sebesar 0%, 4,5%, 5%, dan 5,5% yang masing-masing memakai 5 kadar aspal yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dengan masing-masing 3 benda uji, sehingga total ada 75 benda uji. Hasil uji *Marshall* diperoleh KAO sebesar 6,5% dengan variasi kadar plastik sebesar 5,5%, diperoleh stabilitas 2167,40 kg, *Flow* 3,8 mm, VIM 3,94%, VMA 15,95%, VFA/VFB 77,12%, dan MQ 570,37 kg/mm. Sehingga penambahan limbah plastik jenis LDPE memenuhi (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018).

Kata kunci: Laston AC-WC, Plastik LDPE, *Marshall*, Cara Kering, KAO.

Diterima Redaksi : 04-08-2020 | Selesai Revisi : 21-09-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

1. Pendahuluan

Plastik banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil. Komposisi sampah plastik di

Indonesia sebesar 65 juta ton yang diproduksi setiap hari, 15 juta ton mengotori ekosistem, 7% sampah didaur ulang, dan 69% sampah berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sedangkan sampah plastik

terdapat 14% yang artinya ada 1.3 juta sampah plastik per tahun yang tidak dikelola [6].

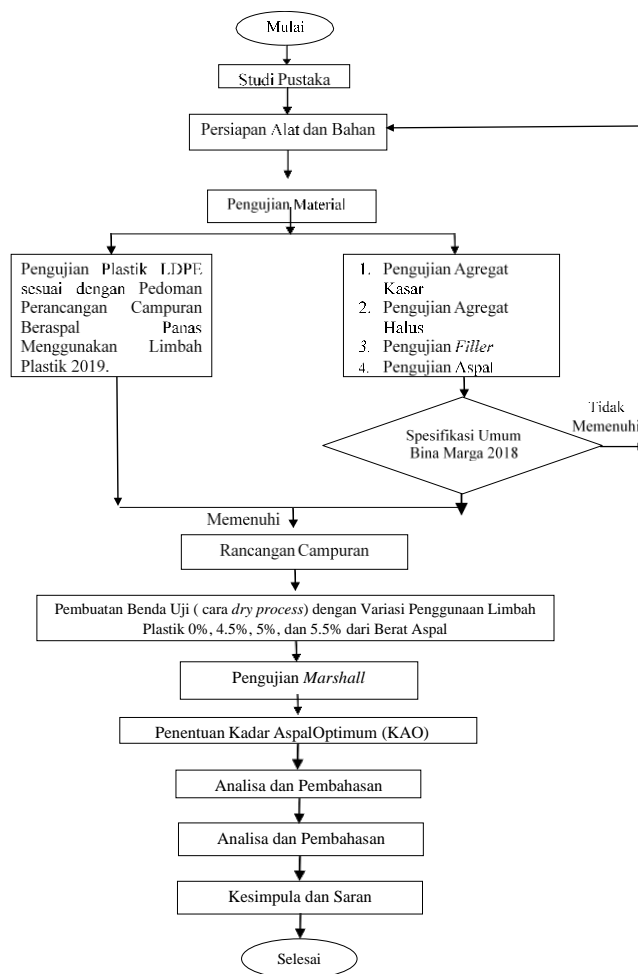
Sebagai upaya dalam mengatasi sampah plastik yang belum terkelola dengan baik khususnya limbah botol yang dapat ditekan seperti botol *make up*, *facial wash*, dsb yang merupakan salah satu jenis plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE), dilakukan pengolahan limbah plastik sebagai bahan tambah campuran beraspal panas yang disebut modifikasi. Salah satu bahan tambah yang umum digunakan adalah polimer, plastik mengandung polimer yang bersifat [2].

Menurut [4] bahan polimer dapat meningkatkan kekakuan aspal melalui peningkatan nilai stabilitasnya. Pada penelitian (Siregar, 2019) menunjukkan kualitas campuran aspal optimum pada kadar plastik LDPE 6%. Hal ini dikarenakan plastik cair ketika dicampurkan dengan agregat, plastik menempel cepat dan mengikat agregat sehingga memperkecil aspal yang masuk ke pori-pori agregat dibandingkan aspal tanpa bahan tambah plastik.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti akan menggunakan jenis sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebagai bahan tambah campuran beraspal sebagai modifikasi yang diharapkan dapat meningkatkan karakteristik campuran Lapis Aspal Beton (Laston) AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) yang merupakan lapis perkerasan terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus dalam kemampuannya untuk menerima beban lalu lintas.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Jalan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi. Sumber material agregat kasar dan agregat halus berasal dari AMP Argotuhu Tegalsari, Banyuwangi serta material aspal keras Pertamina penetrasi 60/70 diperoleh dari Laboratorium setempat. Pelaksanaan pengujian material agregat dan aspal berdasarkan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018. Berikut merupakan gambaran langkah kerja atau *flow chart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur yang dimaksud adalah mencari literatur-literatur yang berhubungan dengan pelaksanaan pengerjaan penelitian. Studi literatur dilakukan agar tidak terjadi kesalahan yang signifikan dalam pelaksanaan penelitian.

2.2. Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan disiapkan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian material atau pembuatan benda uji.

2.3. Pengujian Bahan dan Material

Pengujian material digunakan untuk mengetahui karakteristik material. Selain itu juga untuk mengetahui studi layak dan tidak layak sebuah material sesuai dengan standar yang berlaku.

2.4. Rancangan Campuran

Tahap kali ini ialah perencanaan campuran aspal, dengan menggunakan gradasi campuran laston AC-WC. Untuk proporsi 1 briket aspal dengan kadar aspal Pb%, Pb+0,5%, Pb+1%, Pb-0,5%, Pb-1%.

Selanjutnya proporsi kadar plastik yang digunakan yaitu 0%, 4.5%, 5%, dan 5.5%.

2.5. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji sesuai rancangan campuran dari hasil yang telah direncanakan dengan penambahan kadar limbah plastik LDPE sebesar 0%, 4.5%, 5%, dan 5.5% dari berat aspal total.

2.6. Pengujian Marshall

Setelah pembuatan benda uji, akan dilakukan pengujian benda uji dengan alat Marshall. Pengujian dilakukan setelah benda uji melalui proses perendaman selama 24 jam dan selanjutnya perendaman didalam water bath dengan suhu 60°C selama 30 menit. Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat Marshall, maka didapatkan parameter-parameter sifat campuran yang disyaratkan yaitu stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA.

2.7. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah melakukan pengujian benda uji dengan menggunakan alat Marshall, maka telah diketahui semua hasil pengujian beserta parameter sifat campuran masing-masing variasi kadar plastik dengan kadar aspal yang berbeda. Maka dapat ditentukan yang mana dari keempat variasi kadar plastik yang memiliki hasil paling optimum atau yang mendekati sesuai ketentuan dan disitulah dapat diperoleh salah satu variasi kadar plastik dengan kadar aspal yang disebut Kadar Aspal Optimum dibandingkan dengan variasi kadar yang lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan hasil pengolahan data yang diperoleh melalui penelitian yang telah dilakukan.

3.1. Pengujian Material Agregat dan *Filler*

Pengujian yang dilakukan pada material agregat kasar meliputi analisa saringan, berat jenis, ketahanan agregat (*Impact Test*), Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*, uji agregat kasar lolos ayakan no.200. Pada material agregat halus dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan agregat lolos ayakan no.200. Sedangkan pengujian material aspal meliputi berat jenis aspal, daktalitas, titik lembek, titik nyala dan titik bakar. Pengujian material yang dilakukan telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang merujuk pada SNI.

3.2. Pengujian *Marshall*

Untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) campuran lapis aspal beton (Laston) dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 5 variasi kadar aspal yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7% untuk campuran plastik LDPE dengan variasi kadar 0%, 4.5%, 5%, dan 5.5%. Berdasarkan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018),

terdapat 6 parameter yang harus dipenuhi, yaitu Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient* (MQ), Rongga terisi aspal (VFB), Rongga dalam Campuran (VIM) dan Rongga dalam agregat (VMA).

3.3. Hasil Uji *Marshall* Campuran Plastik 0%

Pada campuran Laston AC-WC yang merupakan aspal normal tanpa penambahan kadar plastik LDPE atau plastik sebesar 0% dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7% didapatkan hasil pengujian *Marshall* berikut pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji *Marshall* Plastik 0%

Macam Campuran	VIM	FLOW	Stabilitas	MQ	VMA	VFB
	%	mm	kg	Kg / mm	%	%
5,0%	9,54	3,2	1267,1	396,0	18,61	396,0
5,5%	8,47	3,5	1356,4	387,5	18,78	387,5
6,0%	4,95	3,5	1380,7	394,5	17,30	394,5
6,5%	4,80	2,7	1440,8	533,6	17,30	533,6
7,0%	5,99	3,6	1568,2	435,6	19,84	435,6
Spesifikasi	3 - 5	2 - 4	> 900	Min. 250	> 15	> 65
Umum BM						

Tabel 2. Hasil Uji *Marshall* Plastik 4,5%

Macam Campuran	VIM	FLOW	Stabilitas	MQ	VMA	VFB
	%	mm	kg	Kg / mm	%	%
5,0%	7,93	3,7	1544,9	417,5	17,16	53,79
5,5%	7,91	3,9	1578,3	404,7	18,29	56,75
6,0%	4,93	3,8	1715,4	451,7	16,67	70,45
6,5%	4,72	2,9	1715,4	591,5	16,67	73,45
7,0%	5,80	3,7	1663,5	449,6	19,68	74,23
Spesifikasi	3 - 5	2 - 4	> 900	Min. 250	> 15	> 65
Umum BM						

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu 1568,2 kg. Nilai Flow tertinggi terdapat pada variasi kadar aspal sebesar 7% yaitu 3,6 mm dan yang terendah pada variasi kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 2,7 mm. Hasil tersebut telah memenuhi Spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018.

3.4 Hasil Uji *Marshall* Plastik 4,5%

Pada campuran Laston AC-WC menggunakan kadar plastik 4,5% dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7% didapatkan hasil pengujian berikut ini pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6% dan 6.5% yaitu 1715,4 kg. Nilai Flow tertinggi terdapat pada variasi kadar aspal sebesar 5.5% yaitu 3,9 mm dan yang terendah pada variasi kadar aspal 6.5% yaitu sebesar 2,9 mm. Tetapi untuk nilai Flow pada semua variasi kadar aspal telah memenuhi persyaratan

sesuai dengan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu pada rentang 2-4 mm.

3.5 Hasil Uji Marshall Plastik 5%

Penambahan kadar plastik LDPE atau plastik sebesar 5% dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil pengujian Marshall berikut pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji Marshall Plastik 5%

Macam	VIM	FLOW	Stabilitas	MQ	VMA	VFB
Campuran	%	mm	kg	Kg / mm	%	%
5,0%	7.28	3.7	1633.9	441.6	16.58	56.06
5,5%	7.57	4.3	1696.8	394.6	17.99	57.93
6,0%	4.61	3.8	1715.4	451.4	16.40	71.89
6,5%	4.39	3.7	1759.8	475.6	16.40	75.17
7,0%	4.64	4.4	1800.6	409.2	18.68	75.17
Spesifikasi Umum BM	3 - 5	2 - 4	> 900	Min. 250	> 15	> 65

Tabel 4. Hasil uji Marshall Plastik 5.5%

Macam	VIM	FLOW	Stabilitas	MQ	VMA	VFB
Campuran	%	mm	kg	Kg / mm	%	%
5,0%	7.07	4.1	1722.78	420.20	16.38	56.85
5,5%	7.46	4.4	2026.59	460.59	17.89	58.32
6,0%	4.10	3.8	2048.82	539.16	15.95	74.31
6,5%	3.94	3.8	2167.37	570.37	15.95	77.12
7,0%	4.19	4.6	2304.45	500.98	18.29	77.12
Spesifikasi Umum BM	3 - 5	2 - 4	> 900	Min. 250	> 15	> 65

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu 1800,6 kg dan flow yang memenuhi persyaratan sesuai dengan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu kadar aspal 5%, 6%, dan 6,5% pada rentang 2-4 mm.

3.6 Hasil Uji Marshall Plastik 5,5%

Penambahan kadar plastik LDPE atau plastik sebesar 5% dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil pengujian Marshall berikut pada Tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, diperoleh nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu 2304,45 kg. Nilai stabilitas terus mengalami kenaikan dari kadar aspal kecil ke yang tertinggi. Nilai Flow yang memenuhi persyaratan sesuai dengan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu kadar aspal 6% dan 6,5% pada rentang 2-4 mm.

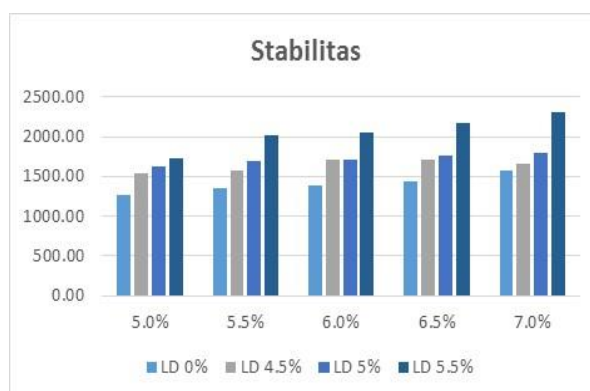
3.7 Rekapitulasi Pengujian Marshall

Setelah didapatkan hasil pengujian masing-masing variasi kadar plastik dengan kelima variasi kadar aspal (Pb), maka dilakukan perekapan nilai hasil pengujian masing-masing yang meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA/VFB, dan MQ untuk memudahkan dalam penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Berikut ini merupakan hasil rekap pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Pengujian Marshall

Kadar Aspal	Kadar Plastik	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	VFB	MQ
Spesifikasi Umum BM 2018		> 900 Kg	2 - 4 mm	3 - 5 %	> 15 %	> 65 %	> 250 Kg/mm
Pb 5 %	LDPE 0 %	1267.10	3.20	9.54	18.61	48.72	396
	LDPE 4.5 %	1544.90	3.7	7.93	17.16	53.79	417.54
	LDPE 5 %	1633.90	3.7	7.28	16.58	56.06	441.59
	LDPE 5.5 %	1722.80	4.1	7.07	16.38	56.85	420.2
Pb 5.5 %	LDPE 0 %	1356.39	3.5	8.47	18.78	54.93	387.5
	LDPE 4.5 %	1578.30	3.9	7.91	18.29	56.75	404.69
	LDPE 5 %	1696.80	4.3	7.57	17.99	57.93	394.6
	LDPE 5.5 %	2026.60	4.4	7.46	17.89	58.32	460.59
Pb 6 %	LDPE 0 %	1380.67	3.5	4.95	17.3	69.96	394.5
	LDPE 4.5 %	1715.40	3.8	4.93	16.67	70.45	451.42
	LDPE 5 %	1715.40	3.8	4.61	16.4	71.89	451.42
	LDPE 5.5 %	2048.80	3.8	4.1	15.95	74.31	539.16
Pb 6.5 %	LDPE 0 %	1440.82	2.7	4.8	17.3	72.89	533.6
	LDPE 4.5 %	1715.40	2.9	4.72	16.67	73.45	591.52
	LDPE 5 %	1759.80	3.7	4.39	16.4	75.17	475.62
	LDPE 5.5 %	2167.40	3.8	3.94	15.95	77.12	570.37
Pb 7 %	LDPE 0 %	1568.21	3.6	5.99	19.84	72.03	435.6
	LDPE 4.5 %	1663.50	3.7	5.8	19.68	74.23	449.59
	LDPE 5 %	1800.60	4.4	4.64	18.68	75.17	409.23
	LDPE 5.5 %	2304.50	4.6	4.19	18.29	77.12	500.98

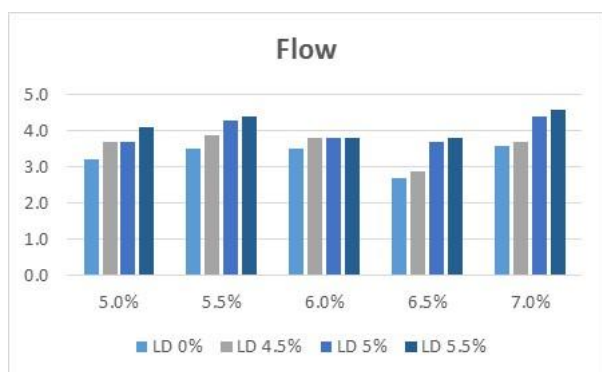
Hasil rekapitulasi nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA/VFB, dan MQ berikut akan diperjelas menggunakan grafik pada masing-masing untuk memudahkan dalam pembacaan mengenai naik atau turunnya hasil yang sudah diperoleh yang kemudian digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rekapitulasi Nilai Stabilitas

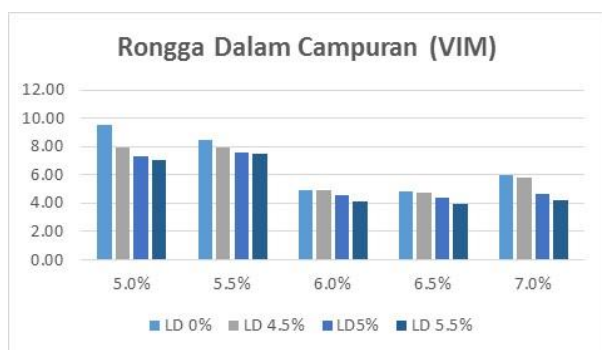
Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin tinggi seiring dengan penambahan kadar plastik dan kadar aspal. Didapatkan nilai stabilitas yang tertinggi adalah pada variasi kadar plastik LDPE sebesar 5,5% dengan variasi kadar aspal (Pb) sebesar 7,0% yaitu sebesar 2304.50 kg dari nilai yang diisyaratkan berdasarkan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 900 kg. Stabilitas

mengalami kenaikan yang cukup tinggi. Hal tersebut disebabkan karena plastik mengisi rongga antar butiran agregat sehingga rongga antar butiran agregat menjadi kecil dan rapat sehingga menyebabkan adanya peningkatan daya ikat antara aspal dan agregat. Nilai stabilitas yang didapat tinggi, sehingga akan menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku dan mudah retak akibat beban lalu lintas. Demikian pula sebaliknya, jika nilai stabilitas yang dihasilkan terlalu rendah akan menyebabkan mudahnya terjadi deformasi. Berikutnya dibawah ini merupakan pemaparan grafik hasil rekapitulasi pengujian kelelahan (*Flow*) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rekapitulasi Nilai Kelelahan (*Flow*)

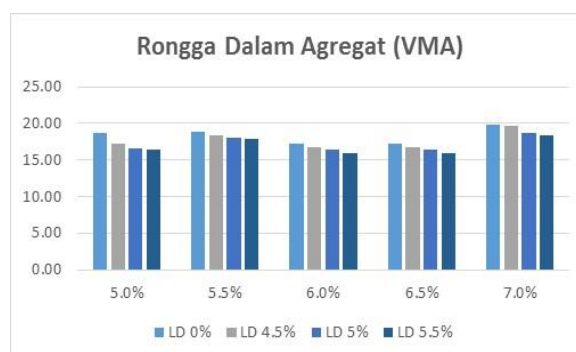
Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa hasil pengujian kelelahan (*Flow*) semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar plastik. Nilai stabilitas yang tinggi diikuti oleh nilai *flow* yang semakin meningkat pula, dikarenakan semakin besar penambahan kadar plastik mengakibatkan mengentalnya campuran aspal plastik, sehingga campuran bersifat elastis. Didapatkan nilai Flow tertinggi pada variasi kadar plastik LDPE sebesar 7,0% dengan variasi kadar aspal (Pb) sebesar 7,0% yaitu sebesar 4,6 mm yang artinya nilai tersebut tidak memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu pada rentang 2-4 mm. Selanjutnya merupakan pemaparan grafik hasil rekapitulasi pengujian *Void In Mix* (VIM) dapat dilihat pada Gambar 4.



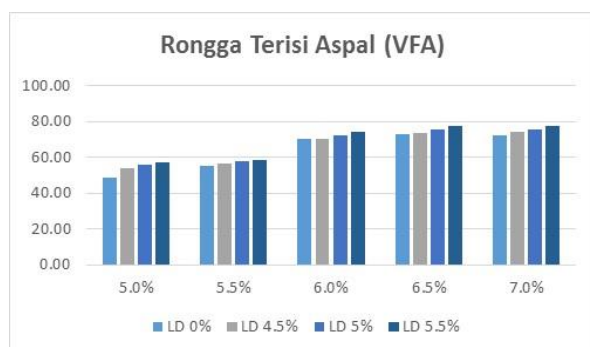
Gambar 4. Rekapitulasi Nilai (VIM)

Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *pourous*. Sedangkan berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa rekapitulasi hasil pengujian Rongga dalam Campuran (VIM) semakin rendah nilainya seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi rapat sehingga air dan udara sulit memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal tereduksi. Didapatkan nilai VIM tertinggi pada variasi kadar plastik LDPE sebesar 0% atau tanpa kadar plastik dengan variasi kadar aspal (Pb) sebesar 5,0% yaitu sebesar 9,54% yang artinya nilai tersebut tidak memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu pada rentang 3-5%. Tetapi nilai VIM terendah diperoleh dari kadar plastik LDPE sebesar 5,5% dengan kadar aspal (Pb) 6,5% yaitu sebesar 3,94% dan telah memenuhi (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). Selanjutnya merupakan pemaparan grafik hasil rekapitulasi pengujian *Void Minerale In Aggregate* (VMA) dapat dilihat pada Gambar 5.

Hasil rekapitulasi pengujian Rongga dalam Agregat (VMA) sesuai Gambar 5, dapat dilihat bahwa semakin rendah nilainya seiring dengan penambahan kadar plastik. Hal ini disebabkan lapisan plastik telah menyelimuti agregat dan menutup sebagian besar rongga antara butiran. Nilai VMA terendah pada variasi kadar plastik LDPE sebesar 5,5% dengan variasi kadar aspal (Pb) sebesar 6,0% dan 6,5% yaitu sebesar 15,95% yang artinya nilai tersebut masih memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 15%. Selanjutnya pemaparan grafik hasil rekapitulasi pengujian *Void Filled with Bitumen* (VFA/VFB) dapat dilihat pada Gambar 6.



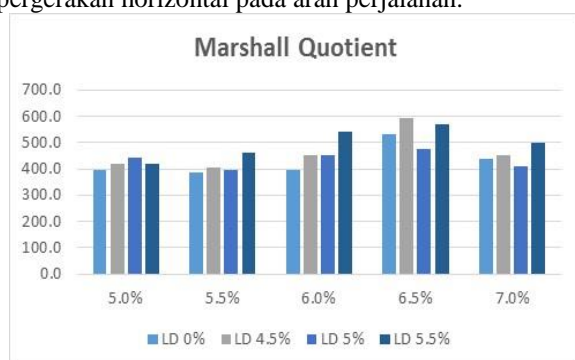
Gambar 5. Rekapitulasi Nilai VMA



Gambar 6. Rekapitulasi Nilai VFA/VFB

Rekapitulasi hasil pengujian Rongga Terisi Aspal (VFA/VFB) pada Gambar 6, bahwa nilainya meningkat seiring dengan penambahan kadar plastik yang mengakibatkan semakin mengecilnya rongga dalam campuran akibat berat jenis aspal semakin meningkat. Nilai VFA tertinggi pada variasi kadar plastik LDPE sebesar 6,5% dan 7,0% yaitu sebesar 77,12% yang artinya nilai tersebut masih memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 65%. Selanjutnya pemaparan grafik hasil rekapitulasi pengujian *Marshall Quotient* (MQ) dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa rekapitulasi hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* nilainya tidak konstan sehingga nilai MQ mengalami peningkatan dan penurunan. Tetapi semua hasil pengujian masih memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 250 kg/mm. MQ dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Semakin rendah nilai MQ suatu campuran, maka resiko yang memungkinkan adalah retak permukaan dan pergerakan horizontal pada arah perjalanan.



Gambar 7. Rekapitulasi Nilai MQ

3.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah nilai yang harus memenuhi nilai yang disyaratkan berdasarkan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) dari rentang variasi yang digunakan yaitu kadar aspal dan kadar

plastik yang menggambarkan hubungan dari setiap parameter karakteristik *Marshall*. Penentuan kadar aspal optimum (KAO) bertujuan untuk mengetahui kadar aspal yang baik atau kadar aspal efektif pada campuran lapis aspal beton. Dari masing-masing grafik hubungan antara parameter pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% diperoleh nilai kadar aspal optimum pada setiap grafik tersebut. Hasil pengujian *Marshall* dari penambahan variasi kadar plastik sebesar 4,5%, 5%, dan 5,5% kemudian dihubungkan dengan diagram batang yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal	5%				5,5%				6%				6,5%				7%			
Kadar Plastik	0	4,5	5	5,5	0	4,5	5	5,5	0	4,5	5	5,5	0	4,5	5	5,5	0	4,5	5	5,5
Stabilitas	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Flow	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low
VIM	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
VMA	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
VFA	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High
MQ	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High	High

Berdasarkan Tabel 6, di atas menunjukkan hubungan parameter *Marshall* dengan kadar aspal pada penggunaan variasi kadar plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu pada kadar aspal (Pb) 6,5%. Dari hasil tersebut maka dapat diartikan bahwa kadar aspal yang baik digunakan dalam campuran lapis aspal beton dengan menggunakan campuran limbah plastik jenis LDPE sebagai bahan tambah adalah 6,5% dan hanya pada variasi kadar plastik sebesar 5,5%. Pemakaian kadar aspal yang masih diperbolehkan adalah pada kadar aspal dibawah kadar aspal optimum yaitu sebesar 6%. Hal ini diakibatkan karena pada kadar aspal 5%, 5,5%, dan 7,0% untuk nilai *Flow* dan VIM didapatkan nilai yang melebihi dari nilai maksimum yang disyaratkan pada (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) dan pada kadar aspal 5% dan 5,5% didapatkan nilai VFA/VFB dibawah nilai minimum yang disyaratkan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada campuran Laston AC-WC menggunakan limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebagai bahan tambah diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Adanya penambahan limbah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) pada campuran Laston AC-WC menunjukkan nilai yang memenuhi (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) dan (Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik, 2019) pada kadar plastik dan kadar aspal tertentu saja. Diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu pada kadar aspal (Pb) sebesar 6,5% dengan variasi kadar plastik sebesar

- 5,5%. Sedangkan untuk pemakaian kadar aspal yang masih diperbolehkan dan memenuhi syarat adalah dibawah kadar aspal optimum yaitu 6% dengan variasi kadar plastik 4,5%, 5%, dan 5,5%.
2. Semakin besar variasi kadar plastik LDPE yang digunakan dapat mempengaruhi nilai-nilai karakteristik *Marshall* antara lain peningkatan nilai stabilitas dan flow, nilai rongga terisi aspal atau VFA/VFB, penurunan nilai VIM (*Void In Mix*) dan VMA (*Void Minerale In Aggregate*), serta peningkatan dan penurunan nilai MQ (*Marshall Quotient*).
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik. Jakarta: Kementerian PUPR.
- [4] Rahmawati, A. (2015). Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) Pada Campuran Lataston-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik* Vol.18, No.2, 147-159.
- [5] Spesifikasi Umum Bina Marga. (2018). Perkerasan Jalan. Surabaya: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [6] Sustainable Waste Indonesia. (2019, Desember 10). Menuju Indonesia Peduli Sampah. Retrieved from katadata.co.id: <https://www.google.com/amp/s/katadata.co.id/amp/infografik/2019/12/10/menuju-indonesia-peduli-sampah>

Ucapan Terimakasih

Saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta yang memberi dukungan moral, dosen pembimbing proyek akhir saya, teknisi laboratorium uji bahan jalan Politeknik Negeri Banyuwangi, serta segenap keluarga besar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah memfasilitasi penelitian proyek akhir saya.

Daftar Rujukan

- [1] Afriyanto, B., Indriyati, E. W., & Hardini, P. (2019). Pengaruh Limbah Plastik Low Density Poly Ethylne Terhadap Karakteristik Dasar Aspal. *Jurnal Transportasi*, Vol.19 59-66.
- [2] Balitbang dan BBPN VIII. (2017). Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik. Surabaya: Kementerian PUPR.



Analisis Perencanaan *Sheet Pile* pada Tanggul Sungai (Studi Kasus : Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kabupaten Bulungan)

Hasrullah¹, Sebanya Elia², Dandung Novianto³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan,

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang

¹hasrullah.ray@borneo.ac.id, ²sebanya26@gmail.com, ³dandung.novianto@polinema.ac.id

Abstract

This study was conducted to identify the causes of landslides on river embankments. This study aims to determine the value of the slope safety factor and to plan the dimensions of sheet pile reinforcement and stability on the slopes of the Lungun River. This study used the Fellenius method to analyze the stability of the existing slope, the design principle of sheet piles in anchors located on cohesive soil with the free end method, and also with the help of a computer technology program, namely Plaxis application program. From the results of the analysis and calculations, it was concluded that the value of the safety factor on the slopes of the Lungun River using the manual calculations of the Fellenius Method. A value of 1.470 was obtained and a calculation using the Plaxis 2D V.8.2 program obtained a value of 1.1092. For the solutions to landslides on the slopes of the Lungun River, the dimensions of sheet pile reinforcement obtained from the calculation were using a concrete sheet pile type W-400 A 1000 with a depth of 10 m plus anchor recognition at a depth of 1 m from the ground surfaces which was connected by a steel tie rod 7 cm along 14 m to a concrete anchor block with height of 1.5 m and thickness of 5 cm which was embedded 0.5 m from the ground surface, so that the value of safety factor that was calculated using the Plaxis 2D V.8.2 program was 3.5814.

Keywords: landslide, Plaxis program, sheet pile, slope stability, Lungun river

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab longsor pada tanggul sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng serta merencanakan dimensional perkuatan sheet pile dan stabilitas di lereng Sungai Lungun. Pada proses analisis data, peneliti menggunakan Metode Fellenius untuk menganalisa stabilitas lereng eksisting, prinsip perancangan turap di anker yang terletak pada tanah kohesif dengan metode ujung bebas, dan juga dengan bantuan program teknologi komputer yaitu program aplikasi Plaxis. Dari hasil analisis dan perhitungan, diperoleh kesimpulan bahwa nilai faktor keamanan pada lereng Sungai Lungun dengan menggunakan perhitungan manual Metode Fellenius diperoleh nilai sebesar 1,470 sedangkan hasil perhitungan dengan menggunakan program bantu Plaxis 2D V.8.2 didapatkan nilai factor keamanan sebesar 1,1092. Untuk solusi penanggulangan longsor lereng Sungai Lungun, ukuran dimensi perkuatan sheet pile yang diperoleh dari perhitungan yaitu menggunakan sheet pile beton tipe W-400 A 1000 dengan kedalaman 10 m ditambah dengan pengakuan anker pada kedalaman 1 m dari permukaan tanah yang dikaitkan oleh tie rod baja Ø 7 cm sepanjang 14 m kepada blok anker beton dengan tinggi blok anker 1,5 m dan tebal 5 cm yang tertanam 0,5 m dari permukaan tanah, sehingga diperoleh nilai faktor keamanan yang dihitung dengan menggunakan program bantu Plaxis 2D V.8.2 sebesar 3,5814.

Kata kunci: longsor, program Plaxis, *sheet pile*, stabilitas lereng, sungai Lungun.

Diterima Redaksi : 14-08-2021 | Selesai Revisi : 20-09-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Kejadian longsor di Indonesia saat ini selalu meningkat intensitasnya dan juga penyebarannya. Longsor merupakan salah satu kejadian yang paling sering terjadi di bidang geoteknik karena adanya peningkatan tegangan geser massa tanah atau penurunan kuat geser massa tanah, dengan kata lain kuat geser massa tanah tidak dapat menahan pembebanan yang bekerja.

Salah satu program bantu dibidang geoteknik yang berfungsi untuk membantu mempercepat analisis perhitungan dan meminimalisir kekeliruan pada saat perhitungan kestabilan lereng dengan perkuatan sheet pile yaitu dengan menggunakan program bantu Plaxis.

Identifikasi serta penentuan faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya longsor perlu dilakukan untuk mencari sumber permasalahan, lalu menemukan solusi yang tepat terhadap terjadinya longsor di lereng Sungai

Lungun, Sabanar Baru, Kab. Bulungan, Kalimantan Utara.

Berdasarkan kejadian longsor yang terjadi di Sungai Lungun, maka ditentukan untuk penanggulangan longsor tersebut menggunakan alternatif *sheet pile* atau turap.

Salah satu program bantu dibidang geoteknik yang berfungsi untuk membantu mempercepat analisis perhitungan dan meminimalisir kekeliruan pada saat perhitungan kestabilan lereng dengan perkuatan *sheet pile* yaitu dengan menggunakan program bantu Plaxis.

Berdasarkan pemaparan uraian latar belakang yang ada, maka penulis menentukan perumusan masalah yang terjadi, diantaranya :

- Berapa nilai faktor aman (*safety factor*) pada lereng Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kab. Bulungan, Kalimantan Utara ?
- Berapa ukuran dimensi *sheet pile* dan stabilitas yang di peroleh untuk solusi penanggulangan longsor pada lereng sungai yang di perkuat oleh *sheet pile* yang terjadi di Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kab. Bulungan, Kalimantan Utara ?

2. Metode Penelitian

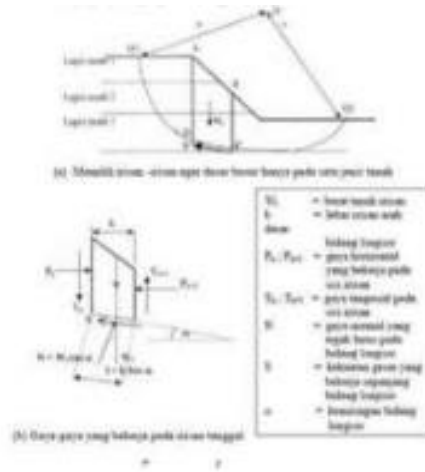
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Menggunakan Metode Fellinus

Fellinus (1927) memperkenalkan metode Fellinus (*Ordinary Method od Slice*) yang didasarkan pada gaya yang memiliki sudut kemiringan sejajar dengan irisan , menghitung faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan prinsip keseimbangan momen. Fellinus mengemukakan asumsinya bahwa keruntuhan terjadi melalui perputaran sebidang tanah pada permukaan tanah longsor membentuk lingkaran dimana titik.

Fellenius mengemukakan asumsinya yaitu bahwa keruntuhan terjadi melalui perputaran sebidang tanah pada permukaan tanah longsor membentuk lingkaran dimana titik O menjadi pusat rotasi. Gaya normal P dianggap bekerja pada tengah-tengah *slice*/potongan pada metode ini. Resultan dari gaya-gaya yang terjadi antar irisan pada setiap irisan di asumsikan memiliki nilai sama dengan nol yaitu berarti resultan gaya-gaya yang terjadi antar irisan di abaikan. Jadi metode ini mengasumsikan dengan jumlah :

- Posisi gaya normal P terletak di tengah pada tiap irisan : n
- Resultan gaya antar irisan memiliki nilai nol : n-1
- Total : 2n-1

Berdasarkan asumsi diatas, maka dapat diperoleh nilai faktor keamanan dengan pengujian persamaan keseimbangan momen pada setiap irisan terhadap titik pusat rotasi.



Gambar 1 Sistem gaya pada metode Fellinus

Gambar 1. diatas memperlihatkan suatu lereng dengan menggunakan sistem irisan untuk massa tanah itu sendiri (W) dan analisa komponen semua gaya yang terjadi dari massa tanah tersebut, yang tersusun oleh gaya-gaya antar potongan yang bekerja pada samping kanan potongan.

Pada dasar irisan, gaya berat (W) diturunkan menjadi gaya reaksi normal Pw yang bertindak tegak lurus terhadap alas irisan dan gaya tangensial Tw yang bekerja searah dengan irisan. Nilai dari lengan gaya (W) yaitu $x = R \sin \alpha$, dimana R merupakan jari-jari lingkaran longsor dan sudut α merupakan sudut pada titik O yang terbentuk di antara garis vertikal dan jari-jari lingkaran longsor.

Tekanan air pori akan bekerja di bagian bawah elemen yang berada di bawah air jika lereng terendam air atau permukaan air tanah yang berada di atas kaki lereng. Pada kondisi ini harus di hitung tahanan geser efektif, sedangkan gaya yang menjadi penyebab tetap di hitung secara total, sehingga formulasinya menjadi :

$$FK = \frac{\sum [c \cdot l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) \cdot \tan \phi]}{\sum (W \cdot \sin \alpha)} \quad (1)$$

dimana :

- c = kohesi tanah pada bidang gelincir
- ϕ = sudut geser dalam
- F = FK
- W = berat irisan
- l = panjang busur pada bidang gelincir
- u = tinggi bidang gelincir

2.2 Perencanaan Konstruksi Sheet Pile

Adapun untuk menghitung perencanaan konstruksi sheet pile yang digunakan yaitu berpedoman kepada prinsip perancangan turap di anker yang terletak pada tanah kohesif dengan metode ujung bebas, yaitu sebagai berikut:

- Analisa Gaya yang Bekerja pada *Sheet Pile*
 - Perhitungan koefisien tekanan tanah Tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

Tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

dimana :

ϕ = sudut geser dalam

b. Perhitungan tekanan tanah aktif

- Tekanan tanah aktif
- Tekanan tanah pada dasar galian

$$q' = q + \sum \gamma \cdot H - 2 \cdot c \quad (4)$$

dimana :

q = beban merata di belakang turap

γ = berat jenis tanah

c = kohesi tanah

q' = Tekanan tanah aktif total

H = Jarak tekanan tanah aktif terhadap titik A

2. Perhitungan Kedalaman *Sheet Pile*

- a. Perhitungan kedalaman penetrasi *Sheet Pile* (D)
- b. Momen maksimum
- c. Penentuan profil *Sheet Pile*

3. Perhitungan Angkur

- a. Gaya pada angkur
- b. Tahanan izin *tie rod*
- c. Jarak blok angkur dari pusat ke pusat
- d. Perencanaan diameter *tie rod*
- e. Perhitungan tekanan tanah pada blok angkur
- f. Perencanaan blok angkur
- g. Tinggi blok angkur
- h. Momen pada *tie rod* (jepit-jepit)
- i. Tebal blok angkur

2.3 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Plaxis.

Uraian berikut merupakan penjelasan secara rinci mengenai teknik analisis data dengan menggunakan program aplikasi Plaxis :

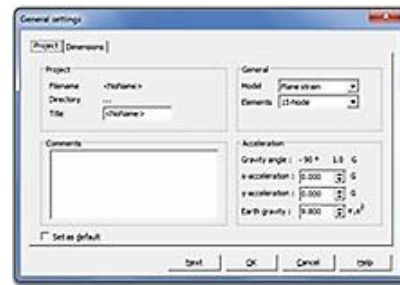
1. *Plaxis Input*

Permodelan untuk analisis pada Program Plaxis harus sesuai dengan kondisi lapangan yang akan dianalisis, tahapan permodelan lereng menggunakan program Plaxis yaitu :

- a. Melakukan input data pada kotak dialog *general settings*. Tampilan *general settings* tersusun atas dua tab, yaitu *project* dan *dimensions* yang terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3, lalu pada tab *project box* di isi dengan nama lembar kerja baru diisi pada kotak *title* dan ukuran geometri diisi pada *dimensions box*.
- b. Menggambar geometri kondisi lapangan secara dua dimensi penampang lereng yang akan dianalisis.
- c. Memilih kondisi batas (*Standard fixities*).
- d. Melakukan input spesifikasi material pada menu *material sets*.
- e. Menganalisis susunan 16arring elemen (*Generated mesh*).
- f. Menentukan *initial condition* dan *initial pore pressures* untuk menentukan kondisi muka air tanah (MAT) dan *K_oProcedure*.

g. Melakukan *generate water pressure* kondisi *phreatic level*.

h. Menentukan *closed consolidation boundary*



Gambar 2. Tampilan *General Settings Project*



Gambar 3. Tampilan *General Settings Dimensions*

2. *Plaxis Calculations*

Plaxis calculations digunakan setelah menyelesaikan proses input pada kondisi lereng yang akan di analisis dan bisa otomatis terbuka setelah memilih *toolbar calculate* pada terakhir *input*. Setelah memilih *toolbar calculate* tersebut maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4 untuk memasukkan tahapan pekerjaan di lapangan sebagai berikut :



Gambar 4. Tampilan *Plaxis Calculations*

Untuk mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng yang akan dianalisis yaitu dilakukan input terhadap tahap *calculations* sebagai berikut :

- a. Pilih *Phi/c Reduction* pada *calculation type*. Lalu pilih *incremental multipliers* pada *loading input*, terakhir klik *calculate*.
- b. Pilih titik nodal untuk penggambaran kurva perpindahan beban serta penggambaran garis tegangan.

3. *Plaxis Output*

Plaxis output dapat di buka lagi dengan memilih *toolbar Plaxis output*, atau dari *start menu*. *Toolbar calculation* pada *calculation program* juga dapat digunakan untuk memasukkan ke *output program* ketika telah selesai melakukan *input* dan telah selesai memilih titik yang akan ditinjau. Hasil analisis yang di peroleh dapat di tampilkan sebagai berikut :

- a. Pilih menu peningkatan total dari menu deformasi. Tampilan akan menampilkan kenaikan dari semua titik nodal
- b. Pilih tegangan efektif pada menu tegangan. Tampilan akan menampilkan besarnya dan arah tegangan utama efektif.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil

Data hasil yang diperoleh yaitu dengan mengajukan permohonan data kepada pihak-pihak terkait yang digunakan untuk dasar perhitungan perencanaan *sheet pile* yang merupakan data tanah kondisi eksisting Sungai Lungun dan data mengenai spesifikasi *sheet pile* yang akan digunakan sebagai material perencanaan ini.

Data yang digunakan yaitu data tanah, data *cross section*, dan data lainnya yang diperlukan di area muara atau hilir Sungai Lungun menuju ke Sungai Kayan di karenakan kondisi yang paling penting untuk di tangani pada area muara atau hilir sungai tersebut dengan lebar sungai kurang lebih sekitar 12 m dari tepi sungai ke tepi sungai.

▪ Data Tanah

Data tanah yang diperoleh merupakan data hasil pengujian lapangan berupa hasil data sondir dan *hand boring*. Adapun data hasil pengujian tanah yang di peroleh pada pengujian sondir dengan hasil nilai qc maksimalnya pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Hasil uji sondir.

Titik	Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	Fr (%)
S-1	11.40	120.00	794.74	0.84
S-2	11.00	130.00	830.96	0.39

Sumber : Data diolah oleh Penulis, (2021)

Uji tanah berikutnya yaitu pengujian *handbor* dengan hasil kedalaman maksimal berada pada tanah lempung abu-abu yang berarti merupakan tanah kohesif yang memiliki kedalaman dari 1.00 m sampai dengan 2.00 m, yaitu HB-03 dengan hasil dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini :

Tabel 2. Tebal lapisan tanah hasil uji *Handbor*.

Lap.	Kedalaman (m)	Tebal Lap (m)	Jenis Tanah
1	0.00 – 1.40	1.40	Lempung Abu2 kecoklatan
2	1.40 – 2.00	0.60	Lempung Abu2
3	2.00 – 11.00	9.00	Lempung Abu2

Sumber: Data diolah oleh Penulis, (2021)

Tabel 3. Parameter tanah hasil *Handbor*.

Pengujian Lab.	Hasil	Satuan
Kadar air (w)	56.483	%
Berat Jenis (Gs)	2.590	gr/cm ³
Berat Isi (γ)	1.703	gr/cm ³
Kohesi (c)	0.026	kg/cm ²
Sudut Geser (φ)	24.823	°
Batas Cair (LL)	39.993	%
Batas Plastis (PL)	27.298	%
Indeks Plastisitas (IP)	12.695	%
Kuat Tekan Bebas (qu)	0.367	kg/cm ²

Sumber: Lab. Teknik Sipil UBT, (2018)

▪ Data *Sheet Pile*

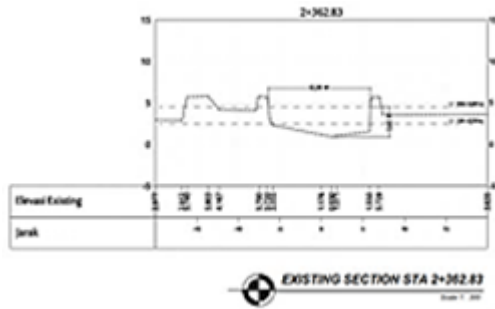
Data *sheet pile* diperoleh dari brosur PT. WIKA Beton yang merupakan anak perusahaan dari PT. Wijaya Karya (persero) Tbk dengan spesifikasi produk *sheet pile* tipe *Corrugated Prestressed Concrete* (CPC) yang di produksi untuk di jual pada proyek konstruksi terkait, adapun data *sheet pile* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini :

Type	Height Concrete (mm)	Width (mm)	Gross Section (mm ²)	Moment (kNm)	Weight (kN/m)	Cracking Moment (kNm)	Length (m)
W-325 A 1000	325	130	996	13713	1.94261	0.3209	11.4
W-350 A 1000	350	130	996	14618	2.04232	0.3268	11.4
W-400 A 1000	400	130	996	15568	2.16825	0.4020	25.1
W-450 A 1000	450	130	996	16578	2.32354	0.4199	25.1
W-500 A 1000	500	130	996	18118	2.62862	0.4105	25.2
W-600 A 1000	600	130	996	20778	2.93907	0.5325	25.2

Gambar 5. Data Klasifikasi *Sheet Pile* Tipe CPC

▪ Data Kondisi Eksisting Sungai

Kondisi eksisting muara atau hilir Sungai Lungun dari hasil pengukuran dan data DED yang di peroleh, serta hasil pengolahan data hidrologi pada area tersebut dengan nilai High Water Level (HWL) +4,551 m dan nilai Low Water Level (LWL) +2,514 m telah dihasilkan gambar *cross section* untuk mewakili kondisi potongan melintang Sungai Lungun yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini :



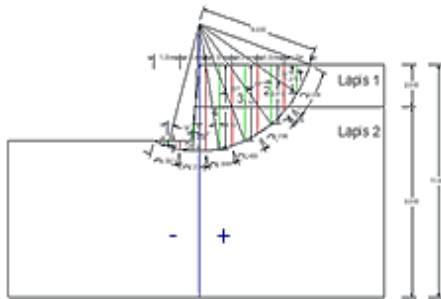
Gambar 6. Kondisi Eksisting Muara Sungai Lungun

3.2 Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting Menggunakan Metode fellinus

Perhitungan analisis ketabilan lereng menggunakan Metode Fellinus diperlukan data penunjang yang telah diketahui terlebih dahulu yaitu data parameter tanah pada lereng tersebut (c , ϕ_1 , γ). Data lereng yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut :

- Lapisan tanah 1 (lempung abu-abu)
 $L_1 = 2$ m; $\gamma_1 = 1,703$ gr/cm³ = 16,701 kN/m³
 $c_1 = 0,026$ kg/cm² = 2,550 kN/m²
 $\phi_1 = 24,823^\circ$
- Lapisan tanah 2 (lempung abu-abu)
 $L_2 = 9$ m; $\gamma_2 = 26,507$ kN/m³
 $c_2 = \frac{1}{2} \times \gamma_2 \times 0,367$ kg/cm² = 17,995 kN/m²
 $\phi_2 = 4,823^\circ$

Dengan menggunakan data tanah diatas, setelah itu bidang longsor tersebut di gambarkan dengan program bantu *Autocad* seperti yang terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini :



Gambar 7. Pembagian Bidang Longsor dlm Bentuk Irisan



Gambar 8. Luasan Area Setiap Irisan Lereng

Dari data tanah dan penggambaran bidang longsor diatas, maka dilanjutkan dengan perhitungan stabilitas lereng dengan Metode Fellenius yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini :

Tabel 4. Tabulasi perhitungan beban dengan Metode Fellenius.

No	C (kPa)	ϕ (°)	l (m)	A (m ²)		W (kN)
				1	2	
1	4,263	60,244	2,605	11,106	1,528	0,021
2	17,995	24,823	1,706	30,700	2,667	0,990
3	17,995	24,823	1,455	26,183	2,667	2,076
4	17,995	24,823	1,356	24,401	2,667	2,613
5	17,995	24,823	1,338	24,078	0,841	1,645
6	17,995	24,823	1,391	25,031	0,000	0,256
Σ				141,499		

Tabel 5. Tabulasi perhitungan faktor keamanan menggunakan Metode Fellenius.

Tabel 5. Tabulasi perhitungan faktor keamanan menggunakan Metode Fellenius

No	Cl (kN)	W (kN)	α (°)	W.cos α (kN)	W.sin α (kN)	u (m)	ul (kN)	Wcos α		cl + Wcos α
								- ul	- ul.tan ϕ	
1	11,106	26,065	57	14,196	21,800	1,372	35,050	-20,853	-36,477	-25,371
2	30,700	70,791	38	55,784	43,583	2,819	47,162	8,622	3,988	34,688
3	26,183	99,575	23	91,659	38,907	3,597	51,324	40,335	18,657	44,840
4	24,401	113,796	10	112,067	19,761	3,997	53,151	58,916	27,252	51,653
5	24,078	57,643	-3	57,564	-3,017	1,292	16,953	40,611	18,785	42,863
6	25,031	6,786	-16	6,523	-1,870	0,231	3,151	3,372	1,560	26,591
Σ	141,499				119,22					175,26
										FK 1,470

3.3 Perencanaan Konstruksi *Sheet Pile*

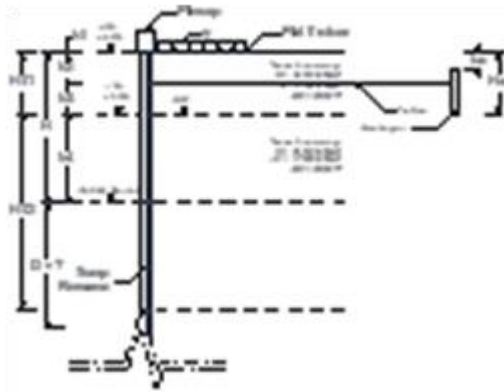
Hasil perhitungan analisa stabilitas lereng eksisting diatas memiliki faktor keamanan 1,470 maka perlu meningkatkan nilai faktor keamanan, dengan menambah perkuatan dengan *sheet pile* pada lereng tersebut. Data-data Analisa dan pembahasan dalam perencanaan *sheet pile* Sungai Lungun STA 2+311,76 – STA 2+399,53 di Tanjung Selor Kabupaten Bulungan dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Data lapisan kedalaman tanah perencanaan *sheet pile*.

Keterangan	Kedalaman
Tinggi dinding <i>sheet pile</i> dari dasar galian ke permukaan tanah	H = 4,50 m
Tinggi plat beton trotoar	h1 = 0,10 m
Jarak dari muka tanah ke <i>tie rod</i>	h2 = 1,00 m
Jarak dari lapisan tanah pertama ke <i>tie rod</i>	h3 = 1,00 m
Jarak dari lapisan tanah pertama ke dasar galian	h4 = 2,50 m
Kedalaman blok angkur tertanam di dalam tanah	Ha = 2,00 m
Tinggi aktual blok angkur	ha = 0,50 m
Beban terbagi rata (plat trotoar = 2,4 . 0,1 . 9,807)	q = 2,354 kN/m ²
Tebal lapisan tanah ke 1	HT1 = 2,00 m
Tebal lapisan tanah ke 2	HT2 = 9,00 m

Sumber: Data diolah oleh Penulis, (2021)

Dari data lapisan kedalaman tanah pada Tabel 6 diatas, penggambaran desain konstruksi *sheet pile* menggunakan program bantu *Autocad* yang dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini :



Gambar 9. Desain Konstruksi Sheet Pile

Analisa Gaya yang Bekerja Pada Sheet Pile

Perhitungan koefisien tekanan tanah

a. Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{24.823}{2} \right) = 0,409$$

b. Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{24.823}{2} \right) = 2,447$$

Perhitungan tekanan tanah aktif

a. Tekanan tanah aktif

Perhitungan tekanan tanah aktif dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini :

Tabel 7. Tabulasi perhitungan tekanan tanah aktif

No	Notasi	Uraian	Pa (kN/m ²)
1.	Pa1	q . Ka = 2,354 . 0,409	0,962
2.	Pa2	(h2 + h3) . γ1 . Ka = (1 + 1) . 16,701 . 0,409	13,649
3.	Pa3	(q + (h2 + h3) . γ1) . Ka = (2,354 + (1 + 1) . 16,701) . 0,409	14,611
4.	Pa4	h4 . (γ2 - γw) . Ka = 2,5 . 16,701 . 0,409	17,061
5.	Paw	h4 . γw = 2,5 . 9,807	24,517
6.	Pac1	-2 . c1 . √Ka = -2 . 2,550 . √0,409	-3,260
7.	Pac2	-2 . c2 . √Ka = -2 . 17,995 . √0,409	-23,007

Sumber : Data diolah oleh Penulis, (2021)

b. Tekanan tanah pada kedalaman dasar galian

$$\begin{aligned} q' &= q + \sum \gamma . H - 2.c \\ &= q + \gamma_1 . (h_2 + h_3) + \gamma_2 . h_4 - 2 . (c_1 + c_2) \\ &= 2,354 + 16,701 . (1+1) + 26,507 . 2,5 - 2 . (2,550 + 17,995) \\ &= 60,933 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan tanah aktif total

Perhitungan tekanan tanah aktif total dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini :

Tabel 8. Tabulasi perhitungan tekanan tanah aktif

No	Notasi	Uraian	Ta (kN)
1.	Ta1	Pa1 . (h2 + h3) = 0,962 . (1+1)	1,924
2.	Ta2	Pa2 . (h2 + h3) . ½ = 13,649 . (1+1) . ½	13,649
3.	Ta3	Pa3 . h4 = 14,611 . 2,5	36,527
4.	Ta4	Pa4 . h4 . ½ = 17,061 . 2,5 . ½	21,326
5.	Taw	Paw . h4 . ½ = 24,517 . 2,5 . ½	30,646
6.	Tac1	Pac1 . (h2 + h3) = -3,260 . (1+1)	-6,520
7.	Tac2	Pac2 . h4 = -23,007 . 2,5	-57,517

ΣPa 40,035

Sumber : Data diolah oleh Penulis, (2021)

d. Jarak tekanan tanah aktif terhadap tie rod (titik A)

Perhitungan jarak tekanan tanah aktif terhadap titik A atau titik tie rod dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini :

Tabel 9. Tabulasi perhitungan jarak tekanan tanah aktif terhadap titik A

No	Notasi	Uraian	Ta (kN)
1.	La1	½ . (h2 + h3) - h2 = ½ . (1+1) - 1	0,00
2.	La2	2/3 . (h2 + h3) - h2 = 1/3 . (1+1) - 1	0,33
3.	La3	½ . h4 + h3 = ½ . 2,5 + 1	2,25
4.	La4	2/3 . h4 + h3 = 2/3 . 2,5 + 1	2,67
5.	Law	1/3 . h4 + h3 = 2/3 . 2,5 + 1	2,67
6.	Lac1	½ . (h2 + h3) - h2 = ½ . (1+1) - 1	0,00
7.	Lac2	½ . (h4 + h3) = ½ . (2,5+1)	1,75

ΣPa 40,035

Sumber : Data diolah oleh Penulis, (2021)

e. Momen tekanan tanah aktif terhadap tie rod (titik A)

Momen tekanan tanah aktif adalah titik pusat tekanan tanah aktif yang ditinjau terhadap titik A yaitu tie rod yang dapat dilihat pada Tabel 10 berikut ini :

Tabel 10. Tabulasi perhitungan momen tekanan tanah aktif

No	Notasi	Uraian	Ta (kN)
1.	MPa1	Ta1 . La1 = 1,924 . 0	0,000
2.	MPa2	Ta2 . La2 = 13,649 . 0,33	4,550
3.	MPa3	Ta3 . La3 = 36,527 . 2,25	82,185
4.	MPa4	Ta4 . La4 = 17,326 . 2,67	56,870
5.	MPaw	Taw1 . Law1 = 30,646 . 2,67	81,722
6.	MPac1	Tac1 . Lac1 = -6,520 . 0	0,000
7.	MPac2	Tac2 . Lac2 = -57,517 . 1,75	-100,654

ΣMPa 124,673

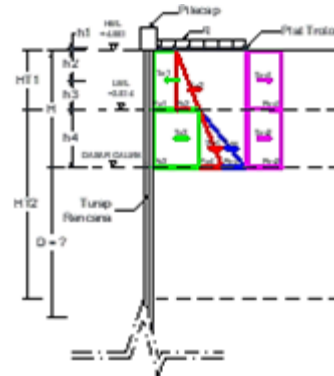
Sumber : Data diolah oleh Penulis, (2021)

f. Jarak titik tangkap tekanan tanah aktif terhadap titik A

Perhitungan jarak dari titik tangkap tekanan tanah aktif terhadap tie rod (titik A) : $y = \frac{\sum MPa}{\sum Pa} = \frac{124,673}{40,035} = 3,11 \text{ m}$

g. Diagram tekanan tanah aktif

Penggambaran diagram tekanan tanah aktif menggunakan program bantu Autocad dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini :



Gambar 10. Diagram Tekanan Tanah Aktif

Perhitungan Kedalaman Sheet Pile.

a. Perhitungan kedalaman penetrasi sheet pile (D)

$$\sum MA = 0$$

$$\begin{aligned} \sum MPa - D . (4c - q') . (h_3 + h_4 + \frac{1}{2} . D) &= 0 \\ 124,673 - D . (4 . 17,995 - 60,933) . (1 + 2,5 &+ \frac{1}{2} . D) = 0 \\ -5,524D^2 - 38,666D + 124,673 &= 0 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai D, maka digunakan rumus abc sebagai berikut :

$$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-(-38,666) \pm \sqrt{(-38,666)^2 - 4 \cdot (-5,524) \cdot 124,673}}{2 \cdot (-5,524)}$$

Maka nilai untuk X₁ dan X₂, yaitu X₁ = -9,40 dan X₂ = 2,40

Dari rumus abc yang telah dihitung diatas, maka di peroleh nilai D = X₂ = 2,40 m

Kedalaman penetrasi *sheet pile* : D' = 1,4 . D = 1,4 . 2,40 = 3,36 m

Panjang *sheet pile* total yang di perlukan : P = H + D' = 4,5 + 3,36 = 7,86 m ≈ 8,00 m

b. Momen maksimum

$$M_{max} = \sum Pa \left[\left(\frac{\sum Pa}{4c-q'} + y \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\sum Pa}{4c-q'} \right) \right]$$

$$M_{max} = 40,035 \left[\left(\frac{40,035}{4 \cdot 17,995 - 60,933} + 3,11 \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{40,035}{4 \cdot 17,995 - 60,933} \right) \right]$$

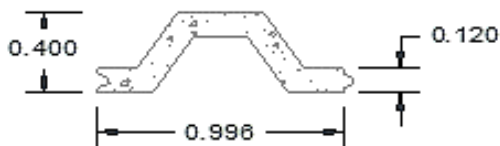
$$= 40,035 \cdot (6,738 - 1,812)$$

$$= 197,215 \text{ kN.m}$$

$$= 21 \text{ Ton.m}$$

c. Penentuan profil *sheet pile*.

Dari hasil perhitungan kedalaman *sheet pile* diatas, maka diambil panjang *sheet pile* yang diperlukan yaitu 8 m, sedangkan dari perhitungan momen maksimal dan dilihat dari tabel pada Gambar 5 mengenai klasifikasi *sheet pile* dari PT. WIKA Beton, maka digunakan *sheet pile* dengan tipe W-400 A 1000 dengan panjang *sheet pile* 10 m dan nilai *cracking moment* = 21,1 Ton.m yang dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini :



Gambar 11. Dimensi Profil Sheet Pile Tipe W-400 A 1000

Melihat hasil perhitungan momen maksimal, maka *sheet pile* yang di tentukan memenuhi syarat *cracking moment* yaitu :

$$M_{max} < \text{Cracking moment}$$

$$21 < 21,1 \dots \text{OK !!!}$$

▪ Perhitungan Angkur

a. Gaya pada angkur

$$T = \sum Pa \cdot (4c-q') \cdot D$$

$$= 40,035 - (4 \cdot 17,995 - 60,933) \cdot 2,40$$

$$= 13,511 \text{ kN/m}$$

b. Tahanan izin *tie rod*

$$P_{all} = \frac{\sum MPa}{SF}$$

$$P_{all} = \frac{124,673}{2} = 62,336 \text{ kN.m}$$

c. Jarak blok angkur dari pusat ke pusat

Jarak blok angkur dari pusat ke pusat sama dengan jarak *tie rod* dari pusat ke pusat

$$S = \frac{P_{all}}{\sum Pa}$$

$$S = \frac{62,336}{40,035}$$

$$= 1,56 \text{ m}$$

Maka digunakan jarak blok angkur dari pusat ke pusat S = 1 m sesuai dengan jarak lebar as ke as *sheet pile* yang kurang dari jarak blok angkur dari pusat ke pusat pada perhitungan diatas.

d. Perencanaan diameter *tie rod*

$$T' = T \times S$$

$$= 13,511 \cdot 1$$

$$= 13,511 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{\text{angkur baja}} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{angkur baja}} = \frac{T'}{A}$$

$$\sigma_{\text{angkur baja}} = \frac{T' \cdot 1000}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{13,511 \cdot 10000}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 3900}} = 6,64 \text{ cm}$$

Maka digunakan diameter *tie rod* $\phi = 7 \text{ cm}$

e. Perhitungan tekanan tanah pada blok angkur

$$\text{Di asumsikan : } h_a = 0,5 \text{ m}$$

$$H_a = 2 \text{ m}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

Apabila $h \leq H/3$, maka dianggap tinggi papan angkur = H, dan termasuk jenis blok angkur memanjang dekat permukaan tanah.

$$h \leq H/3$$

$$0,5 \leq 2/3$$

$$0,5 \leq 0,667 \dots \text{OK !!!}$$

Tekanan tanah aktif pada blok angkur

$$P_a = 1/2 \times \gamma_1 \times K_a \times H^2 = 1/2 \times 16,701 \times 0,409 \times 2^2 = 13,649 \text{ kNm}$$

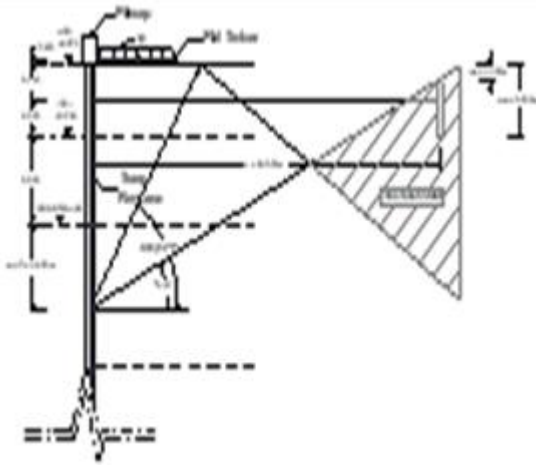
Tekanan tanah pasif pada blok angkur

$$P_p = 1/2 \times \gamma_1 \times K_p \times H^2 = 1/2 \times 16,701 \times 2,447 \times 2^2 = 81,739 \text{ kNm}$$

f. Perencanaan blok angkur

Panjang *tie rod* direncanakan sepanjang X = 14 m.

Penentuan panjang *tie rod* yaitu dengan penggambaran grafis menggunakan program bantu Autocad yang dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini :



Gambar 12. Penentuan Panjang Tie Rod

g. Tinggi blok angkur

$$L = H_a - h_a = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

Angkur pada tanah kohesif

$$T \leq L (P_p - P_a) + 2cH^2$$

$$13,511 \leq L \cdot 68,091 + 20,398$$

$$L \geq -0,101$$

$$1,5 \geq -0,101$$

Maka digunakan tinggi blok angkur

$$L = 1,5 \text{ m} \dots \text{Ok !!!}$$

h. Momen pada tie rod (jepit-jepit)

$$q = T = 13,511 \text{ kN/m}$$

$$M = 1/12 \cdot q \cdot S^2$$

$$= 1/12 \cdot 13,511 \cdot 1^2$$

$$= 1,117 \text{ kNm}$$

i. Tebal blok angkur

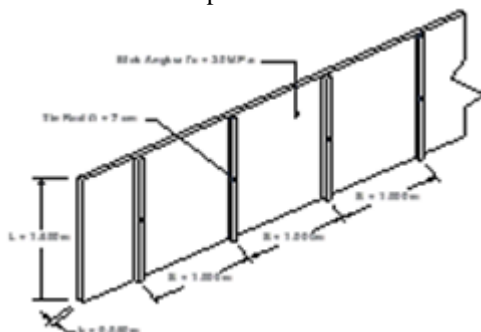
$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{f'c \cdot L}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,117}{30 \cdot 1000 \cdot 1,5}} = 0,012 \text{ m}$$

$$= 1,22 \text{ cm}$$

Maka digunakan tebal blok angkur $b = 5 \text{ cm}$

j. Desain blok angkur

Dari hasil perhitungan blok angkur diatas, maka dapat dilihat dimensional hasil penggambaran dengan program bantu Autocad pada Gambar 13 berikut ini :

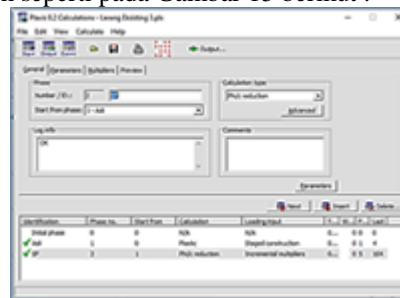


Gambar 13. Detail Blok Angkur

3.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Plaxis

▪ Kondisi Lereng Eksisting

Pada simulasi analisis kelongsoran menggunakan program Plaxis V.8.2 di *input data* penampang *cross section* yang telah diperoleh serta dengan data komponen lapisan tanah dari hasil pengujian laboratorium yang dilengkapi dengan parameter tanah dari setiap lapisan tanah. Analisis ini menggunakan model Mohr-Coulomb yang dengan melakukan *input* beberapa parameter tanah. Proses perhitungan dengan Plaxis pada kondisi awal memiliki 2 fase, yaitu fase perhitungan kondisi awal lereng dan perhitungan angka keamanan (*safety factor*). Hasil *running* program Plaxis 2D tersebut dapat dilihat dari Gambar 14 dan setelah di kalkulasikan, maka angka keamanan (*safety factor*) diperoleh seperti pada Gambar 15 berikut :



Gambar 14. Tahapan Perhitungan Lereng Eksisting Menggunakan Plaxis 2D



Gambar 15. Hasil Perhitungan Safety Factor Lereng Eksisting Menggunakan Plaxis 2D

Dari hasil analisis menggunakan program Plaxis 2D tersebut, nilai faktor keamanan lereng yang diperoleh yaitu 1,1092.

▪ Kondisi Lereng di Tambah Perkuatan Sheet Pile dengan Angkur

Pada analisis ini menggunakan data parameter tanah yang sama dengan kondisi eksisting dengan tambahan data parameter *sheet pile* dan angkur yang di *input* pada program Plaxis 2D pada perencanaan ini menggunakan *sheet pile* beton tipe W-400 A 1000 dengan pemasangan kedalaman rencana 10 m dengan angkur sepanjang 14 m.



Gambar 16. Hasil Perhitungan Safety Factor Lereng Memakai Perkuatan Sheet Pile dengan Angkur Menggunakan Plaxis 2D

Setelah dilakukan proses perhitungan menggunakan program bantu Plaxis 2D V.8.2, maka diperoleh nilai faktor keamanan lereng yaitu sebesar 3,5814. Dari hasil analisis faktor keamanan lereng dengan nilai lebih dari 1,5 tersebut, maka lereng telah dapat dikatakan stabil.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Nilai faktor keamanan (FS) pada lereng Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kab. Bulungan, Kalimantan Utara dengan menggunakan perhitungan manual Metode Fellenius diperoleh nilai sebesar 1,470 dan perhitungan dengan menggunakan program bantu Plaxis 2D V.8.2 diperoleh nilai sebesar 1,1092.
2. Untuk solusi penanggulangan longsor lereng Sungai Lungun, ukuran dimensi perkuatan sheet pile yang diperoleh dari perhitungan yaitu menggunakan sheet pile beton tipe W-400 A 1000 dengan kedalaman 10 m ditambah dengan pengakuan angkur pada kedalaman 1 m dari permukaan tanah yang dikaitkan oleh tie rod baja Ø7 cm sepanjang 14 m kepada blok angkur beton dengan tinggi blok angkur 1,5 m dan tebal 5 cm yang tertanam 0,5 m dari permukaan tanah, maka menghasilkan nilai faktor keamanan

lereng yang dihitung menggunakan program bantu Plaxis 2D V.8.2 sebesar 3,5814.

Daftar Rujukan

- [1] Atibrata, Aryo Laksana. 2020. "Perencanaan Dinding Penahan Tanah Jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) pada Pekerjaan Galian Apartemen Bengawan Malang". Skripsi untuk derajat Sarjana Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] [BSN] Badan Standarisasi Nasional, 2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik(SNI 8460:2017)*,BSN, Jakarta.
- [3] Das, Braja M. dkk. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 1.Jakarta : Erlangga.
- [4] Das, Braja M. dkk. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 2.Jakarta : Erlangga.
- [5] Dwi Hardadi, Budisasonko. 2016. "Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Rakit pada Kondisi Tanah Berlapis". Skripsi untuk derajat Sarjana Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
- [6] Fahlevi, Farid. 2019. "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 dan Metode Bishop (Studi Kasus : Pembangunan TPA Sipirok)". Skripsi untuk derajat Sarjana Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- [7] Gabriella M. P., Violetta. 2014. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik* Vol.2 No.1.
- [8] Hardiyatmo, Hary Christady. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [9] Laboratorium Teknik Sipil UBT. 2018. *Laporan Sondir & Handbor Lokasi Sabanar Baru, Tanjung Selor*. Tarakan : Laboratorium Teknik Sipil UBT.
- [10] Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UBT. 2018. *Laporan Akhir Perencanaan Normalisasi Sungai Lungun Sabanar Baru Tanjung Selor*. Tarakan : Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UBT.
- [11] Suharto. *Perencana Sheet Pile Sungai Mahakam pada STA.0+100 – STA. 0+200 di Kecamatan Melak Kabupaten Kutai Kartanegara*. Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda.



Analisis *Quantity Take-Off* Menggunakan BIM Pada Proyek Jalan Tol “X”

Karina Travis¹, Nunung Martina², Safri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹karina.travis.ts17@mhs.wpnj.ac.id*, ²nunung.martina@sipil.pnj.ac.id, ³safri@sipil.pnj.ac.id

Abstract

In large and complex construction projects, Building Information Modelling (BIM) is important in the globalization of construction technology. Through the implementation of BIM, it is hoped that the “X” Toll Road Project can minimize errors. The problems that occurs in the field is that the QTO calculation using AutoCAD with Microsoft Excel tools in the initial estimate is less accurate so that it results in a miss calculation in the implementation, BIM is expected to be a solution to this problem. A case study was conducted to compare the quantity take-off in toll road construction on Overpass Interchange “X” and Access Roads using BIM and conventional. Data analysis was obtained from carrying out quantity take-off work using BIM and Conventional CAD as well as conducting interviews with BIM experts. Based on the research conducted, there are differences in the calculation of the take-off quantity between BIM and conventional, the percentage difference in the calculation obtained is the difference in earthworks $\pm 4,375\%$, structural excavation difference $\pm 1,7\%$, pavement difference $\pm 4.4\%$, structural concrete difference $\pm 0.1\%$, and other work 0% difference. BIM can streamline more actual volume, but it takes a long time for beginners to get accurate. BIM is influenced by the level of modeling detail, if the modeling is not modeled properly, it will give wrong volume calculation results. Compared to conventional methods, using BIM at the beginning of planning is very effective in preventing re-design as well as inefficient designs and miss calculations.

Keywords: BIM, conventional CAD, quantity take-off

Abstrak

Pada proyek konstruksi besar dan kompleks, BIM (*Building Information Modelling*) merupakan hal penting dalam globalisasi teknologi konstruksi. Melalui penerapan BIM diharapkan pada Proyek Jalan Tol “X” dapat meminimalisir kesalahan. Masalah yang terjadi dilapangan terdapat perhitungan QTO menggunakan AutoCAD dengan alat bantu Microsoft Excel dalam estimasi awal kurang akurat sehingga menghasilkan *miss* kalkulasi pada pelaksanaan, BIM diharapkan dapat menjadi solusi untuk masalah ini. Dilakukan studi kasus untuk mengetahui perbandingan *quantity take-off* pada konstruksi jalan tol pada *Overpass Interchange* “X” dan Jalan Akses menggunakan BIM dan konvensional. Data analisis diperoleh dari melakukan pekerjaan *quantity take-off* dengan berbasis BIM dan CAD Konvensional serta melakukan wawancara kepada pakar BIM. Berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat perbedaan perhitungan *quantity take-off* antara BIM dan manual menggunakan CAD konvensional, Persentase perbedaan perhitungan yang didapatkan yaitu pada pekerjaan tanah selisih $\pm 4,375\%$, galian struktur selisih $\pm 1,7\%$, perkerasan selisih $\pm 4,4\%$, struktur beton selisih $\pm 0,1\%$, dan pekerjaan lain-lain selisih 0%. BIM dapat mengefisienkan volume lebih aktual, namun membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pemula dalam mendapatkan keakuratan. BIM dipengaruhi oleh tingkat ke-detailan pemodelan, jika pemodelan tidak dimodelkan dengan benar maka akan memberikan hasil perhitungan volume yang salah. Menggunakan BIM pada awal perencanaan sangat efektif dalam mencegah terjadinya re-desain serta desain yang tidak efisien dan *miss* kalkulasi.

Kata kunci: BIM, CAD konvensional, *quantity take-off*

Diterima Redaksi : 09-09-2021 | Selesai Revisi : 03-11-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

1. Pendahuluan

Quantity Surveying pada Proyek Jalan Tol “X” melakukan perhitungan QTO secara manual dengan menggunakan Autocad dan alat bantu Microsoft Excel dalam estimasi awal, menyebabkan belum terintegrasinya antara *drawing-quantity-schedule-cost* yang mengakibatkan terjadinya *miss* kalkulasi.

Quantity Take Off (QTO) diaplikasikan hampir di semua fase proyek konstruksi, oleh karena itu pekerjaan QTO harus dilakukan secara akurat dan konsisten [1]. Pemodelan desain yang berubah-ubah sangat mempengaruhi biaya dan SDM yang tidak efisien, serta dapat mempengaruhi volume pekerjaan yang dikemas dalam BoQ dan mengakibatkan

kurangnya daya saing serta kelayakan harga penawaran. Dampak kesalahan dalam *quantity surveying* berdampak signifikan pada biaya proyek [2][3]. Beberapa faktor yang menyebabkan kurangnya keakuratan perhitungan QTO berbasis CAD konvensional yaitu kesalahan dalam pemindahan data antar *file*, resiko perhitungan ganda dan elemen yang hilang, gambar 2D mengandung banyak kesalahan yang menyebabkan masalah lebih lanjut [4]. Dengan mengimplementasikan BIM merupakan salah satu cara untuk mendukung pertumbuhan infrastruktur dinegara ini karena dapat meminimalisir kesalahan dalam proyek konstruksi [5][6]. Pada proyek Jalan Tol “X” ini merupakan jenis pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan yang wajib untuk menerapkan BIM hal ini sesuai dengan Surat Edaran No. 11/SE/Db/2021 tentang Penerapan *Building Information Modelling* Pada Perencanaan Teknis, Konstruksi Dan Pemeliharaan Jalan Dan Jembatan Di Direktorat Jenderal Bina Marga [7].

Menggunakan aplikasi konvensional membutuhkan waktu lebih lama karena aplikasi ini tidak dapat saling terintegrasi. Dibandingkan dengan penggunaan BIM, hal ini akan mempengaruhi biaya dan SDM yang dibutuhkan untuk menggunakan aplikasi dalam perencanaan proyek. BIM mendorong pertukaran model 3D antar disiplin ilmu yang berbeda, sehingga proses pertukaran informasi menjadi lebih efisien selama proses suatu konstruksi [8][9]. Implementasi BIM *quantity take off* memungkinkan integrasi antara model 3D dengan semua pihak yang terlibat dalam proses konstruksi dengan manfaat berupa perhitungan volume dan biaya yang sebelumnya dapat diketahui pada tahap perencanaan [10][11].

Hasil dari menggunakan *software* BIM akan memiliki *output* yang lebih akurat dan lebih detail dari pada menghitung QTO menggunakan metode sebelumnya. BIM merupakan perubahan paradigma menggantikan CAD konvensional [12][13]. Akan tetapi BIM juga memiliki beberapa potensi tantangan seperti resistensi terhadap perubahan budaya, adaptasi alur kerja yang ada untuk program berorientasi lean, pelatihan staf, pemahaman tanggung jawab, dan kurangnya staf yang berkualitas [14][15]. Beberapa hambatan lain yaitu kompleksitas perangkat lunak adalah salah satu kelemahan menggunakan BIM untuk QTO [16].

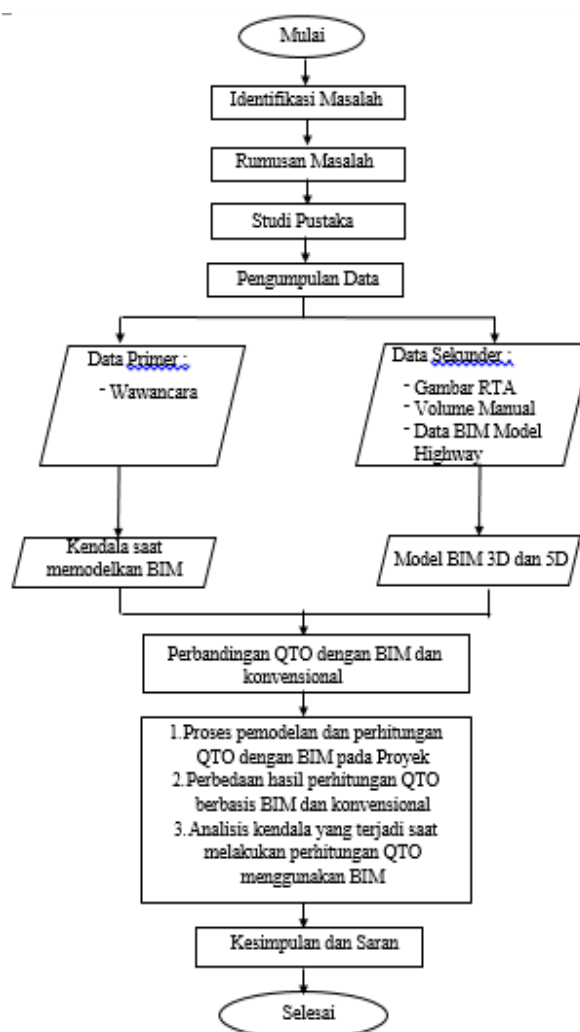
Software BIM yang digunakan pada penelitian ini adalah Autodesk Civil 3D 2021 dan Autodesk Revit 2021, kedua *software* ini dapat melakukan perhitungan *quantity take-off* secara cepat dan akurat [17].

Tujuan dari penelitian ini untuk menguraikan faktor-faktor yang terjadi pada permasalahan dari analisis *quantity take-off* secara manual dengan menggunakan aplikasi 2D tradisional Autocad dan alat bantu Microsoft Excel dalam pengestimasi awal pada Proyek Pembangunan Jalan Tol “X” dan mengetahui

keunggulan serta kendala dari *software* Autodesk Civil 3D dan Autodesk Revit, sebagai salah satu *tools* BIM agar dapat melakukan keakurasi dan mempermudah analisis *quantity take-off*.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Lokasi penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol “X”. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan perhitungan *quantity take off* menggunakan berbasis BIM dan CAD konvensional serta melakukan wawancara untuk menemukan kendala dalam penggunaan BIM. Berdasarkan kajian pustaka diperoleh kerangka diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.1. Metode Pengumpulan Data dan Analisis Data

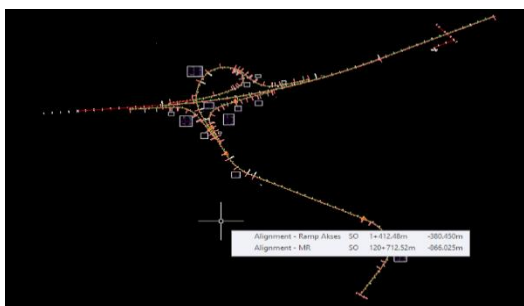
Data primer yang digunakan adalah hasil wawancara untuk mengetahui kendala dari penerapan BIM. Data sekunder yang digunakan yaitu Gambar RTA, data perhitungan volume secara manual dan data BIM Model *highway*. *Input* pada BIM yaitu memerlukan

gambar RTA dan data BIM Model *highway* yang berasal dari proyek, dalam format PDF maupun DWG. Proses pada BIM yaitu dengan memodelkan jalan akses dan struktur *overpass*. Yang terakhir yaitu *output* model yang dihasilkan oleh BIM akan merepresentasikan bentuk digital dari jalan akses dan struktur *overpass*. BIM yang digunakan pada penelitian ini telah memiliki fitur untuk merekapitulasi hasil *quantity take off*. Hasil tersebut berupa total volume dan juga luas permukaannya. Selanjutnya dihitung persentase perbedaan hasil perhitungan QTO berbasis CAD konvensional dan BIM.

2.2. Pemodelan 3D Jalan Akses/At Grade

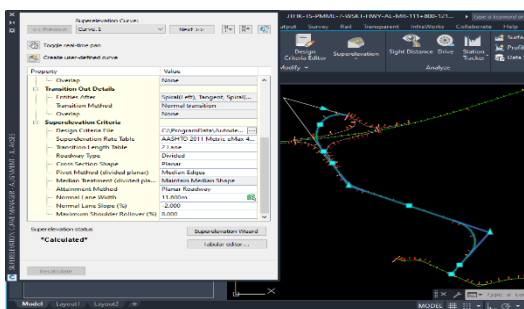
Untuk pemodelan pekerjaan *civilwork* pada jalan akses/*at grade* akan dilakukan dengan perangkat lunak Autodesk Civil 3D. *Output* dari pemodelan ini adalah file .DWG yang berisi seluruh data dari pemodelan yang sudah dikerjakan. Untuk merencanakan *highways* menggunakan Autodesk Civil3D terdapat tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Membuat *alignment horizontal at grade* seperti yang terlihat pada Gambar 2.



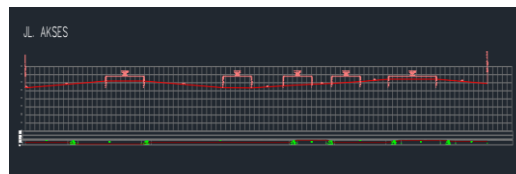
Gambar 2 Membuat *Alignment Horizontal*

2. Membuat *superelevasi* seperti yang terlihat pada Gambar 3.



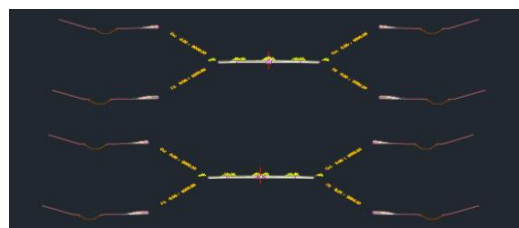
Gambar 3 Membuat *Superelevasi*

3. Membuat *layout profile* rencana (*alignment vertical*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



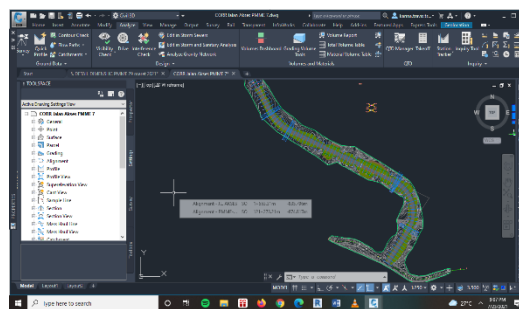
Gambar 4 Membuat *Alignment Vertical*

4. Membuat *subassembly* seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Membuat *Subassembly*

5. Membuat *corridor* seperti yang terlihat Pada Gambar 6.

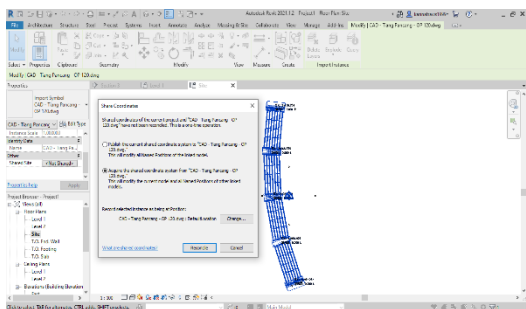


Gambar 6 Membuat *Corridor* Jalan Akses

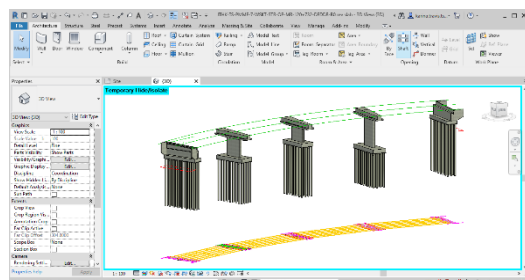
2.3 Pemodelan 3D Struktur *Overpass*

Pemodelan 3D pekerjaan struktur pada *overpass* akan dilakukan dengan perangkat lunak Autodesk Revit. Pada pemodelan 3D akan dibuat berdasarkan dari dokumen RTA. *Output* dari pemodelan ini adalah file .RVT yang berisi seluruh data dari pemodelan yang sudah dikerjakan. Untuk merencanakan struktur *overpass* menggunakan Autodesk Revit terdapat tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Memasukkan plan struktur *overpass* ke Autodesk Revit seperti yang terlihat pada Gambar 7.

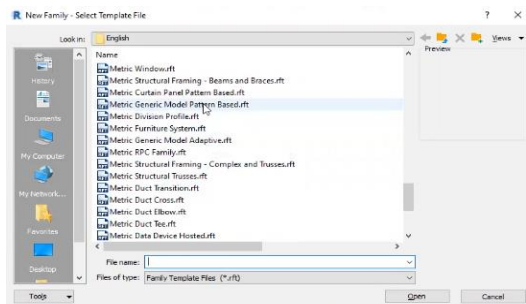


Gambar 7 Import Gambar Plan Struktur Overpass



Gambar 9 Tampilan Placing Permodelan Sub Structure Sesuai dengan Elevasi

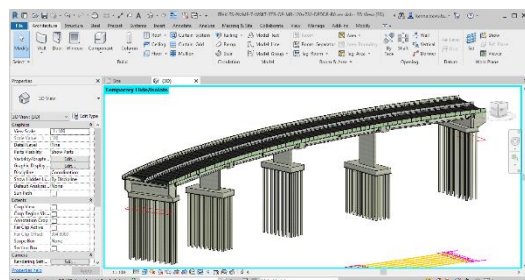
2. Lalu buat *New Family* dari setiap elemen yang akan dibuat yang selanjutnya akan di plot ke dalam gambar plan. Untuk membuat elemen *sub-structure* (pondasi tiang, kepala pondasi / *footing*, kolom pier, kepala pier / *pier head*), elemen *upper-structure* (*girder*, *diafragma*, *deck slab*, *pavement*, dan *barrier*, plat injak, *bearing pad*), struktur tanah (granular *backfill*) dan utilitas *railing*. pilih *template* sesuai dengan elemen struktur yang akan dibuat. Selanjutnya *placing family* masing-masing elemen yang sudah dibuat ke *project* sesuai dengan gambar plan. Tampilan *New Family* seperti pada Gambar 8



Gambar 8 Tampilan Template dari Family

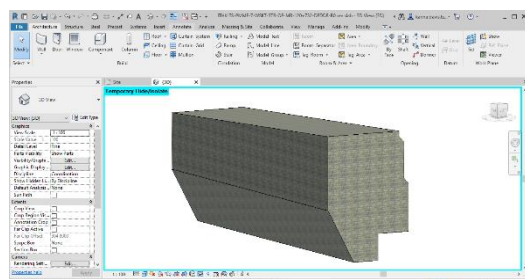
3. Membuat elemen *sub-structure* (pondasi tiang, kepala pondasi / *footing*, kolom pier, kepala pier / *pier head*) seperti yang terlihat pada Gambar 9.

4. Membuat elemen *upper-structure* (*girder*, *diafragma*, *deck slab*, *pavement*, dan *barrier*, plat injak, *bearing pad*) yang terlihat pada Gambar 10.



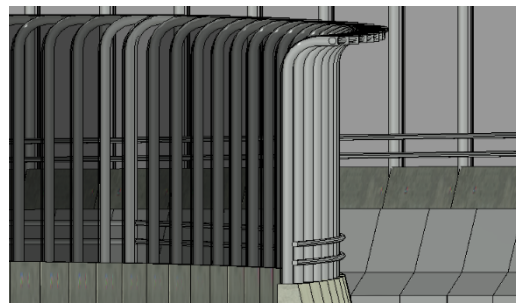
Gambar 10 Tampilan Placing Permodelan Upper Structure Sesuai dengan Elevasi

5. Membuat struktur tanah granular *backfill* yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Tampilan Permodelan Granular Backfill Sesuai dengan Elevasi

6. Membuat utilitas *railing* yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Tampilan Permodelan Railing Sesuai dengan Elevasi

2.4. Perhitungan Volume Pekerjaan Berbasis BIM

1. 5D QTO pada *at grade* pada menu *Generate Volume Report* menggunakan Autodesk Civil 3D seperti yang terlihat pada Gambar 13.

Material Report

Project: C:\Users\LAPTOP~1\AppData\Local\Temp\Jalan Akses PMME
 7_1_29982_6c0ba671.sv\$
 Alignment: Alignment - JL AKSES
 Sample Line Group: Cross Section Jl Akses - 1
 Start Sta: 0+025.000
 End Sta: 2+416.651

Station	Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
		Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+025.000				
	galian	206.25	0.00	0.00
	timbunan	23.38	0.00	0.00
Station: 0+050.000				
	galian	386.95	7414.99	7414.99
	timbunan	77.70	1263.52	1263.52
Station: 0+075.000				
	galian	374.77	9521.53	16936.51
	timbunan	136.80	2681.18	3944.70
Station: 0+100.000				
	galian	395.85	9632.72	26569.23
	timbunan	166.27	3788.33	7733.03
Station: 0+125.000				
	galian	342.32	9227.08	35796.31
	timbunan	184.76	4387.86	12120.89
Station: 0+150.000				

Material Report

Project: C:\Users\LAPTOP~1\AppData\Local\Temp\Jalan Akses PMME
 7_1_29982_6c0ba671.sv\$
 Alignment: Alignment - JL AKSES
 Sample Line Group: Cross Section Jl Akses - 1
 Start Sta: 0+025.000
 End Sta: 2+416.651

Station	Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
		Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+025.000				
	rigid	4.20	0.00	0.00
	LC	1.44	0.00	0.00
	AGREGAT	3.02	0.00	0.00
	BETON BARRIER	0.64	0.00	0.00
	TANAH ROUNDING	1.52	0.00	0.00
Station: 0+050.000				
	rigid	4.20	105.00	105.00
	LC	1.44	36.00	36.00
	AGREGAT	3.02	75.39	75.39
	BETON BARRIER	0.64	15.94	15.94
	TANAH ROUNDING	1.52	38.12	38.12
Station: 0+075.000				
	rigid	4.20	105.00	210.00
	LC	1.44	36.00	72.00
	AGREGAT	3.02	75.39	150.77

Gambar 13 Tampilan *Volume Report* Autodesk Civil 3D

2. 5D QTO pada *overpass* pada menu *Schedules/Quantities* menggunakan Autodesk Revit seperti yang terlihat pada Gambar 14.

-Multi-Category Material Takeoff-						
A	B	C	D	E	F	G
Type	Count	Item Description	Unit/Type	Volume/Length	Material Volume	Material Name
Quantity Analyzed	13			147.24 m ³		Applied Payment
Item						
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.17	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.00	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.01	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.02	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.03	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.04	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.05	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.06	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.07	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.08	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.09	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.10	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.11	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.12	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.13	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.14	3.50 m ³	Concrete	
Yang Pancing - Dia	11	Hermancangan bang panjang Tipe 0 - A1	12.15	3.50 m ³	Concrete	

Gambar 14 Tampilan Hasil *Quantity Take-off* Autodesk Revit

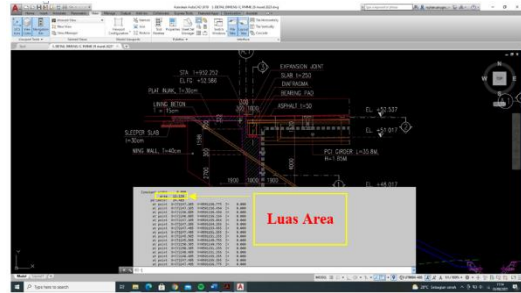
2.5. Perhitungan *Volume* Pekerjaan Berbasis CAD Konvensional

1. Pekerjaan dalam satuan panjang – m¹

Volume yang dihitung berdasarkan dari panjang konstruksi sesuai dengan gambar rencana dengan memperhatikan skala pada gambar.

2. Pekerjaan dalam satuan luas – m²

Dalam menghitung volume dengan satuan m³ yaitu dengan menghitung luas area dikalikan dengan tebal atau ketinggian dalam masing-masing objek yang akan dihitung. Luas area yang didapatkan dengan menggunakan *software* Autodesk Autocad menggunakan *Command* “LI” atau “AA” lalu di olah pada Microsoft Excel untuk membantu proses perhitungan volume. Luas area seperti yang terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Menghitung Luas Area Menggunakan *Command* Autocad.

3. Pekerjaan dalam satuan Kg

Volume yang dihitung beratnya sesuai dengan gambar rencana dengan memperhatikan skala pada gambar.

4. Pekerjaan dalam satuan - bh dihitung jumlahnya berdasarkan gambar yang ada.

2.6. Analisa Hasil Perhitungan

Seluruh hasil perhitungan *quantity take off* BIM yang menggunakan Civil 3D dan Revit yang akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan CAD konvensional dan menggunakan alat bantuan Microsoft Excel. Untuk mempermudah analisa, perhitungan *quantity take off* tersebut diubah dalam bentuk persentase (%) menggunakan rumus:

$$\text{Persentase} = \frac{\text{volume konv} - \text{Volume BIM}}{\text{Volume BIM}} \times 100\% \quad (1)$$

2.7. Analisa Kendala yang Terjadi dalam menggunakan BIM pada QTO

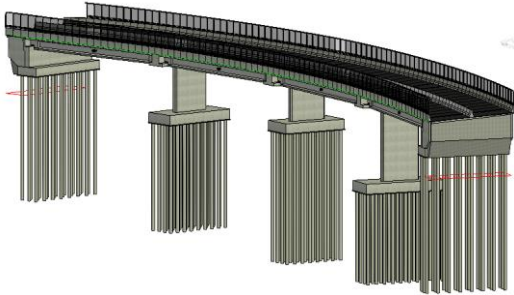
Penulis dapat menemukan kendala apa saja yang terjadi saat memodelkan BIM dan melakukan analisa QTO menggunakan BIM, maka kendala tersebut dijadikan referensi untuk ditanyakan pada pakar dengan melakukan wawancara dengan satu responden yang merupakan seorang pakar BIM pada PT X dengan jabatan BIM *Infrastructure Expert*. Dengan adanya kendala yang berasal dari pengguna BIM dapat dijadikan masukan dan dapat diantisipasi oleh pengguna BIM lainnya. Autodesk Revit dan Autodesk Civil 3D merupakan salah satu dari beberapa *software*

yang dapat digunakan untuk pekerjaan *quantity take off*. Hasil kesimpulan wawancara diperoleh untuk mendukung hasil penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan BIM Struktur *Overpass*

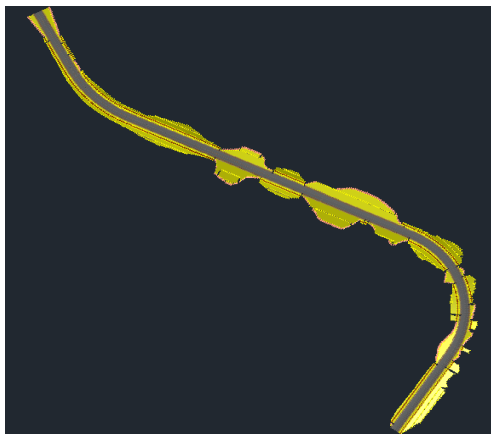
Pemodelan struktur *overpass* menggunakan *software* Autodesk Revit dengan memanfaatkan gambar RTA dari Proyek Jalan Tol “X” Hasil permodelan 3D struktur *overpass* terdapat pada Gambar 16.



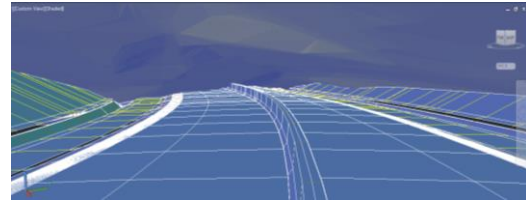
Gambar 16 Hasil Pemodelan Struktur *Overpass*

3.2. Pemodelan BIM Struktur Jalan Akses/At Grade

Pemodelan struktur Jalan Akses/At Grade menggunakan *software* Autodesk Civil 3D dengan memanfaatkan gambar tipikal potongan melintang jalan akses dari Proyek Jalan Tol “X”. Pekerjaan jalan akses terdiri dari pekerjaan galian dan timbunan, perkerasan beton, *lean concrete*, lapis drainase, tanah *rounding* jalan dan *concrete barrier*. Hasil permodelan 3D Jalan Akses terdapat pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17 Hasil Pemodelan Jalan Akses

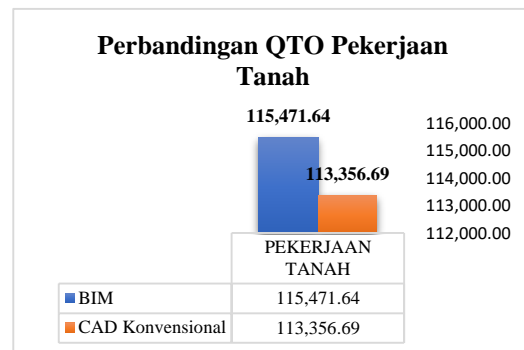


Gambar 18 Visualisasi Jalan Akses pada Autodesk Civil 3D

3.3. Analisa Perbandingan Hasil Perhitungan BIM dan Konvensional

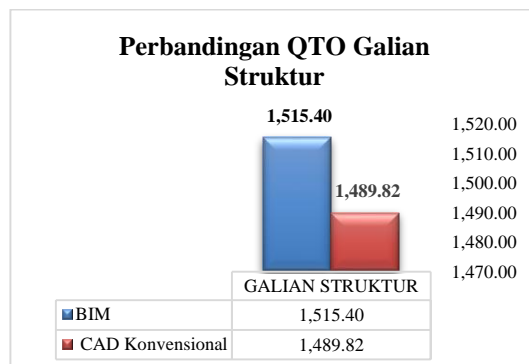
Setelah pemodelan jalan akses dan struktur *overpass* selesai dilakukan maka dilakukan proses kalkulasi atau QTO sesuai dengan model yang sudah dibuat dan diperoleh *quantity take off* dari pemodelan tersebut. Selanjutnya membandingkan hasil perhitungan *quantity take off* menggunakan BIM yaitu hasil ekstraksi dari Autodesk Civil 3D dan Autodesk Revit dengan perhitungan *quantity take off* berbasis CAD konvensional dan Microsoft Excel yang berasal dari perhitungan sendiri. Melalui BIM hasil yang diperoleh berupa data volume beton dan luas permukaannya. Perbandingan QTO BIM dan Konvensional terdapat pada Lampiran Tabel 1.

Berikut grafik rata-rata perbandingan perhitungan tiap pekerjaan pada struktur *overpass* dan jalan akses gambar 4 sampai gambar 6.



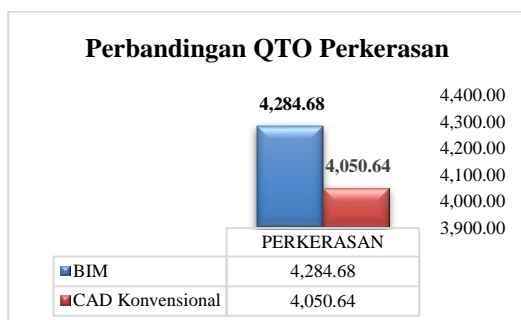
Gambar 19 Grafik Perbandingan Rata-rata QTO Pekerjaan Tanah

Dari gambar 4 didapat persentase perbedaan selisih $\pm 4,375\%$ jika dibandingkan dengan metode perhitungan berbasis CAD konvensional.



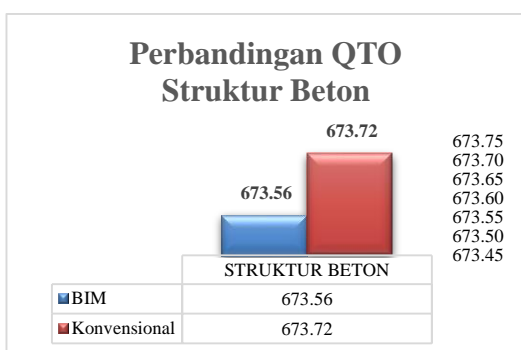
Gambar 20 Grafik Perbandingan Rata-rata QTO Galian Struktur

Dari gambar 5 didapat persentase perbedaan selisih 1,7% jika dibandingkan dengan metode perhitungan berbasis CAD konvensional.



Gambar 21 Grafik Perbandingan Rata-rata QTO Perkerasan

Dari gambar 6 didapat persentase perbedaan selisih 4,4% jika dibandingkan dengan metode perhitungan berbasis CAD konvensional.



Gambar 22 Grafik Perbandingan Rata-rata QTO Struktur Beton

Dari gambar 7 didapat persentase perbedaan selisih $\pm 0,1\%$ jika dibandingkan dengan metode perhitungan berbasis CAD konvensional.

Berdasarkan hasil rekapitulasi tabel perhitungan, terdapat beberapa hal penting yang mempengaruhi hasil perhitungan, khususnya untuk permodelan BIM 3D yaitu:

1. Karena keterbatasan waktu perhitungan dan kurangnya pemahaman tentang metode perhitungan yang akurat, perhitungan yang dilakukan secara manual menggunakan metode *average end area* di Microsoft Excel memiliki akurasi yang lebih rendah.
2. Pada *extract* QTO menggunakan Autodesk Civil 3D untuk pekerjaan tanah memiliki perbedaan perhitungan $\pm 5,4\%$, pekerjaan perkerasan perbedaan perhitungan sekitar $\pm 5,47\%$, dan galian struktur memiliki perbedaan perhitungan $\pm 1,7\%$ dari perhitungan manual berbasis CAD konvensional dan Microsoft Excel yang disebabkan pada metode berbasis CAD konvensional data ukur yang diambil tidak sesuai dengan keadaan dan kondisi lapangan sehingga sulit untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat. Metode konvensional

bisa lebih teliti jika interval jarak antar penampang irisan diperkecil, tetapi akan memakan waktu perhitungan yang lebih lama dan pada potongan memanjang gambar terkadang terdapat kesalahan proyeksi gambar. Sedangkan perhitungan menggunakan Autodesk Civil 3D menghasilkan QTO yang sangat teliti karena mendekati keadaan asli di lapangan.

3. Pada perhitungan struktur beton tidak banyak perbedaan yang signifikan karena mengacu pada gambar yang sama. Penafsiran dan asumsi yang digunakan saat melakukan perhitungan volume sama dengan yang digunakan Autodesk Revit. Perhitungan berbasis CAD konvensional mengikuti asumsi dari Autodesk Revit yaitu dengan menghitung luas area tiap elemen struktur lalu dikalikan dengan ketebalannya. Namun untuk perhitungan manual berbasis CAD konvensional membutuhkan waktu yang cukup lama jika ingin mendapatkan hasil perhitungan yang akurat karena terdapat beda kemiringan yang mempengaruhi perhitungan.
4. Proses perhitungan berbasis BIM dan CAD konvensional dipengaruhi oleh faktor *human error* yang tinggi dan faktor individu yang masih ikut berperan.
5. Secara keseluruhan pengujian yang dilakukan menghasilkan selisih perbedaan perhitungan antara BIM dan konvensional dibawah 10%, dan hasil penelitian ini sesuai dengan keakuratan yang berdasarkan dari penelitian sebelumnya.

3.4. Hasil Wawancara

Dari hasil wawancara dengan seorang pakar BIM yang didapatkan, dapat disimpulkan kendala dalam penerapan BIM yaitu:

1. Kemampuan dari pihak yang akan menggunakan BIM saat akan melakukan permodelan, apabila model yang dikerjakan tidak sesuai maka akan memberikan hasil perhitungan yang salah.
2. Pada proses QTO sering terjadi *glitch* pada pekerjaan galian dan timbunan yang mengandalkan data ukur, jika kesalahan dalam pengambilan data ukur maka pemodelan akan salah. Kendala saat proses *calculate* QTO terkadang terdapat model yang menduplikasi jika pada saat memodelkan kurang teliti. Dan jika saat memodelkan tidak memasukkan informasi dengan lengkap, maka akan saat *export quantity* tidak bisa mendapatkan informasi yang dibutuhkan.
3. Waktu pemodelan yang cukup lama dalam mengoreksi model dengan data yang salah/tidak sesuai dengan desain rencana dan kesalahan pendetailan gambar yang diberikan oleh konsultan juga merupakan salah satu kendala saat memodelkan BIM. Dibutuhkan ketelitian yang sangat tinggi dalam *modelling* agar mendapatkan hasil yang didapatkan sama dengan aktual. Tingkat keakuratan dalam pekerjaan QTO

dipengaruhi oleh tingkat kedetailan dari BIM Model.

4. Penggunaan *software* yang sulit yang membutuhkan kualifikasi keahlian yang tinggi, serta membutuhkan spesifikasi perangkat yang tinggi untuk penggunaannya.
5. Lisensi *software* yang mahal, tetapi hasil yang didapatkan dari penggunaan BIM dapat memberikan keefisienan yang cukup besar khususnya untuk perhitungan QTO dan juga dapat memberikan keuntungan dari segi biaya, mutu, waktu, visualisasi, dll.
6. Output yang dikeluarkan oleh BIM masih berantakan dan perlu diolah lagi agar sesuai dengan format yang ada.
7. Semakin rumit permodelan maka akan semakin sulit BIM memproses data pada model tersebut. Hal ini mempengaruhi waktu dari pengerjaan permodelan sampai dengan hasil final. Jika permodelan BIM tidak dimodelkan dengan benar maka akan memberikan hasil perhitungan volume yang salah karena tingkat keakuratan dalam pekerjaan QTO dipengaruhi oleh tingkat kedetailan dari BIM Model tersebut. Dibutuhkan pemahaman yang tinggi kepada seluruh BIM engineer tentang jalan tol.

4. Kesimpulan

Autodesk Revit dan Autodesk Civil 3D dapat melakukan permodelan elemen-elemen struktur dengan baik dan dapat mempermudah perhitungan QTO karena dapat menghitung secara otomatis setelah permodelan BIM 3D dibuat. Dengan permodelan yang berbentuk 3D memudahkan banyak pihak untuk menganalisa dan mengoreksi apabila terjadi perbedaan volume baik dari konsultan maupun *owner*, sehingga mencegah terjadinya perselisihan. Semakin rumit permodelan maka akan semakin sulit BIM memproses data pada model tersebut. Hal ini mempengaruhi waktu dari pengerjaan permodelan sampai dengan hasil final.

Pada item pekerjaan struktur *overpass* yang dihitung sebanyak 20 item. Pada item pekerjaan jalan akses yang dihitung sebanyak 7 item. Ditemukan perbandingan hasil perhitungan *quantity take off* dengan menggunakan BIM dan konvensional. Persentase perbedaan perhitungan yang didapatkan yaitu pada pekerjaan tanah selisih $\pm 4,375\%$, Galian struktur selisih $\pm 1,7\%$, Perkerasan selisih $\pm 4,4\%$, struktur beton selisih $\pm 0,1\%$, dan pekerjaan lain-lain 0% jika dibandingkan dengan metode perhitungan konvensional. Hal ini disebabkan kurangnya ketelitian dalam melakukan perhitungan volume berbasis CAD konvensional, sehingga volume yang dihasilkan tidak akurat.

Kendala yang ditemukan dalam penerapan BIM yaitu kurangnya pemahaman, kurangnya kompatibilitas perangkat lunak, terdapat *glitch* saat *extract* QTO yang

disebabkan kurangnya ketelitian, diperlukan waktu yang lama dan ketelitian yang tinggi untuk menghasilkan perhitungan QTO yang akurat, tingkat keakuratan dalam pekerjaan QTO dipengaruhi oleh tingkat kedetailan dari BIM Model tersebut, *output* yang dikeluarkan BIM perlu untuk dikeluarkan lagi.

Daftar Rujukan

- [1] M. S. Alshabab, U. Al-baath, and A. Revit, "BIM-Based Quantity Takeoff. Construction of Unique Buildings and Structures," vol. 4, no. 55, pp. 124–134, 2017.
- [2] M. H. U. Akbar, "Comparison Between the BOQ of Conventional and BIM Method on BPJS Building in Central Jakarta," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 21, no. 1, pp. 31–30, 2021, doi: 10.31940/logic.v21i1.2260.
- [3] A. Monteiro and J. Poças Martins, "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design," *Autom. Constr.*, vol. 35, pp. 238–253, 2013.
- [4] H. S. J. and K. A. T. O. R. Gemunu Kulasekara, "Comparative Effectiveness Of Quantity Surveying In A Building Information Modelling Implementation," *Second World Constr. Symp. 2013 Socio-Economic Sustain. Constr.*, vol. 5, no. 14-15 June, pp. 101–107, 2013.
- [5] O. P. S. Ardianto, T. A. Kristianto, C. A. Budianto, A. A. Rucitra, and A. Wardoyo, "Evaluasi Media Presentasi Perancangan Interior Rumah Air Surabaya Berbasis Virtual Tour sebagai Usaha Penerapan Building Information Modelling pada Perancangan Interior," *J. Desain Inter.*, vol. 4, no. 1, p. 11, 2019.
- [6] R. Rafliis, B. E. Yuwono, and R. Rayshanda, "Manfaat Penggunaan Building Information Modelling (Bim) Pada Proyek Konstruksi Sebagai Media Komunikasi Stakeholders," *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 2, p. 62, 2019.
- [7] SURAT EDARAN Nomor: 11/SE/Db/2021, "PENERAPAN BUILDING INFORMATION MODELLING PADA PERENCANAAN TEKNIS, KONSTRUKSI DAN PEMELIHARAAN JALAN DAN JEMBATAN DI DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA," no. 20, 2013.
- [8] H. Berlian, Cinthia Ayu; Adhi, Randy Putranto; Nugroho, "Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya dan Sumber Daya Manusia Antara Metode BIM dan Konvensional (Studi kasus :Perencanaan Gedung 20 Lantai)," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 220–229, 2016.
- [9] H. P. Rizal Maulana Rizqy, Nunung Martina, "Perbandingan Metode Konvensional Dengan Bim Terhadap Efisiensi Biaya, Mutu, Waktu," vol. 3, no. 1, pp. 15–24, 2021.
- [10] A. N. Hasan and S. M. Rasheed, "The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry," *Civ. Eng. J.*, vol. 5, no. 2, p. 412, 2019.
- [11] R. Stanley and D. Thurnell, "The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand," *Australas. J. Constr. Econ. Build.*, vol. 14, no. 1, pp. 105–117, 2014.
- [12] Y. Marizan, "Studi Literatur Tentang Penggunaan Software Autodesk Revit Studi Kasus Perencanaan Puskesmas Sukajadi Kota Prabumulih," *J. Ilm. Bering's*, vol. 06, no. 01, pp. 15–26, 2019.
- [13] D. Laorent, P. Nugraha, and J. Budiman, "Analisa Quantity Take-Off Dengan Menggunakan Autodesk Revit," *Dimens. Utama Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [14] Y. Arayici, P. Coates, L. Koskela, M. Kagioglou, C. Usher, and K. O'Reilly, "Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice," *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 2, pp. 189–195, 2011, [Online].
- [15] K. Nyberg, "Possibilities with BIM in relation to cost estimation and scheduling," *BIM-cost Estim.*, 2014.
- [16] D. Olsen and J. M. Taylor, "Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors," *Procedia Eng.*, vol. 196, pp. 1098–1105, 2017.
- [17] Lu, W., Pexng, Y., Shen, Q., & Li, H. "Generic model for measuring benefits of BIM as a learning tool in construction tasks. Journal of Construction Engineering and Management." 139(2), 195-203. 2012

Tabel 1 Perbedaan Perhitungan QTO Manual dan BIM

NO	URAIAN PEKERJAAN	SAT.	VOL. MANUAL	VOL. BIM	DEV. (%)
DIV.4	PEKERJAAN TANAH				
4.03(1) a	Galian Biasa untuk Timbunan max 5 km	M ³	281594	283447	0,7%
4.05(1) a	<i>Common Borrow</i> Material 0 - 5 km (Jalan Akses)	M ³	169533	175961	3,7%
4.05(1) a	<i>Common Borrow</i> Material 0 - 5 km (Khusus <i>Overpass</i>)	M ³	1427,33	1617,59	11,8%
4.09	Urugan Material Berbutir (Granular <i>Backfill</i>) (struktur <i>Overpass</i>)	M ³	872,45	860,97	1,3%
DIV.5	GALIAN STRUKTUR				
5.01(1)	Galian Struktur kedalaman >0 – 2 m	M ³	1489,82	1515,4	1,7%
DIV.9	PERKERASAN				
9.07(3)	<i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (Struktur OP)	M ³	147,34	147,24	0,1%
9.08(1)	Perkerasan Beton (Jalan Akses) STA 0+000 - 1+775.00	M ³	8104,26	8580	5,5%
9.09(1)	<i>Lean Concrete</i> (Jalan Akses) STA 0+000 - 1+775.00	M ³	2768,96	2931,5	5,5%
9.10	Lapis Drainase (Jalan Akses) STA 0+000 - 1+775.00	M ³	5813,72	6152,4	5,5%
	Tanah <i>Rounding</i> (Jalan Akses) STA 0+000 - 1+775.00	M ³	3418,91	3612,24	5,4%
DIV. 10	STRUKTUR BETON				
10.01(4a)	Beton Struktur Kelas B-1-1a (Lantai Beton Bertulang dari Gelagar Beton Pratekan U/I)	M ³	719,43	722,2	0,4 %
10.01(5)	Beton Struktur Kelas B-1-2 (Diafragma dari Gelagar Beton Pratekan U/I)	M ³	93,60	92,64	1,0 %
10.01(5a)	Beton Struktur Kelas B-1-3 (Kepala <i>Pier</i> Beton Bertulang)	M ³	475,84	475,51	0,1 %
10.01(7f)	Beton Struktur Kelas B-1-4f (Kolom Beton Bertulang dari <i>Pier</i>)	M ³	275,13	275,13	0,0 %
10.01(9)	Beton Struktur Kelas B-1-6 (Beton Penghalang/ <i>Barrier</i>)	M ³	255,91	254,23	0,7 %
Item Baru	Beton Struktur Kelas B-1 (<i>Abutments</i> , Telapak <i>Pier</i> , Dinding Penahan Tanah, Pelat Injak)	M ³	1060,26	1058,2	0,2 %
10.01(14)	Beton Struktur Kelas E	M ³	50,27	50,27	0,0%
10.03(15a)	Gelagar PC-I CTC 2.4 m bentang nominal 35,8m to 32.00m, H= 1.85m, penyediaan	Bh	28	28	0,0 %
10.03(15b)	Gelagar PC-I CTC 2.4 m bentang nominal 35,8m to 32.00m, H= 1.85m, pemasangan	Bh	28	28	0,0 %
10.05(1)	Penyediaan tiang pancang Tipe B beton bulat <i>pretensioned</i> , dia. 60 cm	M1	3164	3164	0,0%
10.05(2)	Pemancangan tiang pancang Tipe B beton bulat <i>pretensioned</i> , dia. 60 cm	M1	3164	3164	0,0%
10.10(1a)	Sambungan Ekspansi <i>Strip Seal Joint</i> Tipe <i>heavy duty</i> (≤80 mm)	M1	61,6	61,6	0,0%
10.11(26)	<i>Anchor Bar</i> dengan Perlengkapannya	KG	2915,75	2915,75	0,0%
Item Baru	<i>Elastomeric Bearing Pad</i> 400x500x45 (<i>fix</i>)	Bh	28	28	0,0 %
Item Baru	<i>Elastomeric Bearing Pad</i> 400x500x45 (<i>move</i>)	Bh	28	28	0,0 %
DIV. 12	PEKERJAAN LAIN-LAIN				
12.15(2)	<i>Concrete Barrier</i> , tipe – B (Jalan Akses)	M1	1800	1800	0,0 %

Sumber: Olahan Penulis



Evaluasi Kapasitas Tiang Pancang Miring pada Pilar Jembatan Tipe *Pile Cap*

Ananda Sabiila Rosyada¹, Andi Indianto²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹ananda.sabiilarosyada.ts17@mhs.wpnj.ac.id*, ²andi.indianto@sipil.pnj.ac.id*

Abstract

In the implementation of the construction of the Main Bridge on the X Toll Road project, there was a change in the shape of the structure in the form of a slope of the P2 pile that did not match the DED by 3°. So that with the change in the shape of the structure, it is necessary to evaluate the capacity of the P2 pile and the influence on other structures must be considered. This research discusses how the capacity of the pile after experiencing a slope and how to handle it properly if the pile capacity is inadequate. Pile capacity evaluation is done by checking the dimensional capacity, reinforcement capacity, foundation bearing capacity, and deflection of the P1-P2 superstructure using the help of software SAP2000 in analyzing. The results showed that the pile capacity at P2 was inadequate, indicated by the lack of reinforcement on the piles as much as 6-D10,7 mm and column P2 as much as 9-D10,7 mm. As a result of inadequate pile capacity, the P1-P2 connection lacks top reinforcement. Therefore, structural strengthening is needed to make the P1-P2 structure more rigid by making bracing concrete with a length of 18,78 meters, a width of 33,92 meters, and a thickness of 0,8 meters with the need for longitudinal reinforcement and transverse reinforcement D32-250. After the structural strengthening is done, the required area of reinforcement for columns P2, piles P2, and connections P1-P2 are all fulfilled with those already installed in the side.

Keywords: Evaluation, Pile Slope, Monolith Structure, Bridge Pillar, Bracing Concrete.

Abstrak

Dalam pelaksanaan pembangunan Jembatan Utama pada proyek Jalan Tol X mengalami perubahan bentuk struktur berupa terjadinya kemiringan pada tiang pancang P2 yang tidak sesuai DED sebesar 3°. Sehingga dengan adanya perubahan bentuk struktur tersebut dibutuhkan evaluasi terhadap kapasitas tiang P2 serta harus diperhatikan pengaruh terhadap struktur lainnya. Penelitian ini membahas tentang bagaimana kapasitas tiang pancang setelah mengalami kemiringan serta bagaimana penanganan yang tepat apabila kapasitas tiang tidak memadai. Evaluasi kapasitas tiang dilakukan dengan cara pengecekan terhadap kapasitas dimensi, kapasitas tulangan, kapasitas daya dukung pondasi, serta lendutan pada struktur atas P1-P2 dengan menggunakan bantuan software SAP2000. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas tiang pancang pada P2 tidak memadai, ditandai dengan kurangnya tulangan pada tiang pancang sebanyak 6-D10,7 mm dan kolom P2 sebanyak 9-D10,7 mm. Akibat dari kapasitas tiang pancang yang tidak memadai, menyebabkan koneksi P1-P2 kekurangan tulangan arah memanjang (top). Maka dari itu diperlukan perkuatan dengan tujuan untuk membuat struktur P1-P2 lebih kaku yaitu dengan cara membuat bracing beton dengan panjang 18,78 meter, lebar 33,92 meter dan tebal 0,8 meter serta kebutuhan tulangan memanjang dan tulangan melintang D32-250. Setelah dilakukan perkuatan, kebutuhan luas tulangan perlu untuk kolom P2, tiang pancang P2, dan koneksi P1-P2 semuanya terpenuhi dengan yang sudah terpasang di lapangan.

Kata kunci: Evaluasi, Kemiringan Tiang, Struktur Monolit, Pilar Jembatan, Bracing Beton.

Diterima Redaksi : 09-09-2021 | Selesai Revisi : 22-10-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

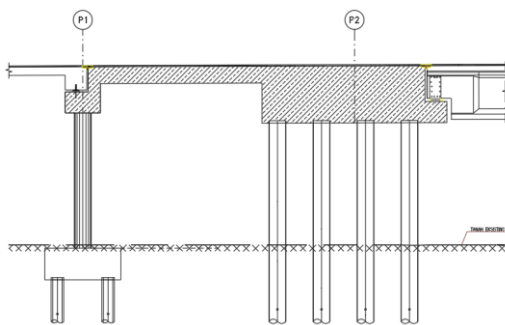
1. Pendahuluan

Proyek pembangunan jalan tol merupakan suatu usaha pemerintah dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi suatu daerah dengan mewujudkan kemudahan mobilitas dan aksesibilitas masyarakat. Dalam suatu pembangunan konstruksi jalan tol, terdapat beberapa paket pekerjaan yang harus dilakukan, seperti pekerjaan perkerasan, jembatan, *underpass*, gerbang tol dan *interchange*.

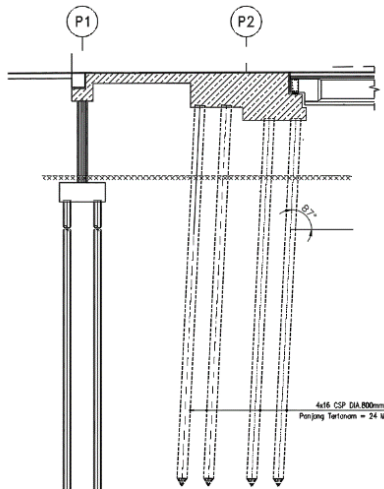
Pada suatu jaringan jalan, jembatan berfungsi untuk menyatukan dua titik yang terputus oleh suatu rintangan seperti jalan raya, sungai, lembah dan jalur kereta api [1]. Perencanaan struktur jembatan harus dilakukan dengan baik, teliti dan dibuat kokoh serta mampu menahan beban layan yang bekerja pada jembatan tersebut. Apabila dalam suatu struktur jembatan terdapat kesalahan dalam perencanaan atau pelaksanaan maka perlu dilakukan penentuan nilai sisa kapasitas jembatan karena adanya kekhawatiran terhadap tingkat keamanan struktur atau bagian bagiannya [2].

Pada pelaksanaan pemancangan P2 Jembatan Utama Proyek Jalan Tol X, awalnya tiang dipancang vertikal 90° yang mengacu pada *Detail Engineering Design* (DED). Namun karena suatu sebab diantaranya adalah banjir serta pelaksanaan pemancangan berikutnya, tiang yang sudah terpancang mengalami pergeseran pada ujung atas tiang sebesar 3° ke arah sungai. Struktur pada P2 merupakan struktur pilar tipe pile cap, serta merupakan struktur monolit terhadap P1, maka apabila hal tersebut terjadi, tidak menutup kemungkinan pergeseran ujung atas tiang pancang tersebut bisa mempengaruhi struktur dalam menerima beban.

Untuk memudahkan dalam memahami masalah yang ada, dapat dipahami dengan melihat Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Sebelum tiang P2 mengalami kemiringan



Gambar 2. Setelah tiang P2 mengalami kemiringan

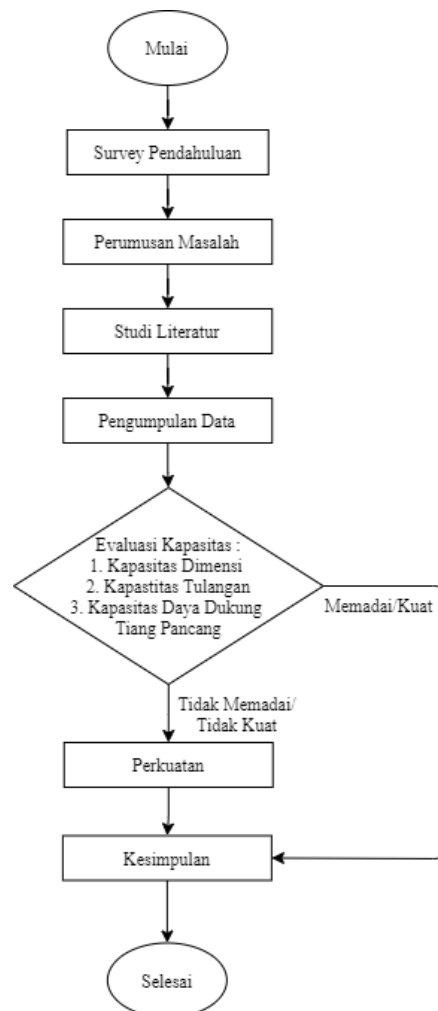
Dengan adanya pergeseran tiang, maka struktur harus dievaluasi kapasitasnya. Menurut Yudi Pranoto & Riza Setiabudi dalam penelitiannya yang berjudul *Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan Gedung* menjelaskan bahwa dengan adanya kerusakan pada pondasi berupa terjadinya penurunan pada pondasi maka kapasitas tiang pondasi harus dievaluasi [3], dan didapatkan bahwa kapasitas daya dukung tiang tidak memadai. Hasil tersebut semakin memperkuat urgensi dari perlunya suatu struktur yang mengalami kerusakan untuk dievaluasi sebagai upaya pencegahan apabila kapasitas struktur tidak memadai akibat kerusakan yang terjadi.

Adapun penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk mengevaluasi kapasitas tiang pancang yang mengalami pergeseran pada ujung atas tiang serta menjustifikasi penanganan yang tepat apabila kapasitas tiang tidak memadai.

Dalam pemilihan metode perkuatan struktur beserta urutan pengerjaannya harus diperhatikan dengan seksama agar menghasilkan struktur yang baik dan terhindar dari bertambahnya kerusakan atau bahkan mendorong timbulnya kerusakan baru [4]. Dalam setiap langkah perbaikan harus dilakukan dengan upaya agar penyebab kerusakan bisa dihilangkan atau diminimalkan. Serta dipertimbangkan upaya pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan dikemudian hari [5].

2. Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dijelaskan secara ringkas melalui bagan alir berikut.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait berupa *detail engineering design, as build drawing*, data tanah,

data kemiringan tiang, *pile driving result*, *pile integrity test*, dan spesifikasi material.

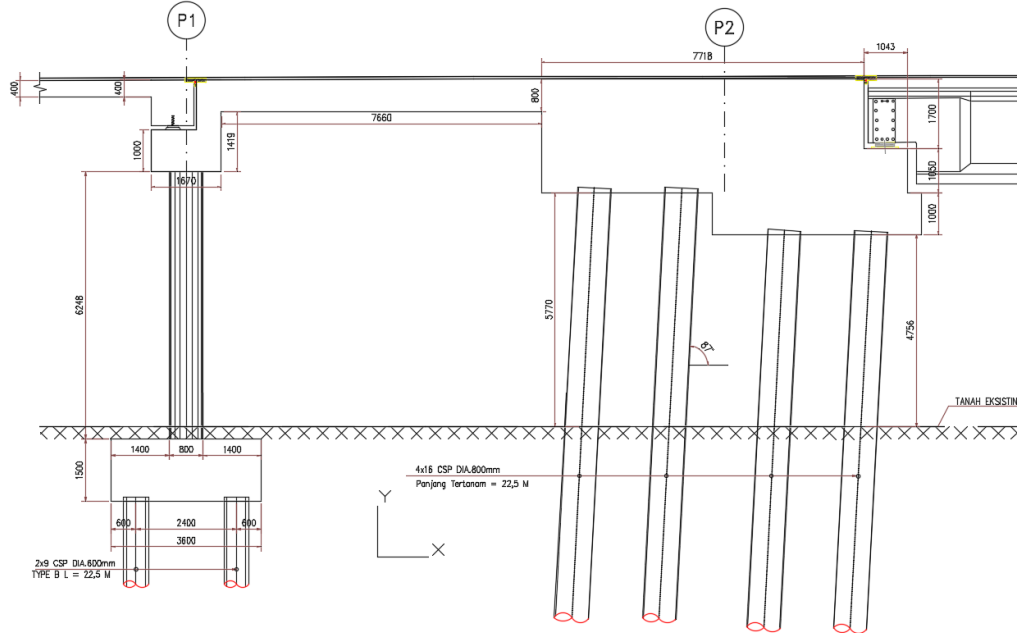
Data Teknis P1-P2

Ø Pancang P2 : Ø800 mm
Jumlah Tiang P2 : 64 buah

Ø Pancang P1 : Ø600 mm
Jumlah Tiang P1 : 18 buah

Mutu Tiang : K600
Tipe Tiang : Concrete Spun Pile Tipe B0
Lebar Jembatan : 33,8 m

Adapun beton yang digunakan pada *pierhead* P1 dan P2, *pile cap* P1, koneksi P1-P2, kolom P1 menggunakan mutu beton f_c' 30 Mpa dengan mutu tulangan f_y 400. Dimensi struktur dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi Struktur

Data-data tersebut akan menjadi acuan dalam melakukan evaluasi tiang yang mengalami kemiringan dan justifikasi kekuatan tiang. Adapun tahapan yang dilakukan yaitu :

- Menghitung pembebanan jembatan (beban pemanen, beban hidup dan aksi lingkungan)
Beban jembatan mengacu pada SNI 1725 tahun 2016 tentang pembebanan untuk jembatan, RSNI T-02-2005 tentang pembebanan untuk jembatan, dan SNI 2833 tahun 2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa.
- Mencari konstanta pegas
- Menghitung daya dukung tiang dengan metode meyerhof dan metode briaud.

Metode Meyerhof (1856)

$$Q_u = 40 N_b \times A_p + 0,2 N_s \times A_s \quad (1)$$

Dimana :

Q_u = daya dukung unlimited pondasi tiang pancang
 N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang
 N_s = harga N-SPT pada selimut tiang
 A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)
 A_s = luas selimut tiang (m^2)

Metode Briaud et al (1985)

- Daya dukung ujung tiang

$$q_t = 19,7 P_a (N_{60})^{0,36} \quad (2)$$

Dimana :

q_t = Unit tahanan ujung
 P_a = Tekanan atmosfer (100 KN/m²)
 N_{60} = Nilai SPT rata-rata pada 4D di bawah dan 10D di atas ujung tiang

- Tahanan geser selimut tiang

$$f_s = 0,224 P_a (\bar{N}_1)^{0,29} \quad (3)$$

Dimana :

f_s = Unit tahanan selimut (KN/m²)
 P_a = Tekanan atmosfer (100 KN/m²)
 \bar{N}_1 = Harga N-SPT rata-rata tahanan selimut

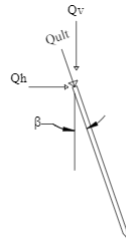
Daya Dukung Tiang Miring

Pada pondasi tiang miring, Q_{ult} terproyeksi ke arah vertikal dan horizontal [6] seperti yang terlihat pada Gambar 5. Sehingga daya dukung

vertikal tiang (Q_v) dan daya dukung horisontal tiang (Q_h) yaitu :

$$Q_v = Q_{ult} \times \cos(\beta) \quad (4)$$

$$Q_h = Q_{ult} \times \sin(\beta) \quad (5)$$



Gambar 5. Proyeksi Q_u terhadap arah vertikal dan horisontal

- d) Membuat permodelan jembatan pada SAP2000
- e) Melakukan analisis kapasitas tiang pancang yang mengalami kemiringan dengan memasukkan spesifikasi material, hasil perhitungan pembebanan dan konstanta pegas pada software SAP2000
- f) Mengevaluasi kapasitas tiang baik dimensi, tulangan dan daya dukung pondasi.
- g) Cek lendutan pada koneksi P1-P2
- h) Menyimpulkan apakah kapasitas tiang memadai atau tidak

Apabila hasil evaluasi menyatakan kapasitas tiang memadai, maka langsung dibuat kesimpulan penelitian. Namun apabila hasil evaluasi menyatakan kapasitas tiang tidak memadai, maka diperlukan justifikasi perkuatan yang tepat sesuai kondisi lingkungan dan kemudahan pelaksanaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan SNI 1725 tahun 2016, beban yang diperhitungkan yaitu beban permanen (beban mati sendiri dan beban mati tambahan), beban lalu lintas (hidup) serta aksi lingkungan [7]. Adapun beban aksi lingkungan yang dimaksud yaitu beban gempa berdasarkan SNI 2833 tahun 2016 [8] dan beban angin.

Maka berdasarkan peraturan tersebut didapatkan beban mati untuk struktur P1 dan P2 yang ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 1. Pembebanan pada perletakan P2

Uraian	Tepi	Tengah
Beban Mati Sendiri (Girder, Parapet, Barrier, Pelat Lantai, Lantai Kerja, Diafragma)	67,197 t	76,029 t
Beban Mati Tambahan (Aspal)	7,576 t	6,105 t
Beban Hidup (BGT, BTR)	67,63 t	54,50 t

Tabel 2. Pembebanan pada koneksi P1-P2

Uraian	Tepi	Tengah
Beban Mati Sendiri (Parapet, Barrier)	0,912 ton/m	1,313 ton/m
Beban Mati Tambahan (Aspal)	0,227 ton/m	0,233 ton/m
Beban Hidup (BTR)	1,85 ton/m	1,91 ton/m
Beban Hidup (BGT)	14,13 t	14,54 t

Tabel 3. Pembebanan pada perletakan P1

Uraian	Tepi	Tengah
Beban Mati Sendiri (Parapet, Barrier)	1,696 t	4,503 t
Beban Mati Tambahan (Aspal)	0,494 t	0,530 t
Beban Hidup (BTR)	4,19 t	4,52 t
Beban Hidup (BGT)	17,15 t	16,46 t

Adapun beban angin berdasarkan SNI 1725:2016 hanya dihitung apabila elevasi jembatan ≥ 10 meter, namun pada RSNI T-02-2005 beban angin dihitung tanpa memerdulikan elevasi jembatan [9]. Maka pada penelitian ini dengan elevasi jembatan < 10 meter, beban angin dihitung menggunakan Rancangan SNI T-02-2005. Adapun beban angin dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Beban angin

Uraian	Beban Angin Struktur	Beban Angin Kendaraan
Perletakan P2	6,40 t	12,79 t
Koneksi P1-P2	0,14 t/m	0,27 t/m
Perletakan P1	0,22 t	0,45 t

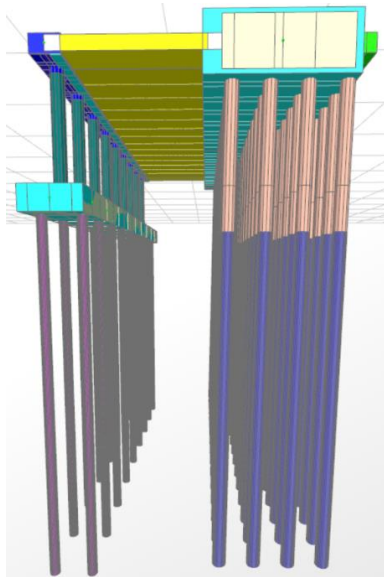
Dalam perhitungan beban gempa, digunakan SNI 2833:2016, dimana parameter dalam perhitungan yaitu berat struktur, faktor modifikasi respon dan koefisien respon elastik. Berat struktur yang dihitung yaitu berat struktur atas ditambah setengah berat pilar, serta beban hidup yang dikondisikan. Sesuai SNI 1725:2016, faktor beban hidup ditentukan berdasarkan kondisi spesifik jembatan yaitu 0,5 untuk jembatan sangat penting (jembatan jalan tol). Maka didapatkan berat stuktur sebesar 6000,187 ton. Adapun nilai koefisien respon elastik didapatkan berdasarkan lokasi penelitian yang diplotkan pada peta gempa serta waktu getar struktur. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh beban gempa sebesar 1739,18 ton. Beban gempa tersebut bekerja pada pusat massa pilar P2 dengan kombinasi arah memanjang 100% beban gempa dan arah melintang 30% beban gempa, sesuai SNI 2833 tahun 2016. Maka gaya gempa yang bekerja yaitu 1739,18 ton arah memanjang dan 521,75 ton arah melintang.

Adapun didalam permodelan tiang pondasi, diperlukan konstanta pegas sebagai tahanan lateral tiang dan

tahanan ujung tiang apabila ujung tiang tidak mencapai tanah keras. Besaran konstanta pegas tanah arah vertikal dapat dihitung dengan rumus $K_{sv} = 120 \cdot q_a$ dan konstanta pegas arah horizontal dengan rumus $K_{sh} = 2 \cdot K_{sv}$ [10]. Menurut Meyerhof, hubungan antara nilai N-SPT dengan daya dukung tanah yang diizinkan (q_a) adalah $q_a = N/8$ (kg/cm²).

Setelah perhitungan pembebanan dan konstanta pegas, dilanjutkan dengan proses analisis struktur menggunakan software SAP2000. Dengan membuat permodelan struktur seperti Gambar 6 kemudian input material, beban, dan nilai spring.

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur tidak mengalami overstress, kemudian dilanjutkan dengan cek kapasitas daya dukung tiang dengan cara membandingkan antara gaya axial hasil analisis pada SAP2000 dengan axial tiang menggunakan rumus Meyerhof, Briaud, dan axial yang diizinkan pada katalog tiang pancang yang dipakai, serta cek kapasitas tulangan dengan cara membandingkan luas tulangan perlu pada hasil analisis SAP2000 dengan yang sudah terpasang di lapangan. Selanjutnya diperlukan cek lendutan pada koneksi P1-P2 apakah sudah memenuhi lendutan izinnnya. Hasil analisis kapasitas daya dukung tiang dapat dilihat pada Tabel 5 dan analisis kapasitas tulangan dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 6. Permodelan struktur pada SAP 2000

Tabel 5. Cek Kapasitas Daya Dukung Tiang

Diameter	D600	D800
Meyerhof	3383,748 ton	10499,712 ton
Briaud	3402,873 ton	9949,056 ton
Katalog Spun Pile	3828,8 ton	24339,2 ton
Axial yang dibutuhkan	2083,62 ton	7966,9 ton
Keterangan	Memadai	Memadai

Tabel 6. Cek Kapasitas Tulangan

Elemen	As aktual terpasang (cm ²)	As perlu SAP (cm ²)	Keterangan
Tiang Pancang P2	28,8	33,897	Tidak memadai
Kolom P2	87,6	94,994	Tidak memadai
Pier head P2 melintang (top)	298,9	52,654	Memadai
Pier head P2 melintang (bottom)	298,9	53,555	Memadai
Pier head P2 memanjang (top)	136,68	53,337	Memadai
Pier head P2 memanjang (bottom)	136,68	114,628	Memadai
Tumpuan Girder P2 (top)	144,72	59,874	Memadai
Tumpuan Girder P2 (bottom)	144,72	29,729	Memadai
Tiang Pancang P1	15,7	15,607	Memadai
Kolom P1	166,6	130,957	Memadai
Pile cap P1 melintang (top)	117,6	28,001	Memadai
Pile cap P1 melintang (bottom)	117,6	21,266	Memadai
Pile cap P1 memanjang (top)	122,5	7,979	Memadai
Pile cap P1 memanjang (bottom)	122,5	32,003	Memadai
Pier head P1 melintang (top)	68,6	34,041	Memadai
Pier head P1 melintang (bottom)	68,6	16,906	Memadai
Pier head P1 memanjang (top)	21,12	7,862	Memadai
Pier head P1 memanjang (bottom)	21,12	3,909	Memadai
Koneksi P1-P2 (bottom)	72,36	54,813	Memadai
Koneksi P1-P2 (top)	72,36	98,686	Tidak memadai

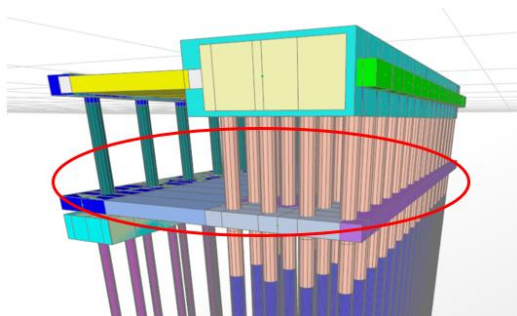
Maka didapatkan bahwa kapasitas tulangan tiang pancang P2, kolom P2 dan koneksi P1-P2 arah memanjang (top) tidak memadai.

Adapun lendutan yang terjadi pada koneksi P1-P2 berdasarkan hasil analisis SAP2000 yaitu sebesar 0,9 mm, yang mana nilai tersebut lebih kecil dibandingkan lendutan izin koneksi sebesar $L/800$ yaitu 9,57 mm.

Dengan adanya kapasitas tulangan pada beberapa elemen yang tidak memadai maka diperlukan perkuatan yang bertujuan agar kebutuhan tulangan pada elemen

tersebut dapat dipenuhi dengan yang sudah terpasang di lapangan.

Setelah dilakukan uji coba dengan memberikan pile cap hanya pada struktur P2, kebutuhan tulangan memanjang koneksi P1-P2 tidak berkurang banyak, dan hanya memperkuat kolom P2 dan tiang pancang P2 saja. Sama halnya dengan menambahkan bracing berupa sling baja pada kolom P2. Adapun perkuatan dengan cara menambahkan tiang juga tidak dapat dilakukan, karena kondisi pilar berada di pinggir sungai. Maka dari itu dipilih perkuatan dengan metode bracing dengan pelat beton yang menghubungkan P2-P1 dengan dimensi bracing yaitu $18,78 \text{ m} \times 33,92 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ serta mutu beton yang digunakan yaitu $f_c' 30 \text{ Mpa}$, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Permodelan perkuatan

Setelah dilakukan perkuatan berupa bracing beton, diperlukan kembali cek kapasitas dimensi, kebutuhan tulangan pada seluruh elemen, kapasitas daya dukung, serta lendutan koneksi P1-P2.

Hasil analisis didapatkan bahwa kapasitas dimensi setelah perkuatan tidak ada yang mengalami overstress, adapun kapasitas tulangan dapat dilihat pada Tabel 7 dan kapasitas daya dukung dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Cek Kapasitas Tulangan Setelah Perkuatan

Uraian	A (cm ²)	B (cm ²)	Keterangan
Tiang Pancang P2	28,8	25,471	Memadai
Kolom P2	87,6	50,265	Memadai
Pier head P2 melintang (top)	298,9	54,522	Memadai
Pier head P2 melintang (bottom)	298,9	55,685	Memadai
Pier head P2 memanjang (top)	136,68	50,309	Memadai
Pier head P2 memanjang (bottom)	136,68	120,452	Memadai
Tumpuan Girder P2 (top)	144,72	59,874	Memadai

Uraian	A (cm ²)	B (cm ²)	Keterangan
Tumpuan Girder P2 (bottom)	144,72	29,729	Memadai
Tiang Pancang P1	15,7	15,607	Memadai
Kolom P1	166,6	92,248	Memadai
Pile cap P1 melintang (top)	117,6	16,036	Memadai
Pile cap P1 melintang (bottom)	117,6	8,011	Memadai
Pile cap P1 memanjang (top)	122,5	11,466	Memadai
Pile cap P1 memanjang (bottom)	122,5	47,284	Memadai
Pier head P1 melintang (top)	68,6	22,528	Memadai
Pier head P1 melintang (bottom)	68,6	14,892	Memadai
Pier head P1 memanjang (top)	21,12	7,862	Memadai
Pier head P1 memanjang (bottom)	21,12	3,909	Memadai
Koneksi P1-P2 (bottom)	72,36	71,817	Memadai
Koneksi P1-P2 (top)	72,36	71,817	Memadai

A : Luasan tulangan (As) yang terpasang
B : Luasan tulangan perlu (As) pada SAP 2000

Tabel 8. Cek Kapasitas Daya Dukung Tiang Setelah Perkuatan

Diameter	D600	D800
Meyerhof	3383,748 ton	10499,712 ton
Briaud	3402,873 ton	9949,056 ton
Katalog Spun Pile	3828,8 ton	24339,2 ton
Axial yang dibutuhkan	2934,08 ton	8737,434 ton
Keterangan	Memadai	Memadai

Adapun lendutan yang terjadi pada koneksi P1-P2 berdasarkan hasil analisis SAP2000 yaitu sebesar 0,4 mm, yang mana nilai tersebut lebih kecil dibandingkan lendutan izin koneksi sebesar $L/800$ yaitu 9,57 mm.

Secara umum hasil pada penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yudi Pranoto & Riza Setiabudi bahwa dengan adanya kerusakan struktur maka terdapat pengurangan kapasitas struktur. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Repadi et al. yang menyatakan bahwa

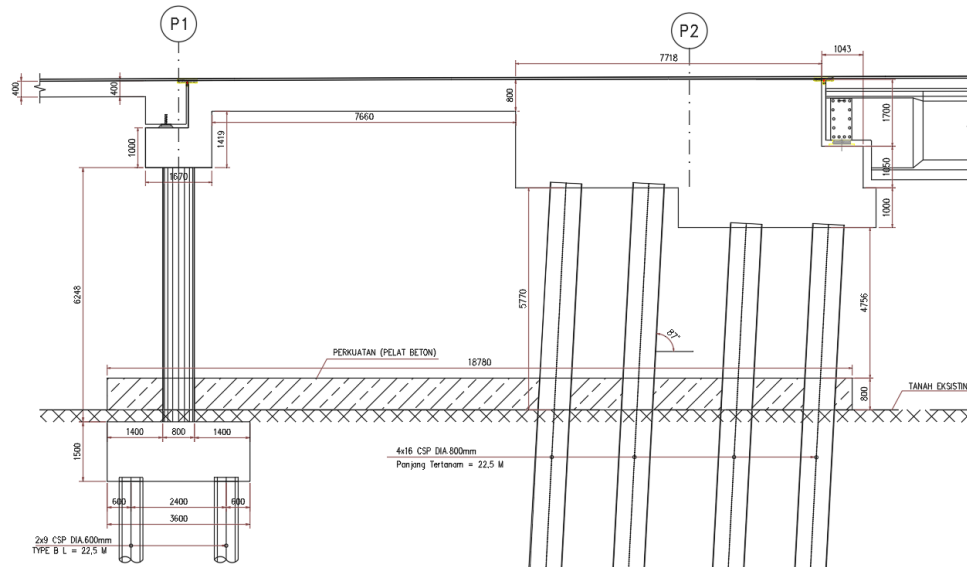
perkuatan dengan bracing mampu meningkatkan kekakuan, kekuatan serta stabilitas struktur [11]. Pada penelitian ini didapatkan setelah ditambahkan bracing berupa pelat yang menghubungkan antara P1-P2 maka kebutuhan tulangan pada koneksi P1-P2, tiang pancang P2 dan kolom P2 seluruhnya terpenuhi dengan yang sudah terpasang di lapangan, maka dapat dikatakan bahwa dengan penambahan bracing, kapasitas tulangan yang awalnya tidak memadai menjadi memadai (meningkatkan kekuatan struktur).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa didapatkan bahwa kapasitas tiang setelah mengalami kemiringan menjadi tidak memadai. Ditandai dengan kurangnya tulangan pada tiang pancang P2 sebanyak 6 - D10,7 mm dan kolom P2

sebanyak 9 - D10,7 mm. Akibat dari kapasitas tiang pancang yang tidak memadai, menyebabkan pelat koneksi P1 - P2 kekurangan tulangan arah memanjang (top), adapun tulangan yang terpasang di lapangan adalah D32-250 namun yang dibutuhkan yaitu D32-160.

Adapun perkuatan yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tulangan tersebut yaitu dengan cara membuat bracing berupa pelat beton yang menghubungkan antara Pilar 1 dan Pilar 2, dengan dimensi bracing yaitu 18,78 m × 33,92 m × 0,8 m serta kebutuhan tulangan arah melintang dan memanjang D32-250. Gambar perkuatan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perkuatan Bracing Pelat Beton pada P1-P2

Daftar Rujukan

- [1] H. Masiku. 2019. Perencanaan Sub Struktur Jembatan Sungai Orongan Kabupaten Toraja Utara. *Dynamic SainT*, 4(1), pp. 756–763.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2011. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan No.024/BM/2011 Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan*. Jakarta : Kementrian PUPR.
- [3] Yudi Pranoto dan Riza Setiabudi. 2019. Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan Gedung (Studi Kasus : Bangunan Gedung SMPN 19 Samarinda, Kalimantan Timur). *Jurnal Rekayasa*, 8(2), pp. 101–122.
- [4] Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. *Modul 5 - Perkuatan Jembatan*. Bandung.
- [5] Mulyadi. 2018. Pengaruh Penggunaan Carbon Fibre Sheet Terhadap Kekakuan Pada Balok Beton Bertulang. *Genta Mulia*, 9(1), pp. 89–98.
- [6] R. Suryadi dan S. A. Nugroho. 2015. Pengaruh Kemiringan Pondasi Tiang Terhadap Daya Dukung Tiang Tunggal Akibat Beban Vertikal. *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)*, pp. 263–271.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan*.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*.
- [9] Badan Standarisasi Nasional. 2005. *RSNI T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan*.
- [10] J. E. Bowles. 1989. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- [11] J. A. Repadi, J. Sunaryati, dan R. Thamrin. 2016. Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Variasi Penempatan Bracing Inverted V. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 12(2), pp. 32–39.



Analisis Faktor Keterlambatan Pada Pembangunan Proyek X

Fahira Khairani¹, Iwan Supriyadi²

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹fahira.khairani.ts17@mhs.pnj.ac.id*, ²iwan.supriyadi@pnj.ac.id

Abstract

In a construction project generally has its own work schedule and activities. Project planning refers to the estimates that have been generated at the time of planning. If there is a discrepancy between the planned plan and its implementation, it can cause delays in project development. Based on the s curve, in May the progress should have reached 83.8%, but the realization in the field has only reached 59.2%. As a result, late indications might be detected in the project. It's necessary to look at the dominant reasons of project delays based on the percentage data. The purpose of this study is to reveal or find the dominant factors that affect delays and solutions for delays in the construction of Project X. Data was collected by distributing questionnaires to individuals who were directly involved with project development such as contractors, supervisory consultants, and owners. Multiple linear regression analysis was used to analyze the data using SPSS V25 software. The financial factor with parameter X_{28} , namely late payment by the owner obtaining a β value of 0.386 has proven to be the most significant factor in the delay in the construction of Project X and the effort to overcome this delay is to provide a letter to the owner to make a cash-in plan to pay off the outstanding payment in progress.

Keywords: Construction project, Dominant factor, Multiple linear regression, SPSS, Statistical test

Abstrak

Dalam suatu proyek konstruksi biasanya memiliki jadwal dan kegiatan kerja tersendiri. Perencanaan proyek mengacu pada perkiraan yang telah dihasilkan pada saat pembuatan rencana. Jika terdapat perbedaan antara rencana yang telah direncanakan dengan pelaksanaannya, maka dapat menimbulkan keterlambatan pembangunan proyek. Berdasarkan kurva s, pada bulan Mei progres seharusnya sudah mencapai 83,8%, tetapi realisasi di lapangan baru mencapai 59,2%, maka dapat dilihat bahwa proyek memiliki indikator terlambat. Sehingga berdasarkan data persentase tersebut, perlu dilakukan kajian mengenai faktor dominan penyebab keterlambatan proyek. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengungkapkan atau menemukan faktor dominan yang mempengaruhi keterlambatan serta solusi atas keterlambatan pada pembangunan Proyek X. Pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuesioner kepada individu yang terlibat langsung dengan pembangunan proyek seperti kontraktor, konsultan pengawas, dan pemilik. Analisis regresi linier berganda digunakan untuk menganalisis data dengan memakai software SPSS V25. Faktor keuangan dengan parameter X_{28} , yaitu keterlambatan pembayaran oleh pemilik memperoleh nilai β sebesar 0,386 terbukti menjadi faktor paling signifikan terhadap keterlambatan pembangunan Proyek X serta upaya untuk mengatasi keterlambatan tersebut ialah dengan memberikan surat kepada owner agar dibuatkan rencana cash in pelunasan outstanding pembayaran termin progres.

Kata kunci: Faktor dominan, Proyek konstruksi, Regresi linear berganda, SPSS, Uji statistik

Diterima Redaksi : 09-09-2021 | Selesai Revisi : 05-10-2021 | Diterbitkan Online : 01-12-2021

1. Pendahuluan

Dalam suatu proyek konstruksi biasanya memiliki jadwal dan kegiatan kerja tersendiri yang menentukan kapan proyek harus dilaksanakan, kapan harus diselesaikan, bagaimana akan dilaksanakan, dan bagaimana sumber daya akan diberikan. Perencanaan proyek mengacu pada perkiraan yang telah dihasilkan pada saat pembuatan rencana. Jika terdapat perbedaan antara rencana yang telah direncanakan dan pelaksanaannya, maka akan menimbulkan masalah. Oleh karena itu, konsekuensi yang umum terjadi ialah keterlambatan dalam pelaksanaan proyek. [1]

Keterlambatan proyek diartikan sebagai waktu pengerjaan yang kurang digunakan sesuai dengan yang direncanakan, akibatnya satu atau lebih pekerjaan tidak selesai sesuai rencana. [2] Keterlambatan proyek dapat menimbulkan kerugian baik kepada kontraktor maupun pemilik. Bagi kontraktor, keterlambatan proyek akan menimbulkan kerugian waktu serta biaya, karena keuntungan yang telah diperhitungkan berkurang atau bahkan tidak diperoleh sama sekali. Bagi pengguna jasa, keterlambatan proyek akan menimbulkan hilangnya waktu pengerjaan hasil proyek, yang akan mengakibatkan keterlambatan penggunaan hasil pengembangan proyek. [3]

Menurut [4], Keuntungan yang diterima dan waktu penyelesaian adalah dua faktor yang dapat dipakai sebagai dasar penilaian keberhasilan sebuah proyek. Semakin cepat proyek konstruksi selesai semakin cepat bangunan tersebut dapat digunakan oleh calon pembeli atau pemilik, dan semakin cepat pula mendapatkan keuntungan. Berbeda halnya bila terdapat keterlambatan, hal tersebut dapat menjadi hambatan dalam pembangunan proyek dan disebabkan oleh berbagai aspek.

Menurut [5], melakukan penelitian sebelumnya dan diperoleh hasil bahwa aspek penyebab keterlambatan yang paling utama ialah ketenagakerjaan, dan nilai koefisien regresinya sebesar 0,807.

Menurut [6], melakukan penelitian sebelumnya dan diperoleh hasil faktor signifikan mempengaruhi keterlambatan ialah faktor lingkungan kerja, faktor keuangan dan faktor paling signifikan yaitu faktor tenaga kerja. Strategi yang dapat dilakukan ialah dengan memperkuat pengetahuan serta kemampuan para pekerja dengan mengedukasi serta memberikan pelatihan.

Berdasarkan kurva S, pada akhir Bulan Mei progres seharusnya sudah mencapai 83,8%, tetapi pada realisasi di lapangan progres baru mencapai 59,2%. Hingga bulan Mei 2021, Proyek X telah mengalami deviasi sebesar 24,6%, sedangkan Proyek X ditargetkan progres mencapai 100% pada bulan September 2021. Sehingga berdasarkan data persentase tersebut, maka perlu dilakukan kajian mengenai faktor dominan penyebab

dari keterlambatan serta solusi dari penyebab keterlambatan pada proyek X.

Jenis Keterlambatan Proyek

Menurut Kraeim dan Dickman menyatakan bahwa keterlambatan dapat diklasifikasikan menjadi 3 bentuk antara lain,

1. Keterlambatan yang dapat dikompensasikan (*Compensable Delay*) terjadi sebagai akibat dari perbuatan, kesalahan, atau kelalaian pemilik.
2. Keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan (*Non-Excuseable Delay*) terjadi sebagai akibat dari perilaku dan kecerobohan kontraktor.
3. Keterlambatan yang dapat dimaafkan (*Excuseable Delay*) terjadi sebagai akibat dari faktor-faktor di luar prediksi pemilik ataupun kontraktor. [7]

2. Metode Penelitian

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek x. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuesioner yang terbagi menjadi 2 (dua) tahap, yaitu tahap 1 merupakan tahap memvalidasi kuesioner oleh min. 3 orang pakar yang terdiri atas 2 pakar akademisi dan 1 pakar praktisi. [8] Tahap 2 merupakan tahap penyebaran kuesioner yang telah divalidasi oleh ahli pakar kepada responden proyek. Kuesioner disebarkan kepada 33 responden yang terdiri dari kontraktor, konsultan pengawas, serta *owner* yang memiliki pengalaman bekerja pada Proyek X minimal selama 1 tahun atau responden mengerti mengenai permasalahan pada proyek x.

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan Teknik wawancara dan penyebaran kuesioner kepada responden proyek yang telah ditentukan. Kuesioner ini berisikan mengenai faktor – faktor keterlambatan serta persepsi mengenai keterlambatan proyek x.

2.3. Variable Penelitian

Berikut merupakan variable dari penelitian ini antara lain,

- A. Variable bebas penelitian ini yaitu, faktor-faktor keterlambatan proyek, berikut penjabaran dari faktor-faktor keterlambatan proyek.
 1. Tenaga Kerja
 - a. Rendahnya produktivitas tenaga kerja [9]
 - b. Rendahnya kedisiplinan tenaga kerja [10]
 - c. Jumlah tim kerja yang tidak sesuai [10]
 - d. Rendahnya pengalaman kerja [12]
 2. Bahan
 - a. Keterlambatan pengiriman bahan [1]
 - b. Kekurangan material [12]
 - c. Rendahnya kualitas bahan material [9]
 - d. Spesifikasi material kurang jelas/lengkap [9]

3. Perencanaan dan Penjadwalan
 - a. Kesalahan *design* yang dibuat oleh perencana [11]
 - b. Kurangnya perencanaan untuk akses dan rute material [13]
 - c. Tidak lengkapnya identifikasi jenis pekerjaan [11]
 - d. Jadwal tidak realistis [9]
4. Sistem inspeksi, Control, dan Evaluasi
 - a. Persetujuan izin [11]
 - b. Cara inspeksi oleh pemilik [1]
 - c. Kegagalan kontraktor dalam melaksanakan pekerjaan [11]
5. Peralatan
 - a. Keterlambatan pengiriman peralatan [9]
 - b. Rendahnya produktivitas alat [9]
 - c. Kurangnya kemampuan operator dalam menggunakan alat [12]
6. Karakteristik Tempat
 - a. Akses ke lokasi proyek [11]
 - b. Tempat penyimpanan bahan/material [10]
 - c. Terbatasnya lahan untuk bekerja dan material [10]
7. Faktor Manajerial
 - a. Pengawasan proyek [10]
 - b. Kualitas pengontrolan pekerjaan [10]
 - c. Jadwal pekerjaan yang harus dikerjakan [10]
 - d. Komunikasi yang kurang baik antar divisi [10]
8. Faktor Keuangan
 - a. Keterlambatan pembayaran oleh pemilik [13]
 - b. Terbatasnya soal pendanaan [13]
 - c. Harga material yang terus meningkat [13]
9. Faktor Situasi
 - a. Intensitas hujan yang tinggi [1]
 - b. Terjadinya kecelakaan kerja [11]
 - c. Pemberlakuan *lockdown*
 - d. Peraturan *physical distancing*
 - e. Adanya tenaga kerja yang terkena covid-19
 - f. Adanya staf yang terkena covid-19. [14] [15]

B. Variable terikat penelitian ini yaitu, keterlambatan pada proyek.

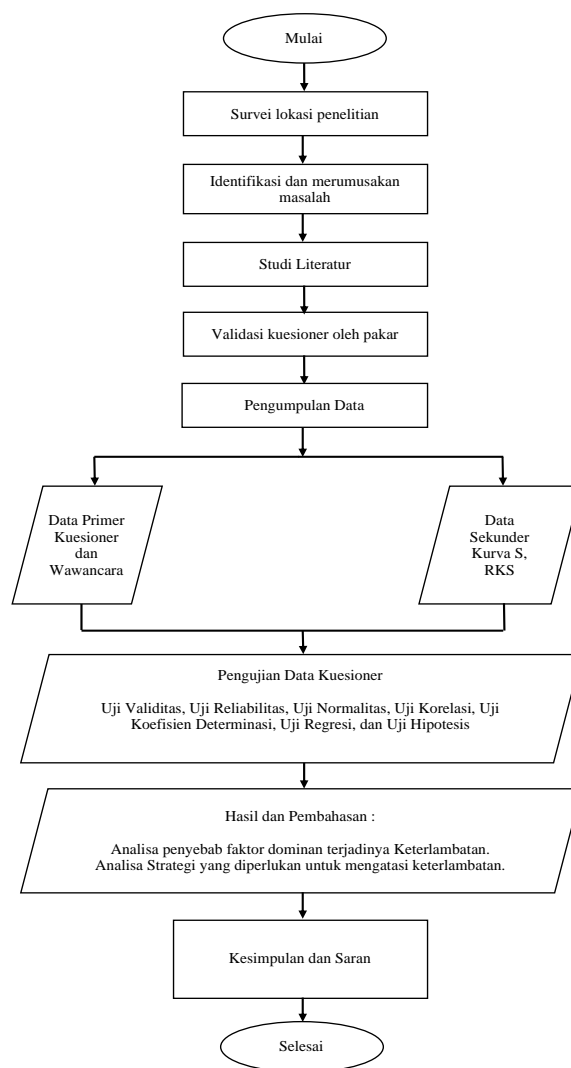
2.4. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, diawali dengan melakukan survei lokasi, lalu dapat dilanjutkan dengan mengidentifikasi serta merumuskan masalah dan menentukan tujuan serta batasan masalah pada penelitian. Berikutnya penulis melakukan studi pustaka untuk meninjau

Kembali sumber-sumber pustaka yang berkaitan dengan masalah keterlambatan proyek.

Kemudian perlu dilakukan pengumpulan data dengan menyusun variable-variable bebas yang nantinya akan berbentuk sebuah kuesioner. Setelah data terkumpul, maka dapat dilakukan analisis menggunakan software SPSS yang hasilnya akan dibahas untuk ditarik kesimpulan mengenai faktor dominan penyebab keterlambatan dan dilanjutkan dengan pemberian solusi terhadap penyebab keterlambatan proyek x.

Untuk lebih detailnya, proses penelitian dijelaskan pada diagram alir (Gambar 1),



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil rekapitulasi data yang didapat pada kuesioner tahap 2, maka selanjutnya dapat dilakukan analisis untuk menjawab permasalahan pada penelitian ini, yaitu

3.1. Uji Validitas

Validitas berasal dari kata *validity* berarti mengacu pada suatu alat yang dipakai untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. [8] Rumus yang dipakai dalam pengujian ini ialah *Product Moment* dari Pearson.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas

Correlations	Pearson Correlation
X1	0.709
X2	0.858
X3	0.869
X4	0.702
X5	0.813
X6	0.861
X7	0.844
X8	0.710
X9	0.905
X10	0.872
X11	0.801
X12	0.738
X13	0.814
X14	0.750
X15	0.679
X16	0.951
X17	0.917
X18	0.900
X19	0.800
X20	0.892
X21	0.831
X22	0.762
X23	0.888
X24	0.828
X25	0.728
X26	0.890
X27	0.839
X28	0.858
X29	0.562
X30	0.601
X31	0.577
X32	0.727
X33	0.621
X34	0.880
X35	0.828

Berdasarkan table diatas, hasil pengujian validasi terhadap 33 orang, diketahui bahwa nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$ ($r = 0,344$), maka dapat diartikan bahwa seluruh indikator dalam kuesioner dikatakan valid.

3.2. Uji Reliabilitas

Menurut [20] “pengujian reliabilitas dapat dilaksanakan apabila butir-butir pernyataan telah valid. Pengujian ini dirancang untuk menilai suatu pernyataan dari indikator suatu variable [16]. Pada uji reliabilitas penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis *Cornbach Alpha*.

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas
Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
0.941	35

Berdasarkan table diatas, dapat dilihat bahwa nilai *cronbach's alpha* dengan 35 indikator ialah 0,941. Maka pengujian memiliki derajat reliabilitas yang sangat tinggi.

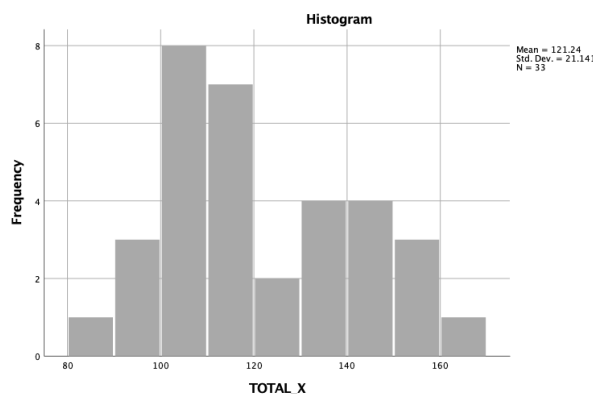
3.3. Uji Normalitas

Pengujian ini dilakukan guna mengevaluasi nilai residual dalam model regresi apakah terdistribusi normal.[17] Pada pengujian ini digunakan uji Shapiro Wilk. Asumsi normalitas terpenuhi apabila nilai *asympt sig.* $> \alpha$ (0,05).[18]

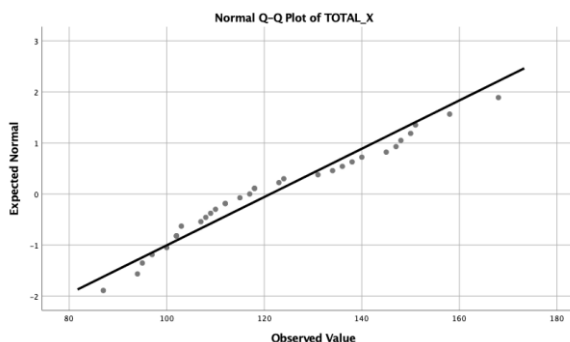
Tabel 3. Hasil Uji Normalitas

Tests of Normality			
Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.
TOTAL_X	0.952	33	0.150

Berdasarkan tabel di atas, didapatkan nilai *asympt sig.* sebesar 0,150 $> 0,05$. Sehingga data pada penelitian ini terdistribusi secara normal.



Gambar 2. Diagram Histogram Uji Normalitas



Gambar 3. Normal Q - Q Plot Uji Normalitas

3.4 Uji Korelasi

Pengujian ini dilakukan guna mengidentifikasi hubungan antara variable x dan y. [19] Rumus yang

dipakai dalam pengujian ini ialah korelasi *Spearman's rho*.

Tabel 4. Hasil Uji Korelasi

Correlations		Y
TOTAL X1	Correlation Coefficient	0.650
	Sig. (2-tailed)	0.000
	N	33
TOTAL X2	Correlation Coefficient	0.578
	Sig. (2-tailed)	0.000
	N	33
TOTAL X3	Correlation Coefficient	0.459
	Sig. (2-tailed)	0.007
	N	33
TOTAL X4	Correlation Coefficient	0.356
	Sig. (2-tailed)	0.042
	N	33
TOTAL X5	Correlation Coefficient	0.451
	Sig. (2-tailed)	0.009
	N	33
TOTAL X6	Correlation Coefficient	0.464
	Sig. (2-tailed)	0.007
	N	33
TOTAL X7	Correlation Coefficient	0.569
	Sig. (2-tailed)	0.001
	N	33
TOTAL X8	Correlation Coefficient	0.521
	Sig. (2-tailed)	0.002
	N	33
TOTAL X9	Correlation Coefficient	0.348
	Sig. (2-tailed)	0.047
	N	33
Y	Correlation Coefficient	1.000
	Sig. (2-tailed)	.
	N	33

Spearman's rho

Berdasarkan tabel di atas, diketahui seluruh $r_{hitung} > r_{tabel} = 0,344$, maka dapat dilihat bahwa terdapat hubungan antara variable x dan y.

Pengujian ini dilakukan guna memeriksa apakah terdapat pengaruh variable x terhadap variabel y. Pengujian ini dilakukan sebagai acuan dalam regresi r^2 untuk melihat seberapa dekat garis regresi dengan nilai data asli yang dihitung oleh model.[20] Semakin besar variable x mempengaruhi variable y, semakin besar pula hasil r^2 .

Tabel 5. Hasil Uji Koefisien Determinasi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.825 ^a	0.680	0.555	0.410

Berdasarkan table di atas, didapatkan nilai *adjusted R*² ialah 0,555. Sehingga dapat diartikan bahwa variable – variable X mempengaruhi variable Y sebanyak 55,5%.

3.6 Uji Regresi Linear Berganda

Menurut [21], “Pengujian ini dilakukan guna mengetahui apakah variable X dan Y mempunyai hubungan yang positif”.

Tabel 6. Hasil Uji Koefisien Determinasi

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.413	.453		.910	.372
TOTAL_X_1	.101	.037	.533	2.725	.012
TOTAL_X_2	.043	.030	.252	1.433	.165
TOTAL_X_3	.016	.034	.073	.458	.652
TOTAL_X_4	.021	.046	.079	.463	.647
TOTAL_X_5	.084	.035	.462	2.395	.025
TOTAL_X_6	-.043	.048	-.158	-.889	.383
TOTAL_X_7	-.070	.045	-.361	-1.550	.135
TOTAL_X_8	.133	.040	.593	3.365	.003
TOTAL_X_9	-.046	.021	-.398	-2.229	.036

Berdasarkan table diatas, berikut persamaan regresi yang didapatkan:

$$Y = 0,413 + 0,101X1 + 0,043X2 + 0,016X3 + 0,021X4 + 0,084X5 - 0,043X6 - 0,070X7 + 0,113X8 - 0,046X9$$

Berdasarkan persamaan regresi diatas, nilai konstanta (a) dapat diperoleh sebesar 0,413 yang artinya jika semua nilai variable x adalah 0 (nol), maka tingkat keterlambatan proyek ialah 0,413. Kemudian untuk variable dengan nilai positif (+), artinya berpengaruh besar terhadap keterlambatan Proyek X. Variable tersebut antara lain ialah tenaga kerja, material,

perencanaan dan penjadwalan, peralatan, sistem inspeksi, control, dan evaluasi dan keuangan.

Sedangkan variable dengan nilai negatif (-), artinya tidak berpengaruh besar terhadap keterlambatan Proyek X. Variable tersebut antara lain ialah karakteristik tempat, manajerial, dan situasi.

3.7 Uji F

Pengujian ini dilakukan guna memeriksa apakah semua variable x memiliki pengaruh secara bersamaan terhadap variable y atau tidak melalui perbandingan antara nilai F_{hitung} dengan F_{tabel} . [17]

Tabel 7. Hasil Uji F

ANOVA ^a				
Model	Sum of Squares	df	F	Sig.
Regression	8.202	9	5.433	0.000 ^b
1 Residual	3.858	23		
Total	12.061	32		

Berdasarkan Tabel di atas, didapatkan nilai $F_{hitung} = 5,433 > F_{tabel} = 2,37$ dan nilai $Sig = 0,000 < 0,05$. Maka dapat dilihat bahwa H_0 ditolak, H_a diterima. Sehingga Variable x mempengaruhi variable y secara bersama – sama.

3.8 Uji T

Pengujian ini dilakukan guna melihat ada atau tidaknya suatu variable x berpengaruh secara parsial terhadap variable y. melalui perbandingan antara t_{hitung} dengan t_{tabel} . [17]

Tabel 8. Hasil Uji T

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.413	.453		.910	.372
TOTAL_X_1	.101	.037	.533	2.725	.012
TOTAL_X_2	.043	.030	.252	1.433	.165
TOTAL_X_3	.016	.034	.073	.458	.652
TOTAL_X_4	.021	.046	.079	.463	.647
1 TOTAL_X_5	.084	.035	.462	2.395	.025
TOTAL_X_6	-.043	.048	-.158	-.889	.383
TOTAL_X_7	-.070	.045	-.361	1.550	.135
TOTAL_X_8	.133	.040	.593	3.365	.003
TOTAL_X_9	-.046	.021	-.398	2.229	.036

Berdasarkan Tabel diatas, didapatkan nilai $T_{tabel} = 2,069$. Maka dapat dilihat bahwa faktor keterlambatan yang memenuhi syarat $T_{hitung} > T_{tabel} (2,069)$, yaitu faktor Tenaga kerja (2,725), faktor peralatan (2,395),

faktor keuangan (3,365), dan faktor situasi (2,229) merupakan faktor dominan penyebab keterlambatan proyek.

3.9 Uji Dominasi

Penentuan variable paling dominan atau paling berpengaruh diperoleh dari koefisien beta masing-masing variable yang dapat dilihat pada uji regresi linear berganda (table 6), dapat dilihat nilai koefisien beta tertinggi yaitu 0,593 ada pada variable Keuangan pada Indikator X₂₈. Sehingga dapat dinyatakan bahwa indikator X₂₈, yaitu “Keterlambatan pembayaran oleh pemilik” berpengaruh dominan terhadap keterlambatan proyek.

Dari uraian analisis diatas, dapat dibuat diagram peringkat faktor dominan keterlambatan Proyek X.



Gambar 4. Peringkat Faktor Dominan Keterlambatan Proyek X

Dilihat pada diagram diatas, diperoleh peringkat 1, 2, 3, dan 4 ialah faktor keuangan dengan $T_{hitung} (3,365)$, faktor tenaga kerja dengan $T_{hitung} (2,725)$, faktor peralatan dengan $T_{hitung} (2,395)$ dan faktor situasi dengan $T_{hitung} (3,365)$ dari variabel x yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel y, Kemudian dicari indikator dari variable x yang berpengaruh paling signifikan terhadap variable y. Berikut analisis indikator dari variabel x yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variable y menggunakan uji regresi dan dilihat berdasarkan hasil dari uji t :

Tabel 8. Peringkat Hasil Indikator yang Memiliki Faktor Dominan

Faktor	Parameter	Thitung	Peringkat
Keuangan	Keterlambatan pembayaran oleh pemilik	1,841	1
Tenaga Kerja	Jumlah tim kerja tidak sesuai	1,525	2
Peralatan	Rendahnya produktivitas alat	2,551	3
Situasi	Pemberlakuan Lockdown	2,055	4

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis didapatkan kesimpulan :

1. Faktor – faktor keterlambatan yang berpengaruh signifikan terhadap keterlambatan Proyek X ialah
 - a. Faktor Keuangan, yaitu keterlambatan pembayaran oleh pemilik.
 - b. Faktor Tenaga Kerja, yaitu jumlah tim kerja tidak sesuai.
 - c. Faktor Peralatan, yaitu rendahnya produktivitas alat.
 - d. Faktor Situasi, yaitu pemberlakuan *lockdown*.
2. Berdasarkan hasil uji dominasi, faktor paling dominan pada penelitian ini ialah faktor keuangan yang memiliki nilai β 0,593, dengan indikator “keterlambatan pembayaran oleh pemilik”.
3. Solusi dari keterlambatan tersebut ialah
 - a. Memberikan surat kepada *owner* agar dibuatkan rencana *cash in* pelunasan *outstanding* pembayaran termin progres.
 - b. mengajukan surat kepada *owner* mengenai masalah *outstanding* pembayaran yang telah jatuh tempo karena hal tersebut berdampak terhadap ketersediaan tenaga kerja di lapangan, sehingga nantinya dapat menyesuaikan kebutuhan *manpower* seperti yang telah direncanakan.
 - c. mengajukan surat kepada *owner* mengenai masalah *outstanding* pembayaran yang telah jatuh tempo karena hal tersebut berdampak terhadap kinerja alat di lapangan, sehingga nantinya dapat melakukan penambahan alat.
 - d. Melakukan evaluasi dan mengirimkan surat kepada *owner* agar dapat melakukan addendum kontrak karena adanya penambahan waktu serta biaya.

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan, maka saran yang dapat diberikan adalah:

1. Semua pihak yang terlibat dalam pembangunan proyek x, perlu memperhatikan dan menindaklanjuti faktor–faktor yang menyebabkan keterlambatan agar dapat meminimalisir atau menghilangkan faktor – faktor keterlambatan tersebut dan mencari solusi terbaik agar proses pelaksanaan konstruksi dapat terlaksana dengan baik kembali.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambah jumlah proyek yang diamati, sehingga dapat membandingkan faktor keterlambatan antara satu proyek dengan yang lainnya.

Daftar Rujukan

- [1] I. A. R. Widhiawati, 2009, *Analisis Faktor-Faktor Penyebab*

- Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi*, J. Teknol. Elektro, vol. 8, no. 2, hal. 109–114.
- [2] C. Triarman dan J. Sekarsari, 2018, *Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Waktu Pada Pekerjaan Struktur Atas Proyek Konstruksi*, J. Penelit. dan Karya Ilm. Lemb. Penelit. Univ. Trisakti, vol. 3, no. 2, hal. 1–9.
- [3] A. S. Ariyanto, K. A. P. Kamila, Supriyadi, M. B. Utomo, dan Wildana Latif Mahmudi, 2019, *Pengaruh Keterlambatan Material Terhadap Risiko Proyek Pembangunan Gedung Parkir*, Bangun Rekaprima, vol. 05, no. 2, hal. 51–58.
- [4] A. Randy Putra, Miftahul Huda, T. S Rini 2018, *Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Keterlambatan Proyek Konstruksi Di Surabaya*, axial, J. Rekayasa dan Manaj. Konstr., vol. Vol 6 No.1, hal. 25–32.
- [5] A. F. Romadhona dan A. T. Tenriajeng, 2020, *Analisis Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Kerja Pada Proyek Pembangunan Gedung Bertingkat Di Indonesia*, J. Proy. Tek. Sipil, vol. 3, no. 1, hal. 18–27.
- [6] D. Asmaroni, 2016, *Analisa Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Pemerintah di Kabupaten Pamekasan*, J. Rekayasa. Tek. Sipil. Univ. Madura, vol. 1, no. 1, hal. 19–23.
- [7] S. Intan, W. Sapulette, dan R. C. Soukotta, 2020, *Analisa Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek Konstruksi Di Kota Ambon : Klasifikasi Dan Peringkat Dari Penyebab-Penyebabnya*, J. Manumata, vol. 6, no. 1, hal. 19–23.
- [8] Sugiyono, 2017, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, 19 ed. Bandung : Alfabeta.
- [9] Proboyo, B. Budiman, 1999, *Keterlambatan Waktu Konstruksi : Klasifikasi dan Peringkat dari Penyebab-Penyebabnya*, Jurnal Teknik Sipil, 1(1), 49–58.
- [10] Andi, Susandi, & Wijaya, H, 2003, *on Representing Factors Influencing Time Performance of Shop-House Constructions in Surabaya*, *Civil Engineering Dimension*, 5(1), 7–13. Retrieved from <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/view/15563>.
- [11] Leuhery, L, 2014, *Analisis Faktor- Faktor Penyebab Terjadinya Keterlambatan Penyelesaian Pekerjaan Fisik Pada Proyek Pnpmp Mandiri Di Kota Ambon*, *Teknik Sipil Vol.*, III(1), 89–102.
- [12] Sambasivan, Soon, Y. W, 2007, *Causes and effects of delays in Malaysian construction industry*, 25(5), 517–526.
- [13] D. A. Langford, B. S. & S. M. R, 2010, *Organizational structures in the construction industry*.
- [14] Y. I. Puspitasari, J. B. Mangare, dan P. A. K. Pratas, 2020, *Analisis Faktor-Faktor Keterlambatan Pada Proyek Perumahan Casa De Viola dan Alternatif Penyelesaiannya*, J. Sipil Statik, vol. 8, no. 2, hal. 141–146.
- [15] B. P. Dwiputranto dan I. K. Sucita, 2020, *Analisis Keterlambatan Pada Proyek Apartemen Berkonsep Transit Oriented Development (TOD)*, *J. Poli-Teknologi*, vol. 19, no. 1, hal. 63–70.
- [16] S. Wiratna, 2015, *SPSS untuk Penelitian*, Pustaka Baru Press, Yogyakarta.
- [17] Bidang Kajian Kebijakan Dan Inovasi Administrasi Negara, 2019, *Processing Data Penelitian Menggunakan SPSS*, Pus. Kaji. Dan Pendidik. Dan Pelatih. Apar. IV Lemb. Adm. Negara Republik Indones., vol. 53, no. 9, hal. 1–22.
- [18] J. Arifin, 2017, *SPSS 24 untuk Penelitian dan Skripsi*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- [19] C. V. Bertan, A. K. T. Dundu, dan R. J. M. Mandagi, 2016, *Pengaruh Pendayagunaan Sumber Daya Manusia (Tenaga kerja) Terhadap Hasil Pekerjaan (Studi Kasus Perumahan Taman Mapanget Raya (Tamara)*, J. Sipil Statik, vol. 4, no. 1, hal. 13–20.
- [20] I. Ghozali, 2015, *Aplikasi Analisis dengan Multivariate dengan Program SPSS*, no. 7. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [21] Sugiyono, 2015, *Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods)*. Bandung: Alfabeta.

JACEIT

