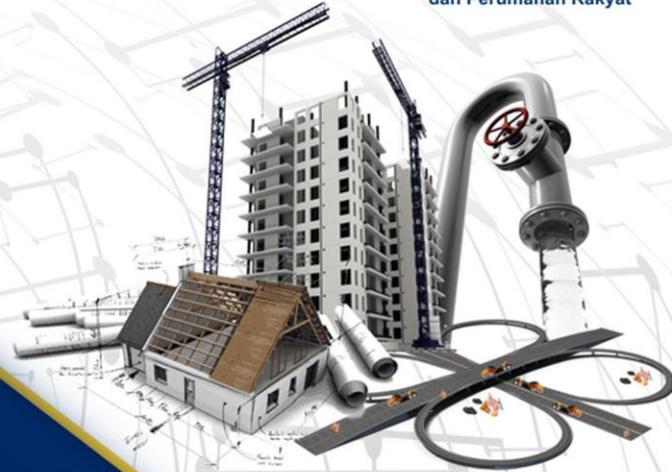




**POLITEKNIK
PEKERJAAN UMUM**



Kementerian Pekerjaan Umum
dan Perumahan Rakyat



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL DAN PAMERAN**

METODE DAN TEKNOLOGI BIDANG KONSTRUKSI

8 - 9 Desember 2021

PROSIDING

Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2021

"Metode dan Teknologi Dalam Rangka
Percepatan Pelaksanaan Konstruksi"

Patra Semarang Hotel & Convention
Rabu & Kamis, 8 - 9 Desember 2021

Diterbitkan oleh :
Politeknik Pekerjaan Umum Press

PROSIDING

Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2021

"Metode dan Teknologi Dalam Rangka Percepatan Pelaksanaan Konstruksi"

Susunan Panitia

1. Pelindung : Kepala Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia,
Kementerian PUPR
2. Pengarah : Prof. Ir. Indratmo Soekamo, M.Sc., Ph.D.
3. **Steering Committee** : Dr. Ir. Pranoto Samto Atmojo, Dipl. HE., M.T. (Ketua)
Dr. Ir. H. Masrianto, M.T. (Wakil Ketua I) Ir. Danang Atmodjo,
M.T. (Wakil Ketua II)
4. Ketua : Dr. Raditya Hari Murti, S.T., M.Sc., M.T. (Koordinator)
Seksi Penerimaan, Review : Bhima Dhanardono, S.T., M.Eng. (Ketua)
Artikel dan Prosiding : Hinawan Teguh Santoso, S.T., M.T. (Wakil Ketua)
Wahyu Prasetyo, S.T., M.T.
Adityo Budi Utomo, S.T., M.Eng.
Eko Kusumo Friatmojo, S.T., M.T.
Daru Jaka Sasangka, S.T., M.Eng.
Rikal Andani, S.T., M.Eng.
Febri Fahmi Hakim, S.T., M.T., M.Sc.
Agung Bhakti Utama, S.T., M.Sc.
Juandra Hartono, S.T., M.Eng.
Didit Puji Riyanto, S.T., M.T.
Pranu Arisanto, S.T., M.T.
Seksi Koordinator : Suhardi, S.T., MPSDA. (Ketua)
Narasumber dan : Laely Fitria Hidayatiningrum, S.T., M.Eng. (Wakil Ketua)
Pembicara : Julmadian Abda, S.T., M.T.
Robi Femando, S.T., M.T.
Gitaning Primaswari, S.T., M.T.
Freda Aulia Fanny, A.Md.
Seksi Acara : Dra. Nurul Fuadiyah, M.Si (Ketua)
Hendra Adi Wijaya, S.T., MT. (Wakil Ketua)
Muhadi, S.Sos., M.Pd.
Indira Laksmi Widuri, S.H., LL.M.
Galih Adya Taurano, S.T., M.T.
Marsellus Desmiano Duapadang, S.T., M.T.
Siti Usarofah, S.T., M.T.
Tri Aryani, A.Md.
Iswatul Mualimah, A.Md.
Taufiq Ragil Ramadhan, A.Md.
5. Sekretariat dan Pameran : Nugroho Wuritomo, S.T., M.T. (Koordinator)
Seksi Sarana dan : Muldan Muhamad Ginanjar, S.E., M.T. (Ketua)
Prasarana : Yuny Iryanty, A.Md. (Wakil Ketua)

	Rumadi, SST. Sularso, SST. Heri Setiawan, A.Md. Zahna Heazah Salsabil, A.Md. Muhammad Dzikron Jaelani, A.Md. Sumitro Zahna Heazah Salsabil, A.Md. Muhammad Dzikron Jaelani, A.Md. Sumitro Suradi Merry Karuniawan Beny Bagus Setiawan Muhammad Hidayat Bhara Ardiansyah
Seksi Keuangan	: Dwi Arsono Wibowo, S.H., M.T. (Ketua) Rivanny Wulandari, S.H. (Wakil Ketua) Nur Sanudin, S.M. Noor Rohman, S.E., M.T. Dewi Yulaekah, S.E.
Seksi Konsumsi	: Yulia Rochmawati, S.E., M.Si. (Ketua) Masriyah, S.H. (Wakil Ketua) Shesa Dida Filantri, S.T. Fariha Sulisty Effendi, S.E. Muhammad Anas
Seksi Informasi dan Dokumentasi	: Sechiaro Gulo, S.T. (Ketua) Purwidyasmoro Himawan Jati, S.I.Kom., M.Med.Kom. (Wakil Ketua) Pramudya Kiswara, A.Md. Trimo Yulianto Akhdan Zufar Faiz, A.Md.

Prosiding Seminar Nasional dan Pameran
Politeknik Pekerjaan Umum

Diterbitkan oleh :

Politeknik Pekerjaan Umum Press
perpustakaan@politeknikpu.ac.id
Jalan Prof. Soedarto, SH. Tembalang
Semarang 50275
Telp/Fax (024) 7472848

ISBN : 978-623-09-0121-8
30 Agustus 2022

Hak Cipta dilindungi Undang - Undang
Dilarang mengutip, memperbanyak dan menterjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Prosiding

Seminar Nasional Metode Dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2021

"Metode dan Teknologi Dalam Rangka Percepatan Konstruksi"

Ketua Penyunting

Prof. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc., Ph.D

Dr. Raditya Hari Murti, ST, M.Sc, MT

Reviewer

Bhima Dhanardono, S.T., M.Eng.

Hinawan Teguh Santoso, S.T., M.T.

Wahyu Prasetyo, S.T., M.T.

Adityo Budi Utomo, S.T., M.Eng.

Eko Kusumo Friatmojo, S.T., M.T.

Daru Jaka Sasangka, S.T., M.Eng.

Rikal Andani, S.T., M.Eng.

Febri Fahmi Hakim, S.T., M.T., M.Sc.

Agung Bhakti Utama, S.T., M.Sc.

Juandra Hartono, S.T., M.Eng.

Didit Puji Riyanto, S.T., M.T.

Pranu Arisanto, S.T., M.T.

Layout & Desain

Tri Aryani, A.Md

Ainun Hapsari, S.Hum

Ratna Sari Dewi, S.Kom

Diterbitkan oleh :

Politeknik Pekerjaan Umum Press
perpustakaan@politeknikpu.ac.id
Jalan Prof. Soedarto, SH. Tembalang
Semarang 50275

Telp/Fax (024) 7472848

ISBN : 978-623-09-0121-8

10 Agustus 2022

Hak Cipta dilindungi Undang - Undang

Dilarang mengutip, memperbanyak dan menterjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang terus mencurahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua, serta dengan ijinNya Seminar Nasional dan Pamerandengan tema "Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi", dapat terlaksana dengan baik dan Prosiding ini dapat diterbitkan.

Seminar Nasional ini diselenggarakan sebagai media diseminasi dan publikasi para akademisi secara luas untuk dapat diakses oleh berbagai kalangan masyarakat. Tema "Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi" dipilih dengan alasan seiring berkembangnya era revolusi industri 5.0 dunia konstruksi membutuhkan berbagai ide-ide yang dapat mengubah cara kita bekerja. Dunia konstruksi tidak dapat terpisahkan dari teknologi. Perkembangan teknologi yang semakin canggih menjadi suatu kesempatan bagi kita semua untuk dapat berpeluang menjadikan pembangunan-pembangunan lebih efektif, efisien, berdaya saing dan berkelanjutan.

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada penulis dan pembahas yang telah menyumbangkan pemikirannya dalam acara seminar nasional ini. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan bagi terselenggaranya seminar nasional dan atas tersusunnya prosiding ini.

Akhir kata semoga prosiding ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan kami menunggu nama Anda tertulis di prosiding volume selanjutnya.

Semarang, Februari 2022

Tim Penyusun



DAFTAR ISI

Susunan Panitia	ii
Lembar Editor	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Analisa Perbandingan Pelaksanaan <i>Erection Girder Underpass</i> Pada Jalan Nasional dengan Metode <i>Crane</i> dan Metode <i>Launcher</i>	
Riduan Umar, Pio Ranap Tua Naibaho, dan Edison Hatoguan Manurung	1
Evaluasi Pengendalian Resiko Kematian Pekerja pada Proyek Konstruksi dengan Metode <i>Risk Cost Benefit Analysis</i>	
Eko Kusumo Friatmojo, Julmadian Abda, Agung Bhakti Utama, Robi Fernando	11
Pemanfaatan Material Lokal Jayapura sebagai Filler Terhadap Nilai Volumetrik Campuran <i>HRS-Base</i> untuk Mendukung <i>Sustainable Development Goals</i> (SDGs)	
Franky E. P. Lapian	23
Perancangan Sistem Informasi Pengolahan Sampah Organik untuk Memperoleh Potensi Energi Alternatif Briket dalam Memenuhi Kebutuhan Bahan Bakar Infrastruktur	
N. Tri Suswanto Saptadi	33
Metode Pelebaran Dilatasi Bangunan Eksisting Pada Gedung Terdampak Bencana Gempa Bumi RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat	
Robert Simbolon, Aryantho	39
Analisis Faktor Keamanan (SF) pada Desain Basement Menggunakan <i>Soil Nailing</i> Bambu	
Fendi Hary Yanto	59
Kajian Banjir Kota Pekalongan	
Prita Lutfitiana, Rosalia Putri Ramadhani, Muhammad Cahyono, Eka Oktariyanto Nugroho, Slamet Lestari, Yiniarti Eka Kumala	65
Komparasi Metode <i>Erection</i> Bentang Utama Jembatan Sei Wampu	
Andrew Nugraha Standyarto, ST, MSc	77
Teknologi Smart Pavement: Sifat Mekanik dan Kimia Campuran <i>Soil Cement</i> dan <i>Soil Stabilizer</i> untuk Mewujudkan <i>Green Construction</i> di Papua	
Franky E. P. Lapian	87



ANALISA PERBANDINGAN PELAKSANAAN ERECTION GIRDER UNDERPASS PADA JALAN NASIONAL DENGAN METODE CRANE DAN METODE LAUNCHER

(Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Tans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang. Sta : 03 + 550 dan Sta : 99 + 910)

Riduan Umar¹ , Pio Ranap Tua Naibaho² , dan Edison Hatoguan Manurung³

¹²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tama Jagakarsa, Jl TB Simatupang no 152 Tanjung Barat Jakarta Selatan

Korespondensi: Author.umarridwan1956@gmail.com, piorthnaibaho@gmail.com, edisonmanurung2010@yahoo.com

ABSTRAK

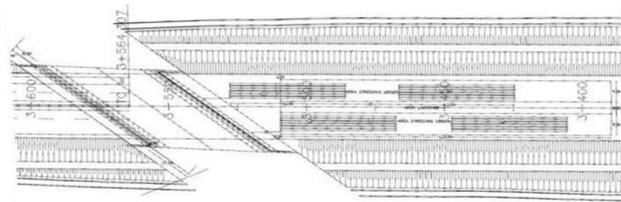
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor pertimbangan pemilihan metode erection girder, metode yang efektif untuk pelaksanaan erection girder, faktor yang mempengaruhi proses pelaksanaan erection girder, dan membandingkan metode pelaksanaan erection girder menggunakan crawler crane girder. Pertama, dilakukan pengumpulan data baik primer maupun sekunder, kemudian launcher dilakukan melalui analisis rencana metode crawler crane dan launcher girder. Pada masing masing metode dilakukan analisis kebutuhan material dan alat, waktu, biaya dan mutu pekerjaan. Selanjutnya hasil dari analisis tersebut digunakan untuk menentukan metode yang paling tepat. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan faktor yang menjadi pertimbangan digunakannya metode erection girder, diantaranya kondisi lapangan, letak lokasi, keadaan cuaca, sumber daya manusia, spesifikasi alat, dan mobilisasi peralatan. Perbedaan mendasar metode crawler crane dan launcher girder adalah cara peletakan balok girder pada titik tumpuan. Metode crawler crane memiliki waktu pengerjaan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan metode launcher girder, karena mobilisasi alat dilakukan dalam kondisi terpisah, sedangkan metode launcher girder memiliki keuntungan dari segi biaya, kepresisian alat, dan cara operasi. Dari perhitungan analisis didapat hasil metode yang efektif untuk pekerjaan erection girder pada underpass sta : 99 + 910 Proyek Jalan Tol Trans Sumatera menggunakan crawler crane.

Kata Kunci: crawler crane, erection girder, launcher girder

PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur di Indonesia khususnya di Pulau Sumatera hingga tahun 2016 telah meningkat pesat, salah satunya pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera. Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera bertujuan untuk memperlancar transportasi dan meningkatkan perekonomian negara. Salah satu Jalan Tol Trans Sumatera yang masih dalam pengerjaan adalah proyek Pembangunan Jalan Tol Terbanggi Besar – Pematang Panggang yang menghubungkan Kota Terbanggi Besar dan Kota Kayu Agung. Proyek Jalan Tol Trans Sumatera memiliki panjang total 155.50 km yang akan melewati beberapa medan, misalnya pada Sta. 03+550 yang melewati jalan nasional di Desa Terbanggi Besar dan Desa Pematang Panggang. Oleh karena itu, perlu dibangun jembatan *underpass* pada Sta. 03+550. dan sta. 99+910. Pembangunan jembatan gambar *underpass* pada proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang menggunakan struktur utama beton bertulang pada *abutment* dan menggunakan beton prategang pada balok PC-I girder. Panjang dan jumlah girder yang digunakan pada setiap jembatan *underpass* berbeda. Tetapi, pada pembangunan jembatan *underpass* tersebut menggunakan girder dengan panjang 40,80 m dan terdapat 24 buah. Girder tersebut diletakkan di *stockyard* atau di sebelah barat jembatan dengan posisi tidak sejajar dengan *abutment* jembatan. Pada pembangunan jembatan terdapat proses pemasangan girder ke atas *abutment* atau biasa disebut erection girder. Erection adalah proses pengangkatan balok girder ke atas *abutment* dan diletakkan di atas titik tumpunya yang berupa bearing pad. Proses erection pada masing – masing

jembatan menggunakan metode yang berbeda - beda. Pemilihan metode *erection* harus sesuai dengan kondisi di sekitar area jembatan. Pada jembatan *underpass* Sta. 03+550 menggunakan metode *launcher* dan Sta.99+910 menggunakan metode *crawler crane* tersebut menggunakan *girder* dengan panjang 30,8m dan terdapat 16 buah. Oleh karena proses *erection* merupakan pekerjaan yang membutuhkan biaya yang besar untuk penyewaan alat - alat berat, dan juga pekerjaan yang memerlukan waktu relatif lama, maka Penulis merasa perlu untuk melakukan pengamatan pada *erection* tersebut untuk mengetahui proses pelaksanaan dan produktivitas dari metode yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses pelaksanaan *erection girder* menggunakan metode *crawler crane*, biaya yang dibutuhkan, dan waktu yang diperlukan pada pembangunan jembatan *underpass* Sta. 03+550 dan Sta. 99+910. Proyek Jalan Tol Ruas Terbanggi Besar - Pematang Panggang (Gambar 1 dan Gambar 2).



Gambar 1 Lokasi Sta 03+550



Gambar 2 Lokasi Sta 99+910

STUDI LITERATUR

Erection adalah proses pemasangan balok *girder* ke atas tumpuannya. Titik tumpu yang umum digunakan pada konstruksi jembatan berupa *rubber bearing* atau yang lebih dikenal dengan nama *elastomeric bearing pad*. Proses *erection girder* merupakan pekerjaan yang beresiko tinggi sehingga penentuan metode *erection* memerlukan pertimbangan yang sangat penting seperti kondisi lapangan. Hal ini secara langsung berkaitan dengan efisiensi biaya dan waktu yang digunakan. Ada beberapa metode *erection girder* yang umum digunakan dan masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Terbanggi Besar - Pematang Panggang terdapat dua metode yang digunakan dalam proses *erection girder*, yaitu *erection girder* menggunakan *crawler crane* dan *erection girder* menggunakan *launching gantry*. *Erection Girder* menggunakan *Crawler Crane*.

Erection Girder Menggunakan Crawler Crane

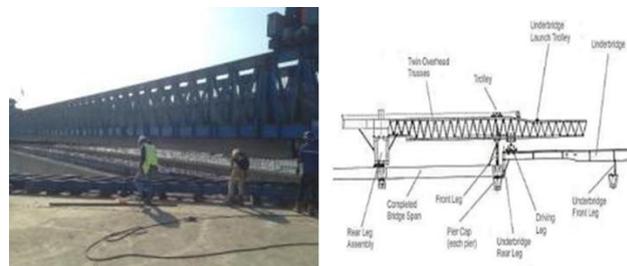
Crane adalah salah satu alat berat yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan beban secara *vertikal* atau *horizontal*. Pada proses *erection*, metode ini banyak dipakai karena termasuk metode yang sederhana. Pada proses *erection girder* menggunakan *crawler crane*, posisi *girder* harus lurus dan rata secara *horizontal* dengan toleransi 4%. Karena untuk menghindari terjadinya gaya *horizontal* atau torsi yang dapat menyebabkan balok *girder* berotasi. Oleh karena itu proses *erection* lebih sering menggunakan dua *crane* dari pada satu *crane*. Proses *erection girder* menggunakan *crawler crane* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Erection Girder

Erection Girder Menggunakan Launcher Gantry

Launching gantry merupakan metode dimana beton dicetak di pabrik secara *segmental* pracetak yang telah siap untuk dilakukan instalasi. Metode ini merupakan salah satu perkembangan dari teknik pemasangan jembatan yang tergolong baru. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah segmen jembatan dicetak per-segmen kemudian diprategkan bersama-sama oleh tendon eksternal. *Launching gantry* memiliki bagian yang bernama *winch*, yang memiliki fungsi untuk mengangkat beban berat tersebut. *Winch* dapat bergerak naik-turun, kanan-kiri, dan depan-belakang. *Launching gantry* salah satu dari berbagai jenis *girder launcher*. Pelaksanaan *erection girder* dilaksanakan di atas jembatan. *Girder* diluncurkan dari *span* satu menuju *span* yang dituju menggunakan *trolley* yang bergerak di atas rel *longitudinal*, setelah *girder* sampai pada posisi *launching gantry*, lalu *launching gantry* yang membawa balok *girder* tersebut bergerak secara *transversal* menuju *bearing pad* dimana balok tersebut akan diletakkan, setelah pekerjaan *erection girder* pada satu *span* tersebut selesai lalu *gantry* bergerak maju (Kristijanto, Heppy, dan Supani, 2007). Proses *erection girder* menggunakan *crawler crane* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Erection girder

WAKTU DAN TEMPAT KEGIATAN

Waktu Penelitian

Penelitian dalam proyek akhir ini dilaksanakan pada saat Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Waskita Karya (Persero) Tbk pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang. Sedangkan penulisan tesis ini dikerjakan pada bulan Januari 2018 sampai dengan bulan Juni 2019.

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Terbanggi Besar Pematang Panggang, tepatnya di jembatan *underpass* Sta. 03+550 dan Sta. 99 +910 desa Terbanggi Besar dan desa

Pematang Paggang. Kabupaten Bandar Jaya dan Kabupaten Mesuji. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Lokasi Sta 03+550



Gambar 6 Lokasi Sta 99+910

Pengambilan Data Dalam penelitian ini peneliti mengambil data pada Proyek Jalan Tol trans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang, Sta,03 + 550 dan Sta, 99 +910. Data yang dibutuhkan dapat berupa data primer maupun data sekunder.

1. Data Primer :
 - a. Letak dan kondisi lapangan
 - b. Proses pelaksanaan *erection*
 - c. Siklus waktu pekerjaan *erection*
2. Data Sekunder :
 - a. Layout Jembatan
 - b. Spesifikasi gelagar (*girder*)
 - c. Kapasitas alat

Data yang diperoleh dari penelitian dilapangan pada Proyek Tol Trans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang, Sta. 03 + 550 dan Sta. 99 + 910 yaitu berupa waktu siklus dari setiap masing-masing metode *erection girder* dengan 1 *Crane*, 2 *Crane* dan *Launcher* pada beberapa jembatan yang diamati. Waktu penyelesaian Metode *Crane* dan waktu penyelesaian Metode *Launcher Gantry* dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Uraian Waktu Penyelesaian Metode Crane

No	Uraian	Waktu
1	Pemasangan sling ke girder	T1
2	Pelepasan bracing girder	T2
3	Pengangkatan girder	T3
4	Penggeseran/pemutaran (<i>swing</i>) girder	T4
5	Penurunan/perletakan girder ke bearing pad	T5
6	Bracing girder	T6
7	Pelepasan sling	T7
8	Crane Kembali ke posisi awal	T8
Waktu penyelesaian total Crane		TTc

Tabel 2 Uraian Waktu Penyelesaian Metode Launcher

No	Uraian	Waktu
1	Pemasangan sling Hoist Laucher 1	T1
2	Pelepasan bracing trolley launching 1	T2
3	Launching girder ke hoist launcher	T3
4	Pemasangan sling hoist launcher 2	T4
5	Pelepasan bracing trolley launching 1	T5
6	Penurunan sampai 10 cm diatas bearing pad	T6
7	Launching girder ke posisi bentang	T7
8	Penggeseran launcher	T8
9	Perletakkan girder	T9
10	Bracing girder	T10
11	Pelepasan sling	T11
12	Hoist launcher kembali ke posisi awal	T12
Waktu penyelesaian total Crane		TTc

ANALISA DATA

Analisa dilakukan dengan mencari waktu terpendek, waktu terpanjang, dan waktu rata-rata *erection girder* dari masing-masing metode. Waktu terpendek adalah waktu dimana kondisi produktivitas tinggi, sedangkan waktu terpanjang adalah waktu dimana kondisi produktivitas rendah dan waktu rata-rata adalah waktu dimana kondisi produktivitas rata-rata pada satu jembatan maupun lingkup metode, kemudian dihitung efisiensinya terhadap waktu terlama antara satu metode dengan metode lainnya. Rumus efisiensi terhadap waktu terlama ini merupakan modifikasi/penyesuaian dari rumus yang digunakan oleh Husein dan Dinariana (2013). Rumus yang telah disesuaikan adalah sebagai berikut :

$$W = (C/L) \times 100 \%$$

$$E = ((L-C)/L) \times 100 \% \text{ atau } E = 100 \% - W \quad (1)$$

dengan: W = Persentase perbandingan waktu yang dibutuhkan terhadap waktu terlama (%), E = Efisiensi (%), C = Waktu yang dibutuhkan metode tercepat (detik), dan L = Waktu yang dibutuhkan metode terlama (detik).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jembatan *Underpass* pada proyek jalan tol Tol Trans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang, Sta, 03 + 550 dan Sta, 99 + 910 menggunakan *girder* sebagai struktur utamanya. Bentang setiap jembatan memiliki panjang *girder* yang bervariasi, yaitu 30,8 m dan 40,8 m. Metode pelaksanaan proyek konstruksi yang baik apabila memenuhi persyaratan teknis, ekonomis (biaya murah, wajar, efisien), nonteknis, dan merupakan alternatif/pilihan terbaik (Syah 2004). Metode tersebut diantaranya adalah Metode *Crane* dan Metode *Launcher*. Dalam penelitian ini peneliti memilih Jembatan *Underpass* Sta, 03 + 550 dengan bentang 40,8 m (Metode *Crane*), dan (Metode *Launcher*) Dan Jembatan *Underpass* Sta, 99 + 910. bentang 30,8 m dan (Metode *Crane*) dan (Metode *Launcher*).

Metode Crane

Metode *Crane* adalah suatu cara atau metode yang digunakan dalam pelaksanaan *erection girder* atau pemasangan *girder* dengan bantuan alat *Crane*. Berdasarkan jumlah alat *Crane* yang digunakan, metode ini dibagi lagi menjadi 2 yaitu Metode *Erection* dengan 1 *Crane* dan Metode *Erection* dengan 2 *Crane*.

1. Metode *erection girder* dengan 1 *Crane*

Erection girder dengan 1 *Crane* dilakukan pada bentang *girder* kurang dari sama dengan (\leq) 20,8 meter. Dalam metode *erection girder* dengan 1 *Crane* ini, *Crane* dapat mengambil secara langsung *girder* dari *stockyard* untuk di-*erection*, dengan catatan lokasi *stockyard* tidak lebih dari ($<$) 50 meter dari tepi *abutment*. Metode ini dapat diterapkan pada model jembatan apapun. Namun bila berupa *overpass*, tinggi pijakan *Crane* ke dudukan *girder* (*bearing pad* pada *pier head*) tidak boleh lebih dari 5 meter. Dalam metode *erection girder* dengan 1 *Crane* ini, *Crane* perlu dibantu dengan *spreader beam* untuk menghindari terjadinya tekuk pada *girder*.

2. Metode *erection girder* dengan 2 *Crane*

Erection girder dengan 2 *Crane* dilakukan pada bentang *girder* lebih dari ($>$) 20,8 meter. Pada *erection girder* dengan 2 *Crane* ini posisi *girder* harus berada di antara atau di samping, dengan syarat masih dalam jangkauan kedua *Crane*. Dengan demikian, perlu dilakukan mobilisasi *girder* untuk jembatan model *underbridge* atau *underpass* karena jembatan tersebut bisa melewati jurang/sungai/lalulintas dan dibutuhkan untuk akses mobilisasi dengan *Truck Bogie*. Adapun pada model jembatan *Underpass*, tidak dibutuhkan mobilisasi karena *stockyard girder* bisa didudukkan di antara *abutment- abutment/pilar-pilar/abutment-pilar*, sehingga kedua *crane* dapat langsung melakukan *erection*. Untuk model *Underpass*, syarat tinggi pijakan *Crane* ke dudukan *girder* (*bearing pad* pada *pier head*) tidak lebih dari 5 meter.

Metode Launcher

Metode *erection girder* dengan *launcher* adalah suatu cara atau metode yang digunakan dalam pelaksanaan *erection girder* atau pemasangan *girder* dengan bantuan alat *launcher*. Metode ini dapat diterapkan pada model jembatan apapun dan tanpa jalan akses. *Launcher* dalam proses *erection* ini hanya diperuntukkan untuk melakukan geser ke arah melintang jembatan. Dengan demikian, *launcher* tidak bisa langsung mengambil *girder* dari *stockyard* dan dibutuhkan mobilisasi *girder*. Alat bantu mobilisasi dalam metode *launcher* menurut PT. Jatra Sejahtera (2018) adalah dengan *Trolley Launching* yang didudukkan pada lintasan rel yang dibangun sepanjang *stockyard* sampai dengan tepi *abutment/pilar* sehingga *Launcher* dapat menjangkau *girder* dan melakukan *erection*.

Erection Girder Underpass Sta, 99 + 910. (Metode Crane)

Terletak pada Proyek Pembangunan jalan Tol Trans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang. Jembatan ini terdiri dari bentang antara *Abutment 1- Abutment 2*. Layout *Underpass* dapat di lihat pada Gambar 7.



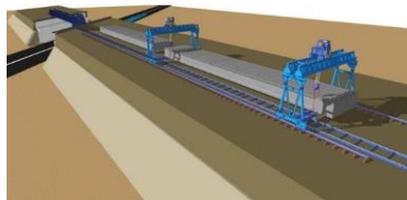
Gambar 7 Layout *Underpass*

Dalam penelitian ini, Peneliti mengamati pelaksanaan *erection girder* pada bentang A1-A2 yang memiliki bentang 30,8 meter dengan berat *girder* 22,94 ton. Pada bentang tersebut digunakan metode dengan 2 buah *crane* berkapasitas *lifting* yaitu 150 ton dan 200 ton. Lokasi *stockyard girder* bentang A1-A2 berada \pm 30 meter dari tepi *abutment*, sehingga memungkinkan *Crane* mengambil *girder* langsung dari *stockyard* menuju area *erection girder* dan langsung melakukan *erection* adanya mobilisasi dengan *Truck Bogie*. Sketsa tampak samping dan tampak atas situasi awal pelaksanaan *erection girder* underpass bisa dilihat pada Gambar 8.



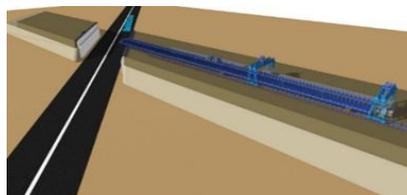
Gambar 8 Sketsa Tampak Samping (a) dan Tampak Atas (b) Situasi Awal Pelaksanaan *Erection Girder Underpass*.

Erection Girder Underpas Pematang Panggang terletak di STA.99 + 910. Pada Proyek Pembangunan jalan Tol Trans Sumatera, Ruas Terbanggi Besar – Pematang Panggang. Dalam penelitian ini peneliti mengamati pelaksanaan *erection girder* pada bentang A1-A2 dengan panjang 30,8 meter dan berat *girder* 21,9 ton (16 buah), bentang tersebut digunakan metode dengan *launcher* berkapasitas 120 ton. Lokasi *stockyard girder* berada di belakang *abutment* 1 (A1). Sebelum penerapan metode *Launcher*, pada bentang A1-A2 dengan panjang 30,8 meter dan berat 21,9 ton sudah *dierection* menggunakan metode *erection girder* dengan 2 *Crane*. Selanjutnya untuk pelaksanaan *erection* dengan *Launcher* ini, lebih dahulu bentang A1-A2 yang *dierection* dan selanjutnya bentang *Abutment* 1 - *Abutment* 2. Layout Jembatan *Underpass* Pematang Panggang dapat dilihat pada Gambar 9 tampak samping dan tampak atas.



Gambar 9 Tampak Samping dan Tampak Atas

Dalam pelaksanaan *erection girder underpass* Pematang Panggang dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Pergeseran *Girder* ke Rel Darat dng *Hoist*



Gambar 11 *Launching Girder* ke A2 dan *Setting Girder* ke *Hoist* 2

Tahap pelaksanaan di lapangan :

1. melepas *bracing Trolley Launching 1*;
2. *launching girder* hingga *girder* bagian belakang mampu dijangkau *hoist Launcher 2*;
3. memasang *sling Hoist Launcher 2* pada *girder* bagian belakang;
4. melepas *bracing Trolley Launching 2*;
5. melakukan *launching girder* menuju posisi bentang A1 – A2 (untuk bentang 30,8 m);
6. menurunkan *girder* hingga 10 cm di atas *bearing pad*;
7. menggeser *girder* menuju koordinat yang sudah ditentukan;
8. menurunkan *girder* ke *bearing pad*;
9. melakukan *bracing girder* pada *abutmen* dan antar *girder*;
10. melepas *sling* kedua *Hoist Launcher*; dan
11. *launcher* beserta *hoist*-nya kembali ke posisi awal *Launcher* kembali dengan melakukan geser. Sedangkan kedua *Hoist* kembali *launching* menuju posisi pengambilan *girder*.

Analisa Data Waktu Penyelesaian Erection Girder bentang 30,8 m Metode Crane

Dalam pelaksanaan *erection girder* bentang 30,8 m dengan Metode *Crane* ini digunakan 2 buah alat *crane*. Jembatan yang mempunyai bentang 30,8 m dengan Metode *Crane* adalah *underpass* Pematang Panggang. Dalam analisa data waktu ini meliputi penjumlahan waktu semua uraian pekerjaan pada masing-masing *girder*, mencari waktu terpendek dan terpanjang, serta waktu rata-rata. Analisa data waktu penyelesaian *erection girder* dengan 2 *Crane*. *Underpass* Pematang Panggang dan *Underpass* Terbanggi Besar bentang 40,8 meter. Hasil analisa data waktu dari kedua *underpass* didapat batas waktu penyelesaian terpendek dan terpanjang Metode *Crane* untuk *erection girder* bentang 30,8 meter adalah 35 menit 20 detik dan 68 menit 15 detik, dengan rata-rata yaitu 52 menit 18 detik.

Analisa Perbedaan Skematik Data Waktu

Skematik lama waktu *erection* setiap *girder* pada *underpass* satu dengan lainnya dengan metode yang sama serta posisi *girder* yang telah disesuaikan hingga mirip (paling mendekati), namun terjadi perbedaan cukup signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor pada saat proses *erection girder*, di antaranya sebagai berikut:

1. kondisi lokasi yang tidak mendukung;
2. ketidaksesuaian prosedur pelaksanaan oleh pelaksana; dan
3. produktivitas kerja yang rendah akibat kelelahan tenaga kerja.

Analisa Perbandingan Waktu Penyelesaian Metode Crane dengan Metode Launcher

Setelah didapat waktu terpendek, terpanjang dan rata-rata *erection girder* pada Metode *Crane* dan Metode *Launcher*, kemudian dilakukan perbandingan efisiensi waktu sesuai kondisi bentang yang sama. Contoh perhitungan efisiensi terhadap waktu terlama antara waktu terpendek Metode *Crane* dengan *Launcher* dalam *erection girder* bentang 30,8 m:

$$\begin{aligned}
 C &= 35 \text{ menit } 20 \text{ detik} && = 2.120 \text{ detik} \\
 L &= 1 \text{ jam } 18 \text{ menit } 23 \text{ detik} && = 4.703 \text{ detik} \\
 W &= (2.120/4.703) \times 100 \% && = 45,10 \% \\
 E &= ((4.703 - 2.120)/4.703) \times 100 \% && = 55. \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Dalam *erection girder* bentang 30,8 m
 - Waktu terpendek Metode *Crane* lebih efisien 45,10 % dari waktu terpendek Metode *Launcher*.
 - Waktu terpanjang Metode *Crane* lebih efisien 32,13 % dari waktu terpanjang Metode *Launcher*.
 - Waktu rata-rata Metode *Crane* lebih efisien 55 % dari waktu rata-rata Metode *Launcher*.
2. Dalam *erection girder* bentang 40,80 m
 - Waktu terpendek Metode *Crane* lebih efisien 61,48 % dari waktu terpendek Metode *Launcher*.
 - Waktu terpanjang Metode *Crane* lebih efisien 29,82 % dari waktu terpanjang Metode *Launcher*.
 - Waktu rata-rata Metode *Crane* lebih efisien 41,81 % dari waktu rata-rata Metode *Launcher*.

Analisa Perbandingan Metode *Crane* Dan Metode *Launcher* Secara Kualitatif

Dalam pengerjaannya, Metode *Crane* relatif kurang stabil karena alat utama melakukan perpindahan bisa ke segala arah serta landasan gerak berupa plat yang digelar pada tanah (CBR min. 6 %) atau dapat berupa lantai kerja. Sedangkan Metode *Launcher* relatif lebih stabil karena alat utama melakukan perpindahan hanya satu arah serta landasan gerak berupa lintasan rel yang rata. Dalam memberikan dampak pada lingkungan, Metode *Crane* (terutama pada *erection* dengan dua *Crane*) membutuhkan lahan yang lebih untuk keperluan akses *girder* sehingga *Crane* mampu menjangkau *girder* untuk dapat di-*erection*. Sedangkan pada Metode *Launcher*, *girder* tidak dibutuhkan akses tambahan.

Dalam kemampuan diterapkannya, Metode *Crane* dengan Metode *Launcher* sama-sama dapat diterapkan pada kondisi jembatan model *overpass*, *underpass*, ataupun *underbridge*. Namun pada kondisi jembatan model *underpass* maupun *underbridge*, jika tidak ada akses tambahan baik di bawah maupun di samping jembatan yang akan di-*erection* Metode *Crane* tidak dapat diterapkan, sedangkan Metode *Launcher* tetap dapat diterapkan. Dalam kapasitas angkatnya, Metode *Crane* terdapat penurunan kapasitas angkat sesuai radius lengan (*boom*). Sedangkan pada Metode *Launcher*, kapasitas angkat tidak terjadi penurunan. Perbandingan Metode *Crane* dan Metode *Launcher* Secara Kualitatif dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Perbandingan Metode *Crane* dan Metode *Launcher* secara Kualitatif

No	Metode <i>Crane</i>	Metode <i>Launcher</i>
1	Relatif kurang stabil	Relatif lebih stabil
2	Butuh lahan lebih untuk akses	Tidak butuh tambaha lahan
3	Dapat diterapkan pada kondisi jembatan tertentu	Dapat diterapkan pada kondisi jembatan bagaimanapun
4	Ada penurunan kapasitas angkat	Tidak ada penuruna kapasitas angkat

KESIMPULAN

Pada *erection girder* bentang 30,8 meter, waktu terpendek Metode *Crane* lebih efisien 45,10% dari pada Metode *Launcher*, waktu terpanjang Metode *Crane* lebih efisien 32,13% daripada Metode *Launcher*, dan waktu rata-rata Metode *Crane* lebih efisien 55% daripada Metode *Launcher*. Kemudian pada *erection girder* bentang 40,8 meter, waktu terpendek Metode *Crane* lebih efisien 61,48 % daripada Metode *Launcher*, waktu terpanjang Metode *Crane* lebih efisien 29,82% dari pada Metode *Launcher*, dan waktu rata-rata Metode *Crane* lebih efisien 41,81% daripada Metode *Launcher*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dari segi waktu penyelesaian *erection girder*, **Metode *Crane* lebih cepat (*efisien*) dari pada Metode *Launcher*.**

DAFTAR PUSTAKA

- Husein, W.S, Dinariana, D., 2013. *Perbandingan Gantry Dan Mobile Crane Pada Jalan Layang Dari Segi Waktu, Metode Kerja, Dan Biaya. Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.*
- Octario,T., 2015. *Metode Pelaksanaan Dan Analisis Produktivitas Gantry Launcher Pada Pekerjaan Erection Girder Proyek Flyover Palur, Yogyakarta, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.*
- Permadani, C.P., 2016. *Metode Pelaksanaan Erection PCI Girder dan Analisis Produktivitas Menggunakan Alat Gantry Launcher pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Surabaya-Mojokerto Seksi 1B. Yogyakarta, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.*
- Pratama, D.D., 2013. *Analisa Perbandingan Metode Erection Girder Menggunakan Launcher Girder Dan Temporary Bridge Dari Segi Biaya Dan Waktu Pada Jembatan Kali Surabaya Mojokerto. JURNAL TEKNIK POMITS, Vol. 1, No. 1, Hal. 110.*
- PT. Jatra Sejahtera. 2019. Rev 1, *Erection Girder Jembatan Underpass Menggunakan Metode Launcher Gantry*, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=>. Diakses 13 Januari 2019.
- Syah, M.S., 2004. *Manajemen Proyek Kiat Sukses Mengelola Proyek, Cetakan Pertama.* Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Tistogondo, Julistyana,2004, *Studi Efektifitas Waktu dan Biaya Pelaksanaan Erection PCI Girder dengan Metode Crawler Crane dan Roller Skate (Kasus: Proyek Pembangunan Jembatan Suramadu Sisi Surabaya).* Jurnal Neutron, Vol. 4, No. 1, Hal. 79-106.

EVALUASI PENGENDALIAN RESIKO KEMATIAN PEKERJA PADA PROYEK KONSTRUKSI DENGAN METODE RISK COST BENEFIT ANALYSIS

EVALUATION OF THE WORKER DEATH RISK CONTROL ON A CONSTRUCTION PROJECT USING THE RISK COST BENEFIT ANALYSIS METHOD

Eko Kusumo Friatmojo¹, Julmadian Abda², Agung Bhakti Utama³, Robi Fernando⁴

^{1 2 3 4} Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Pekerjaan Umum,
Jalan Prof. Soedharto 53 Tembalang Semarang Jawa Tengah

Korespondensi: ekusumof@pu.go.id

ABSTRAK

Proyek konstruksi adalah salah satu penyumbang angka kecelakaan kerja tertinggi selama beberapa tahun terakhir. Untuk mengurangi angka tersebut, Pemerintah mewajibkan seluruh penyedia jasa konstruksi untuk menyusun dokumen Rencana Keselamatan Konstruksi (RKK) apabila hendak mengikuti sebuah lelang proyek konstruksi (Permen PUPR Nomor 14 Tahun 2020). Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu upaya mengetahui penerapan pengendalian resiko yang diusulkan penyedia jasa dalam sebuah RKK apabila dibandingkan dengan nilai risiko riil, yaitu potensi risiko kematian pekerja yang dapat ditimbulkan dari bahaya pada aktivitas yang diukur. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode literature review yang hasilnya akan dianalisa dengan risk cost benefit analysis dan divalidasi dengan menggunakan metode expert judgment. Hasil penelitian ini mendapatkan keseluruhan data RKK penawaran yang masuk memiliki nilai CBR (cost benefit ratio) lebih dari 1 (satu) untuk rencana pengendalian potensi resiko kematian pekerja.

Kata kunci: RKK, pengendalian resiko, kematian pekerja, cost to benefit ratio

ABSTRACT

Construction project is one of the highest contributors of workplace accidents in recent years. To reduce this number, the Government requires all construction service providers to prepare a Construction Safety Plan document if they want to participate in a construction project auction (Ministerial Decree Number 14 Year 2020). This study is conducted as an effort to determine the application of risk control proposed by service providers in a bidding document, compared with the real risk value, namely the potential risk of worker death caused by hazards in the measured activity. This research was conducted using the literature review method, whose results then analyzed using risk cost benefit analysis and validated using the expert judgment method. The results of this study found that all incoming Construction Safety Plan possessed a CBR (cost benefit ratio) value of more than 1 (one) for the control plan of the potential risk on worker death.

Keywords: construction safety plan, risk control, worker death, cost to benefit ratio

PENDAHULUAN

Sektor konstruksi adalah salah satu sektor kerja penyumbang kecelakaan kerja pada tahun 2019 dan 2020. Hal ini diungkapkan Menteri Ketenagakerjaan Ida Fauziyah menyatakan bahwa berdasarkan data dari Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS), kecelakaan kerja di konstruksi meningkat dari 114.000 di tahun 2019 menjadi 177.000 kecelakaan di tahun 2020. Namun, harus dicatat bahwa hal ini berdasarkan klaim yang diajukan kepada BPJS, yang berarti bahwa angka sebenarnya dapat jauh lebih tinggi karena tidak semua pekerja

menjadi anggota BPJS (BCI Asia, 2021).

Organisasi Buruh Internasional atau *International Labour Organisation* (ILO) melaporkan bahwa setiap 15 detik, seorang pekerja meninggal akibat kecelakaan yang berhubungan dengan pekerjaan atau penyakit di seluruh dunia. Setiap 15 detik, sebanyak 153 pekerja mengalami kecelakaan yang berhubungan dengan pekerjaan. Di lokasi konstruksi di seluruh dunia, sedikitnya sebanyak 60.000 kecelakaan fatal terjadi setiap tahun, yang berarti terjadi satu kecelakaan fatal setiap 10 menitnya (BCI Asia, 2021).

Untuk menekan angka kecelakaan konstruksi seperti yang digambarkan di atas, Pemerintah melalui Kementerian PUPR menetapkan kebijakan yang cukup tegas khususnya di bidang Keselamatan Konstruksi. Salah satunya adalah yang tercantum pada Peraturan Menteri (PerMen) PUPR Nomor 10 tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi, yang menyatakan bahwa penyedia jasa wajib menyusun Rencana Keselamatan Konstruksi (RKK) sebagai salah satu prasyarat kelengkapan dokumen pada pemasukan penawaran lelang proyek konstruksi. Apabila hal tersebut tidak dilaksanakan, maka penawaran dinyatakan gugur.

Namun, belum adanya model evaluasi yang detail dan mendalam terhadap dokumen Rencana Keselamatan Konstruksi yang diusulkan oleh penyedia jasa mengakibatkan pihak yang terkait dalam pelelangan, khususnya Panitia lelang/Kelompok Kerja (Pokja) cenderung mengevaluasi dokumen RKK secara redaksional, bukan secara substansial (Kementerian PUPR, 2020).

Hal ini dikhawatirkan dapat menjadi celah bagi para penyedia jasa untuk menyusun dokumen RKK secara tidak tepat. Akibatnya, dokumen RKK hanya menjadi dokumen pelengkap persyaratan penawaran dan tidak menjadi dokumen teknis yang seharusnya dijadikan acuan penerapan keselamatan konstruksi pada saat pelaksanaan proyek. Titik berat celah yang dimaksud khususnya ada pada dokumen Identifikasi Bahaya, Penilaian Resiko, Pengendalian dan Peluang (IBPRPP), yang memuat identifikasi resiko dan rencana pengendalian resiko yang menjadi basis utama perencanaan keselamatan konstruksi dari keseluruhan dokumen RKK tersebut.

Lingkup dan Batasan Penelitian

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, Peneliti merumuskan ruang lingkup dan batasan penelitian sebagai berikut :

1. Dokumen RKK penawaran yang dijadikan sampel penelitian adalah dokumen RKK penawaran proyek Kementerian PUPR tahun 2019-2020;
2. Proyek yang dijadikan sampel adalah proyek konstruksi bangunan gedung dengan asumsi tipikal resiko pekerjaan yang homogen;
3. Evaluasi resiko dan perhitungan biaya mengacu pada dokumen penawaran resmi bukan asumsi pribadi peneliti;
4. Potensi resiko yang dijadikan perhitungan utama adalah potensi resiko terhadap pekerja yaitu kematian pekerja.

Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut peneliti mencoba merumuskan masalah untuk mempermudah proses olah pikir dan pelaksanaan penelitian yaitu :

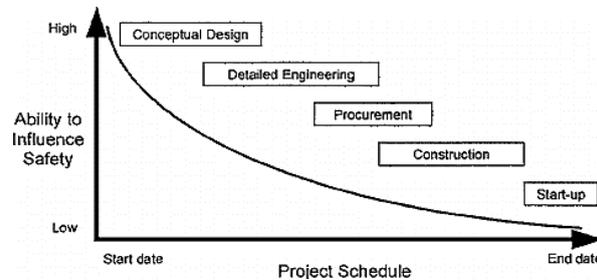
1. Bagaimana penyedia jasa mengusulkan rencana pengendalian resiko sebagai respon terhadap penetapan identifikasi resiko kematian pekerja yang ditetapkan oleh pengguna jasa?
2. Berapa biaya yang diusulkan oleh penyedia jasa untuk mengendalikan resiko kematian pekerja yang dimaksud dalam dokumen IBPRPP tersebut?
3. Seberapa besar *benefit* yang didapatkan dari biaya yang diusulkan untuk pengendalian resiko kematian pekerja yang dimaksud dan apakah *benefit* yang didapatkan sepadan atau justru lebih rendah dari resiko itu sendiri?

Dengan menjawab rumusan masalah tersebut peneliti berharap dapat disusun sebuah metode evaluasi dokumen RKK proyek yang diajukan oleh penyedia jasa konstruksi pada penawaran lelang yang sederhana dan mudah dipahami.

Diharapkan, apabila hasil evaluasi dianggap layak, maka dapat disimpulkan bahwa dokumen RKK yang diusulkan mencerminkan keseriusan penyedia jasa dalam menjalankan komitmen keselamatan konstruksi sejak masa pelelangan. Namun apabila yang ditemukan adalah sebaliknya, maka perlu dilakukan evaluasi sejak dini untuk memperbaiki dokumen RKK yang diusulkan agar pada saat pelaksanaannya nanti pengendalian resiko kematian pekerja dapat dilakukan secara tepat dan efektif.

Landasan Teori

Proses pelelangan adalah salah satu dari tahapan proyek yang memiliki pengaruh dalam perencanaan keselamatan proyek. Hal ini dapat kita lihat dalam Gambar 1 dimana peran proses pelelangan dalam pengaruh keselamatan proyek cukup besar. Hal ini disebabkan dalam proses lelang penyedia diwajibkan menunjukkan kesiapan penyelenggaraan sistem manajemen keselamatan kerja dengan menyerahkan dokumen yang dipersyaratkan.



Gambar 1 Grafik Hubungan Tahapan Proyek Dengan Pengaruhnya Terhadap Perencanaan Keselamatan Proyek (Szymberski, 1997)

Identifikasi Bahaya, Penilaian Resiko, Pengendalian Pekerjaan Berdasarkan Teori Risk Management

Seorang manajer proyek dituntut untuk mampu mengidentifikasi seluruh jenis-jenis resiko secara komprehensif dan tepat dan dilengkapi dengan kemampuan mengidentifikasi tingkat besar kecilnya dampak dari masing-masing resiko (OHSAS Project Group, 1999).

Tabel 1 Contoh Identifikasi Tingkat Dampak Sebuah Resiko Terhadap Pelaksanaan Proyek

SCALE	PROBABILITY	+/- IMPACT ON PROJECT OBJECTIVES		
		TIME	COST	QUALITY
Very High	>70%	>6 months	>\$5M	Very significant impact on overall functionality
High	51-70%	3-6 months	\$1M-\$5M	Significant impact on overall functionality
Medium	31-50%	1-3 months	\$501K-\$1M	Some impact in key functional areas
Low	11-30%	1-4 weeks	\$100K-\$500K	Minor impact on overall functionality
Very Low	1-10%	1 week	<\$100K	Minor impact on secondary functions
Nil	<1%	No change	No change	No change in functionality

Sumber: Project Management Institute, 2017

Untuk mengetahui besaran dampak sebuah resiko terhadap pelaksanaan proyek, harus dilakukan perhitungan berdasarkan skala tertentu yang disepakati dengan dengan stakeholder terkait. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1, yang memperlihatkan bahwa semakin besar skala dampak yang dimiliki sebuah resiko maka tuntutan alokasi sumber daya (waktu, biaya, tenaga, sistem, dll) untuk mengendalikan resiko tersebut akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil skala dampak yang dimiliki sebuah resiko maka tuntutanannya pun akan semakin kecil.

Identifikasi Bahaya, Penilaian Resiko, Pengendalian Pekerjaan Berdasarkan Permen PUPR Nomor 10/2021 Tentang SMKK

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat sebagai pembina jasa konstruksi nasional telah menerbitkan regulasi yang khusus mengatur tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja dalam lingkup proyek konstruksi yaitu Peraturan Menteri Nomor 10 Tahun 2021 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi. Peraturan ini memuat beberapa poin penting yang dijadikan landasan teori dalam penelitian ini yaitu :

- Rencana Keselamatan Konstruksi yang selanjutnya disingkat RKK adalah dokumen lengkap rencana penerapan SMKK dan merupakan satu kesatuan dengan dokumen kontrak (Pasal 1 ayat 18).
- Risiko Keselamatan Konstruksi adalah risiko konstruksi yang memenuhi satu atau lebih kriteria berupa besaran risiko pekerjaan, nilai kontrak, jumlah tenaga kerja, jenis alat berat yang dipergunakan dan tingkatan penerapan teknologi yang digunakan (Pasal 1 ayat 19).
- Setiap calon Penyedia Jasa harus menyusun dan menyampaikan RKK dalam dokumen penawaran yang disusun sesuai dengan format (Pasal 14 ayat 6).
- Penyedia Jasa harus menerapkan analisis keselamatan pekerjaan untuk pekerjaan yang mempunyai tingkat risiko besar dan/atau sedang dan pekerjaan bersifat khusus sesuai dengan metode kerja Konstruksi yang terdapat dalam RKK (Pasal 17 ayat 1).

Tabel 2 Matriks Nilai Risiko K3 Konstruksi Mengacu Permen PUPR Nomor 10/2021

Tingkat resiko K3 konstruksi	Keparahan (akibat)					Keterangan
	1	2	3	4	5	
1	1	2	3	4	5	1-4 = resiko kecil
Kekerapan (frekuensi)	2	4	6	8	10	5-12 = resiko sedang
3	3	6	9	12	15	15-25 = resiko besar
4	4	8	12	16	20	
5	5	10	15	20	25	

Sumber: Kementerian PUPR, 2021

Kementerian PUPR turut mengadopsi tatacara penilaian resiko seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2 yang mempergunakan skala 5x5 untuk memetakan tingkat resiko dari kecil, sedang hingga besar.

Analisa Biaya Manfaat (*Cost Benefit Analysis*)

Analisis biaya/manfaat atau CBA merupakan salah satu teknik penilaian risiko yang membantu penggunaannya untuk memilih atau memutuskan opsi perlakuan mana yang perlu diambil untuk suatu risiko. Analisis biaya/manfaat akan mempertimbangkan tingkat efisiensi biaya dan tingkat manfaat yang dapat diperoleh dari setiap perlakuan yang tersedia. Semakin efisien biaya yang dikeluarkan dan semakin tinggi manfaat yang diperoleh dari sebuah perlakuan risiko, maka semakin besar kecenderungan perlakuan tersebut dipilih (Alijoyo, Wijaya, & Jacob, 2019).

Terdapat beberapa poin umum tentang *Cost Benefit Analysis* mengenai evaluasi pengendalian resiko sebagai berikut (*Health And Safety Executive, 2021*):

- Analisis ini sebaiknya tidak digunakan untuk membantah *best practice* yang sudah berjalan, kecuali jika dilakukan sebagai langkah alternatif ditunjukkan dengan hasil yang sama efektifnya;
- Kedalaman analisis harus sesuai dengan tujuannya, yaitu diperlukan lebih banyak ketelitian pada risiko yang lebih tinggi atau konsekuensi yang besar, misal banyak kematian;
- Analisis sensitivitas biasanya diperlukan untuk mendukung kesimpulan yang menunjukkan bahwa biaya tidak proporsional dengan manfaat penerapan tindakan.

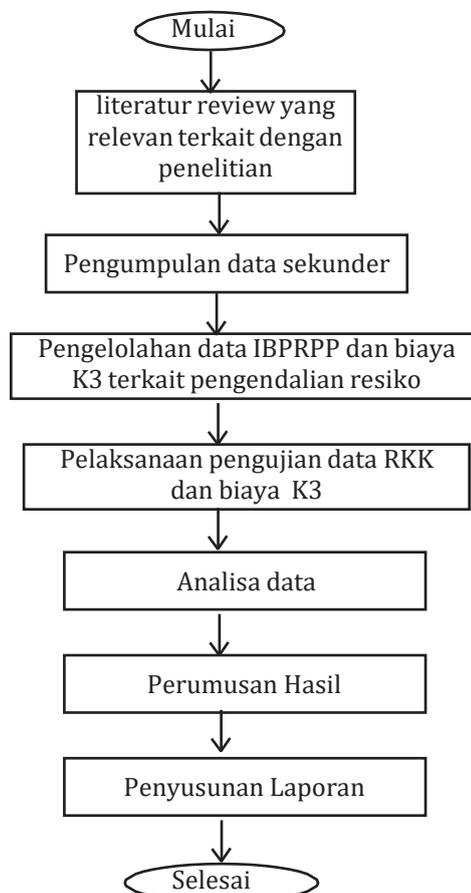
Berdasarkan literatur tersebut cara menghitung *Cost Benefit Ratio* sebagai bagian dari evaluasi pengendalian resiko adalah sebagai berikut :

$$CBR = \frac{Benefits}{Costs} > 1 \dots\dots\dots [1]$$

Apabila nilai hasil perhitungan lebih dari 1, maka rencana pengendalian resiko yang diusulkan untuk dibiayai dapat dianggap sebuah pengendalian yang masuk akal dan oleh karenanya dapat disetujui. Namun apabila nilai hasil perhitungan kurang dari 1, maka rencana pengendalian resiko yang diusulkan dianggap tidak relevan dan harus diperbaiki oleh penanggungjawab risiko.

METODE

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, maka Peneliti menyusun bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2 yang menggambarkan keseluruhan sistem (input-proses-output) dari awal sampai akhir.

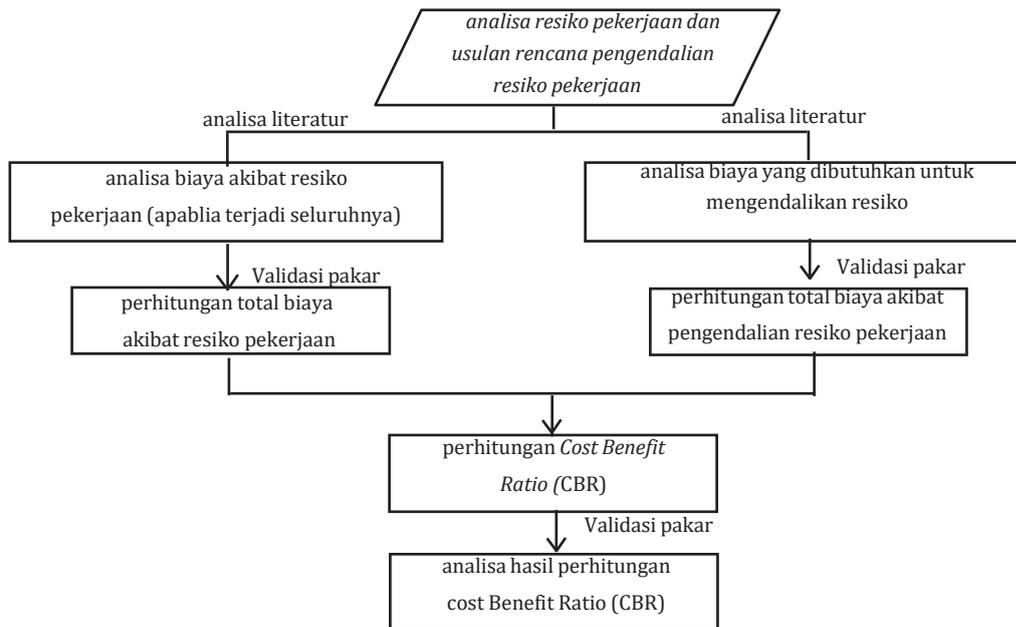


Sumber : Olahan Penulis, 2021

Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

Strategi Penelitian

Pada penelitian ini penulis mengusulkan strategi penelitian yang berpusat pada analisis literatur dan validasi pakar. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3 dimana seluruh variabel penelitian disusun dan divalidasi kepada para pakar terkait.



Sumber : Olahan Penulis, 2021

Gambar 3 Strategi Penelitian

Metode Analisis Data

Peneliti mengumpulkan data-data sekunder dan primer yaitu studi literatur berupa regulasi/aturan teknis serta kajian-kajian terdahulu yang terkait dengan penelitian untuk mendukung latar belakang dan rumusan masalah yang akan diangkat peneliti. Peneliti memperoleh data penelitian terkait dari Balai Pelaksanaan Pelelangan Jasa Konstruksi dan BPJS Ketenagakerjaan sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Matriks Uraian, Sumber Data dan Rencana Teknik Pengumpulan Data Terkait Penelitian

Uraian data	Jenis data	Sumber data	Teknik pengumpulan data
BoQ SMK3 penawaran	Sekunder	Balai Pengadaan Kementerian PUPR, Panitia lelang/Pokja	Survey dan strudi literatur
RKK Penawaran	Sekunder	Balai Pengadaan Kementerian PUPR, Panitia lelang/Pokja	Survey dan strudi literatur
Biaya klaim kecelakaan kerja	Primer	BPJS Ketenagakerjaan Kota Semarang	Survey, Wawancara dan studi literatur

Sumber: Olahan Penulis, 2021

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif analitik dengan pendekatan analisis risiko semikuantitatif serta perbandingan *cost* dari biaya yang diperlukan untuk mengurangi risiko keselamatan pada pekerjaan dengan *benefit* dari keuntungan langsung atau tidak langsung yang didapat karena risiko dapat berkurang.

Setelah melakukan rekapitulasi rencana pengendalian yang terkait bahaya yang telah diidentifikasi, Peneliti kemudian melakukan identifikasi nilai biaya yang terkait dengan rencana pengendalian tersebut dengan memilah data dari Rencana Anggaran Biaya SMKK yang masuk dalam dokumen penawaran penyedia jasa. Adapun biaya yang terpilih dalam rekapitulasi akan mewakili unsur *cost* atau biaya yang dianggap harus dikeluarkan oleh penyedia untuk melindungi pekerjaannya dari bahaya yang diidentifikasi.

Dari 7 (tujuh) unsur yang diwajibkan dalam Rencana Anggaran Biaya SMKK penawaran sesuai amanat PermenPUPR Nomor 10 Tahun 2021, Peneliti menyusun beberapa asumsi untuk membatasi lingkup biaya yang dihitung sebagai nilai *cost* tersebut. Asumsi/batasan tersebut antara lain :

a) Biaya pengendalian adalah biaya pengendalian yang murni terkait dengan keselamatan pekerja saja yaitu

- (1) biaya 1 set APD lengkap; (2) biaya set APK; dan (3) biaya iuran BPJS Ketenagakerjaan.
- b) Perhitungan biaya iuran BPJS Ketenagakerjaan mengacu ketentuan dalam Permenaker Nomor 5 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Jaminan Kecelakaan Kerja, Jaminan Kematian dan Jaminan Hari Tua (Kementerian Tenaga Kerja, 2021) pasal 71 ayat 1 yaitu Besaran Iuran Jaminan Kecelakaan Kerja pada Jasa Konstruksi adalah sebesar 1,74% dari besaran upah per bulan.
- c) Besaran upah per bulan mengacu pada Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 47 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Walikota Semarang Nomor 61 Tahun 2020 Tentang Standarisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Upah dan Analisa Pekerjaan Untuk Kegiatan Pembangunan Pemerintah Kota Semarang Tahun Anggaran 2021 dengan besaran nilai upah pekerja jasa konstruksi per hari Rp 105.000,00 (seratus lima ribu rupiah) dengan asumsi masa kerja per bulan 25 hari.

Data tersebut kemudian disusun dalam format rekapitulasi nilai biaya pengendalian resiko yang disusun Penulis untuk mempermudah perbandingan dengan nilai benefit atau manfaat pada tahapan selanjutnya. Format ini kemudian disampaikan kepada ahli terkait untuk memperoleh verifikasi dan validasi terkait bentuk dan konten dari format tersebut.

Maka analisa tersebut hanya akan dinilai menjadi 2 (dua) faktor saja yaitu :

- Nilai CBR > 1 maka rencana pengendalian resiko dianggap LAYAK,
- Nilai CBR < 1 maka rencana pengendalian resiko dianggap TIDAK LAYAK,

Mengingat rencana pengendalian resiko yang ada dalam format IBPRP dokumen RKK penawaran adalah kumpulan rencana pengendalian resiko lebih dari 1 (satu) aktivitas maka peneliti membuat asumsi untuk mempermudah penilaian sebagai berikut :

- Apabila seluruh aktivitas yang dipersyaratkan rincian pengendalian resikonya bernilai lebih dari 1 (satu), maka format IBPRP penawaran tersebut dianggap LAYAK;
- Apabila ada 1 (satu) aktivitas yang nilai rencana pengendalian resikonya kurang dari 1 (satu), maka format IBPRP penawaran tersebut dianggap LAYAK dengan catatan;
- Apabila lebih dari 1 (satu) aktivitas yang nilai rencana pengendalian resikonya kurang dari 1 (satu), maka format IBPRP penawaran tersebut dianggap TIDAK LAYAK.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peneliti menggali data sekunder berupa dokumen RKK penawaran beserta RAB SMKK yang ditawarkan dalam dokumen penawaran. Adapun data dokumen penawaran yang berhasil dihimpun dapat dilihat pada rekapitulasi yang tertuang di Tabel 4 berasal dari data LPSE ULP Kementerian PUPR tahun 2021 sebanyak 8 dokumen penawaran untuk 2 paket jasa konstruksi bangunan gedung (masing-masing paket 4 sampel penawaran).

Tabel 4 Rekapitulasi Data RKK Penawaran dan nilai biaya SMKK

No	Nama Proyek	Penyedia Jasa	Nilai Biaya SMKK (Rp)
1	Pembangunan Rusun Pegawai di kota X	PT.A	Rp 255.850.000,00
		PT.B	Rp 112.379.616,35
		PT.C	Rp 139.525.000,00
		PT.D	Rp 128.015.000,00
2	Pembangunan Rusun ASN di Kota Y	PT.E	Rp 424.710.000,00
		PT.F	Rp 625.339.950,00
		PT.G	Rp 101.380.000,00
		PT.H	Rp 595.530.000,00

Sumber: Olahan Penulis, 2021

Peneliti kemudian melakukan identifikasi nilai pembiayaan resiko yang tertuang dalam RAB SMKK masing-masing penawaran sesuai yang terlihat dalam petikan identifikasi pembiayaan pada Tabel 5. Peneliti hanya memasukkan nilai pembiayaan yang terkait langsung dengan rencana pengendalian yang dituangkan dalam dokumen RKK penawaran.

Hasil identifikasi tersebut dijadikan nilai cost atau nilai biaya dalam perhitungan analisa biaya manfaat yang akan dihitung pada tahapan selanjutnya.

Tabel 5 Contoh Petikan Identifikasi Nilai Pembiayaan

No	Uraian Aktivitas	PT E	Biaya
B Pekerjaan Drainase			
1	Galian untuk drainase keliling bangunan	Memasang rambu K3, Memakai perlengkapan APD, Melaksanakan pekerjaan sesuai prosedur	Perlengkapan APD = Rp 1.907.000,00 Rambu-rambu = Rp 3.000.000,00 BPJS Rp 45.675,00 Total Rp 4.952.675,00
2	Pasang batu dengan mortar	Memasang rambu K3, Memakai perlengkapan APD, Melaksanakan pekerjaan sesuai prosedur	Perlengkapan APD = Rp 1.907.000,00 Rambu - rambu = Rp 3.000.000,00 BPJS Rp 45.675,00 Total Rp 4.952.675,00

Sumber: Olahan Penulis, 2021

Peneliti kemudian melakukan rekapitulasi data biaya manfaat yang didapat dari wawancara biaya klaim pada BPJS Ketenagakerjaan untuk potensi resiko kematian dimana sesuai Permenaker Nomor 5 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Jaminan Kecelakaan Kerja, Jaminan Kematian dan Jaminan Hari.

Tua (Kementerian Tenaga Kerja, 2021) besaran santunan kematian pekerja adalah sebesar :

- Santunan kematian 48 (empat puluh delapan) kali upah bulanan;
- Santunan pemakaman sebesar 10 (sepuluh) juta rupiah; dan
- Santunan berkala sebesar 12 (dua belas) juta rupiah.

Dengan demikian, nilai total besaran klaim pada resiko kematian pekerja adalah sebesar Rp 148.000.000,00 (seratus empat puluh delapan juta rupiah).

Peneliti kemudian melakukan perbandingan antara nilai *cost* dan nilai *benefit* sebagaimana landasan teori yang telah disebutkan sebelumnya dan dapat dilihat dalam petikan rekapitulasi perbandingan nilai biaya manfaat pada Tabel 6 dimana peneliti mengaitkan langsung kedua komponen tersebut untuk dicari ratio biaya manfaatnya.

Tabel 6 Contoh Petikan Rekapitulasi Perhitungan Nilai Biaya Manfaat

No	Uraian Aktivitas	PT E		
		Biaya (Cost yang Dikeluarkan Untuk Pengendalian)	Biaya (Nilai Manfaat/ Klaim Asuransi)	Cost/ Benefit Ratio
A Pekerjaan Utama				
1	Mobilisasi	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Manajemen dan keselamatan lalu lintas	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88

No	Uraian Aktivitas	PTE		
		Biaya (Cost yang Dikeluarkan Untuk Pengendalian)	Biaya (Nilai Manfaat/ Klaim Asuransi)	Cost/Benefit Ratio
3	Pengeboran termasuk SPT dan laporan	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
4	Sondir termasuk laporan	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
5	Manajemen mutu	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
B Pekerjaan Drainase				
1	Galian untuk drainase keliling bangunan	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Pasang batu dengan mortar	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
C Pekerjaan Tanah				
1	Galian tanah	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Galian struktur dengan kedalaman 0-2 meter	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
3	Galian struktur dengan kedalaman 2-4 meter	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
4	Tertimbun biasa dari sumber galian	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
5	Pembuangan tanah ex. Galian	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
D Pekerjaan perkerasan				
1	Pemasangan Paving block	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
E Pekerjaan Struktur				
1	Pekerjaan bekisting	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Pekerjaan perancah	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
3	Pekerjaan pembesian	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
4	Pekerjaan beton dan lantai kerja	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
F Pekerjaan Arsitektur				
1	Pekerjaan lantai	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Pekerjaan <i>waterproofing liquid/cement base</i>	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
3	Pekerjaan <i>waterproofing membrane</i>	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
4	Pekerjaan dinding	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
5	Pekerjaan plesteran	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
6	Pekerjaan acian	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
7	Pekerjaan kusen	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
8	Pekerjaan atap	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
9	Pekerjaan cat	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
10	Pekerjaan railing tangga	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
11	Pekerjaan GRC	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
12	Pekerjaan pemasangan logo <i>stainless steel</i>	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
G Pekerjaan Mekanik				
1	Pekerjaan utilitas	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Pekerjaan pemipaan	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
3	Pekerjaan talang air hujan	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88

No	Uraian Aktivitas	PTE		
		Biaya (Cost yang Dikeluarkan Untuk Pengendalian)	Biaya (Nilai Manfaat/ Klaim Asuransi)	Cost/Benefit Ratio
4	Pekerjaan test dan commisioning	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
H Pekerjaan Elektrikal				
1	Pekerjaan instalasi listrik	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
2	Pekerjaan kabel tray	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88
3	Pekerjaan penangkal petir	Rp 4.952.675,00	Rp 148.000.000,00	29,88

Sumber: Olahan Penulis, 2021

Dari Tabel 6 tersebut didapatkan hasil bahwa seluruh rencana pengendalian yang tertuang dalam form RKK penawaran yang dijadikan sampel penelitian dinyatakan LAYAK apabila dikaitkan dengan resiko kematian pekerja. Adapun nilai benefit yang dituangkan dalam perhitungan adalah nilai total dari 3 (tiga) jenis santunan yang akan didapatkan oleh ahli waris apabila pekerja pemilik jaminan kecelakaan kerja mengalami resiko kematian.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang didapatkan oleh peneliti, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat ditarik untuk menjelaskan hasil yang sudah dijabarkan pada bagian sebelumnya sebagai berikut:

- Seluruh hasil perhitungan nilai biaya manfaat dinyatakan LAYAK karena seluruh penawar (dari data sampel) memasukkan unsur pembiayaan asuransi dalam hal ini menggunakan standar pembiayaan asuransi BPJS Ketenagakerjaan.
- Walaupun nilai iuran BPJS Ketenagakerjaan cenderung kecil secara nominal yaitu berkisar sejumlah Rp 45.625,00 (empat puluh lima ribu enam ratus dua puluh lima rupiah) per pekerja, nilai pertanggungan atau benefit yang didapatkan cukup besar yaitu total Rp 148.000.000,00 (seratus empat puluh delapan juta rupiah) per pekerja atau per pemilik Jaminan Kecelakaan Kerja. Jumlah nilai pertanggungan tersebut adalah sebesar 324.383,56% dari nilai iuran yang wajib disetorkan per pekerjanya.
- Nilai rasio biaya manfaat dalam penelitian ini pada dasarnya bisa berubah apabila variabel resiko lain turut dimasukkan kedalam penelitian ini, seperti resiko penggantian pekerja baru akibat kematian pekerja, resiko pelaksanaan training/pelatihan bagi pekerja baru, resiko penundaan pekerjaan yang muncul akibat kecelakaan kerja, dan resiko reputasi perusahaan yang turun apabila kasus kecelakaan kerja terekspos ke media massa. Hal ini tentunya memberikan peluang untuk dilakukannya penelitian lanjutan yang lebih detail dan komprehensif agar hasil yang didapatkan memberikan manfaat dalam skala yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan peneliti menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Politeknik Pekerjaan Umum yang telah mendanai pelaksanaan penelitian ini;
2. Direktur Politeknik Pekerjaan Umum Bpk Prof. Ir. Indratmo Soekatno, M.Sc Phd selaku Direktur Politeknik Pekerjaan Umum yang telah memberikan arahan dan panduan selama pelaksanaan penelitian;
3. Rekan-rekan dosen dan mahasiswa anggota penelitian yang telah bersama-sama melaksanakan penelitian ini dari awal sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. (2019). *Cost/Benefit Analysis*. Bandung: CRMS Indonesia.
- BCI Asia. (2021, April 06). <https://www.constructionplusasia.com/id/>. Retrieved from <https://www.constructionplusasia.com:https://www.constructionplusasia.com/id/keselamatan-konstruksi-dampak-pandemi/>
- Health And Safety Executive. (2021, January). <https://www.hse.gov.uk/managing/theory>. Retrieved February 13, 2021, from [https://www.hse.gov.uk: https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarpcheck.htm](https://www.hse.gov.uk:https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarpcheck.htm)
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 10 tahun 2021 Tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian PUPR. (2020). Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 22 Tahun 2020. *Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 22 Tahun 2020 Tentang Persyaratan Pemilihan dan Evaluasi Dokumen Penawaran Pengadaan Jasa Konstruksi*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Kementerian Tenaga Kerja. (2021). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor 5 Tahun 2021 Tentang Tatacara Penyelenggaraan Jaminan Kecelakaan Kerja, Jaminan Kematian dan Jaminan Hari Tua*. Jakarta: Kementerian Tenaga Kerja.
- OHSAS Project Group . (1999). *OHSAS 18001, Occupational Health and Safety Assessment Series*. London: British Standard Institutes.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide To Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guide) Sixth Edition*. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide To The Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) Sixth Edition*. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Szymberski, R. (1997). Construction project safety planning. 80(11), 69-74.



PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL JAYAPURA SEBAGAI FILLER TERHADAP NILAI VOLUMETRIK CAMPURAN HRS-BASE UNTUK Mendukung Sustainable Development Goals (SDGs)

Utilization of Jayapura Local Material as Filler Towards Volumetric of HRS-Base Mixture to Support Sustainable Development Goals (SDGs)

Franky E. P. Lopian¹

¹Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Merauke, Jalan RE. Martadinata Kompleks Bina Marga Merauke
Korespondensi: lapianedwin@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini, pemanfaatan material lokal terus digalakkan oleh Pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR. Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan suatu rencana aksi global yang disepakati oleh para pemimpin dunia, termasuk Indonesia, guna mengakhiri kemiskinan, mengurangi kesenjangan dan melindungi lingkungan dengan industri dan inovasi (membangun infrastruktur yang tangguh, mendukung industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan serta membantu perkembangan inovasi). Salah satu daerah yang memiliki batuan kapur dalam jumlah yang besar adalah pada sebagian wilayah di Jayapura, seperti Desa Besum. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik volumetrik campuran HRS-Base yang menggunakan batuan kapur Jayapura sebagai bahan pengisi (filler). Karakteristik volumetrik yang dimaksud adalah Void in Mix (VIM), Void Mineral Aggregate (VMA) dan Void Filled Bitumen (VFB). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium. Karakteristik volumetrik dihitung berdasarkan aturan SNI 06-2489-1991. Kadar aspal yang digunakan adalah 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapur terbukti bisa menggantikan semen sebagai bahan tambah (filler) pada campuran aspal panas. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis penggunaan material lokal, khususnya di Papua yang selanjutnya diharapkan mampu meningkatkan penerapan pembangunan yang berwawasan lingkungan dan dapat mengurangi biaya (cost) dibandingkan bila material harus didatangkan dari Sulawesi.

Kata kunci: Material lokal Jayapura, Filler, HRS-Base, Volumetrik, SDGs

ABSTRACT

Currently, the use of local materials continued to be encouraged by the Government of Indonesia through the Directorate General of Highways, Ministry of Public Works and Housing. The Sustainable Development Goals (SDGs) are a global action plan agreed by world leaders, including Indonesia, to end poverty, to reduce inequality and to protect the environment with industry and innovation (building resilient infrastructure, supporting inclusive and sustainable industrialization and assisting the development of innovation). One area that has a large amount of limestone is in some areas of Jayapura, such as Besum Village. This study aims to analyze the volumetric characteristics of the HRS-Base mixture using Jayapura limestone as a filler. The volumetric characteristics in question are Void in Mix (VIM), Void Mineral Aggregate (VMA) and Void Filled Bitumen (VFB). The method used in this research is experimental in the laboratory. Volumetric characteristics are calculated based on SNI 06-2489-1991. The asphalt content used was 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% and 7.0%. The results showed that lime proved to be able to replace cement as an added material (filler) in hot asphalt mixtures. The results of this study can be used to support the development of national infrastructure based on the use of local materials, especially in Papua, which in turn was expected to increase the implementation of environmentally sound development and reduced costs compared to materials imported from Sulawesi.

Keywords: Jayapura local material, Filler, HRS-Base, Volumetric, SDGs

PENDAHULUAN

Ketersediaan infrastruktur jalan yang baik dan berkualitas merupakan hal utama dalam pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Provinsi Papua yang belum memiliki jaringan jalan yang menghubungkan antar kota dan distrik, membutuhkan jaringan jalan yang menghubungkan antar kota dan distrik. Jaringan jalan yang terhubung secara luas, akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi, sehingga volume lalu lintas dan beban lalu lintas juga akan meningkat. Oleh sebab itu, kualitas jalan yang dibangun harus mampu melayani peningkatan lalu lintas dan struktur lapis keras jalan harus didesain dengan baik dengan metode konstruksi yang benar secara teknis dan ekonomi. Lapis keras jalan membutuhkan pondasi dengan kinerja yang baik dan mampu mendukung lapis aus yang berada di atasnya. Lapis pondasi jalan, baik lapis pondasi atas (*base*) dan lapis pondasi bawah (*sub-bases*) dapat menggunakan tanah dan material granular.

Secara teknis lapis keras (*pavement*) didefinisikan sebagai semua permukaan yang diperkeras yang mampu memikul beban kendaraan (Lapian F.E.P., et al. 2021). Lapis keras jalan umumnya didesain dengan menggunakan pendekatan berdasarkan sejarah data kinerja dan "resep" spesifikasi. Pendekatan ini memiliki keterbatasan, khususnya karena teknologi material yang semakin berkembang dan prosedur desain yang ketat. Pendekatan ini juga menjadi hambatan utama pada penggunaan material daur ulang (*recycling*) dan material sekunder (Lapian F.E.P., et al. 2020).

Kabupaten Jayapura salah satu daerah di Papua yang mempunyai sumber material yang sangat melimpah namun dalam pengolahan secara mekanis di *stone crusher* setelah kami amati ada permasalahan yang terjadi dimana agregat halus (*filler*) sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal panas khususnya HRS tidak mencukupi jumlah minimum yang dipersyaratkan dalam spesifikasi sehingga harus ditambahkan dengan semen Portland.

Dengan permasalahan di atas peneliti ingin menindak lanjuti bagaimana jika kekurangan atau ketimpangan tersebut diganti dengan kapur lokal guna memanfaatkan material lokal, dalam hal ini diperlukan penelitian yang bersifat inovatif dan aplikatif agar hasil penelitian benar-benar dapat bermanfaat untuk mengatasi masalah yang ada. Paling tidak bisa memperkecil *cost* dibandingkan bila harus didatangkan dari luar Manokwari apalagi penggunaan semen portland. Batu karang (kapur) secara geologis disebut batu domato (batu lunak) yang merupakan batuan sedimen kimiawi yang terbentuk dari bahan-bahan organik (Tumpu M., et al. 2020 (a)). Kelompok batu karang terbagi atas kelompok Detrital, yaitu diklasifikasikan oleh ukuran butir seperti konglomerat, batu pasir, batu lanau dan serpih, terbagi atas batuan *arenaceous* yang lebih dominan pasir dan batuan *argillaceous* lebih dominan lempungan dan kelompok non-detrital, yaitu batuan sedimen kimiawi (antara lain garam batuan) terkomposisi oleh sebagian besar endapan-endapan dari pelarutan, serta biasanya memiliki tekstur kristalin (Kurniadji, 2006; Li et al., 1999; Tayfur et al., 2005; Walubita et al., 2000). Sebagian besar wilayah Papua dan Papua Barat adalah daerah karts/daerah kapur sehingga ketersediaannya sangat melimpah dan hampir terdapat di setiap daerah. Penggunaan yang umum oleh masyarakat adalah di Provinsi Papua adalah untuk batu bata yang dicetak menjadi batako, material timbunan dan pembangunan jalan. Secara khusus pada pembangunan jalan, material batu kapur banyak digunakan sebagai timbunan pilihan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik volumetrik campuran *HRS-Base* yang menggunakan batu kapur Jayapura sebagai bahan pengisi (*filler*). Karakteristik volumetrik yang dimaksud adalah *Void in Mix* (VIM), *Void Mineral Aggregate* (VMA) dan *Void Filled Bitumen* (VFB) (Tumpu M., et al. 2020 (b)).

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Karakteristik Fisik Agregat

Tabel 1 sampai dengan 3 masing-masing memperlihatkan karakteristik agregat halus (abu batu), karakteristik agregat kasar dan karakteristik *filler* dari batu kapur yang telah dilakukan.

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Pemeriksaan	Hasil Uji
1	Penyerapan Air (%)	2,87
	Berat Jenis Bulk	2,48
2	Berat Jenis SSD	2,56
	Berat Jenis Semu	2,66
3	Sand Equivalent (%)	90,63

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

No	Pemeriksaan	Hasil Uji
1	Penyerapan air (%)	
	Batu pecah 5 - 10 mm	2,26
	Batu pecah 1 - 2 cm	2,28
2	Berat Jenis	
	Batu pecah 0,5 - 1 cm	
	Berat Jenis Bulk	2,67
	Berat Jenis SSD	2,69
	Berat Jenis Semu	2,80
	Batu Pecah 1 - 2 cm	
	Berat Jenis Bulk	2,67
Berat Jenis SSD	2,69	
3	Berat Jenis Semu	2,80
	Indeks Kepipihan (%)	
	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	22,10
4	Batu pecah 1 - 2 cm	11,38
	Keausan Agregat (%)	
	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	20,92
	Batu Pecah 1 - 2 cm	18,56

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler dari Batu Kapur

No	Pemeriksaan	Hasil Uji
1	Penyerapan Air	2,48
2	Berat Jenis Bulk	2,64
	Berat Jenis SSD	2,70
	Berat Jenis Semu	2,79
3	Sand Equivalent	79,59

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah), abu batu, serta *filler* yang ditampilkan terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Tahun 2018 Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

Karakteristik Fisik Aspal Minyak Penetrasi 60/70

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian Aspal minyak yang telah dilakukan. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak penetrasi 60/70 yang ditampilkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2018.

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Hasil
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (mm)	77,3
2	Titik Lembek (°C)	56
3	Daktalitas pada 25°C, 5cm/menit (cm)	119
4	Titik nyala (°C)	310
5	Berat jenis	1,14
6	Penurunan berat (%)	0,2
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (mm)	89

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan bekerja sama dengan Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Abepura Jayapura. Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan, yaitu September – November 2021.

Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar diambil dari lokasi quarry agregat kasar lokal yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua.
2. Material agregat halus merupakan pasir lokal yaitu pasir dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua.
3. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan. Langkah selanjutnya adalah pengujian karakteristik fisik bahan berupa agregat dan aspal. Setelah bahan memenuhi syarat spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga dilanjutkan dengan pembuatan sampel (briket). Gradasi *HRS-Base* merupakan gradasi yang digunakan dalam penelitian ini dimana menggunakan agregat lokal dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua dengan bahan pengikat berupa aspal minyak penetrasi 60/70. Tahap selanjutnya adalah dilakukan pengujian karakteristik Marshall yang terdiri dari karakteristik volumetrik (VIM, VMA dan VFB. Variasi kadar aspal yang digunakan berdasarkan penentuan kadar aspal efektif yaitu sebesar 6,12%. Kadar aspal yang digunakan yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0%.

Karakteristik Volumetrik Campuran Beraspal

Berdasarkan Spesifikasi 2018 yang dimaksud dengan volumetrik campuran beraspal adalah VIM, VMA dan VFB.

Void in Mix (VIM)

Nilai VIM dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya persentase agregat kasar, *filler* maupun persentase

bitumen dalam campuran. Analisa rumus VIM adalah :

$$VIM (\%) = V - \left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} + \frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \dots\dots\dots(1)$$

- AR = Kadar residu dalam campuran (%)
- G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)
- L = Berat benda uji setelah oven (gr)
- KA = Kadar air (%)

Void in Mineral Aggregate (VMA)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tayfur (2007), dikatakan bahwa rongga di antara mineral agregat (VMA) merupakan parameter yang menentukan dalam campuran aspal. Semakin kecil nilai VIM, maka semakin kaku campuran campuran aspal.

$$VMA (\%) = 100 - \left(\frac{cmb}{csb} + \frac{100}{100 + Ps} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Void Filled Bitumen (VFB)

Kadar aspal dan tebal film aspal secara volumetrik dapat dinyatakan dalam besaran volume aspal dalam campuran (VFB). Campuran dengan volume aspal yang tinggi mempunyai keawetan yang tinggi pula. Dengan demikian untuk mendapatkan campuran yang awet perlu disyaratkan VFB minimum tertentu yang harus dipenuhi. VFB adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus VFB adalah :

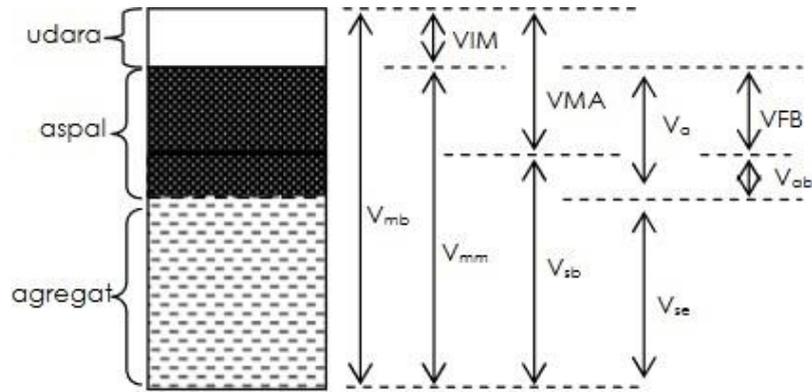
$$VFB = 100 (VMA - VIM) / VMA \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

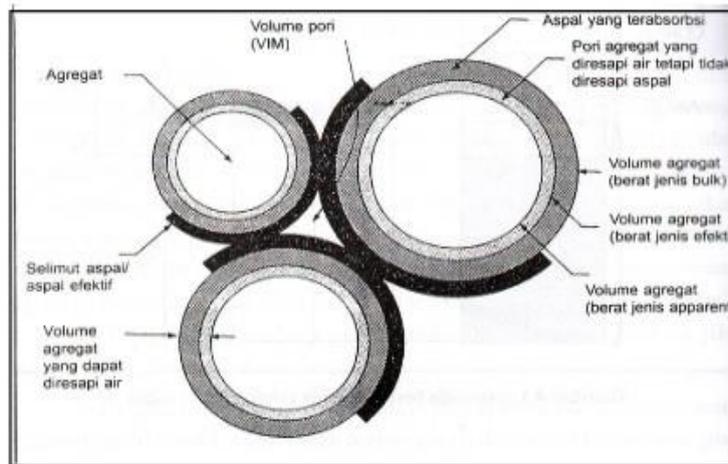
- VFB = Rongga terisi aspal, persen VMA
- VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk
- VIM = Rongga di dalam campuran, persen total campuran

Pengaruh utama VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. Dengan demikian, kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diizinkan yang memenuhi kriteria VMA minimum. Campuran rencana untuk lalu lintas rendah tidak akan memenuhi kriteria VFB bila kadar rongga relatif tinggi, walaupun rentang kadar rongga terpenuhi. Penyesuaian ini bertujuan mencegah berkurangnya keawetan campuran pada lalu lintas ringan.

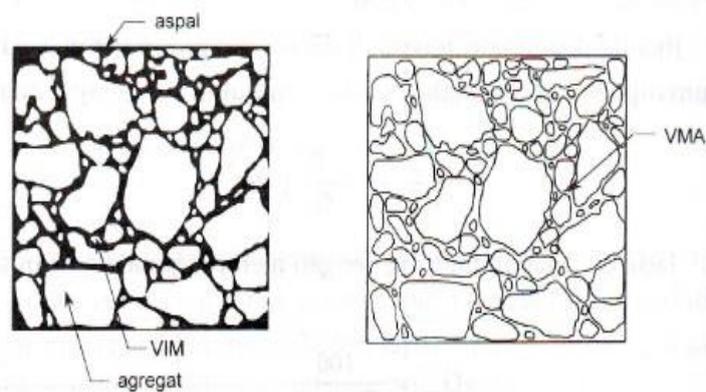
Gambar 1, 2, dan 3 masing-masing memperlihatkan skematis rongga pada campuran aspal, ilustrasi tentang pengertian VIM, selimut aspal dan aspal trabsorbsi dan ilustrasi pengertian VMA dan VIM, serta campuran beton aspal padat.



Gambar 1 Skematis Rongga pada Campuran Aspal



Gambar 2 Ilustrasi Tentang Pengertian VIM, Selimut Aspal dan Aspal Trabsorbsi (Sukirman S., 2007)

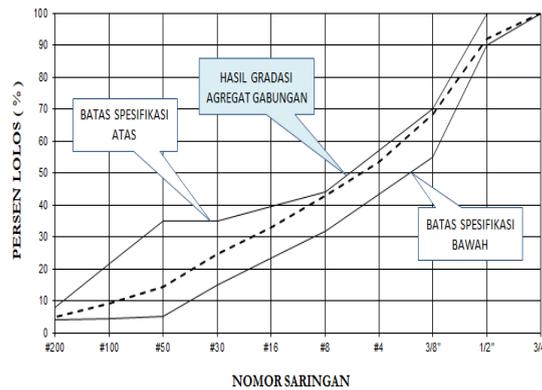


Gambar 3 Ilustrasi Pengertian VMA dan VIM, Campuran Beton Aspal Padat (Sukirman S., 2007)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gradasi Agregat Gabungan HRS-Base

Gambar 4 memperlihatkan bahwa rancangan agregat gabungan atau gradasi agregat gabungan yang dibuat telah berada dalam interval spesifikasi standar sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga Tahun 2018 dan telah memenuhi persyaratan untuk lapis permukaan sehingga dapat diperoleh rancangan campuran atau *mix design* yang optimal.



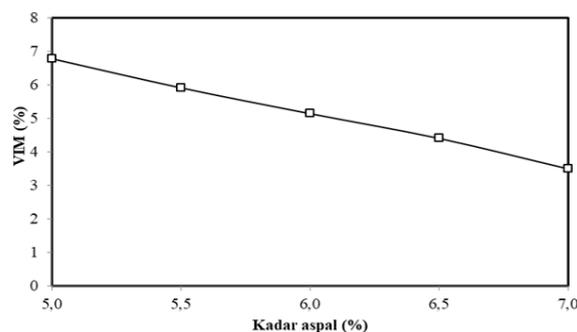
Gambar 4 Gradasi Agregat Gabungan

Volumetrik Campuran HRS-Base

Hasil pengujian karakteristik volumetrik campuran *HRS-Base* yang menggunakan *filler* batu kapur Jayapura sebagai *filler* terdiri dari VIM, VMA dan VFB.

Void in Mix (VIM)

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VIM (rongga dalam campuran). Parameter ini sangat penting untuk dianalisis pada campuran *HRS-Base* yang menggunakan *filler* batu kapur.

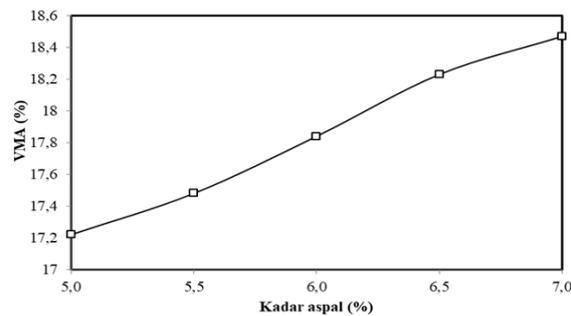


Gambar 5 Hubungan Antara Kadar Aspal Minyak dengan Nilai VIM

Persyaratan nilai VIM berdasarkan Spesifikasi Umum Tahun 2018 adalah 3%-5%. Nilai VIM yang didapatkan pada campuran *HRS-Base* yang menggunakan *filler* batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 6,78%, 5,91, 4,40% dan 3,49%. Terlihat bahwa kadar aspal minyak yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan adalah sebesar 6,5% dan 7,0% untuk campuran yang menggunakan *filler* batu kapur.

Void in Mineral Aggregate (VMA)

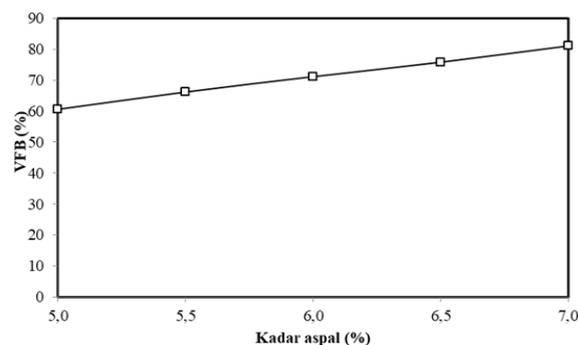
Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VMA. Persyaratan nilai VMA berdasarkan Spesifikasi Umum Tahun 2018 adalah minimal 15%. Nilai VMA yang didapatkan pada campuran *HRS-Base* yang menggunakan *filler* batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 17,22%, 17,48%, 17,84%, 18,23%, dan 18,47%. Terlihat bahwa seluruh kadar aspal minyak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk campuran *HRS-Base*.



Gambar 6 Hubungan Antara Kadar Aspal Minyak dengan Nilai VMA

Void Filled Bitumen (VFB)

Gambar 7 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VFB. Persyaratan nilai VFB berdasarkan Spesifikasi Umum Tahun 2018 adalah minimal 65%. Nilai VFB yang didapatkan pada campuran *HRS-Base* yang menggunakan *filler* batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 60,63%, 66,23%, 71,19%, 75,87%, dan 81,12%. Terlihat bahwa kadar aspal minyak yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan adalah sebesar 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% untuk campuran yang menggunakan *filler* semen dan *filler* batu kapur.



Gambar 7 Hubungan Antara Kadar Aspal Minyak dengan Nilai VFB

Berdasarkan hasil pengujian VIM, VMA, dan VFB terlihat bahwa batu kapur Jayapura dapat digunakan sebagai *filler* pada campuran *HRS-Base* menggantikan *filler* semen yang selama ini digunakan pada proyek-proyek jalan di Jayapura. Hasil volumetrik yang didapatkan menyerupai dengan hasil volumetrik yang menggunakan semen sebagai *filler*. Hal ini karena semen merupakan bahan pengikat hidrolis yang mengandung C2S, C3A dan C4AF. Setelah tercampur dengan air, senyawa-senyawa tersebut akan mengalami oksidasi dan membentuk sebuah massa yang padat ($C_3H_3C_3CaOSiO_2H_2O$). Senyawa tersebut bereaksi secara eksotermik dan mengeluarkan panas hidrasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan campuran aspal panas jenis *Hot Rolled Sheet Base (HRS Base)* dengan bahan tambah (*filler*) kapur, maka disimpulkan bahwa :

- a. Nilai persentase kadar rongga (VIM) campuran dengan bahan tambah (*filler*) adalah sebesar 4,8% dan nilai persentase untuk campuran dengan bahan tambah (*filler*) kapur adalah sebesar 4,6%. Dengan hasil tersebut, maka terjadi penurunan persentase rongga udara yang akan berpengaruh terhadap berkurangnya resapan air ke dalam lapis perkerasan aspal, sehingga perkerasan aspal tersebut lebih kedap air serta melindungi perkerasan struktur yang ada dibawahnya menjadi lebih awet, namun masih memenuhi batasan nilai persentase rongga udara (VIM) yang disyaratkan, yaitu antara 4,0% sampai dengan 6,0%.
- b. Nilai persentase rongga campuran terisi aspal dengan bahan tambah (*filler*) semen adalah 72,5%, sedangkan nilai campuran dengan bahan tambah (*filler*) kapur adalah 73,0%. Dengan demikian, hasil tersebut memperlihatkan kenaikan yang berakibat bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran, namun masih memenuhi persyaratan minimum 68,0%.
- c. Dari semua uraian hasil propertis tersebut di atas disimpulkan bahwa kapur terbukti bisa menggantikan semen sebagai bahan tambah (*filler*) pada campuran aspal panas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada Kepala Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Abepura Jayapura yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Tak lupa juga disampaikan kepada Saudara Dr. Miswar Tumpu atas bantuan, masukan serta koreksi terhadap hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Kurniadji. (2006). *"Asbuton (Aspal Buton) sebagai Bahan Perkerasan Jalan"*. Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Lapian FEP, Ramli MI, Pasra M., and Arsyad A. 2020. *Opportunity Applying Response Surface Methodology (RSM) For Optimization Of Performing Butonic Asphalt Mixture Using Plastic Waste Modifier: A Preliminary Study*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 419 (2020) 012032.
- Lapian FEP, Ramli MI, Pasra M., and Arsyad A. 2021. *The Performance Modeling of Modified Asbuton and Polyethylene Terephthalate (PET) Mixture Using Response Surface Methodology (RSM)*. Appl. Sci. 2021, 11, 6144. <https://doi.org/10.3390/app11136144>.
- Li G., Yongqi Y., Metcalf J. B., Su-Seng P. (1999). *Elastic Modulus Prediction Of Asphalt Concrete*. Journal Of Material In Civil Engineering, PP. 236 - 241.
- Spesifikasi Umum Bina Marga. (2018). Direktorat Jendral Bina marga.
- Standar Nasional Indonesia. (SNI 06-2489-1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Indonesia : Standar Nasional Indonesia.
- Sukirman, Silvia, 2007. *Beton Aspal campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia: Jakarta.
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. *Investigation Of Rutting Performance Of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers*. Science Direct, Construction and Building Materials, PP. 328 -337.
- Tumpu M. Tjaronge MW and Djamaluddin AR 2020b. *Prediction Of Long-Term Volumetric Parameters Of Asphalt Concrete Binder Course Mixture Using Artificial Aging Test*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 419 (2020) 012058.
- Tumpu M. Tjaronge MW. Djamaluddin AR. Amiruddin AA and La One. 2020a. *Effect Of Limestone And Buton Granular Asphalt (BGA) On Density Of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Mixture*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 419 (2020) 012029.
- Walubita, Lubinda F., Ven, Martin F C Van De, (2000). *Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements*.

PERANCANGAN SISTEM INFORMASI PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIK UNTUK MEMPEROLEH POTENSI ENERGI ALTERNATIF BRIKET DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR INFRASTRUKTUR

Design of Organic Waste Treatment Information System to Obtain the Potential of Alternative Energy of Biomass Briquette in Supplies the Needs for Fuel Infrastructure

N. Tri Suswanto Saptadi¹

¹Informatika, Universitas Atma Jaya Makassar, Jalan Tanjung Alang No 23 Makassar

ABSTRAK

Ketersediaan energi alternatif terbarukan sangat diperlukan dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, industri dan pembangunan infrastruktur. Bau asap yang berasal dari pengolahan aspal untuk bahan pembangunan proyek jalan di dalam kota telah membuat resah masyarakat. Dibutuhkan energi alternatif briket biomassa yang memiliki karakter rendah polusi dalam mereduksi bau asap yang dihasilkan dan memenuhi kebutuhan bahan bakar. Untuk menghasilkan produk briket biomassa, diperlukan upaya dalam memanfaatkan dan mengolah sampah organik sebagai potensi energi yang menjadi bahan bakar. Sistem informasi berperan dalam mengumpulkan sumber sampah organik yang berasal dari masyarakat dan limbah hasil pengolahan industri. Penelitian bertujuan untuk merancang suatu sistem informasi yang mampu mengorganisasi sumber sampah sebagai bahan baku dalam pengolahan briket biomassa. Metode perancangan menggunakan pendekatan model waterfall yang memiliki kemampuan dalam membangun sistem informasi dan mengolah sumber sampah di kota. Hasil perancangan sistem informasi akan memberikan gambaran dalam pengolahan sampah organik dari kecamatan sebagai bahan baku pembuatan briket biomassa untuk mendukung infrastruktur.

Kata kunci: Sampah Organik, Sistem Informasi, Potensi Energi, Briket Biomassa, Infrastruktur

ABSTRACT

The availability of renewable alternative energy is very much needed in meeting the need for household fuel, industrial and infrastructure development. The smell of smoke that comes from processing asphalt for building road projects in the city has made people uneasy. Alternative energy is needed for biomass briquettes that have characteristic of low in pollution to reduce the smell of smoke produced and to fulfill fuel needs. To produce biomass briquette products, efforts are needed to utilize and to process organic waste as potential energy into fuel. The information system plays a role in collecting organic waste sources from the community and industrial processing waste. The aim of this research is to design an information system capable of organizing waste sources as raw materials for processing biomass briquettes. The design method uses a waterfall model approach that has the ability to build information systems and process waste sources in the city. The results of the information system design will provide an overview of the processing of organic waste from sub- \ districts as raw material for making biomass briquettes to support infrastructure.

Keywords: Organic Waste, Information Systems, Potential Energy, Biomass Briquettes, infrastructure

PENDAHULUAN

Kota sebagai tempat tinggal yang dihuni oleh manusia dan makhluk hidup lain kini telah diisi oleh berbagai sarana dan prasarana infrastruktur sipil yang modern. Hal ini merupakan dinamika dan ciri dari penerapan konsep *smart city* [1] yang dilengkapi oleh berbagai fasilitas teknologi berbasis *artificial intelligence*, *IoT*, *big data*, dan *cloud computing* [2]. Untuk menjaga stabilitas dan dinamika kehidupan di kota besar dibutuhkan ketersediaan energi yang sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia [3]. Ketersediaan energi alternatif terbarukan sangat diperlukan dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, industri dan pembangunan infrastruktur. Timbulnya bau asap yang berasal dari pengolahan aspal sebagai bahan pembangunan proyek jalan dan asap yang dihasilkan di dalam kota atau proses produksi di pabrik telah membuat resah dan mengganggu kesehatan lingkungan di tengah kehidupan masyarakat.

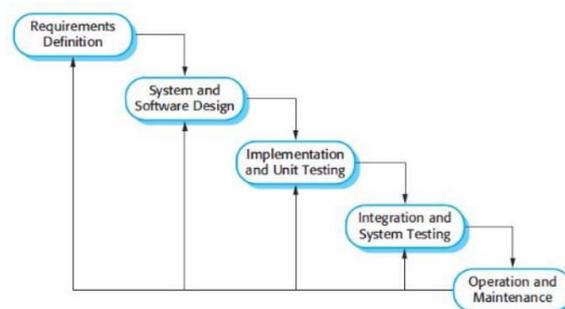
Pengelolaan limbah menghasilkan energi hijau berupa biogas relatif lebih murah daripada menggunakan BBM yang berasal dari fosil sehingga menjadikan lingkungan bersih bebas limbah dan bonus pupuk organik untuk menyuburkan tanah. Teknologi tersebut menghasilkan sumber energi *renewable* (dapat diperbaharui) sehingga akan dapat menyediakan *sustainable* (berkesinambungan) [4]. Alternatif pengelolaan sampah mempunyai potensi yang besar sebagai sumber energi pengganti BBM yang sudah mulai terbatas sehingga diperlukan upaya pengolahan sampah organik menjadi briket biomassa. Teknologi ini mempunyai potensi besar energi alternatif untuk mengkonversi limbah biomassa menjadi bahan bakar rumah tangga ataupun industri yang efisien dan ramah lingkungan [5].

Proses produksi briket biomassa menghadirkan pemanfaatan biomassa yang efisien sebagai sumber energi dan bahan bakar [6]. Proses pembuatan briket didasarkan pada densifikasi biomassa lepas yang tersedia sebagai residu pertanian, sampah kota, dan kertas [7].

Dibutuhkan energi alternatif briket biomassa yang memiliki karakter dan rendah polusi dalam mereduksi bau asap yang dihasilkan dan memenuhi bahan bakar infrastruktur. Untuk dapat menghasilkan produk briket biomassa berkualitas diperlukan upaya memanfaatkan dan mengolah sampah organik sebagai potensi energi yang menjadi bahan bakar infrastruktur yang memenuhi kebutuhan pembangunan. Sistem informasi berperan untuk mengumpulkan sumber sampah organik yang berasal dari masyarakat dan limbah hasil pengolahan industri. Penelitian bertujuan untuk merancang sistem informasi yang mampu mengorganisir sumber sampah sebagai bahan baku dalam pengolahan briket biomassa. Pendekatan yang digunakan mengembangkan sistem informasi [8].

METODE

Metode penelitian menggunakan model air terjun (*waterfall*) dengan tahapan [9].



Gambar 1 Tahapan *Waterfall*

Tahapan utama model *waterfall* secara langsung mencerminkan perkembangan mendasar dari aktifitas, yaitu:

1. *Requirements Definision*. Layanan sistem, kendala, dan tujuan ditetapkan melalui konsultasi dengan pengguna sistem yang kemudian didefinisikan secara rinci dan berfungsi sebagai spesifikasi sistem.
2. *System and Software Design*. Proses desain sistem mengalokasikan persyaratan ke sistem perangkat keras atau perangkat lunak dengan membangun sistem secara keseluruhan Arsitektur. Desain perangkat lunak akan melibatkan pengidentifikasian dan penggambaran dasar-dasarnya abstraksi sistem perangkat lunak dan hubungannya.
3. *Implementation and Unit Testing*. Selama tahap ini, desain perangkat lunak direalisasikan sebagai kumpulan program atau unit program. Pengujian unit melibatkan verifikasi bahwa setiap unit memenuhi spesifikasinya.
4. *Integration and System Testing*. Unit program atau program individual terintegrasi dan diuji sebagai sistem lengkap untuk memastikan bahwa perangkat lunak persyaratan telah terpenuhi. Setelah pengujian, sistem perangkat lunak dikirim ke pelanggan.
5. *Operation and Maintenance*. Fase siklus hidup terpanjang di mana sistem dipasang dan digunakan secara praktis. Pemeliharaan melibatkan koreksi kesalahan yang tidak ditemukan sebelumnya tahapan siklus hidup, meningkatkan implementasi unit sistem dan meningkatkan layanan sistem ketika persyaratan baru ditemukan.

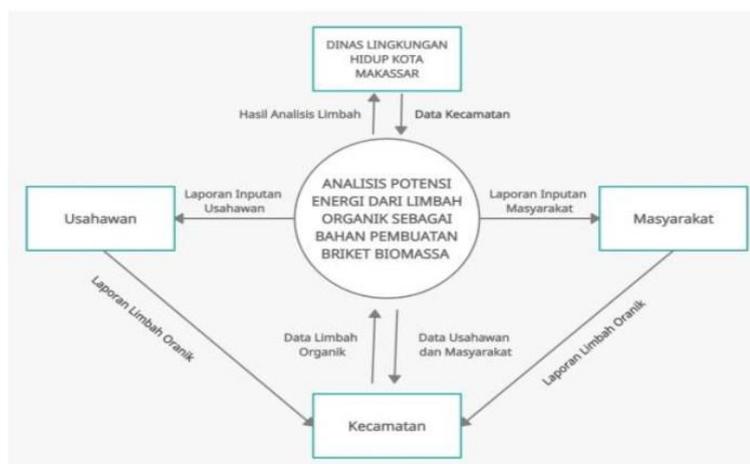
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Requirements Defintion*

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan terhadap dinas lingkungan hidup kota Makassar, diketahui bahwa pengelolaan sampah sudah menggunakan konsep 3R, yaitu *Reuse*, *Reduce*, dan *Recycle*. *Reuse* berarti menggunakan kembali sampah yang masih dapat digunakan untuk fungsi yang sama ataupun fungsi lainnya, *Reduce* berarti mengurangi segala sesuatu yang mengakibatkan sampah, sedangkan *Recycle* berarti mengolah kembali (daur ulang) sampah menjadi barang atau produk baru yang bermanfaat bagi masyarakat dan pembangunan.

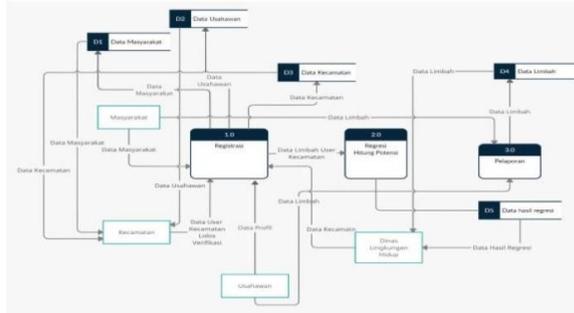
2. *System and Software Design*

Berdasarkan hasil wawancara tersebut kemudian dirancang sebuah sistem yang menggambarkan hubungan antar pengguna, yaitu: Dinas Lingkungan Hidup, Usahawan, Masyarakat, dan Petugas Kecamatan.



Gambar 2 Diagram Konteks

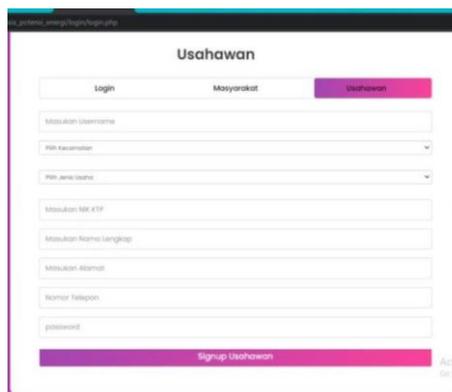
Setelah itu dirancang mengenai diagram level 1 yang berisi 3 (tiga) proses utama, yaitu registrasi, penghitungan potensi energi, dan pelaporan. Sebagai data penyimpanan meliputi masyarakat, usahawan, kecamatan, sampah, dan hasil penghitungan potensi energi.



Gambar 3 Diagram Level 1

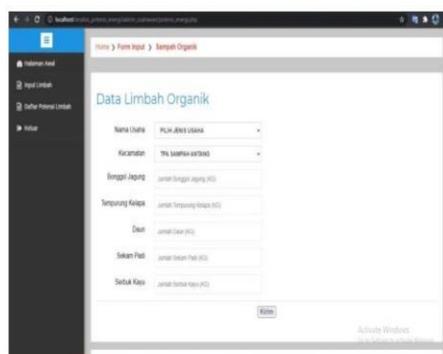
3. Implementation and Unit Testing

Sistem Informasi yang diimplementasi meliputi layanan login untuk dinas lingkungan hidup, usahawan, dan masyarakat. Identitas yang perlu diisi meliputi username, kecamatan, jenis usaha, ktp, nama lengkap, alamat, nomor telepon, dan password.



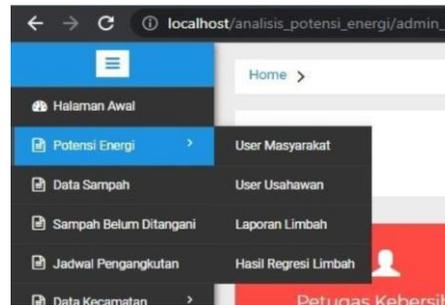
Gambar 4 Menu Registrasi Usahawan

Untuk mengetahui potensi energi diperlukan menu untuk memasukkan data sampah organik yang terdiri dari nama usaha, kecamatan, dan sampah organik.



Gambar 5 Menu Data Sampah Organik

Secara umum, perancangan menu dan submenu meliputi potensi energi, data sampah, sampah yang belum ditangani, jadwal pengangkutan, data, dan kecamatan.



Gambar 6 Menu Sistem

4. *Integration and System Testing*

Integrasi terhadap sistem dilakukan untuk keperluan dan kebutuhan pengolahan sampah organik yang berasal dari dinas lingkungan hidup, usahawan dan masyarakat. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dibuat dapat berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan metode *white box*.

5. *Operation and Maintenance*

Untuk mengoperasikan sistem informasi diperlukan operator di Dinas Lingkungan Hidup dan setiap kecamatan. Secara rutin, operator melakukan monitoring dan evaluasi terhadap proses pengolahan data sehingga menghasilkan laporan yang dibutuhkan. Pemeliharaan sistem dilakukan secara berkelanjutan pengelolaan dalam mengetahui efektivitas kinerja sistem.

Pengolahan sampah organik menjadi briket merupakan upaya dalam menyediakan kebutuhan energi alternatif sebagai bahan bakar. Peran pemerintah melalui dinas lingkungan hidup bekerja sama dengan masyarakat sangat dibutuhkan dalam mengumpulkan sampah organik untuk kebutuhan akan potensi energi.

Melalui sistem informasi pengolahan sampah organik diharapkan akan terdapat upaya mendokumentasikan potensi energi sehingga dapat memenuhi kebutuhan energi alternatif yang mendukung infrastruktur. Peran serta dari masyarakat dan usahawan akan dapat meningkatkan kesadaran stakeholder dalam upaya memperoleh sumber sampah organik secara menyeluruh untuk kepentingan pembangunan nasional bagi bangsa dan negara.

KESIMPULAN

Perancangan sistem informasi telah mampu memberikan gambaran dalam pengolahan sampah organik dari berbagai kecamatan sebagai bahan baku dalam pembuatan briket biomassa. Pemerintah bersama masyarakat bekerja sama dalam penanganan sampah untuk menciptakan lingkungan sehat dan membangun infrastruktur sipil dalam menciptakan bahan bakar alternatif untuk mendukung infrastruktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar yang telah memberikan informasi dan arahan terdapat perancangan sistem informasi pengelolaan sampah organik.

DAFTAR PUSTAKA

- [3] A. Brunerová, M. Brožek, and V. Šleger, *Energy balance of briquette production from various waste biomass*, *Sci. Agric.*, 2018, [Online]. Available: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193345404>.
- [7] A. Kaur, *Densification Of Biomass By Briquetting : A Review Review Article Densification Of Biomass By Briquetting : A Review*, Ajit Kaur *, Madhuka Roy and Krishnendu Kundu," no. October, 2017, doi: 10.24327/IJRSR.
- [5] C. Achebe, A. Umeji, and J. Chukwunke, *Energy Evaluation of Various Compositions of Biomass Waste Briquettes*, *Adv. Res.*, vol. 13, no. 6, pp. 1–11, 2018, doi:10.9734/air/2018/39270.
- [1] Carol Stimmel. 2015. *Building Smart Cities: Analytics, ICT, and Design Thinking*. New York: CRC Press.
- [6] M. A. Brand, R. C. Jacinto, R. Antunes, and A. B. da Cunha, *Production of briquettes as a tool to optimize the use of waste from rice cultivation and industrial processing*, *Renew. energy*, 2017, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117302756>.
- [4] M. N. Uddin, J. Taweekun, K. Techato, M. A. Rahman, *Sustainable biomass as an alternative energy source: Bangladesh perspective*, *Energy Procedia*, 2019, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219313098>.
- [2] N. Bessis and C. Dobre, 2014. *Big Data and Internet of Things : A Roadmap for Smart Environments*. Springer Cham Heidelberg: New York.
- [8] N. T. S. Saptadi, P. Chyan, and A. C. Pratama, *Geographic Information System for Waste Management for the Development of Smart City Governance*, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 854, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/854/1/012040.
- [9] P. S. Ganney, S. Pisharody, and E. Claridge, 2013, *Software Engineering*, In *Clinical Engineering: A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396961-3.00009-3>.

METODE PELEBARAN DILATASI BANGUNAN EKSISTING PADA GEDUNG TERDAMPAK BENCANA GEMPA BUMI RSUD REGIONAL PROVINSI SULAWESI BARAT

Robert Simbolon¹, Aryantho²

¹RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat, PT Waskita Karya, Jakarta Timur

²RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat, Penta Architecture

Korespondensi: robert.simbolon93@gmail.com

ABSTRAK

Dilatasi Bangunan adalah pembatas, pemisah, dan penghubung massa bangunan yang memiliki ukuran yang sangat luas atau memiliki beberapa massa bangunan dengan sistem struktur berbeda. Dilatasi menjadi elemen yang penting pada bangunan khususnya yang terletak pada area rawan gempa, dimana dilatasi berfungsi sebagai "ruang bebas" bagi bangunan untuk dapat bergerak bebas apabila mengalami gaya akibat gempa.

Permasalahan yang sering terjadi adalah banyaknya bangunan skala menengah-keatas yang memiliki celah dilatasi yang sangat sempit, seperti gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat. Berdasarkan pengamatan visual serta pengamatan melalui dokumen As-Built Drawing gedung tersebut, gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat hanya memiliki celah dilatasi sebesar 2 cm. Celah dilatasi yang sempit sangat beresiko apabila terjadi gempa, hal ini dibuktikan dari kejadian gempa bumi pada 15 Januari 2021 di Mamuju-Sulawesi Barat yang mengakibatkan kerusakan struktural akibat benturan antar massa bangunan gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

Pekerjaan pelebaran dilatasi sangatlah jarang dilakukan, khususnya di Indonesia. Oleh karena itu, dalam mengkaji pekerjaan pelebaran dilatasi pada bangunan eksisting, penulis melakukan observasi pada dilatasi eksisting dan dokumen as-built drawing untuk merumuskan metode pelaksanaan yang tepat dalam pekerjaan pelebaran dilatasi pada bangunan Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

Kata kunci: Gempa Bumi, Dilatasi Bangunan, Pelebaran Dilatasi

ABSTRACT

Building dilatation is a building mass barrier, separator, and connector that has a very wide size or has several building masses with different structural systems. Dilatation is an important element in buildings, especially for earthquake-prone areas, where dilatation functioned as a "free space" for buildings to be able to move freely when receiving the forces from earthquakes.

The problem that often occurs is that there is high number of middle-to-high rise buildings which have narrow dilatation gaps, such as RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat. Based on visual observations and by As-Built Drawing observation, RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat only has 2 cm dilatation gap. Narrow dilatation gap is too risky for earthquake-prone area. This was proved by the earthquake on January 15th, 2021 in Mamuju West Sulawesi which resulted in structural damage due to collisions between the masses of RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

The work of expanded dilatation is very rare, especially in Indonesia. Therefore, in reviewing the work of expanded dilatation in the existing building, the authors made observations on the existing dilatation and as-built drawing documents to formulate the appropriate implementation method in the work of expanded dilatation in the RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

Keywords: Earthquake, Building Dilatation, Expanded Dilatation

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam berupa getaran atau guncangan yang terjadi pada permukaan bumi akibat pergerakan lempeng bumi atau juga bisa diakibatkan oleh letusan gunung berapi. Gempa bumi sendiri merupakan fenomena alam yang sering terjadi di beberapa daerah di Indonesia karena dilalui oleh *Ring of Fire*, salah satu daerah yang kerap terjadi bencana gempa, baik skala kecil hingga besar, adalah Provinsi Sulawesi Barat. Hal ini dapat dilihat dari histori bencana gempa di Sulawesi Barat yang sudah terjadi dari tahun 1969.

Berdasarkan data dari BMKG pada awal tahun 2021 Provinsi Sulawesi mengalami bencana gempa bumi pada dua hari berturut-turut, 14 Januari 2021 (14.45 WITA) dan 15 Januari 2021 (02.28 WITA), dengan masing-masing kekuatan gempa yaitu 5.9 SR (skala *Richter*) dan 6.2 SR. Gempa ini cukup banyak menelan korban jiwa serta banyak menimbulkan kerusakan bangunan dan infrastruktur.

Bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempa dilaporkan oleh BNPB adalah sekitar 3741 unit rumah, 5 fasilitas kesehatan, 3 unit jembatan, 1 pelabuhan, 1 mini market, 1 perkantoran, dan 1 hotel. Kerusakan yang terjadi mulai dari tingkat ringan hingga rusak tingkat berat. Salah satu bangunan vital yang mengalami kerusakan adalah Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Regional Provinsi Sulawesi Barat yang merupakan rumah sakit rujukan untuk wilayah Sulawesi Barat dan juga merupakan rumah sakit rujukan khusus untuk penanganan pasien pengidap virus Covid-19 yang dilengkapi fasilitas serta tenaga kesehatan yang memadai.

Kerusakan Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat terjadi pada elemen arsitektural (dinding, lantai, *plafon, finishing*) dan juga elemen struktural (kolom dan balok dilatasi). Kerusakan elemen struktural pada gedung ini terletak pada bagian dilatasi bangunan, ketika elemen-elemen struktural yaitu balok dan kolom mengalami benturan satu sama lain karena kecilnya celah dilatasi pada bangunan tersebut yaitu 2 cm. Benturan ini mengakibatkan pecahnya selimut beton pada kolom dan balok. Kerusakan struktural ini merupakan pemasalahan yang sangat serius dan harus diselesaikan karena dapat mengakibatkan kegagalan struktur bangunan apabila tidak ditangani secara menyeluruh, terlebih mengingat Sulawesi Barat merupakan daerah yang dilalui oleh *Ring of Fire* sehingga tidak bisa dihindari di waktu yang akan datang daerah ini kembali mengalami gempa bumi.

Dilatasi pada sebuah bangunan merupakan pembatas atau pemisah atau juga penghubung antarmassa bangunan yang memiliki bentukan massa bangunan yang sangat luas (secara horizontal) ataupun memiliki beberapa massa bangunan dengan sistem struktur berbeda. Tujuan dari penggunaan dilatasi pada sebuah bangunan adalah ketika terjadi gaya vertikal dan horizontal seperti gempa, bangunan yang dimaksud tidak menimbulkan kerusakan struktural.

Penggunaan Dilatasi pada bangunan di kawasan rawan bencana gempa bumi merupakan sebuah keharusan sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya. Akan tetapi banyak sekali bangunan yang sudah selesai dibangun namun memiliki lebar celah dilatasi yang sangat kecil atau kurang memadai bagi bangunan untuk bergerak apabila bangunan mengalami pergerakan akibat gempa. Hal ini sangat berbahaya seperti halnya yang terjadi pada Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

Untuk itu, bangunan yang sudah terbangun dengan lebar celah dilatasi yang sangat kecil, khususnya di daerah rawan bencana gempa, perlu dikaji ulang dan dilakukan Pekerjaan Pelebaran Dilatasi agar bangunan tersebut dapat merespon pergerakan akibat gempa dan tidak mengalami kerusakan struktural akibat benturan, sehingga sangat penting untuk mengetahui dan memahami tentang Metode Pelebaran Dilatasi pada Bangunan Eksisting yang

Penulis lakukan pada RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat ini.

Adapun tantangan dalam pekerjaan pelebaran dilatasi bangunan eksisting ini yaitu minimnya literatur atau studi banding yang sama mengenai pelebaran dilatasi bangunan eksisting.

Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat penulis adalah bagaimana metode pelaksanaan pelebaran pada dilatasi bangunan eksisting agar lebar dilatasi yang akan dicapai dapat memenuhi standar minimal yang aman untuk sebuah bangunan tersebut (dalam hal ini gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat).

Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini adalah untuk mengetahui penerapan metode pelebaran dilatasi bangunan khususnya pada bangunan eksisting RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

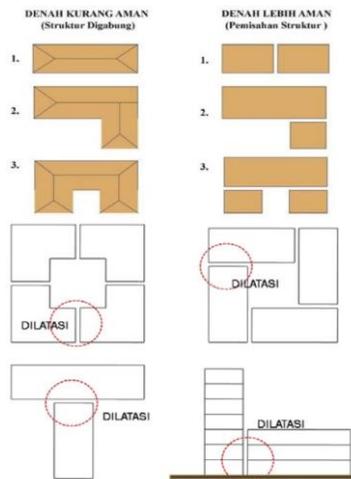
Manfaat Penulisan

1. Manfaat Teoritis:
 - a. meningkatkan pemahaman tentang pentingnya lebar celah dilatasi yang memadai untuk bangunan gedung yang ada di Indonesia yang merupakan negara dengan rawan bencana gempa yang tinggi;
 - b. meningkatkan pemahaman dan tahapan mengenai metode konstruksi pelebaran dilatasi pada bangunan eksisting.
2. Manfaat Praktis:
 - a. sebagai bahan pembelajaran dan sharing knowledge bagi pelaku konstruksi (kontraktor pelaksana) dalam melakukan pekerjaan pelebaran dilatasi pada bangunan eksisting demi mencapai lebar celah dilatasi yang aman untuk sebuah bangunan Gedung;
 - b. sebagai saran dan juga masukan bagi Konsultan Perencana baik Perencana Struktur maupun Perencana Arsitektur agar dapat lebih detail dalam melakukan perencanaan gedung dengan skala menengah hingga besar khususnya pada daerah rawan bencana gempa.

LANDASAN TEORI

Pengertian Dilatasi Bangunan

Dilatasi pada sebuah bangunan merupakan pembatas atau pemisah atau juga penghubung antar massa bangunan yang memiliki bentukan massa bangunan yang sangat luas (secara horisontal) ataupun memiliki beberapa massa bangunan dengan sistem struktur berbeda (Gambar 1).



Gambar 1 Ilustrasi Dilatasi pada Bangunan Gedung

Fungsi dan Tujuan Dilatasi

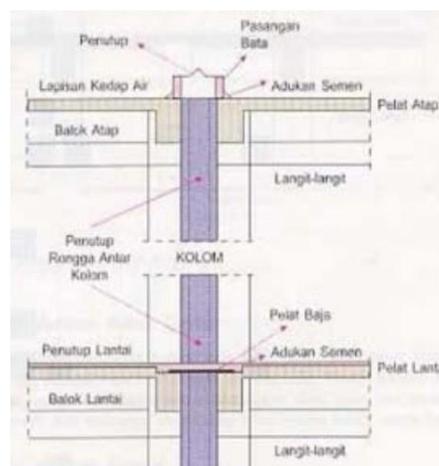
Dilatasi berfungsi untuk menghindari keretakan struktur atau putusnya sistem struktur bangunan apabila bangunan mengalami beban berlebih atau menerima gaya dari luar yang dapat mengakibatkan pergerakan dari suatu bangunan dan membentur massa bangunan satu sama lain.

Macam-macam Dilatasi Bangunan

Macam-macam Dilatasi Bangunan yang umum digunakan antara lain:

a. Dilatasi dengan Dua Kolom

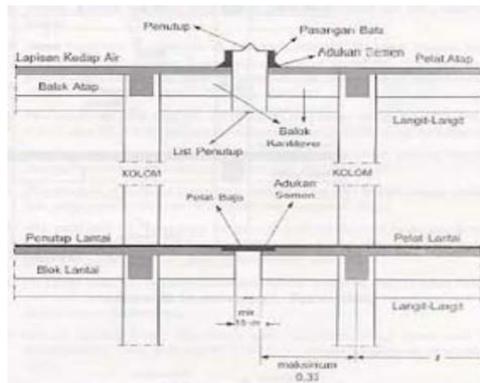
Dilatasi ini ditunjukkan melalui dua kolom yang saling berdempetan atau berdekatan. Dilatasi ini umumnya digunakan untuk bangunan yang memanjang. Dilatasi jenis ini digunakan pada Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat (Gambar 2).



Gambar 2 Ilustrasi Dilatasi dengan Dua Kolom

b. Dilatasi dengan Balok Kantilever

Dilatasi ini ditunjukkan dengan adanya dua balok kantilever yang saling berhadapan satu sama lain (Gambar 3).



Gambar 3 Ilustrasi dengan Balok Kantilever

METODE PENGUMPULAN DATA

Metode atau Teknik Pengumpulan Data yang dilakukan dalam adalah Observasi (Pengamatan). Observasi dilakukan pada celah dilatasi bangunan dan juga dilakukan pengukuran pada lebar celah dilatasi tersebut.

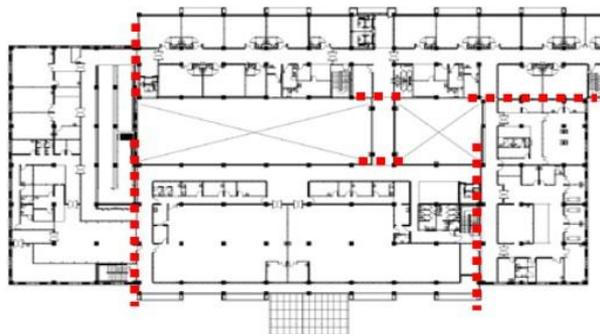
Selain celah dilatasi, kondisi fisik elemen struktural seperti kolom dan balok juga akan diamati apakah mengalami kerusakan atau tidak. Setelah dilakukan observasi pada fisik bangunan, peneliti juga melakukan observasi pada dokumen resmi bangunan eksisting seperti As-Built Drawing untuk mengetahui detail-detail struktural seperti pembesian dan juga mutu beton yang digunakan. Hal ini sangat penting dan diperlukan karena pembesian dan mutu beton merupakan data yang tidak dapat diamati dengan kasat mata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Denah Dilatasi Gedung

Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat ini terdiri dari 4 massa bangunan dan 1 jembatan penghubung, dengan rincian 3 massa bangunan dengan jumlah 3 lantai, dan 1 massa bangunan dengan jumlah 5 lantai. Oleh karena itu, Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat ini memiliki total dilatasi sebanyak 6 dilatasi (Gambar 4).

Jenis Dilatasi yang digunakan pada gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat adalah Dilatasi dengan Dua Kolom dan Dilatasi dengan Balok Kantilever. Dilatasi dengan Dua Kolom terletak pada tiap massa bangunan, sedangkan untuk Dilatasi dengan Balok Kantilever terletak pada jembatan penghubung.



Gambar 4 Denah Dilatasi gedung

Hasil Pengamatan Celah Dilatasi

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran di lapangan, celah dilatasi aktual pada gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat yaitu sebesar 2 cm. Dilatasi gedung ini terbentuk dari dua kolom struktural yang saling berdempetan dengan dihimpit menggunakan Stereofomoam dengan tebal 2 cm (Gambar 5).



Gambar 5 Pengamatan dan Pengukuran Celah Dilatasi

Hasil Pengamatan Visual Kerusakan Struktural Akibat Celah Dilatasi

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada elemen struktural yang bersinggungan langsung terhadap dilatasi bangunan ditemukan adanya kerusakan fisik pada kolom, khususnya pada selimut beton. Kerusakan ini terjadi akibat elemen kolom struktural yang bertabrakan sama lain akibat gempa. Gempa yang terjadi mengakibatkan tiap massa bangunan bergerak (*Drift*) dan akan mengakibatkan benturan terhadap massa bangunan lainnya bila lebar celah dilatasi tidak memadai. Berikut ini adalah foto visual kerusakan fisik struktur pada gedung (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 6 Kerusakan Struktural pada Kolom Dilatasi



Gambar 7 Kerusakan Struktural pada Kolom Dilatasi

Selain pada elemen kolom struktur, kerusakan juga terjadi pada elemen struktur lain yaitu Balok Struktur. Balok-balok struktural pada gedung ini juga mengalami benturan satu sama lain terhadap balok lainnya akibat celah dilatasi yang sangat kecil yaitu 2 cm. Bisa dilihat pada elemen balok mengalami keretakan fisik khususnya selimut beton. Hal ini sangat berbahaya apabila celah dilatasi masih dipertahankan sedemikian rupa (Gambar 8).



Gambar 8 Kerusakan Struktural pada Balok Dilatasi

Hasil Pengamatan pada Dokumen *As-Built Drawing*

Selain pemeriksaan terhadap kondisi fisik struktur dan dilatasi bangunan yang dapat diamati secara visual, penulis juga melakukan identifikasi dan pengamatan pada objek-objek yang tidak dapat dilihat secara kasat mata seperti detail pembesian balok dan kolom struktur pada gambar *As-Built Drawing* Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.

Berdasarkan pengamatan pada *As-Built Drawing* dan tinjauan di lapangan, *Seismic Detailing* pada balok dan kolom struktur yang terpasang tidak memadai, khususnya pada elemen kolom (tidak sesuai ketentuan SNI untuk wilayah dengan risiko gempa tinggi). Terlihat juga tidak ada *Seismic Hook* atau *Cross Ties* pada sengkang, baik pada *As Built Drawing* maupun pengecekan di lapangan. Selain itu jarak tulangan sengkang masih dianggap terlalu lebar dan tulangan polos masih digunakan sebagai tulangan sengkang balok dan kolom, hal ini sudah tidak sesuai dengan ketentuan SNI untuk Bangunan Tahan Gempa (Gambar 9).

Untuk pemanfaatan jangka pendek, beberapa elemen struktur harus diperkuat untuk memperkecil risiko kegagalan saat gempa di masa yang akan datang. Untuk pemanfaatan jangka panjang, struktur bangunan harus diretrofit mengingat kerawanan yang dimiliki (terkait detailing yang tidak memadai) dan demand gempa yang meningkat berdasarkan SNI 1726 – 2019 dan juga pada Kolom yang terpasang di lapangan.



Gambar 9 Pengamatan di Lapangan terhadap pembesian kolom struktur

Perhitungan Lebar Dilatasi

Setelah Observasi dilakukan pada fisik gedung dan juga *As-Built Drawing*, tim penulis yang berlaku sebagai Kontraktor Pelaksana dan juga Tenaga Ahli Struktur (Asessor Kerusakan Gedung) melakukan perhitungan terkait perhitungan Lebar Dilatasi Minimum untuk Gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat ini, sehingga perhitungan inilah yang akan dijadikan acuan untuk pelaksanaan dilapangan.

Untuk mengecek kecukupan lebar celah dilatasi bangunan, maka perlu dihitung besar *displacement* antar massa bangunan menggunakan *Drift Actual* pada level Emergency Response. *Besar drift* bangunan dihitung sesuai peraturan ASCE 41-17 untuk Tier 1 dimana besar *Story Drift* dihitung berdasarkan besar geser yang didapatkan pada level *Emergency Response*.

Story Drift for Moment Frames. Eq. (4-6) shall be used to calculate the drift ratios of regular, multi-story, multi-bay moment frame with columns continuous above and below the story under consideration. The drift ratio is based on the deflection caused by flexural displacement of a representative column, including the effect of end rotation caused by bending of the representative beam.

$$D_r = \left(\frac{K_b + K_c}{K_b K_c} \right) \left(\frac{h}{12E} \right) V_c \quad (4-6)$$

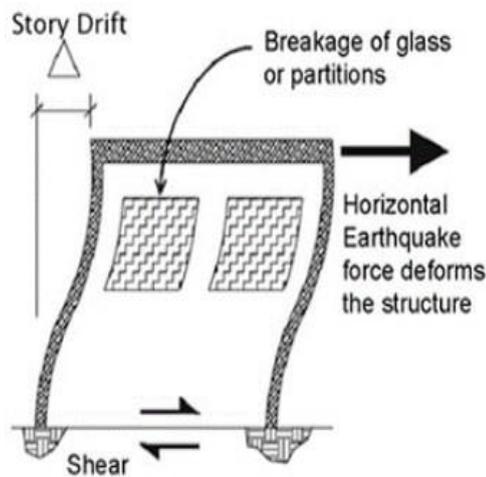
where

- D_r = Drift ratio, interstory displacement divided by story height
- k_b = I/L for the representative beam
- k_c = I/h for the representative column
- h = story height (in.)
- I = Moment of inertia (in.4)
- L = Beam length from center-to-center of adjacent columns (in.)
- E = Modulus of elasticity (kip/in.2)
- V_c = Shear in the column (kip)

Berikut perhitungan besar *displacement* bangunan RSUD Regional Sulbar.

Tabel 1 Perhitungan Besar Displacement Bangunan RSUD Regional Sulbar

hstory	157.480315	in
Vc	229.502	kN
	51.7106034	kips
fc'	30	MPa
E	25742.9602	MPa
	3733.699244	kip/in2
kolom		
bc	700	mm
	27.55905512	in
hc	700	mm
	27.55905512	in
I	48070.21311	in4
h	4	m
	157.480315	in
kc	305.2458533	in3
balok		
bb	400	mm
	15.74803	in
hb	700	mm
	27.55906	in
I	27468.69	in4
h	7.2	m
	283.4646	in
kb	96.90345	in3
Dr	0.002471062	
	0.247106191	%
H strcutre	13.45	m
displ. 1 bld	33.23578267	mm
displ. 2 bld	66.47156534	mm



Berdasarkan perhitungan didapatkan besar *Story Drift* terbesar pada massa gedung yaitu 66,47 mm, artinya pelebaran celah dilatasi bangunan eksisting harus mencapai lebih dari 66,47 mm. Tim Penulis selaku kontraktor pelaksana dan Tenaga Ahli Struktur memutuskan lebar celah dilatasi minimum yang harus kita capai adalah minimal 70 mm, artinya pelaksanaan di lapangan harus dapat menambah celah dilatasi eksisting sebesar 35 mm untuk tiap kedua sisi massa bangunan yang saling berdempetan.

Pelebaran dilatasi sebesar 70 mm dianggap sudah tepat karena pelebaran dilatasi tersebut tidak terlalu besar namun sudah mencukupi standar minimum. Pertimbangan lain yang mendasari pelebaran dilatasi sebesar 70 mm adalah unsur *Safety* dari pelaksanaan tersebut, karena kontraktor pelaksana harus melakukan pembobokan pada kolom struktur sebanyak 35 mm untuk setiap kolom strukturnya, sehingga harus dipertimbangkan unsur keamanan bangunan saat pelaksanaan, baik keamanan fisik bangunan maupun keamanan operasional rumah sakit karena pada saat pelaksanaan, kegiatan operasional rumah sakit masih tetap berjalan. Dengan melakukan pembobokan elemen struktur pada kolom sebesar 35 mm, artinya bidang kolom yang dibobok hanya pada bagian selimut beton karena selimut beton pada kolom eksisting adalah sekitar 40 mm.

Akibat pembobokan elemen struktur, elemen tersebut harus kembali diperkuat akibat adanya dimensi kolom yang berkurang pada elemen struktur tersebut. Dimensi struktur yang berkurang akibat pembobokan akan mengakibatkan perlemahan, oleh karena itu diperlukan perkuatan struktur yang ringan, ringkas, mudah, dan tidak banyak memakan *space/ruang*, yaitu menggunakan perkuatan CFRP Sheet. CFRP Sheet merupakan material perkuatan struktur yang sudah teruji kekuatannya, sifat materialnya cukup ringan, mudah dalam pelaksanaan, dan juga tidak banyak memakan *space/ruang* karena material ini berbentuk lembaran polimer yang tipis (0.165 cm) sehingga pengaplikasiannya mudah dan dapat dilaksanakan dengan cepat.

Untuk menjalankan tahap-tahapan pekerjaan pelebaran dilatasi seperti yang dijelaskan diatas, metode pelaksanaan harus dilakukan secara tepat, teliti dan runtut tanpa mengurangi aspek *safety*, karena pekerjaan pelebaran dilatasi ini mencakup pekerjaan pembobokan struktur yang merupakan pekerjaan dengan risiko tinggi. Tahapan metode yang akan dijelaskan belumlah sempurna dan masih dapat dilakukan pengembangan (*improvement*).

PENJELASAN METODE PELEBARAN DILATASI

A. Alat dan Material

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan Metode Pelebaran Dilatasi Bangunan antara lain:

- Palu Beton & Jack Hammer;
- Gerinda;
- Mesin Bor;
- Kuas Roll.

Material yang digunakan dalam pelaksanaan Metode Pelebaran Dilatasi Bangunan antara lain:

- Beton *Grouting*, digunakan untuk memperbaiki permukaan kolom dan balok beton yang sudah dibobok.
- Beton *Patching*, digunakan untuk merapikan dan meratakan permukaan sempurna beton yang tidak sempurna.
- Papan *Bekisting*, digunakan untuk pengecoran beton *grouting*.
- CFRP *Sheet*, berfungsi untuk menambah kekuatan pada balok dan kolom yang sebelumnya telah diidentifikasi bahwa pembesian balok dan kolom tersebut kurang memadai.
Selain itu CFRP *Sheet* ini juga memberikan kekuatan pada kolom struktur yang mengalami pengurangan dimensi akibat pembobokan yang bertujuan untuk mencapai lebar dilatasi bangunan minimum.
- Lem Epoxy CFRP, berfungsi untuk merekatkan material CFRP pada beton yang akan diperkuat.
- Angkur CFRP, berfungsi sebagai angkur untuk pemasangan CFRP

Alat Pelindung Diri (APD) yang digunakan dalam pelaksanaan Metode Pelebaran Dilatasi Bangunan antara lain:

- Helm;
- Sepatu *Safety*;
- Sarung Tangan Kerja;
- *Body Harness*;
- Masker (Protokol Covid-19).

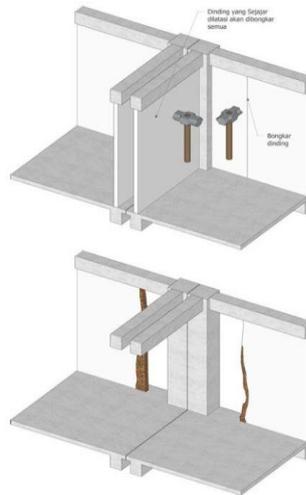
Semua material, alat, dan juga Alat Pelindung Diri harus disiapkan dan digunakan oleh pekerja secara lengkap sebelum melakukan pekerjaan.

B. Pelaksanaan

Berikut ini adalah tahapan atau metode pelaksanaan Pelebaran Dilatasi Bangunan Eksisting pada Gedung

1. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan pembobokan pada Dinding-dinding pada area Dilatasi dan juga *Finishing* Lantai. Selain itu beberapa elemen arsitektur lain yang juga berdampak seperti *plafon*, *curtainwall*, *railing*, *hand rail*, harus dibongkar terlebih dahulu sebelum pekerjaan di mulai. Elemen MEP pun juga dapat berdampak pada pekerjaan ini.

Hal ini ditujukan karena banyak elemen-elemen arsitektural yang menutupi area dilatasi, sehingga elemen tersebut harus dibongkar terlebih dahulu dan memudahkan pekerja untuk melakukan pelebaran dilatasi (Gambar 10 dan Gambar 11).

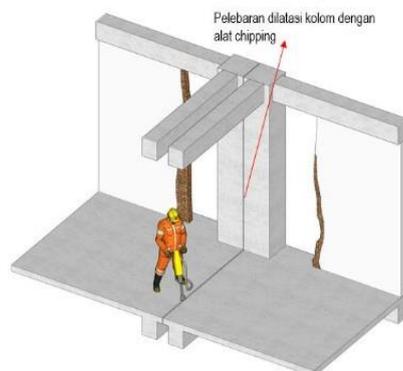


Gambar 10 Ilustrasi Pembongkaran Elemen-elemen yang Berada pada Area Dilatasi



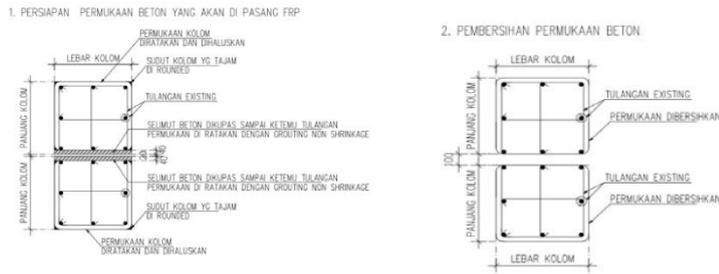
Gambar 11 Pembongkaran Dinding Eksisting pada Area Dilatasi

2. Pada area dilatasi, lakukan pelebaran celah balok struktur dan plat lantai dengan cara membobok selimut beton kolom dengan menggunakan *jack hammer* dan/atau palu beton. Bobok masing-masing selimut beton eksisting (tebal 40 mm) hingga dihasilkan lebar celah dilatasi total menjadi 70 mm (lebar dilatasi eksisting adalah 20 mm), perlu diperhatikan juga untuk posisi pemasangan papan bekisting untuk *grouting* permukaan kolom yang sudah dibobok, agar posisi bekisting tidak mengurangi lebar celah dilatasi minimum yaitu 70mm. Setelah dibobok, lakukan pembersihan pada permukaan kolom struktur agar debu dan puing-puing bekas pembobokan tidak menempel. Meskipun standar minimal untuk celah dilatasi adalah 70 mm, akan tetapi pada beberapa area tertentu dapat ditemukan celah dilatasi mampu mencapai lebar celah 100 mm, hal ini justru lebih baik dan akan memudahkan untuk pekerjaan perapihan bidang kolom yang sudah dibobok (Gambar 12-14).



Gambar 12 Ilustrasi Pembobokan Kolom dan Lantai pada area Dilatasi

DETAIL KOLOM DILATASI (B)

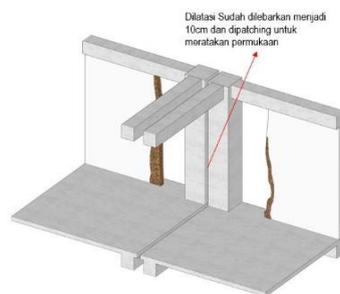


Gambar 13 Gambar Kerja Metode Pembobokan Kolom pada Area Dilatasi

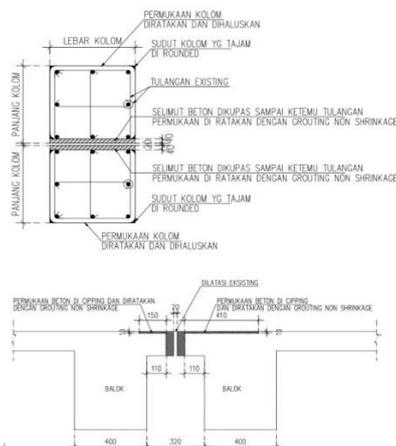


Gambar 14 Pembobokan Kolom Struktural pada Area Dilatasi

- Setelah celah dilatasi menjadi lebar dan memenuhi standar minimum 70mm, dilakukan *patching* atau pemerataan permukaan bekas bobokan dengan dicor menggunakan material *grouting non shrinkage*. Namun terlebih dahulu, pasang papan *bekisting* pada celah-celah dilatasi dan harus diperhatikan agar ketebalan *bekisting* harus 70mm (Gambar 15-20).



Gambar 15 Ilustrasi Perataan Permukaan Kolom



Gambar 16 Gambar Kerja Perataan Permukaan Kolom dan Plat Pantai Setelah Dilakukan Pembobokan



Gambar 17 Pengukuran Tebal Bekisting 70 mm agar Sesuai dengan Celah Dilatasi yang Diinginkan



Gambar 18 Pemasangan Bekisting pada sepasang Kolom untuk Meratakan Permukaan Kolom yang telah dibobok dengan Cor Beton *Grouting*



Gambar 19 Pengukuran Kembali Lebar Celah Dilatasi Setelah Pengecoran



Gambar 20 Pasca Pengecoran Beton Grouting pada Kolom yang Sudah Dibobok

4. Setelah pembobokan kolom pada area dilatasi, selanjutnya dilakukan pembobokan pada area plat lantai dengan lebar dilatasi yang sama.



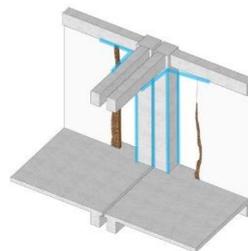
Gambar 21 Pembobokan Plat Lantai pada Area Dilatasi

5. Setelah plat lantai dibobok lakukan perapihan pada tepi-tepi plat lantai



Gambar 22 Perapihan pada bidang Plat Lantai yang sudah dibobok

6. Permukaan Kolom dan Balok harus dibersihkan terlebih dahulu dari plasteran dan aci hingga didapatkan permukaan beton asli. Untuk permukaan beton yang tidak rata harus dilakukan perataan (*Grinding*). Proses *Grinding* juga bertujuan untuk membentuk sudut-sudut kolom dan balok menjadi *Round* (bulat), tidak membentuk sudut yang dapat merusak lembaran CFRP (Gambar 23 dan 24).



Gambar 23 Ilustrasi Area yang akan digrinding untuk membentuk *Round* pada Sudut Balok dan Kolom

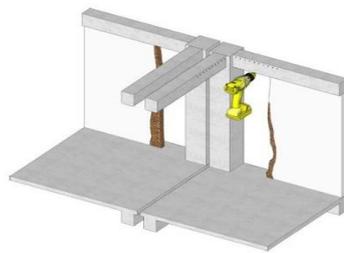


Gambar 24 *Grinding* Permukaan Balok dan Kolom

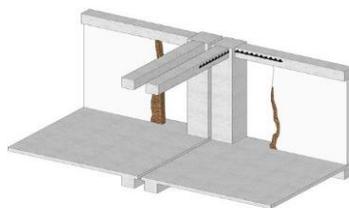
7. Setelah selesai, area ini siap untuk diberikan perkuatan dengan menggunakan CFRP. Seperti yang telah

dijelaskan sebelumnya, perkuatan CFRP ini ditujukan karena adanya detailing struktur (pembesian) yang kurang memadai pada kolom dan balok. Selain itu, perkuatan ini juga ditujukan karena permukaan kolom yang mengencil akibat pembobokan untuk pelebaran dilatasi.

8. Terlebih dahulu buat lobang angkur CFRP tiap jarak 20 cm, dengan kedalaman 15 cm dengan lebar angkur 20 mm. Angkur CFRP berfungsi sebagai pengikat (*anchor*) untuk material CFRP agar lebih mengikat ke permukaan beton (Gambar 25)
9. Setelah lubang selesai dibuat, pasang angkur dengan merendamnya terlebih dahulu pada *epoxy* khusus lem CFRP (Gambar 26)



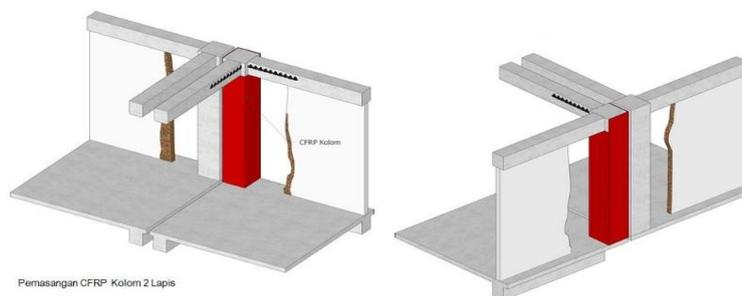
Gambar 25 Pengeboran Lubang pada Balok Beton untuk Angkur CFRP



1. Pengeboran lubang Angkur CFRP tiap jarak 20 cm, kedalaman 15cm dengan lebar angkur 2cm
2. Kemudian Pasang Angkur CFRP

Gambar 26 Pemasangan Angkur CFRP

10. Pasang lembar CFRP pada kolom dengan mengaplikasikan lem *epoxy* pada lembaran CFRP dan juga pada permukaan beton yang akan diberikan CFRP (Gambar 27-30).



Gambar 27 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Kolom Struktur*

* = Penggunaan warna kontras pada gambar ilustrasi hanya untuk memberi penekanan posisi pemasangan CFRP



Gambar 28 Persiapan Lembar CFRP dengan Memberikan Lem Perekat *Epoxy*

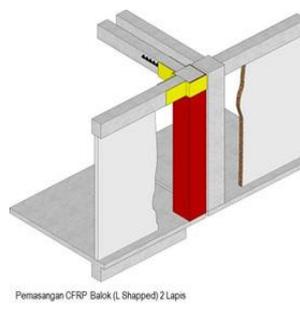
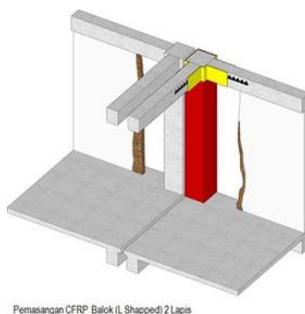


Gambar 29 Pemberian Lem *Epoxy* pada Bidang Kolom untuk Pemasangan CFRP



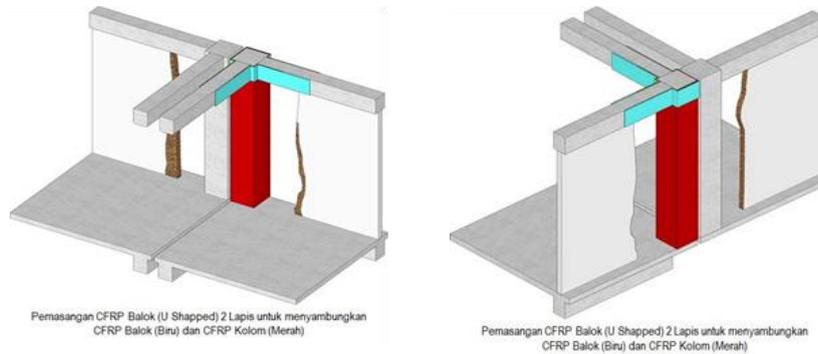
Gambar 30 Pemasangan CFRP pada Kolom

11. Pemasangan lembar CFRP Balok (*L-shaped*) 2 Sisi (Gambar 31)



Gambar 31 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Balok Struktur*

12. Pemasangan CFRP Balok (*U Shapped*) 2 Lapis untuk menyambungkan CFRP Balok (Biru) dan CFRP Kolom (Merah) (Gambar 32-33).

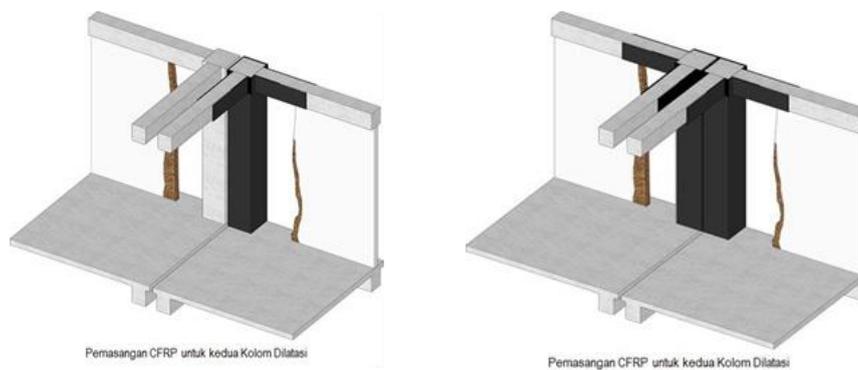


Gambar 32 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Balok Struktur Lapis ke-2*



Gambar 33 Pemasangan CFRP pada Bidang Balok Struktur

13. CFRP dipasang di sepasang kolom dan balok dilatasi (Gambar 34).



Gambar 34 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Sepasang Kolom dan Balok pada Area Dilatasi

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Dilatasi bangunan merupakan pembatas, pemisah, dan penghubung antar massa bangunan yang memiliki bentukan massa bangunan yang luas (secara horisontal) maupun memiliki beberapa massa bangunan dengan sistem struktur berbeda. Tujuan dari penggunaan dilatasi pada sebuah bangunan adalah ketika terjadi gaya vertikal dan horizontal seperti gempa, bangunan tersebut tidak menimbulkan kerusakan struktural.
- Dilatasi merupakan elemen penting untuk bangunan dengan bentangan yang sangat luas, bangunan yang memiliki bentuk massa yang tidak beraturan, bangunan yang memiliki massa dengan ketinggian lantai yang berbeda dan juga sangat penting untuk lokasi yang rawan gempa.
- Dilatasi dengan celah yang sempit sangat berbahaya untuk bangunan yang berlokasi rawan gempa karena apabila terjadi gempa bangunan akan mengalami pergerakan dan akan mengakibatkan tabrakan/berbenturan antar satu massa bangunan dengan massa bangunan yang lain.
- Acuan lebar celah dilatasi yang digunakan untuk pelebaran dilatasi diperoleh dari perhitungan *Story Drift* terbesar pada massa gedung. Acuan ini harus diterbitkan oleh analisis dan perhitungan Ahli Struktur.
- Pelebaran dilatasi pada bangunan eksisting harus mempertimbangkan kondisi struktur yang akan dilakukan pelebaran (pembobokan) agar pembongkaran struktur tetap terkendali dan tidak membongkar struktur secara sebagian maupun keseluruhan.

Dalam kasus RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat, pelebaran (pembobokan) hanya dilakukan pada selimut beton kolom struktur 40mm dan tidak merusak struktur kolom secara keseluruhan.

- Pada elemen struktur yang mengalami pembongkaran akibat pelebaran dilatasi, elemen tersebut harus diperkuat kembali dengan perkuatan struktur yang ringan dan tidak banyak memakan banyak space, seperti penggunaan CFRP *Sheet*. Penggunaan CFRP *Sheet* bertujuan untuk memberikan perkuatan ekstra pada elemen struktur yang mengalami perlemahan setelah dibobok.
- Penggunaan CFRP pada elemen struktur harus didapatkan berdasarkan hasil analisis dan perhitungan Ahli Struktur.

Saran

- Untuk setiap bangunan dengan skala menengah hingga besar, setiap konsultan atau perencana Arsitektur maupun Struktur harus lebih cermat dalam menentukan dimensi dari lebar dilatasi bangunan agar bangunan dapat merespon gaya yang timbul akibat gempa bumi
- Untuk bangunan eksisting yang akan dilakukan pelebaran dilatasi, harus terlebih dahulu dihitung *Story Drift* terbesar pada massa gedung yang akan dilakukan pelebaran dilatasi, nilai terbesar akan dijadikan acuan minimum untuk lebar dilatasi yang akan dicapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui Tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kementerian PUPR yang sudah mempercayai kami untuk melakukan penanganan rehabilitasi gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat khususnya pelebaran dilatasi pada gedung yang penulis kerjakan.
2. Pihak RSUD Regional Sulawesi Barat yang sudah memberikan waktu dan tempat serta tenaga demi lancarnya kegiatan rehabilitasi gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.
3. Manajemen Konstruksi (MK) yang sudah memberikan masukan dan juga melakukan pengawasan pada pekerjaan yang telah kami lakukan.
4. Tenaga Ahli Arsitektur dan juga Tim Tenaga Ahli Struktur yang memberikan masukan dan juga membantu dalam melakukan perhitungan-perhitungan struktur agar tercapainya lebar Dilatasi yang ideal untuk gedung RSUD Regional Provinsi Sulawesi Barat.
5. Subkontraktor khususnya pekerjaan CFRP yang membantu menyediakan material yang berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 440. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. 2008.

American Society of Civil Engineers. ASCE/SEI 41-17 – Seismic Evaluation and Retrofit Existing Buildings, 2017.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2021. Total Kerusakan dan Kerugian Pascagempa m 6.2 sulbar, dari <https://bnpb.go.id/berita/total-kerusakan-dan-kerugian-pascagempa-m6-2-sulbar-capai-rp829-1-miliar>. Diakses pada tanggal 1 Desember 2021.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, SNI 1726:2012. Jakarta: BSN Badan

Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013. Jakarta: BSN

Gempa Bumi Sulawesi Barat 2021. 2021. Diakses pada tanggal 1 Desember 2021, dari https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Sulawesi_Barat_2021. Diakses pada tanggal 1 Desember 2021.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2010. *Peta Zonasi Gempa Indonesia 2010*. Jakarta. Kementrian PUPR.

Laporan Hasil Assessment Rumah Sakit Regional Sulawesi Barat, Edisi 01, Penta Architecture, Bandung, Indonesia, 2021.

Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Tyfo® SCH Composite Anchor, Fyfe Co. LCC, USA, © Copyright 2015

Tyfo® SCH-7UP Composite, Fyfe Co. LCC, USA, © Copyright 2003-2006



ANALISIS FAKTOR KEAMANAN (SF) PADA DESAIN BASEMENT MENGUNAKAN SOIL NAILING BAMBU

Safety Factor Analysis (SF) In Basement Design Using Bamboo Soil Nailing

Fendi Hary Yanto¹

¹Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Solo.

Korespondensi: fendi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan dinding penahan tanah untuk basement pada bangunan gedung, umumnya menggunakan jenis dinding penahan tanah yang memanfaatkan berat sendiri dinding sebagai perkuatannya karena kekuatan yang dilakukan hanya di permukaan tanah saja. Penggunaan baja dalam konstruksi soil nailing yang terlalu besar dapat mengakibatkan ketersediaan baja habis, mengingat baja merupakan material yang tidak dapat diperbarui. Metode soil nailing dalam paper ini menggunakan material bambu sebagai nails. Model analisis adalah sebuah galian basement sedalam 10 m dengan lebar 20 m. Perhitungan analisis dilakukan menggunakan program Plaxis 8.2 untuk mencari besarnya nilai faktor keamanan (SF) pada dinding penahan tanah. Analisis dilakukan secara bertahap pada tiap kedalaman galian 2 m. Dari hasil analisis diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 4,271, nilai ini lebih besar dari nilai faktor keamanan yang disyaratkan yaitu $FS \geq 2$ yang menunjukkan bahwa kestabilan tanah tercapai. Dari hasil analisis juga didapatkan tercapainya kestabilan tanah pada tiap tahapan analisisnya serta tidak terjadinya keruntuhan pada bambu selama tahapan analisis.

Kata kunci: SF, Basement, Soil Nailing Bambu

ABSTRACT

The use of retaining walls for basements in buildings generally uses the retaining wall that utilizes the weight of the wall itself as reinforcement because the reinforcement is carried out only on the soil's surface. Using steel in soil nailing construction that is too large can result in the availability of steel depleted, considering that steel is a non-renewable material. The soil nailing method in this paper uses bamboo as nails. The analytical model is a basement excavation 10 m deep and 20 m wide. The analysis was calculated stages at each excavation depth of 2 m carried out the investigation. From the analysis result, the safety factor value is 4.271, more significant than the required safety factor value, namely $FS \geq 2$, which indicates that soil stability achieved. The analysis results also obtained the achievement of soil stability at each stage of the analysis. It can be added that there was no collapse of the bamboo during the analysis stage.

Keywords: FS, Basement, Bamboo Soil Nailing

PENDAHULUAN

Penggunaan dinding penahan tanah pada konstruksi *basement* umumnya menggunakan jenis dinding penahan tanah yang memanfaatkan berat sendiri dinding sebagai perkuatannya, peningkatan kekuatan berarti memperbesar dimensi dinding yang akan berakibat pada besarnya biaya konstruksi.

Soil nailing dapat dijadikan pilihan alternatif untuk mengatasi masalah tersebut. Penggunaan baja dalam konstruksi *soil nailing* yang terlalu besar dapat mengakibatkan ketersediaan baja habis, mengingat baja merupakan material yang tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu perlu dicarikan material alternatif pengganti baja, salah satunya adalah bambu.

Bambu memiliki sifat material yang baik, salah satunya adalah nilai kuat tariknya yang tinggi yang dapat mencapai dua kali nilai kuat tarik baja tulangan (Adinda, 2019). Namun bambu memiliki nilai kuat lekat yang rendah, sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kuat lekatnya. Salah satunya adalah dengan membuat bambu pilin.

Pembahasan *paper* ini adalah mengetahui besarnya faktor keamanan yang diperoleh dari kekuatan *soil nailing* pada bangunan *basement* dengan menggunakan bambu sebagai *nail*.

TINJAUAN PUSTAKA

Dinding penahan tanah atau yang biasa disebut *retaining wall*, merupakan struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli akibat adanya suatu galian (Hardiyatmo, 2010). *Soil nailing* merupakan salah satu jenis perkuatan tanah yang digunakan pada dinding penahan tanah maupun konstruksi kestabilan lereng. Perkuatan dengan *soil nailing* dinilai lebih menguntungkan dibanding dengan perkuatan tanah yang lain (Lazarte, 2003).

Perkuatan tanah dengan metode ini dengan memanfaatkan tekanan pasif yang akan dikerahkan jika terjadi gerakan. Hal ini dapat digunakan untuk mempertahankan galian dan menstabilkan lereng alam (tanah asli) dengan menciptakan suatu perkuatan struktur penahan tanah (Hanif, dll., 2017). *Soil nailing* termasuk katagori perkuatan kaku (*rigid*) yang dapat memikul gaya normal, gaya lintang dan gaya momen (Sinarta, 2014). Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor (Riogilang, et al, 2014).

Dari segi kekuatan, bambu memiliki nilai kuat tarik yang sangat baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1994-1999) besarnya nilai kuat tarik dari bambu dapat mencapai dua kali kuat tarik baja tulangan. Sebagai pembanding dipakai baja tulangan beton dengan tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili baja beton yang banyak terdapat di pasaran. Dari penelitian diperoleh bahwa kuat tarik kulit bambu Ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, sedangkan kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja. Sedangkan berdasarkan pengujian kuat tarik bambu yang dilakukan oleh Prastyo (2011) diperoleh hasil bahwa tegangan leleh bambu petung lebih besar dari nilai tegangan leleh baja polos tulangan.

METODE

Metode yang digunakan dalam paper ini adalah metode analisis dengan pemodelan menggunakan program Plaxis 8.2. Data analisis dan parameter kekuatan material diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data tanah diperoleh dari hasil analisis Laboratorium Mekanika Universitas Sebelas Maret Surakarta. Sedangkan data material bambu diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Prastyo (2011) di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Bentuk pemodelan yang dibuat adalah galian basement sedalam 10 m dengan lebar 20 m. Pada permukaan lereng galian diberi dinding dengan perkuatan *soil nailing* untuk memberikan kestabilan pada galian. Pada perkuatan *soil nailing* digunakan bambu sebagai nail, jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung dengan sudut kemiringan 100, diameter 20 mm, dan panjang 10 m, mengacu persyaratan dari FHWA (*Federal Highway Administration*). Batang bambu dibuat menjadi pilinan untuk meningkatkan nilai kuat lekat bambu. Pada permukaan tanah diberikan beban merata Q sebesar 100 kN/m^2 sepanjang 10 m sebagai asumsi beban bangunan di sebelahnya.

Analisis perhitungan menggunakan program Plaxis 8.2 untuk mencari besarnya nilai faktor keamanan (SF) dari dinding penahan tanah *soil nailing*. Hasil analisis kemudian akan ditampilkan dalam gambar dan grafik untuk dibahas dan ditarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Sebelas Maret Surakarta diperoleh data analisis sebagai berikut:

1. Material Tanah

Tabel 1 Data Material Tanah

Jenis	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	E (kN/m^2)	Φ ($^\circ$)	c (kN/m^2)
Kohesif	18,368	18,7604	$2,071 \cdot 10^4$	24,689	59,225

Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah

2. Material Bambu

Tabel 2 Data Material Bambu

Jenis	Diameter (mm)	Panjang (m)	Kemiringan ($^\circ$)	F_y (MPa)	EA (kM)
Petung	20	10	10	195,74	466073,4

Sumber: Laboratorium Bahan Bangunan

Soil nailing merupakan jenis perkuatan pasif pada tanah dengan menancapkan potongan-potongan *nails* ke dalam tanah. Pada dinding penahan tanah, potongan-potongan *nails* tersebut akan memberikan perlawanan gaya akibat adanya tekanan tanah lateral. Gaya perlawanan yang diberikan oleh *nails* terhadap tekanan tanah lateral adalah berupa gaya tarik yang besarnya perkalian dari tegangan leleh nail dan luas permukaan *nail* (Hardiyatmo, 2010). Oleh karena itu material yang digunakan sebagai *nails* harus memiliki nilai kuat tarik yang tinggi.

Bambu merupakan salah satu material yang memiliki nilai kuat tarik yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Morisco (2011), nilai kuat tarik bambu bisa mencapai 2 kali dari nilai kuat tarik baja tulangan. Berdasarkan hal tersebut, bambu dapat dijadikan sebagai material alternatif pengganti baja sebagai *nails*. Bambu juga merupakan material yang ketersediaannya berlimpah di Indonesia dan dapat diperbarui sehingga tidak akan habis.

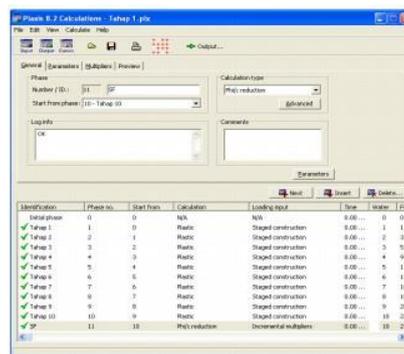
Namun demikian, bambu memiliki kekurangan, salah satunya adalah kuat lekat bambu yang kecil dibanding baja. Oleh karena itu, perlu diberikan perlakuan khusus pada bambu sehingga tidak menyebabkan terjadinya *pullout failure* pada saat digunakan sebagai *nail*. Salah satu cara yang bisa dilakukan adalah dengan membentuk pilinan pada bambu untuk meningkatkan nilai kuat lekatnya.

Berdasarkan pengujian *pullout* yang dilakukan oleh Pradana dan Prastyo (2011), diperoleh hasil bahwa kuat lekat bambu pilin lebih besar jika dibanding bambu polos sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Kuat Lekat Bambu Polos dan Pilin

Material Bambu		Kuat Lekat (Mpa)
Petung	Pilin	0.063498102
	Polos	0.064653722
Ori	Pilin	0.067976702
	Polos	0.001261648
Wulung	Pilin	0.091084973
	Polos	0.001253547

Setelah dilakukan analisis terhadap pemodelan yang direncanakan, didapatkan hasil kestabilan galian tanah dapat dicapai pada tiap tahapnya. Hal ini menunjukkan bahwa kestabilan alami tanah tetap terjaga pada tiap tahapan analisis sesuai dengan galian tanah rencana (2m).



Gambar 1 Hasil Tiap Tahapan Analisis

Pada tahap akhir analisis diperoleh nilai faktor keamanan (SF) sebesar 4,271, nilai ini lebih besar dari nilai FS yang disarankan oleh Bowles dalam Hardiyatmo (2006) untuk dinding penahan tanah pada tanah kohesif yaitu sebesar $FS \geq 2$. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan *soil nailing* dengan bambu dapat menahan tekanan tanah lateral pada galian basement sesuai dengan beban rencana. Hasil analisis menunjukkan bahwa material bambu yang dijadikan sebagai nail tidak mengalami keruntuhan yang menunjukkan bahwa tidak terjadinya *nail tendon failure* pada perkuatan *soil nailing*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan paper ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Bambu dapat dimanfaatkan sebagai pengganti baja pada perkuatan *soil nailing* sebagai dinding penahan tanah pada konstruksi *basement*.
2. Sebelum digunakan sebagai perkuatan, bambu harus diberikan perlakuan khusus untuk meningkatkan nilai kuat lekatnya. Salah satu caranya adalah dengan membuat bambu pilin.
3. Nilai faktor keamanan (SF) dari analisis yang dilakukan sebesar 4,271 menunjukkan bahwa kestabilan dinding penahan tanah tercapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada UNS yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Riset Group. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pihak-pihak terkait, yaitu, Sekolah Vokasi UNS dan Laboratorium Mektan dan Bahan Bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinda, N. R. 2019. *Kajian Penerapan Soil Nailing Ekonomis Sebagai Penguat Slope Stability Pada Kawasan Wisata. Universitas Kebangsaan, 2, 1-5.*
- Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation. Amerika.
- Hanif, Setiawan, Dananjaya. 2017. *Analisis Perkuatan Soil Nailing Sebagai Metode Perbaikan Stabilitas Lereng. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil.*
- Hardiyatmo, HC. 2006. *Teknik Fondasi 1.* Beta Offset. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, HC. 2010. *Analisis dan Perencanaan Fondasi bagian I.* Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- I Nengah Sinarta. 2014. *Metode Penanganan Tanah Longsor Dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing).* Paduraksa. 3 (2).
- Lazarte, CA. 2003. *Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls.*
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu.* Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Pradana, CG. 2011. *Perbandingan Kuat Lekat Tulangan Bambu Pilitan dengan Tulangan Baja Polos Pada Beton Normal dengan Variasi Jenis Bambu.* Skripsi S1. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.
- Prastyo, AD. 2011. *Kajian Kuat Lekat Tulangan Bambu Polos Dengan Tulangan Baja Polos Pada Beton Normal Dengan Variasi Jenis Bambu.* Skripsi S1. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.
- Riogilang, Pontororing, Mekel. 2014. *Soil Nailing dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor Di Sta 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon.* Jurnal Ilmiah Media Engineering. 4 (2) : 119-126.



KAJIAN BANJIR KOTA PEKALONGAN

Study of Flood in Pekalongan City

Prita Lutfitiana¹³, Rosalia Putri Ramadhani²³, Muhammad Cahyono⁴, Eka Oktariyanto Nugroho⁴, Slamet Lestari⁵, Yiniarti Eka Kumala⁶

¹Direktorat Operasi dan Pemeliharaan, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

²Balai Wilayah Sungai Sumatera VI Jambi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

³Program Studi Magister Manajemen Sumber Daya Air, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

⁴Kelompok Penelitian Sumber Daya Air, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

⁵Direktorat Bendungan dan Danau, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

⁶Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Korespondensi: prita.lutfitiana@pu.go.id

ABSTRAK

Kota Pekalongan yang berada di wilayah pantai utara Pulau Jawa mengalami banjir setiap tahun. Genangan banjir pada tahun 2019 yaitu sebesar 1.057 ha (22,77% dari luas total kota) dan pada tahun 2020 meningkat menjadi 1.730 ha. Banjir menyebabkan kerugian ekonomi di area terdampak banjir. Untuk mengendalikan banjir diperlukan pemahaman tentang penyebab banjir sehingga upaya penanganan dapat dilakukan secara terstruktur dan teintegrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji akar permasalahan penyebab banjir di Kota Pekalongan. Metode yang digunakan adalah pemodelan genangan banjir menggunakan model numerik dengan HEC-RAS untuk merekonstruksi kejadian banjir di bulan Juni 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa banjir pada bulan Juni 2020 terjadi akibat adanya pasang maksimum air laut dengan kondisi gelombang tinggi. Meskipun pada saat kejadian banjir tersebut tidak terjadi curah hujan yang tinggi, run up gelombang menyebabkan kenaikan muka air laut sehingga air laut melimpas ke daratan. Dari hasil pemodelan genangan banjir menggunakan HEC-RAS yang dikalibrasi dengan peta genangan banjir bulan Juni 2020, pada skenario 1 tanpa run up gelombang tidak terjadi genangan banjir yang signifikan, sedangkan pada skenario 2 dengan tambahan nilai run up gelombang diperoleh area genangan yang menyerupai peta genangan banjir. Hasil penelitian ini bermanfaat untuk membantu pembuatan kebijakan terkait pengendalian banjir di kota Pekalongan.

Kata kunci: Banjir, Pekalongan, HEC-RAS, pemodelan gelombang

ABSTRACT

Located on the northern coast of Java Island, Pekalongan City often experience flooding every year. In 2019, the inundation area was 1,057 ha (22.77% of the city area), and in 2020 it increased to 1.730 ha. Floods cause economic losses in the affected areas. It is important to understand the root causes of flooding so that the flood control measures can be more effective and integrated. This study aimed to investigate the causes of the flooding event. A HEC-RAS numerical model was used to simulate the flood inundation to reconstruct the flood event in June 2020. The results showed that the flooding occurred due to the maximum tide of seawater with high wave conditions. Although there was no high rainfall during the flood event, the wave run-up caused the sea level rising so that the seawater overflowed onto the land. The results of flood simulation calibrated with a flood inundation map in June 2020, in scenario 1 without wave run-up there was no significant inundation. Meanwhile, in scenario 2 with the addition of the wave run-up, the inundation obtained resembled the flood inundation map. The results of this study are useful to assist in policies making related to flood control.

Keywords: Flood, Pekalongan, HEC-RAS, inundation modelling

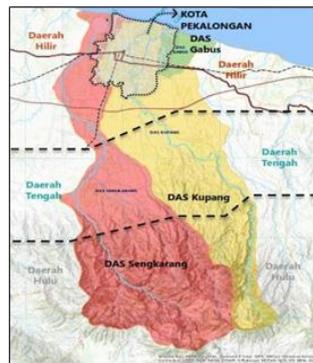
PENDAHULUAN

Kota Pekalongan terletak di dataran rendah pantai utara Pulau Jawa pada koordinat $6^{\circ}50'42''$ - $6^{\circ}55'44''$ Lintang Selatan dan $109^{\circ}37'55''$ - $109^{\circ}42'19''$ Bujur Timur. Batas-batas administratif kota Pekalongan adalah sebagai berikut:

- Sebelah utara : Laut Jawa
- Sebelah timur : Kab. Batang
- Sebelah selatan : Kab. Pekalongan dan Kab. Batang
- Sebelah barat : Kab. Pekalongan

Ditinjau dari topografi dan kemiringan lahan, Kota Pekalongan termasuk daerah yang relatif datar, yaitu dengan ketinggian lahan antara 1 meter di atas permukaan laut (dpl) pada wilayah bagian utara dan 6 meter dpl pada bagian selatan serta kemiringan lahan rata-rata antara 0-5% (Profil kota Pekalongan, Bidang Cipta Karya Kota Pekalongan Tahun 2016 – 2020).

Kota Pekalongan berada pada bagian hilir beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) diantaranya DAS Kupang, DAS Sengkarang, dan DAS Gabus. Sebagian besar wilayah kota Pekalongan termasuk dalam DAS Kupang dimana sungai utamanya adalah sistem sungai Loji-Banger. Peta DAS di kota Pekalongan dapat dilihat pada Gambar 1 dan sistem sungai Loji-Banger pada Gambar 2 Keberadaan sungai-sungai dengan kemiringan landai yang melintasi kota menimbulkan potensi banjir akibat luapan air sungai.



Sumber : Dinas Pusdataru Jawa Tengah
Gambar 1 Peta DAS di Kota Pekalongan



Sumber : Google Earth
Gambar 2 Sungai di DAS Kupang

Menurut dokumen Pola Sumber Daya Air Pemali Comal Tahun 2019, banjir di sungai Loji-Banger disebabkan antara lain:

1. Aktivitas penambangan galian non mineral tanpa izin di badan sungai;
2. Pengembangan waduk sulit untuk dilakukan baik dari sisi teknis maupun non teknis;

3. Terjadinya peningkatan koefisien regim sungai sebagai akibat dari perubahan tata guna lahan yang mempengaruhi keandalan debit sungai;
4. Rob dan Intrusi air laut akibat penurunan muka tanah dan lain-lain sehingga menyebabkan kerusakan pada bangunan- bangunan prasarana sungai; dan
5. Kurangnya kesadaran masyarakat dan dunia usaha dalam pengelolaan air limbah dan persampahan.

Lokasi Kota Pekalongan yang berada di wilayah pantai utara Jawa juga memiliki potensi terjadinya banjir yang disebabkan oleh gelombang tinggi akibat pengaruh angin maupun gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (pasang surut). Hasil studi tentang gelombang tinggi di perairan Indonesia menunjukkan bahwa variasi spasial dan temporal tinggi gelombang dan frekuensi terjadinya gelombang tinggi mempunyai pola yang berasosiasi dengan siklus angin musonal. Gelombang akibat angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di permukaan laut, baik ditinjau dari frekuensi kejadiannya maupun energinya. Terminologi tinggi gelombang signifikan didefinisikan sebagai tinggi rata-rata 1/3 dari gelombang tertinggi, yang nilainya setara dengan tinggi gelombang hasil *observasi visual* (Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, 2012).

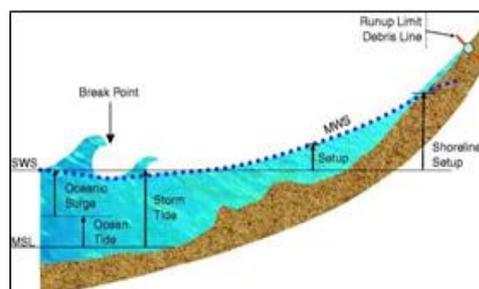
Parameter gelombang laut dan pasang surut merupakan faktor dominan yang mempengaruhi kenaikan muka air laut. Besar dan kecilnya gelombang laut tergantung pada kecepatan angin yang bertiup, durasi serta luas area cakupan. Pada saat tinggi gelombang laut minimum kenaikan muka air laut yang ditimbulkan pun kecil, sehingga naiknya muka air laut hanya diperankan oleh fluktuasi tinggi pasang surut. Amplifikasi gelombang pasang dan kenaikan muka air laut dapat terjadi bersamaan ketika gelombang pasang merambat ke pantai (*run up*). Hasil penelitian tentang variasi kenaikan muka air laut di wilayah pesisir Pekalongan dapat dilihat pada Tabel 1 (Hari Prihatno, 2012).

Tabel 1 Tinggi Muka Laut pada Kondisi Pasang Tertinggi

Tinggi Gelombang Laut (m)	Tinggi Muka Laut Pesisir (m)	Tinggi Periode Pasang (m)	Tinggi Akumulasi (m)
0,71	0,11	0,406	0,516
1,93	0,30	0,406	0,706
4,61	0,66	0,406	1,066

Sumber : Dinas Pusdataru Jawa Tengah

Ilustrasi terjadinya kenaikan muka air laut akibat gelombang (*run up*) dapat dilihat pada Gambar 3 dan kejadian *run up* Gelombang di pesisir Pekalongan pada Gambar 4.



Sumber: You ZJ, Nielsen P. (2013) *Extreme Coastal Waves, Ocean Surges and Wave Runup*.

Gambar 3 Run Up Gelombang



Sumber : Antara News

Gambar 4 Kejadian *Run Up* Gelombang di Pesisir Pekalongan

Kondisi geologi kota Pekalongan yang merupakan tanah lunak berpotensi mengalami penurunan tanah (*land subsidence*) sehingga dapat berpengaruh terhadap peningkatan luas genangan banjir. Penurunan tanah yang terjadi di Kota Pekalongan menurut berbagai informasi adalah sebagai berikut:

∞ LAPAN (2015 – 2020)	: 2,1 – 11 cm/thn;
∞ Dr. Hery Andreas ITB (2018)	: 10 - 20 cm/thn;
∞ LSM Kemitraan (2018)	: 25 -34 cm/thn;
∞ Pengamatan Patok Badan Geologi Stadion Hoegeng (BM 1)	: 6 cm/thn;
∞ Pengamatan Patok Badan Geologi di kecamatan Pekalongan Selatan (BM 2)	: 1.02 cm/thn.

Land subsidence merupakan penurunan muka tanah yang dapat diakibatkan oleh berbagai macam cara. Menurut Whittaker dan Reddish (1989) dalam Adzindani R.W, 2019, penurunan tanah dapat digolongkan menjadi:

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) akibat faktor alam seperti aktifitas vulkanik atau tektonik, siklus geologi ataupun adanya rongga bawah tanah;
2. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan cair dari dalam tanah (*groundwater extraction*);
3. Penurunan muka tanah akibat beban (*settlement*) seperti pembebanan oleh struktur bangunan yang menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi;
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari dalam bumi seperti aktifitas penambangan;
5. Sedimentasi cekungan (*sedimentary basin*);
6. Rongga bawah tanah menyebabkan runtuhnya atap rongga yang membentuk lubang (*sink hole*).

Berdasarkan berbagai kondisi tersebut, kota Pekalongan mengalami banjir setiap tahun. Wilayah yang kerap mengalami banjir merupakan kawasan yang berada di utara kota Pekalongan (sekitar muara Sungai Loji dan Sungai Banger). Peta genangan banjir di kota Pekalongan pada bulan Juni dan Juli 2020 dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber : Dinas Pusdataru Jawa Tengah

Gambar 5 Peta genangan banjir Loji-Banger bulan Juni dan Juli 2020

Adapun luas genangan banjir secara keseluruhan yang terjadi di Kota Pekalongan pada tahun 2016-2020 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Luas Genangan Banjir di Kota Pekalongan Tahun 2016 – 2020

No	Tahun	Luas Genangan (ha)
1	2015	1.920
2	2016	1.870
3	2017	1.396
4	2018	1.391
5	2019	1.057
6	2020	1.730

Sumber : Dinas Pusdataru Jawa Tengah

Beberapa dampak yang ditimbulkan karena adanya banjir antara lain: kerugian material, kerusakan bangunan, lingkungan yang kotor, penyebaran penyakit, dan terganggunya lalu lintas (M. Afif Salim, 2021). Banjir perlu ditangani secara terstruktur dan terintegrasi dari berbagai pihak terkait berlandaskan pemahaman terhadap akar permasalahan banjir agar diperoleh hasil yang maksimal. Variabilitas faktor penyebab banjir dan kompleksitas wilayah kota Pekalongan menyebabkan adanya variasi kejadian banjir. Faktor dominan penyebab setiap kejadian banjir dapat berbeda-beda sesuai kondisi pada saat itu. Maka, diperlukan kajian untuk mengetahui karakteristik banjir guna memperoleh informasi yang diperlukan dalam menunjang perencanaan kegiatan pengendalian banjir.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji akar permasalahan penyebab banjir di kota Pekalongan. Batasan penelitian ini yaitu wilayah kajian berada di kota Pekalongan yang termasuk ke dalam DAS Kupang dan kejadian banjir yang ditinjau adalah banjir pada bulan Juni 2020.

METODE

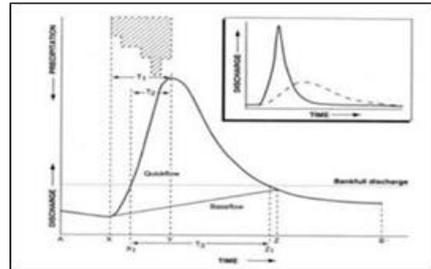
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan genangan banjir dengan model numerik yaitu HEC-RAS untuk merekonstruksi kejadian banjir di bulan Juni 2020. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pasang surut hasil pengamatan BMKG pada saat kejadian banjir bulan Juni 2020, data Digital Elevation Model (DEM) dari DEMNAS, data penampang sungai dari pengukuran lapangan yang telah dilakukan pada tahun 2018 oleh Dinas PUSDATARU Jawa Tengah, serta data tinggi run up diperoleh dari hasil penelitian studi terdahulu. Simulasi genangan banjir dilakukan menggunakan software HEC-RAS dengan dilakukan 2 skenario, yaitu 1.) Debit saat kejadian banjir dan HWS, 2.) Debit saat kejadian banjir, HWS, dan run up gelombang.

Analisa Hidrologi

Dalam analisis hidrologi, metodologi analisis *hidrograf* banjir terdiri dari dua bagian yaitu analisis curah hujan dan analisis kalibrasi atau verifikasi untuk mendapatkan hidrograf satuan sintetik yang kompatibel dengan DAS Kupang. Analisis curah hujan dilakukan dengan menggunakan 4 stasiun curah hujan yang berada di DAS Kupang: Pekalongan, Wonotunggal, Kletak dan Kurtosari Duro. Curah hujan harian maksimum di daerah tersebut diperoleh dengan menggunakan metode *Polygon Thiessen* dan *Area Reduction Factor* (ARF). Metode polygon thiessen digunakan untuk mendapatkan estimasi yang akurat dari distribusi spasial curah hujan. ARF merupakan faktor dengan nilai tetap untuk mengubah data curah hujan dari curah hujan titik menjadi curah hujan daerah.

Respon daerah aliran sungai (DAS) terhadap hujan adalah limpasan. Hujan merupakan faktor utama penyebab banjir. Ciri-ciri hujan yang menyebabkan banjir adalah curah hujan yang memiliki intensitas tinggi dan durasi hujan yang lama. Ketika suatu DAS merespon hujan menjadi limpasan langsung, karakteristik debit sangat

tergantung pada konstanta dan variabel DAS. Salah satu konstanta yang mempengaruhinya adalah koefisien penggunaan lahan. Gambar 6 berikut merupakan konsep hidrograf banjir.



Sumber: Hidrologi Terapan, Ven Te Chow, 1988

Gambar 6 Konsep Hidrograf Banjir pada Daerah Aliran Sungai

Perhitungan infiltrasi dilakukan dengan menggunakan metode *Curve Number* (CN) dengan membagi DAS Kupang menjadi sub-DAS. Metode yang digunakan adalah variabel karakteristik DAS seperti jenis tanah, tutupan lahan, kelembaban tanah, dan cara konservasi lahan. Distribusi curah hujan per jam dan nilai komposit CN digunakan sebagai input untuk mendapatkan *SCS Synthetic Unit Hydrographs* (SUH) menggunakan *software* HEC-HMS. Untuk mengkalibrasi hidrograf banjir, debit aliran dari sub DAS Kupang yang outletnya terletak di titik pengalihan Sungai Loji dan Sungai Banger dibandingkan dengan data pengamatan debit yang diperoleh dari AWLR Kupang Kuripan. Hidrograf aliran yang digunakan dalam simulasi ini adalah debit dengan periode ulang 25 tahun sebagai syarat batas hulu pada aliran tunak menggunakan HEC-RAS 6.1.

Analisa Hidrolika

Analisis hidrolika dilakukan dengan pemodelan numerik menggunakan HEC-RAS. Menurut Istiarto (2014) untuk melakukan alur banjir di sungai, perlu dilakukan simulasi aliran tidak tunak. Dan untuk memperkirakan tinggi muka air banjir di sepanjang sungai dapat dilakukan simulasi aliran tunak, dengan ketentuan tinggi muka air banjir yang dihitung akan lebih tinggi dari yang seharusnya (*overestimate*). Simulasi hidrolis di HEC-RAS didasarkan pada persamaan konservasi energi satu dimensi. Persamaan momentum digunakan ketika ada perubahan yang cepat dalam profil permukaan air. Persamaan konservasi energi dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h_e \quad (1)$$

dengan:

Y_1, Y_2 = kedalaman aliran pada penampang

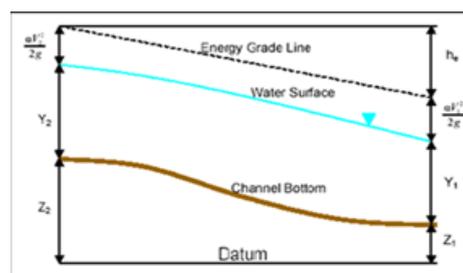
Z_1, Z_2 = elevasi saluran utama

V_1, V_2 = kecepatan rata-rata

α_1, α_2 = koefisien bobot kecepatan

g = gravitasi

h_e = energi *head loss*



Sumber: Reviananda dan Prasodjo, 2008

Gambar 7 Diagram Persamaan Energi

Metode Pemetaan Genangan Banjir

Dalam proses pemetaan genangan banjir di sungai membutuhkan data hasil analisis hidraulika dan hidrologi, dimana hasil analisis akan berupa penentuan elevasi dasar permukaan sungai, kedalaman genangan, lebar dataran banjir, debit air yang mengalir di saluran saat terjadi banjir dan hambatan yang terdapat pada aliran. Berdasarkan *National Research Council* (2009) terdapat empat metode pemetaan genangan banjir yaitu:

1. Kajian detail (*detailed studies*): Metode pemetaan genangan banjir dengan syarat data pengukuran sungai dan model hujan limpasan dilakukan dengan analisis hidrologi, kemudian analisis hidraulika dilakukan dengan pemodelan aliran menggunakan data survei sungai secara detail.
2. Kajian detail terbatas (*limited detailed studies*): Metode pemetaan genangan banjir dengan syarat data hasil pengukuran sungai digunakan untuk analisis hidrologi dan analisis hidraulika dilakukan tanpa data detail terkait sungai yang akan diamati.
3. Kajian pendekatan (*approximate studies*): Metode pemetaan genangan banjir yang dilakukan dengan memperkirakan batas-batas genangan tanpa kajian teknis secara mendalam seperti hanya dengan membaca peta topografi atau survei lapangan.
4. Redelineasi: Metode pemetaan genangan banjir dengan cara membuat ulang peta banjir berdasarkan data elevasi muka air banjir yang sudah pernah terjadi di atas peta topografi yang baru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Disebabkan tidak adanya data curah hujan jam-jaman, maka analisis distribusi hujan jam-jaman dilakukan dengan menggunakan data hujan satelit GPM (*Global Precipitation Measurement*) berdasarkan data kejadian banjir di tanggal 1 Juni 2020, dengan hasil analisis didapatkan distribusi hujan jam-jaman seperti pada Gambar 8 sebagai berikut :



Sumber: Analisis, 2021

Gambar 8 Distribusi Hujan Jam-jaman Juni 2020

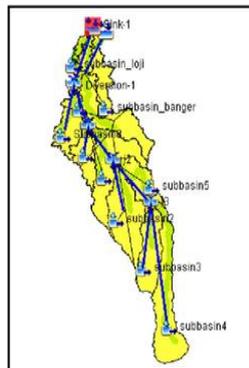
Analisis curah hujan efektif dilakukan dengan menggunakan metode SCS (*Soil Conservation Service*). Perhitungan hujan efektif dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung nilai infiltrasi. Perhitungan infiltrasi pada kajian ini dilakukan berdasarkan nilai CN (*Curve Number*). Nilai CN didapatkan dengan mengolah peta HWSL (*Harmonized World Soil Database*) dan peta tata guna lahan DAS Kupang pada perangkat lunak GIS untuk mendapatkan nilai CN pada tiap- tiap Sub DAS yang ada. Dari hasil analisis didapatkan nilai CN pada tiap- tiap Sub DAS seperti Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Parameter CN dan TL tiap Sub DAS

Nama	Luas Sub DAS (km ²)	CN	S	L (km)	TL (mnt)
Sub DAS 1	11,67	61,90	0,0029	1,37	426,34
Sub DAS 2	30,78	59,34	0,0183	7,97	431,22
Sub DAS 3	20,50	57,37	0,0401	6,95	427,22
Sub DAS 4	20,75	55,90	0,0595	19,2	433,99
Sub DAS 5	14,38	60,50	0,0187	9,45	432,27
Sub DAS 6	30,29	60,36	0,004	6,84	440,36
Sub DAS 7	1,85	69,73	0,0030	6,47	472,22
Sub DAS 8	14,46	67,24	0,0013	6,59	447,42
Sub DAS Loji	4,52	74,95	0,0002	10,2	484,02
Sub DAS Banger	41,18	70,01	0,0012	15,7	473,13

Sumber: Analisis, 2021

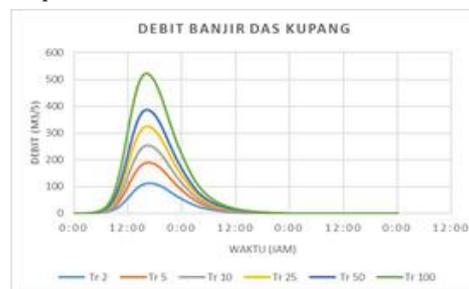
Analisis debit banjir rencana dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan metode HSS SCS. Pada pemodelan dengan HEC-HMS digunakan beberapa input berupa skema DAS, distribusi hujan jam-jaman, nilai CN, dan parameter waktu hidrograf (*time lag, time to peak, dll.*). Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap parameter waktu hidrograf, sehingga debit puncak yang dihasilkan mendekati debit puncak hasil analisis frekuensi debit aliran tertinggi yang pernah terjadi pada Pos AWLR Kupang Kuripan sebagai acuan untuk kalibrasi seperti pada Gambar 9 berikut ini:



Sumber : Analisis, 2021

Gambar 9 Pemodelan Hidrologi menggunakan Hec-HMS

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode HSS SCS didapatkan debit banjir rencana sebagai berikut yang ditinjau pada Diversion-1 seperti pada Gambar 10 berikut:



Sumber : Analisis, 2021

Gambar 10 Grafik Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) SCS pada diversion-1

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode HSS SCS didapatkan debit banjir rencana sebagai berikut yang ditinjau pada titik Diversion-1 ditampilkan pada Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4 Debit Puncak Metode SCS Tiap Periode Ulang pada Diversion-1

Tr	Debit Puncak metode SCS (m ³ /s)
2	112,48
5	189,01
10	252,63
25	323,74
50	385,57
100	563,43

Sumber : Analisis, 2021

Kalibrasi perhitungan debit banjir rencana dilakukan dengan menggunakan data debit aliran tertinggi yang pernah terjadi pada Pos AWLR Kupang Kuripan. Dilakukan analisis frekuensi terhadap data tersebut sehingga didapatkan debit banjir pada setiap periode ulang. Digunakan metode *Log Pearson III* dalam analisis frekuensi sebagai hasil debit puncak banjir yang digunakan untuk acuan kalibrasi seperti ditampilkan pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5 Perbandingan Debit Puncak Metode SCS dan Data Debit AWLR (*Log Pearson III*)

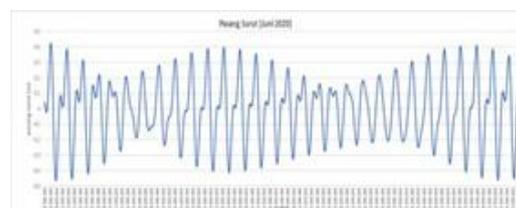
Tr	Debit Puncak metode SCS (m ³ /s)	Debit AWLR Kupang Kuripan metode <i>Log Pearson III</i> (m ³ /s)
2	112,48	157,58
5	189,01	212,13
10	252,63	254,73
25	323,74	316,60
50	385,57	369,03
100	563,43	427,38

Sumber : Analisis, 2021

Dari hasil kalibrasi debit banjir yang dilakukan hasil HSS *Snyder* dipilih sebagai debit rencana yang digunakan untuk analisis selanjutnya dikarenakan hasil HSS SCS lebih mendekati dengan kondisi lapangan.

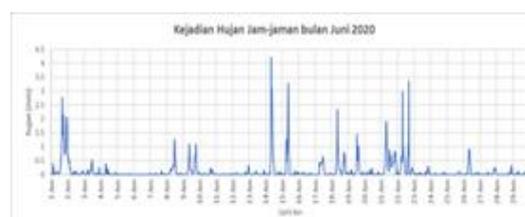
Analisis Kejadian Banjir

Dari grafik pasang surut bulan Juni, diperoleh nilai HWS sebesar 0,43 m.



Sumber: BMKG 2020

Gambar 11 Grafik Pasang Surut Juni 2020



Sumber: Giovanni Satelite

Gambar 12 Grafik Kejadian Hujan Jam-jaman Juni 2020

Curah Hujan yang terjadi pada saat kejadian banjir di tanggal 02 Juni 2020 adalah sebagai berikut:

- Sta. Pekalongan : 12 mm;
- Sta. Wonotunggal : 28 mm;
- Sta Kletak : 5 mm;
- Sta Kurtosari : 10 mm.

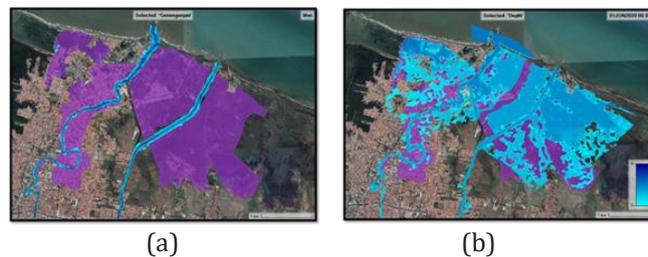
Dengan demikian, Debit Banjir diperoleh sebesar 4.91 m³/det.

Nilai *run up* gelombang diperoleh dari hasil studi terdahulu dengan nilai sebesar 0,7 m.

Skenario Permodelan

Dalam membuktikan genangan banjir yang terjadi disebabkan oleh pengaruh *run up* gelombang maka dilakukan skenario pemodelan menggunakan HEC-RAS sebagai berikut:

- a. Q (Juni) + Pasut (Juni)
- b. Q (Juni) + Pasut (Juni) + *run up* gelombang



Gambar 13 Hasil Pemodelan Genangan Banjir (a) Q Juni + Pasut, (b) Q Juni + Pasut + *Run Up* Gelombang

KESIMPULAN

Untuk pengendalian banjir di Kota Pekalongan yang efektif dan terintegrasi, diperlukan kajian untuk mengetahui akar permasalahan terjadinya banjir yang dapat dilakukan dengan rekonstruksi kejadian banjir.

Hasil simulasi genangan banjir dengan pemodelan numerik HEC-RAS menunjukkan bahwa faktor dominan penyebab kejadian banjir pada bulan Juni 2020 adalah *run up* gelombang pada kondisi pasang dan gelombang tinggi.

SARAN

Adapun saran pada penelitian ini adalah:

1. Penyebarluasan informasi cuaca dan iklim untuk pengurangan risiko bencana perlu untuk ditingkatkan;
2. Sistem pengendalian banjir akan berfungsi dengan baik dengan adanya kepedulian dari masyarakat di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS);
3. Perlunya peningkatan Operasi dan Pemeliharaan terhadap sistem *micro drainage* sampai ke main drainage dengan melibatkan semua komponen *Pentahelix* (Kolaborasi, Integrasi, Sinkronisasi, Sinergi Pengelolaan SDA);
4. Sosialisasi kepada masyarakat terkait tata ruang pemanfaatan daerah bantaran sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih atas kontribusi berharga dari semua pihak yang telah memberikan data dan bantuan yang dapat diandalkan. Terima kasih kepada civitas akademika Institut Teknologi Bandung, Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dan Pemerintah Kota Pekalongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif Salim. 2018. *Penanganan Banjir dan Rob Wilayah Pekalongan*. Jurnal Teknik Sipil Untag Semarang.
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988. *Hidrologi Terapan*, Mc. GrawHill Perusahaan Buku, Singapura.
- DEMNAS. 2021. DEMNAS.Retrieved from DEMNAS: <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>
- Hery Andreas, 2019. Tidal Inundation ("Rob"), Sea Level Rise, Land Subsidence dan Isu Terkait di Wilayah Pekalongan. *Disampaikan pada Seminar Sosialisasi UU No. 12 tentang APBN 2019 dalam Penanggulangan Banjir dan Rob di Pantura Pekalongan tanggal 5 Agustus 2019*.
- Hanifah, Farrah. 2018. *Identifikasi Tinggi dan Jarak Genangan Daerah Rawan Bencana Rob di Wilayah Pantai Utara Jawa yang Disebabkan Gelombang Badai Pasang dan Variasi Antar Tahunan*.
- Maya Sari. 2016. *Banjir Rob Pengertian, Karakteristik, Dampak dan Cara Mengatasinya*.
- Miftakhudin, Slamet. 2021. *Strategi Penanganan Banjir dan Rob Kota Pekalongan: JURNAL LITBANG KOTA PEKALONGAN VOL. 20 TAHUN 2021*.
- Roni Kurniawan, M. Najib Habibie, Donald S.Permana. 2012. *Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia*
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: UGM Press
- US ARMY Corps of Engineers. 2010. *HECRAS River Analysis System: User's Manual*. US Army Corps of Engineers, Washington.
- Whittaker D.N, and Reddish D.J, 1989. *Subsidence Occurence, Prediction and. Control*, DME Univ of Nottingham, Elsvier, New York.
- You ZJ., Nielsen P. 2013. *Extreme Coastal Waves, Ocean Surges and Wave Runup*. In: Finkl C. (eds) Coastal Hazards. Coastal Research Library, vol 1000. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5234-4_22.



KOMPARASI METODE ERECTION BENTANG UTAMA JEMBATAN SEI WAMPU

Comparison of Sei Wampu Bridge Main Span Erection Methods

Andrew Nugraha Standyarto, ST, MSc¹

¹Jafung Teknik Jalan dan Jembatan Ahli Pertama, Subdirektorat Wilayah I, Direktorat Pembangunan Jembatan,
Direktorat Jenderal Bina Marga
Korespondensi: andrew.standyarto@pu.go.id

ABSTRAK

Jembatan merupakan bagian infrastruktur jalan yang menghubungkan rintangan seperti sungai dan jurang dalam mendukung aksesibilitas dan konektivitas di Indonesia. Untuk memastikan fase konstruksi sesuai dengan DED, metode erection bangunan atas perlu dikaji, dalam hal ini struktur pelengkung baja 140 m bentang utama Sei Wampu. Jembatan Sei Wampu berlokasi pada ruas jalan nasional PPK 4.1 Stabat - Tanjung Pura di Sumatera Utara. Paket jasa konstruksi pembangunan Jembatan Sei Wampu putus kontrak pada 2019 dengan kondisi lantai (elemen stringer dan cross girder) bentang pelengkung jembatan berupa sudah terpasang di sungai memakai struktur temporary shoring sehingga mempersulit pekerjaan erection lanjutan. Menindaklanjuti rencana tender lanjutan pada TA 2021, dibutuhkan komparasi metode erection elemen pelengkung dan hanger agar jembatan dapat fungsional. Dengan pendekatan studi literatur dan tinjauan lapangan, 12 metode erection dikaji dengan mempertimbangkan aspek teknis dan biaya. Dari komparasi, diperoleh bahwa metode erection menggunakan tower backstay dengan heavy crane pada platform beton biaya 18,8 M. Dengan telah ditentukannya metode sebagai acuan perhitungan EE, tender lanjutan dapat dilakukan agar jembatan dapat fungsional bagi pengguna jalan.

Kata kunci: Jembatan Pelengkung, Metode Erection, Crane

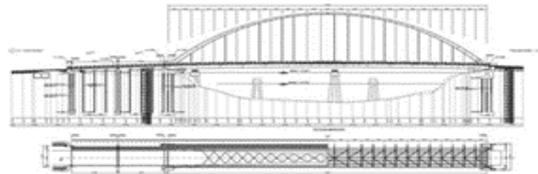
ABSTRACT

Bridges are part of the road infrastructure that connects obstacles such as rivers and chasms to support accessibility and connectivity in Indonesia. To ensure the construction phase is in accordance with the DED, the method of superstructure erection needs to be studied, in this case the 140 m steel arch main span of Sei Wampu Bridge. Sei Wampu Bridge is located on national road section of PPK 4.1 Stabat - Tanjung Pura in North Sumatra. The construction service package contract for Sei Wampu Bridge was terminated in 2019 with the condition of main span bridge floor (stringer and cross girder elements is already installed on the river using a temporary shoring structure, making it difficult for further main span erection work. Following up the planned follow-up tender in 2021, it is necessary to compare the erection method of arch elements and hangers so the bridge can be functional. With a literature study approach and site visit, 12 erection methods were studied by considering technical and cost aspects. From the comparison, the erection method is then obtained by using backstay tower with heavy cranes on a concrete platform that costs about 18.8 B IDR. With the method determined as a reference for EE calculations, further tenders can then be carried out so the bridge can be functional for road user.

Keywords: Arch Bridge, Erection Method, Crane

PENDAHULUAN

Jembatan Sei Wampu merupakan jembatan duplikasi dari jembatan eksisting Rangka Baja Australia (RBA) 3 x 60 m yang menghubungkan Stabat dengan Tanjung Pura dengan volume kendaraan yang cukup padat di perbatasan Sumatera Utara dengan Aceh. Jembatan Sei Wampu direncanakan memiliki bentang utama 140 m pelengkung baja dengan bentang pendekat *slab on pile* 8 x 5 m pada sisi Stabat seperti terlihat pada Gambar 1 berikut:



Sumber: DED 2019

Gambar 1 Tampak Memanjang dan Atas Jembatan Sei Wampu

Pembangunan duplikasi Jembatan Sei Wampu mengalami putus kontrak pada 2019 dengan kondisi elemen baja pelengkung telah selesai diproduksi dan sistem lantai bentang utama sudah terpasang menggunakan *temporary shoring*, menyebabkan penggunaan metode konvensional tidak dapat dilakukan untuk melanjutkan pembangunan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kondisi Eksisting Sistem Lantai Sei Wampu

Penentuan metode *erection* yang tepat dengan memperhatikan kondisi eksisting lapangan dan parameter penilaian seperti aspek teknis, biaya dan waktu pelaksanaan sangat diperlukan. Dengan terpilihnya metode *erection*, tender paket penyelesaian dapat dilakukan dan manfaat jembatan Sei Wampu dapat segera dirasakan.

Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung merupakan tipe bangunan atas struktur jembatan dengan prinsip statika pelengkung 3 sendi. Sistem struktur dapat berupa statis tertentu dengan perletakan sendi dan rol pada tiap sisi dengan penahan gaya horizontal yang kuat berupa abutmen pada tiap sisi. Pemilihan tipe pelengkung sebagai jembatan khusus karena faktor bentang relatif panjang, estetika, waktu dengan elemen baja dipabrikasi bersamaan dengan pengerjaan bangunan bawah di site, elemen baja diproduksi segmental untuk mempermudah handling di lapangan dan mutu berkat QA/QC tinggi di pabrik (*executive summary*). Sesuai posisi lantai, jembatan pelengkung dibagi menjadi 3 yaitu dek, menerus through dan *tied*. Tipe pelengkung *tied* terdiri dari elemen struktur pelengkung, hanger dan *girder* atau lantai (beton bertulang, *cross girder* dan *stringer*).

Penggunaan hanger berpengaruh saat fase pemeliharaan kabel dimana lalu lintas dapat tetap dibuka dengan penggunaan jack sesuai kebutuhan. Struktur pelengkung dapat terbuat dari beton atau baja, berdasar bentang maksimum tipe dengan beton hingga 420 m dan baja mencapai 550 m (Prasmoro, R., et al, 2017). Tipe struktur pelengkung memiliki aliran gaya beban mati dan lalu lintas diterima pertama oleh sistem lantai beton bertulang

dan *steel deck* yang bekerja secara komposit dengan *shear connector stud*, gaya diteruskan oleh *cross girder* dengan balok pagi longitudinal stringer ke angkur *cable-deck*, kabel hanger, angkur *cable-arch*, box pelengkung, ke bangunan bawah pilar/*pier*, pile cap dan didistribusikan oleh pondasi dalam ke struktur tanah menjadi gaya normal tekan seperti diagram aliran gaya sebagai berikut pada Gambar 3:



Sumber: *Executive Summary Jembatan Kalikuto Proyek Jalan Tol Batang-Semarang Seksi 2, 2018*

Gambar 3 Diagram Aliran Gaya Struktur Pelengkung

METODE

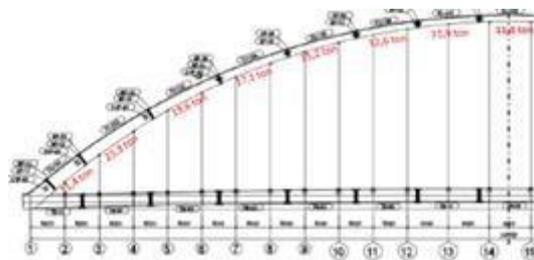
Metodologi penulisan karya tulis ilmiah dilakukan melalui studi literatur serta pengumpulan data primer dan data sekunder di lapangan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data elemen pelengkung DED
2. Menentukan kebutuhan alat angkat sesuai beban maksimal yang diangkat, radius dan SF
3. Menentukan data sekunder data *sheet crane*
4. Mengumpulkan data sekunder topografi kondisi eksisting lapangan
5. Mengevaluasi aspek teknis 12 metode *erection*
6. Mengevaluasi aspek biaya metode *erection* yang memenuhi aspek teknis
7. Melakukan evaluasi *lifting plan* di lapangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Elemen Pelengkung

Elemen pelengkung jembatan Sei Wampu terdiri dari 15 segmen Top Chord (TC) dan 2 segmen *Tie Beam* (TB) dengan elemen terberat TC-102 (23,273 ton). Berat elemen sangat menentukan tipe alat angkat dan radius aman yang akan digunakan nantinya. Berat tiap elemen pelengkung sebagai berikut pada Gambar 4.



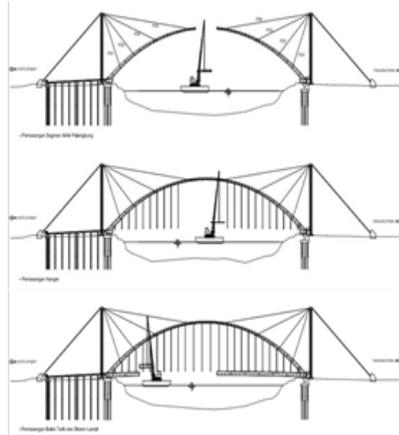
Sumber: *DED 2019*

Gambar 4 Kode dan Berat Elemen Struktur Pelengkung

Evaluasi Teknis Metode Erection

Metode *Backstay* dan *Crane* dengan *Ponton*

Metode ini merupakan metode pada kontrak awal MYC 2015 – 2018 yang memanfaatkan tower *backstay* untuk membentuk geometri pelengkung dan feeding segmen menggunakan crane kapasitas sedang pada ponton di sungai. Metode tidak dapat diaplikasikan karena sungai terlalu dangkal dan lokasi jembatan jauh dari laut untuk melakukan mobilisasi ponton. Ilustrasi metode ditampilkan sebagai berikut pada Gambar 5.

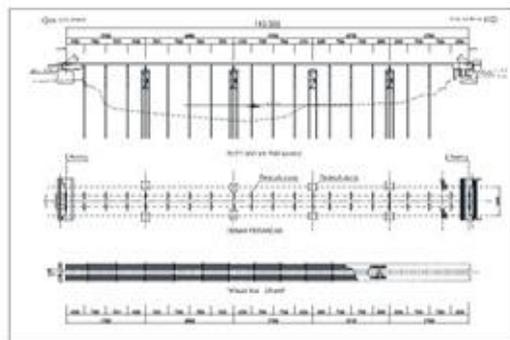


Sumber: DED 2015

Gambar 5 Metode *Backstay* and *Crane* dengan *Ponton*

Metode *Full Shoring* and *Crane*

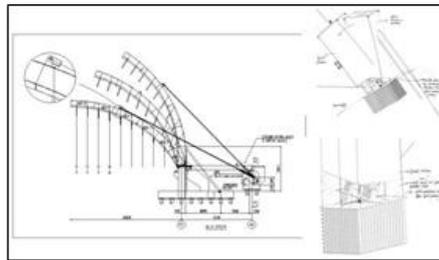
Metode *shoring* umumnya lebih ekonomis dari *bracket* (Diansyah, et al, 2014). Pada jembatan Sei Wampu, metode *shoring* tidak dapat diaplikasikan kembali karena *shoring* yang terpasang di lapangan hanya dapat menahan beban sistem lantai saja sehingga harus dilakukan pembongkaran yang inefisien. Elemen pelengkung harus ditahan oleh *temporary structure* lain selama *erection* dilakukan. Gambar 6 ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 6 Metode *Full Shoring* and *Mobile Crane*

Metode *Horizontal Swing*

Metode *Horizontal Swing* memiliki kestabilan struktur rendah dan berpotensi tinggi terjungkit walaupun landasan putar telah terbangun sebagian di lapangan. Perlu dilakukan analisis FEM lanjutan untuk finalisasi desain dan persetujuan KKJTJ. Karena metode ini membutuhkan waktu analisis lebih lama dan belum terbukti di Indonesia, metode ini tidak dapat diaplikasikan kembali. Gambar 7 ditampilkan sebagai berikut.



Sumber: *Executive Summary Jembatan Kalikuto Proyek Jalan Tol Batang-Semarang Seksi 2, 2018*)

Gambar 10 Metode *Vertical Swing*

Metode *Backstay and Bailey 2 x 30 m*

Metode ini menggunakan sistem tower *backstay* dengan *feeding* segmen menggunakan mobile *crane* pada jembatan darurat (*Bailey*) 2 x 30 m yang dibangun pada salah satu sisi. Perlu dilakukan pembuatan *temporary pier* melintang sungai yang memerlukan perijinan BWS Ditjen. SDA setempat. Lebar bersih jembatan bailey 4 m tidak mencukupi lebar *crane* 150 ton sebesar 5 m yang rencananya akan digunakan untuk mengangkat segmen terberat sehingga metode ini tidak dapat digunakan. Metode ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Metode *Backstay and Mobile Crane 150 ton* pada *Bailey 2 x 30 m*

Metode *Backstay and Container*

Metode ini menggunakan sistem tower *backstay* dengan *feeding* segmen menggunakan mobile *crane* 150 ton pada container yang diletakkan pada salah satu sisi dan diisi dengan material pasir. Metode ini beresiko tinggi karena perlu membendung sungai yang relatif rawan banjir dan memerlukan perkuatan tanah dasar sungai untuk mencegah penurunan. Metode ini tidak dapat diaplikasikan karena berisiko menyebabkan banjir area sekitar jembatan. Metode ini dapat dilihat pada Gambar 12.

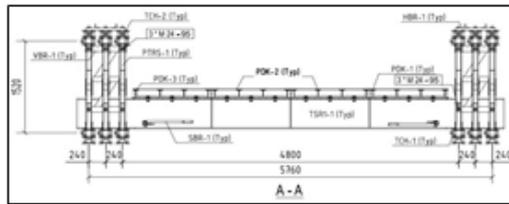


Gambar 12 Metode *Backstay and Mobile Crane 150 ton* pada *Container*

Metode *Backstay and Triple Panel Bailey*

Metode ini menggunakan sistem tower *backstay* dengan *feeding* segmen menggunakan mobile *crane* pada jembatan darurat Triple Panel ZENI dengan bentang 39 m yang dibangun pada salah satu sisi. Perlu dilakukan pembuatan *temporary pier* melintang sungai yang memerlukan perijinan BWS Ditjen. SDA setempat. Lebar bersih

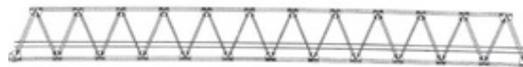
jembatan bailey 4,3 m tidak mencukupi lebar *crane* 150 ton sebesar 5 m yang akan digunakan untuk *feeding* segmen terberat sehingga metode ini tidak dapat digunakan. Gambar 13 menampilkan tersebut.



Gambar 13 Cross Section Triple Panel Bailey

Metode *Backstay and Rangka A60*

Metode ini menggunakan sistem *tower backstay* dengan *feeding* segmen menggunakan mobile *crane* pada jembatan rangka baja permanen kelas A bentang 60 m yang dibangun pada salah satu sisi. Perlu dibangun *temporary pier* melintang sungai yang memerlukan perijinan BWS Ditjen. SDA Sungai Wampu. Waktu instalasi lama sekitar 1 bulan karena seperti membangun jembatan permanen baru dan tidak ada stok penyewaan jembatan rangka A60 tersebut sehingga metode ini tidak dapat digunakan. Gambar 14 menampilkan metode tersebut.



Gambar 14 Long Section Jembatan Rangka A60 (Gambar Standar Jembatan Rangka)

Metode *Backstay and Crane 250 Ton + Pile Slab*

Metode ini memakai *tower backstay* dengan *feeding segmen* menggunakan *crane* 250 ton pada *pile slab* selebar 10 m untuk manuver *crane*, Panjang 60 m di sisi Aceh serta 20 m di sisi Medan. Pelaksanaan *pile slab* dengan menimbun sungai, pemancangan pile dan pengecoran slab akan lama karena membangun struktur permanen sehingga metode ini dapat digunakan. Gambar 15 menampilkan metode tersebut.

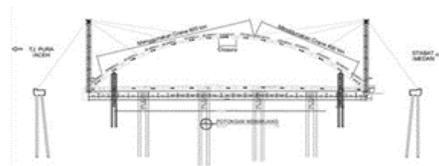


Gambar 15 Tampak Atas *Pile Slab* dan Rencana Jembatan

Dari perhitungan estimasi biaya dan harga satuan, diperoleh biaya sebesar 20,9 M.

Metode *Backstay and Heavy Crane*

Metode ini menggunakan *tower backstay* dan *crane* 450 ton + *Superlift* cukup untuk melakukan pengangkatan material TC terberat (TC-102) dan pemasangan terjauh 58 m (TC-106) di tengah bentang dari sisi Stabat dan 90 m (TC-107) dari sisi Tj. Pura. Crane 450 ton + *superlift* 180 ton dapat dioperasikan di sisi Tj. Pura untuk memperoleh kapasitas total 600 ton dengan radius jangkauan 50 m – 86 m dan manuver lebih leluasa (radius 19 m). Rencana penggunaan *crane* dengan boom 60 m untuk *lifting* tiap segmen pelengkung ditampilkan sebagai berikut pada Gambar 16.



Gambar 16 Plotting Penggunaan Crane Sisi Tj. Pura dan Stabat

Lokasi crane menyesuaikan kondisi eksisting di lapangan dimana terdapat rumah warga pada sisi Stabat dan gudang tidak terpakai pada sisi Tj. Pura sehingga crane dengan kapasitas lebih besar dapat dipakai di sisi Tj. Pura. *Lifting* plan dapat dilihat pada Gambar 17 sebagai berikut.



Gambar 17 Lifting Plan Crane Sisi Tj. Pura dan Stabat

Dari perhitungan estimasi biaya dan harga satuan, diperoleh biaya sekitar 18,8 M.

Evaluasi Biaya Metode *Erection*

Parameter biaya ditentukan untuk setiap metode yang memenuhi aspek teknis dan kemudian dilakukan penilaian berdasarkan estimasi biaya terkecil hingga terbesar. Penilaian ditampilkan seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Perbandingan Metode *Erection* Jembatan Sei Wampu

No	Metode	Teknis	Biaya (Rp M)
1	Backstay and Crane dengan Ponton	X	-
2	Full Shoring and Mobile Crane 150 Ton	X	-
3	Putar/Horizontal Swing	X	-
4	Backstay and Mass Crane	X	-
5	Backstay and Suspension Cable dengan Sistem Hoist	√	28,9
6	Vertical Swing	X	-
7	Backstay and Mobile Crane 150 ton dengan Bailey 2 x 30 m	X	-
8	Backstay and Mobile Crane 150 ton dengan Container	X	-
9	Backstay and Mobile Crane 150 ton dengan Triple Panel Bailey Zeni	X	-
10	Backstay dan Rangka Baja Permanen 60 m tanpa Bracing Atas	X	-
11	Backstay and Crane 250 ton + Pile Slab (60 m dan 20 m)	√	20,9
12	Backstay and Crane 600 ton + Superlift dengan landasan platform beton di kedua sisi	√	18,8

Dari tabel, dapat terlihat bahwa hanya terdapat 3 metode *erection* yang memenuhi aspek teknis lanjutan pekerjaan Sei Wampu dengan biaya terendah 18,8 M untuk metode *Backstay & Heavy Crane 450 ton + Superlift*.

KESIMPULAN

Untuk menyelesaikan pembangunan jembatan Sei Wampu yang terkendala sistem lantai telah terpasang, Metode *Backstay + Heavy crane 450 ton* memenuhi aspek teknis dan harga terendah sebagai metode *erection* bentang pelengkung Jembatan Sei Wampu.

SARAN

Saran yang dapat diberikan antara lain:

- Alat angkat yang akan digunakan harus dipastikan memenuhi kapasitas beban yang diangkat sesuai *load*

chart dan radius.

- b. Fase perencanaan merupakan fase yang sangat krusial dalam menentukan kesuksesan pelaksanaan, data kondisi lapangan sehingga harus disediakan selengkapnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini, Penulis berterima kasih banyak terutama pada atasan langsung, Kasubdit Wilayah I, Dit. Pembangunan Jembatan, Bapak Sjofova Rosliansjah, Nur Husna, Kharisma Putri Aurum, Bapak Budi Santoso, Agus Pandua, PPK 4.1 Prov. Sumut Bapak Munawar, Bapak Djoni Rustino dan Prof. Djamasri yang telah memberikan bimbingan, data, izin kunjungan lapangan ke lokasi jembatan dan membantu dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Almulationur, Aminullah, A. & Musliikh. 2018. *Optimasi Geometri Dan Penampang Serta Metode Pelaksanaan Cantilever Cable Stayed Pada Jembatan Pelengkung Beton*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Chen, W. F. & Duan L. 2003. *Bridge Engineering Construction and Maintenance*. CRC Press. Amerika.
- Dewantoro, B. S. & Mardiyanto, A. 2019. *Manajemen Resiko Kerja pada Studi Kasus Jembatan Kali Kuto*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang. Semarang.
- Diansyah, A. & Trijeti. 2014. *Analisis Biaya Perbandingan Metode Kerja Sistem Shoring Dengan Sistem Bracket Pada Konstruksi Pier-Head Jembatan*. Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta
- Executive Summary Jembatan Kalikuto Proyek Jalan Tol Batang – Semarang Seksi 2. (2018). Jasamarga Semarang - Batang. Semarang.
- Ismerianto, Nuh, S. M. & Syahrudin. *Metode Pelaksanaan Struktur Atas Jembatan Tayan*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak. Pontianak.
- Izza, F. K., Praditama, M. A., Kirana, C. N., Setiyono, K. J. & Sudarmono. 2019. *KAJIAN WAKTU PENYELESAIAN METODE CRANE DAN METODE LAUNCHER DALAM PELAKSANAAN ERECTION GIRDER JEMBATAN (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga – Boyolali Sta 40+409 – Sta 71+785)*. Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 24 No. 1 Juni 2019. Semarang.
- Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja. 2011. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Prasmoro, R., Masiran, H. S. & Wahyuni, E. 2017. *Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja*. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 1. Surabaya.
- Septiawan, H. G. & Irawan, D. 2013. *Desain Jembatan Baru Pengganti Jembatan Kutai Kartanegara Dengan Sistem Busur*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1. Surabaya.
- Utama, S. F., Patty, A. H. & Naibaho, A. *Perbandingan Erection Rangka Baja Jembatan Dengan Menggunakan Mast Crane Dan Tower Crane Pada Proyek Jembatan Trisula Blitar*. Jurnal PROKONS Politeknik Negeri Malang. Malang.



TEKNOLOGI SMART PAVEMENT: SIFAT MEKANIK DAN KIMIA CAMPURAN SOIL CEMENT DAN SOIL STABILIZER UNTUK MEWUJUDKAN GREEN CONSTRUCTION DI PAPUA

Smart Pavement Technology: Mechanical and Chemical Properties of Soil Cement and Soil Stabilizer Mixture to Realize Green Construction in Papua

Franky E. P. Lopian¹

¹Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Merauke, Jalan RE. Martadinata Kompleks Bina Marga Merauke
Korespondensi: lopianedwin@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi Indonesia saat ini didominasi oleh tanah lunak, tanah ekspansif, dan gambut yang jumlahnya hampir mencapai 2 juta km² atau 30% dari luas keseluruhan Indonesia. Selain itu, Indonesia juga memiliki garis pantai terpanjang nomor empat di dunia dengan panjang mendekati 100.000 km. Lahan-lahan itu membutuhkan tanah yang stabil untuk pembangunan fisik yang semakin pesat di atasnya. Salah satu daerah yang memiliki kondisi geografis yang sangat ekstrim yaitu didominasi oleh tanah lunak adalah Kabupaten Merauke yang terletak di Selatan Papua. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mekanik dan kimia campuran soil cement dan soil stabilizer sebagai perwujudan dari salah satu inovasi teknologi smart pavement. Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Soil Stabilizer dengan membandingkan campuran semen tanah mampu meningkatkan kuat tekan hingga 200% dibandingkan dengan kuat tekan tanah tanpa campuran semen. Sedangkan jika pada campuran semen tanah itu diberi komponen soil stabilizer, yang terjadi adalah meningkatnya kuat tekan hingga 600% dibandingkan dengan kuat tekan tanah asli, tanpa campuran semen. Jika dibandingkan dengan campuran semen-tanah saja, maka peningkatannya bisa mencapai 300%. Hasil pengujian XRD terlihat bahwa senyawa SiO₂ (Quartz) sebesar 17,2% merupakan senyawa dominan dimana senyawa tersebut adalah senyawa yang menunjukkan indeks kekerasan.

Kata kunci: Smart pavement, Soil cement, Soil stabilizer, Green construction

ABSTRACT

Currently, condition of Indonesia was dominated by soft soils, expansive soils and peat which amount to almost 2 million km² or 30% of the total area of Indonesia. In addition, Indonesia also has the fourth longest coastline in the world with a length of close to 100,000 km. These areas required stable soil for the rapid increase of physical development on them. One area that has a very extreme geographical condition, which was dominated by soft soil, is Merauke Regency, located in the south of Papua. This study aims to analyze the mechanical and chemical properties of soil cement and soil stabilizer mixture as a manifestation of one of the smart pavement technology innovations. This research was conducted experimentally in the laboratory. The results showed that the use of Soil Stabilizer by compared the soil cement mixture was able to increase the compressive strength up to 200% compared to the compressive strength of the soil without a cement mixture. Meanwhile, if the soil cement mixture was given a Soil Stabilizer component, the compressive strength increases up to 600% compared to the compressive strength of original soil, without a cement mixture. If we compare with the cement-soil mixture, the increase can be up to 300%. XRD test results showed that 17.2% of SiO₂ (Quartz) was the dominant compound where the compound was a compound that shows a hardness index.

Keywords: Smart pavement, Soil cement, Soil stabilizer, Green construction

PENDAHULUAN

Dalam rangka pembangunan infrastruktur jalan, ada beberapa persoalan yang sering menjadi hambatan salah satunya adalah tidak tersedianya material lokal yang cukup untuk digunakan sebagai material bangunan pada daerah-daerah tertentu seperti di wilayah Papua. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan material untuk konstruksi jalan seperti batu pecah untuk agregat kasar harus didatangkan dari luar pulau Papua. Sebagian wilayah Papua pada daerah Jayapura dan Merauke merupakan tanah lunak dan pada daerah Jayapura, Sorong, Fak-fak, Manokwari, dan Biak mengandung batuan kapur dalam jumlah yang besar. Pembangunan jalan di atas tanah lunak yang tidak memiliki kekuatan memadai untuk mendukung beban kendaraan membutuhkan perhatian khusus. Hal yang biasa dilakukan adalah dengan perlakuan khusus terhadap tanah lunak yang ada sehingga mendekati Standar Perkerasan Jalan. Salah satu metode peningkatan kemampuan material adalah pemanfaatan semen yang dicampur dengan tanah lunak kemudian ditambahkan dengan *soil stabilizer*.

Kabupaten Merauke, merupakan kabupaten yang berada di wilayah paling Timur Indonesia. Dengan kondisi permukaan tanah yang cenderung datar (flat) hingga radius kurang lebih 400 km², kabupaten Merauke mempunyai deposit tanah lunak yang sangat melimpah.

Melimpahnya deposit tanah lunak yang ada di Kabupaten Merauke ini menuntut pemerintah untuk memperbaiki kinerja tanah yang dijadikan tanah dasar ini sebelum digunakan sebagai lapis pondasi jalan. Perbaikan kinerja tanah dasar ini dilakukan dengan upaya meningkatkan kinerjanya hingga menyerupai tanah keras dengan menggunakan bahan-bahan stabilisasi. Bahan-bahan stabilisasi yang digunakan biasanya kapur, semen, maupun kedua material tersebut.

Salah satu bahan pengikat hidrolis adalah Semen Portland yang mengandung C2S, C3A dan C4AF. Setelah tercampur dengan air senyawa-senyawa tersebut akan mengalami oksidasi dan membentuk sebuah massa yang padat ($C_3H \cdot C_3CaOSiO_2H_2O$). Senyawa tersebut bereaksi secara eksotermik dan mengeluarkan panas hidrasi. Stabilisasi tanah lunak dengan kapur atau semen merupakan salah satu contoh stabilisasi secara mekanis.

Stabilisasi secara mekanis adalah dengan memperbaiki sifat tanah secara fisik. Ini biasanya dilakukan dengan mengurangi volume rongga udara pada kadar air yang optimum saat pemadatan (*compaction*) di lakukan. Sedangkan stabilisasi secara kimiawi dilakukan dengan memperbaiki gaya ikatan secara mikro antara butir tanah dan bahan pembantu.

Salah satu metode stabilisasi kimiawi adalah dengan cara *ion exchange*, yaitu dengan menggunakan *Soil Stabilizer*. *Soil Stabilizer* merupakan bahan aditif yang berfungsi memadatkan (solidifikasi dan menstabilkan (*stabilizer*)). Prinsip kerja komponen *Soil Stabilizer* adalah dengan menyisihkan materi yang berada pada permukaan tanah.

Jika kita lihat partikel tanah dengan mikroskop maka pada permukaan tanah tersebut terdapat lapisan air yang tipis. Lapisan ini memiliki kekuatan yang luar biasa, untuk memindahkan lapisan air ini, dibutuhkan energi yang besar. Air ini dapat bergerak dengan arah horizontal tetapi tidak dapat bergerak secara vertikal. Air inilah yang menghambat semen menjadi keras. Dengan menggunakan *Soil Stabilizer* hambatan itu bisa dihilangkan. Hal ini bisa dilakukan karena kandungan dari *Soil Stabilizer* dipilih dari material anorganik yang memiliki energi ikatan ion lebih besar dibandingkan dengan materi logam yang berada pada permukaan butiran tanah.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mekanik dan kimia campuran *soil cement* dan *soil stabilizer* sebanyak 2% sebagai perwujudan dari salah satu inovasi teknologi *smart pavement*.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Laterit

Tanah laterit adalah tanah yang terbentuk di daerah tropis atau sub tropis dengan tingkat pelapukan tinggi pada batuan basa sampai batuan ultrabasa yang didominasi oleh kandungan logam besi. Tanah ini mengandung mineral-mineral lempung yang relatif tinggi utamanya illite dan montmorillonite, sehingga potensi kerusakannya relatif besar jika dilakukan pekerjaan konstruksi pada tanah seperti ini. Tanah laterit merupakan kelompok tanah dari hasil pelapukan yang tinggi, terbentuk dari hasil konsentrasi hidrasi oksida besi dan aluminium (Thagesen, 1996 dari Olugbenga O Amu, 2011). (Portelinha, et. al., 2012) mengemukakan bahwa sangat efisien meningkatkan kemampuan tanah laterit dengan hanya menambahkan 3% semen dan 2% kapur. Sifat-sifat kimia campuran sangat sesuai dengan perilaku plastisitas, ditunjukkan bahwa kandungan kapur 3% mendukung alterasi mineralogy, hidrasi akibat reaksi dengan semen mengurangi nilai indeks plastisitas. Modifikasi tanah dengan kapur mengeliminasi potensi pengembangan tanah, bila ditambahkan semen 2%, modifikasi juga meningkatkan kekuatan dan modulus tanah utamanya setelah pemeraman 28 hari.

Semen Portland Komposit

Bahan stabilisasi yang sering digunakan adalah semen PCC. Sekarang ini terdapat banyak pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara. Hasil sampingan dari pembakaran batu bara berupa abu terbang yang tergolong sebagai material polusi (*pollutant*). Di Indonesia, untuk mengurangi limbah maka sejumlah pabrik semen mencampur abu terbang dan limbah yang mengandung pozzolan dengan klinker semen Portland untuk menghasilkan Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004) dengan tujuan menurunkan konsumsi energi dan mengurangi penggunaan sumber alam tidak terbaharukan (S. Antiohos et.al, 2005).

Semen Portland Komposit dapat dikategorikan sebagai CEM II menurut standar Eropa EN 197-1:2000, di Indonesia baru diproduksi pada tahun 2005, namun di Eropa pangsa pasar semen kategori CEM II telah lebih 50%, lebih besar dari Semen Portland Jenis 1 yang hanya sekitar 35% (M. W. Tjaronge, 2012). Penelitian ini menggunakan semen Portland komposit yang tergolong baru di Indonesia, sehingga perlu banyak kajian secara komprehensif pada karakteristik beton yang menggunakan semen portland komposit.

Perkembangan Stabilisasi Tanah di Papua

Dengan mengandalkan *soil stabilizer* impor tentu mengandung beberapa konsekuensi yang harus ditanggung, diantaranya :

- a. harga yang jauh lebih mahal,
- b. komposisi *soil stabilizer* yang belum tentu tepat dengan kondisi di Indonesia
- c. sulit menentukan kandungan yang ideal dari *soil stabilizer* dalam satu campuran semen komposit, karena tanah di lokasi perkerasaan jalan tidak diuji terlebih dahulu, serta produsen yang jauh dari lokasi.

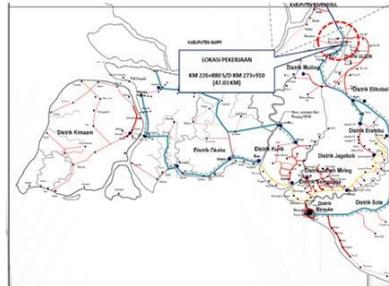
Di sisi lain, masih ada satu pertanyaan penting, mengapa selama ini kita tidak memiliki produk stabilisasi tanah sendiri dan hanya bergantung dari luar negeri? Alasan inilah yang membuat salah satu produsen *soil stabilizer* di Indonesia, melakukan riset untuk membuat produk stabilisasi tanah dengan kualitas yang lebih baik, komposisi yang lebih tepat untuk diaplikasikan di Indonesia serta harga yang jauh lebih murah.

Soil stabilization adalah metode perbaikan tanah untuk dapat memenuhi spesifikasi teknis material dalam aplikasi ketekniksipilan. Stabilisasi tanah dapat dilakukan ecara mekanis dan kimiawi.

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan bekerja sama dengan Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Abepura Jayapura dengan waktu penelitian selama tiga bulan, dengan lokasi pengambilan sampel pada proyek Preservasi Rehabilitasi Jalan Muting – Bupul 2018. Gambar 1 memperlihatkan lokasi penelitian.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Karakteristik Tanah Laterit

Pemeriksaan karakteristik tanah laterit dilakukan untuk mengetahui tanah laterit yang digunakan tergolong sebagai tanah lunak. Penelitian ini menggunakan tanah laterit yang berasal dari proyek Preservasi Rehabilitasi Jalan Muting – Bupul 2018. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik fisik tanah laterit.

Hasil pengujian analisis saringan menunjukkan tanah yang lolos saringan No. 200 (0.075 mm) lebih besar dari 76,03%, maka tanah dapat diklasifikasikan kedalam kelompok A-4; A-5; A-6; A-7.

Tabel 1 Karakteristik Fisik Tanah Laterit

No	Karakteristik Fisik	Hasil Pemeriksaan
1	Berat jenis	2,58
2	Analisa saringan	>30% lolos no.200
3	Batas-batas Atterberg	
	a. Batas cair (LL)	46,10%
	b. Batas plastis (PL)	24,31%
	c. Indeks plastisitas (PI)	21,79%
4	Klasifikasi tanah	A-7-5
	Karakteristik Mekanik	
5	Pemadatan	
	a. γ dry	1,60 gr/cm ³
	b. W_{opt}	21,64%
6	Kuat tekan	0,44 MPa

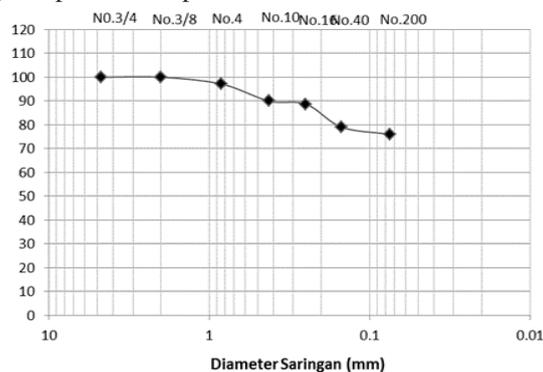
Batas cair (LL) = 46,10%; > 41% maka tanah tersebut masuk ke dalam kelompok A-5. Indeks pastisitas (PI) = 21,79 %, maka masuk ke dalam kelompok A-5 (PI<10%) dan A-7 (PI>11%). Tanah tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok A-7-5 (PL>30%) dan A-7-6 (PL<30%). Dengan batas plastis (PL) = 24,31%; <30% maka tanah tersebut masuk kedalam kelompok A-7-5. Tanah laterit yang digunakan dalam penelitian ini berada pada kelompok A-7-5 dan termasuk klasifikasi tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Berdasarkan Buku 7 Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan (Lapis Pondasi Tanah Kapur) Dirjen Bina Marga Tahun 2006, bahwa tanah yang digunakan untuk pondasi tanah yang distabilisasi dengan kapur adalah tanah yang tergolong sebagai tanah lempung dan termasuk tanah ekspansif. Dengan demikian, tanah yang digunakan dalam penelitian ini harus distabilisasi dengan kapur.

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik kimia tanah laterit.

Unsur	Kandungan (%)
SiO ₂	73,74
Al ₂ O ₃	17,49
Fe ₂ O ₃	5,61
TiO ₂	1,82
MgO	0,70
ZrO ₂	0,23
K ₂ O	0,14
SO ₃	0,10
Cl	0,05

Pemeriksaan sifat kimia tanah laterit dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung dalam tanah laterit yang berasal dari Merauke-Mindiptana. Unsur utama dalam tanah laterit ini adalah SiO₂ sebanyak 73,74%, Al₂O₃ sebanyak 17,49% dan Fe₂O₃ sebanyak 5,61%.

Tanah dengan tipe ini merupakan tanah berlempung yang memiliki sifat butiran yang sangat halus, mudah dibentuk, dan mempunyai daya lekat. Gambar 2 memperlihatkan grafik analisis saringan. Dari hasil pengujian gradasi yang dilakukan pada tanah merah dengan analisis saringan tersebut, diperoleh hasil tanah tersebut lebih dari 36% lolos saringan No. 200 yaitu 76,03%. Tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus. Menurut AASHTO tanah ini termasuk dalam tipe A-7-5, jenis tanah berlempung. Peninjauan klasifikasi tanah yang mempunyai ukuran butir lebih besar dari 0,075 mm, lebih didasarkan secara langsung pada gradasinya sehingga penentuan klasifikasinya lebih didasarkan pada batas-batas Atterbergnya. Grafik analisa saringan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Analisa Saringan

Semen Portland Komposit

Semen Portland komposit menurut SNI 15-7064-2004 merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian komponen oksida serta sifat fisik Semen Portland Komposit dengan menggunakan SNI 15-7064-2004 sebagai acuan. Terlihat senyawa kimia dari semen PCC adalah MgO yaitu sebesar 0,97, SO₃ yaitu sebesar 2,16 dan keausan yaitu sebesar 1,98.

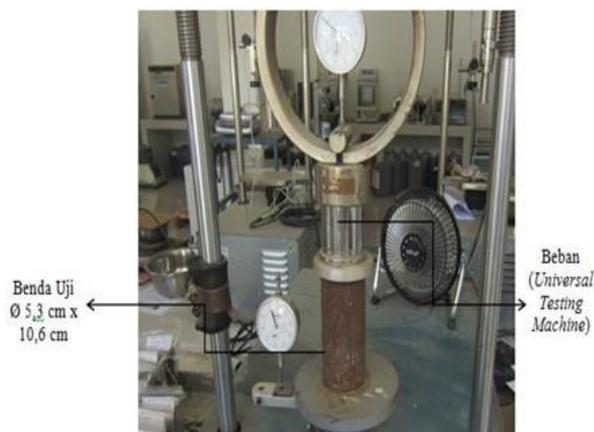
Senyawa Kimia	SNI 15-7064-2004	Semen PCC
	Standar	
MgO	6,0 maks	0,97
SO ₃	4,0 maks	2,16
Keausan	5,0 maks	1,98

Tabel 3 Sifat Fisik Semen Portland Komposit

Karakteristik Material	SNI 15-7064-2004	
	Standar	Hasil
Kadar air (%)	12 maks	11,5
Kehalusan	280 min	382
Pengembangan, % (maks)	0,8 maks	-
Kuat Tekan		
a. 3 hari (kg/cm ²)	125 min	185
b. 7 hari (kg/cm ²)	200 min	163
c. 28 hari (kg/cm ²)	250 min	410
Waktu Pengerasan (Vicat tes)		
a. Pengerasan awal, menit	45 min	132,5
b. Pengerasan akhir, menit	375 min	198
Waktu ikat palsu	50 min	-
Suhu Hidrasi 7 hari, kal/gr		65
Konsistensi Normal (%)		25,15
Berat jenis		3,13

Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-6887-2002. Pengujian kuat tekan yaitu memberi beban monoton secara terus menerus dengan laju yang konstan pada benda uji di antara dua batang pembebanan yang akan menciptakan tegangan tekan. Pada pengujian kuat tekan, posisi benda uji yang berbentuk silinder pada saat dibebani yaitu dalam keadaan berdiri/tegak. Tegangan tekan yang dialami benda uji lama kelamaan akan menyebabkan benda uji runtuh/hancur. Kuat tekan adalah tegangan tekan pada pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami runtuh/hancur. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 5 cm dan tinggi 10 cm yang telah mencapai umur uji dikeluarkan dari plastik. Prosedur pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (Tokyo Testing Machine Inc.) kapasitas 1000 kN yang disambungkan ke Data Logger serta satu set komputer. Alat Universal Testing Machine (UTM) yang digunakan dengan kecepatan penurunan yang tetap (constant strain) yaitu 0,1 ft/min. Gambar 3 memperlihatkan alat pengujian kuat tekan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3 Alat Pengujian Kuat Tekan (SNI 03-6887-2002)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Bebas Stabilisasi Tanah Semen dengan *Soil Stabilizer*

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada campuran tanah laterit (tanah lunak) yang telah distabilisasi dengan semen pada kadar 10% dan bahan aditif DIFA pada kadar 2%. Pengambilan sampel penelitian yaitu pada Proyek Preservasi Rehabilitasi Jalan Muting–Bupul 2018. Pengambilan sampel penelitian dilakukan pada 4 STA yaitu STA 201+200, STA 200+900, STA 207+750 dan STA 207+65. Hasil pengujian kuat tekan bebas diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

No.	STA	Berat benda uji (gr)	Berat isi (gr/cm ³)	Kuat tekan	
				(MPa)	(kg/cm ²)
1	201+200	2851,0	1,816	2,96	30,18
2	200+900	2816,7	1,794	1,78	18,15
3	207+750	2723,2	1,735	2,32	23,66
4	207+65	2810,0	1,790	2,51	25,59
Rata-Rata				2,39	24,40

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa berat benda uji yang diambil pada STA 201+200, STA 200+900, STA 207+750 dan STA 207+65 adalah masing-masing sebesar 2851,0 gr, 2816,7 gr, 2723,2 gr dan 2810,0 gr sedangkan nilai berat isi yaitu masing-masing sebesar 1,816 gr/cm³, 1,794 gr/cm³, 1,735 gr/cm³ dan 1,790 gr/cm³. Untuk pengujian kuat tekan bebas pada masing-masing STA yaitu sebesar 2,96 MPa, 1,78 MPa, 2,32 MPa dan 2,51 MPa dengan nilai kuat tekan bebas rata-rata adalah sebesar 2,39 MPa. Melihat nilai kuat tekan bebas tanah laterit yaitu sebesar 0,44 MPa. terlihat bahwa nilai kuat tekan bebas meningkat sebesar 4,43% dengan menggunakan stabilisasi tanah semen dengan kadar 10% ditambah bahan aditif soil stabilizer sebesar 2%.

Kristalisasi soil cement dengan penambahan *soil stabilizer* sebagai *smart pavement* dan pemasangan *piezoelectric transducer* untuk mengamati kinerja *soil stabilizer* sebagai smart pavement menunjukkan kinerja yang baik. Selain itu, *green pavement* telah lama dilakukan di lokasi Selatan Papua yaitu dengan pemanfaatan bahan lokal yang mampu mengurangi karbon akibat transportasi batu dan tambang galian C.

Senyawa Dominan Stabilisasi Tanah Semen Dengan *Soil Stabilizer*

Untuk mengetahui senyawa dominan pada proses stabilisasi tanah semen dengan *soil stabilizer* adalah dengan melakukan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian ini dilakukan dengan memberikan fakta *geometrical* yang perlu diingat dalam proses difraksi yakni :

- Peristiwa penyinaran, normal ke bidang pemantul dan sinar yang terdifraksi selalu koplanar.
- Sudut antara sinar yang didifraksi dan sinar yang ditransmisikan selalu beda 2θ . Ini dikenal sebagai difraksi sudut, dan sudut yang dimaksud itu bukanlah θ , yang diperoleh dari eksperimental (Ribeiro, 2004).

Hukum Bragg menyatakan bahwa peristiwa difraksi hanya dapat terjadi jika memenuhi persamaan 1.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- n : Bilangan bulat positif;
- λ : Panjang gelombang dari X-Ray tergantung bahan yang digunakan;
- d : jarak antara bidang kisi;
- θ : Besar sudut dari arah radiasi sinar x.

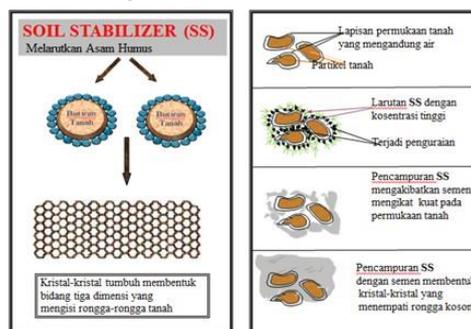
Tabel 5 memperhatikan senyawa dominan yang terjadi pada campuran tanah semen dan campuran tanah semen dan *soil stabilizer*.

Tabel 5 Senyawa Dominan Campuran Tanah Semen dan *Soil Stabilizer*

No	Senyawa	TL	DSS
1	SiO ₂	17,20	4,54
2	Al ₂ O ₃	27,52	42,68
3	FeO	6,88	3,93
4	FeO(OH)	10,23	5,41
5	Fe	21,81	29,01

Keterangan : TL = Campuran tanah laterit stabilisasi semen dengan bahan tambah *soil stabilizer*; DSS = *Soil stabilizer*

Terlihat bahwa senyawa dominan yang terbaca adalah SiO₂ (silika) dan Al₂O₃ (alumina oksida) yang merupakan indeks kekerasan sebesar 17,20% dan 27,52%. Senyawa yang lain yaitu FeO (ferro oksida), FeO(OH) dan Fe adalah masing-masing sebesar 6,88%, 10,23% dan 21,81%. Gambar 4 memperlihatkan proses kimia yang terjadi pada campuran tanah semen yang ditambahkan dengan *soil stabilizer*.



Gambar 4 Proses Kimia Pada Campuran Tanah Semen dan *Soil Stabilizer*

Jika kita lihat partikel tanah dengan mikroskop maka pada permukaan tanah tersebut terdapat lapisan air yang tipis. Lapisan ini memiliki kekuatan yang luar biasa, untuk memindahkan lapisan air ini, dibutuhkan energi yang besar. Air ini dapat bergerak dengan arah horizontal, tetapi tidak dapat bergerak secara vertikal. Air inilah yang menghambat semen menjadi keras. Dengan menggunakan *soil stabilizer* hambatan itu bisa dihilangkan.

Hal ini bisa dilakukan karena kandungan dari *soil stabilizer* dipilih dari material anorganik yang memiliki energy ikatan ion lebih besar dibandingkan dengan materi logam yang berada pada permukaan butiran tanah. Untuk mendapatkan hasil yang baik kami berkali-kali melakukan pengujian terhadap formula *soil stabilizer* yang kami teliti dan hasilnya sangat memuaskan.

Sebagai perbandingan, untuk campuran semen tanah mampu meningkatkan kuat tekan hingga 200% dibandingkan dengan kuat tekan tanah tanpa campuran semen. Sedangkan jika pada campuran semen tanah itu diberi komponen *soil stabilizer*, yang terjadi adalah meningkatnya kuat tekan hingga 600% dibandingkan dengan kuat tekan tanah asli, tanpa campuran semen. Ini artinya, jika dibandingkan dengan campuran semen-tanah saja maka peningkatannya bisa mencapai 300%.

Kinerja yang cukup baik, juga ditunjukkan dari nilai kuat tekan maksimal yang bisa didapat oleh campuran dengan menggunakan *soil stabilizer*. Ini bisa dilihat dari nilai CBR (parameter daya dukung lapis perkerasan jalan) yang bisa dicapai. Nilai CBR dapat diatur sesuai dengan desain yang dibutuhkan. Metode yang dilakukan pada pengaturan nilai CBR adalah dengan mensimulasi konsentrasi semen dan memperbaiki gradasi tanah.

Nilai CBR maksimum yang tercapai dengan menggunakan *soil stabilizer* bisa dicapai hingga 200%. Dengan kemampuan seperti ini sudah cukup untuk membuktikan betapa *soil stabilizer* berpengaruh cukup besar dalam peningkatan kualitas jalan. Tidak hanya itu, harganya yang ekonomis cukup untuk memangkas biaya pembangunan proyek jalan secara signifikan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis penggunaan material lokal, khususnya di Papua yang selanjutnya diharapkan mampu meningkatkan penerapan pembangunan yang berwawasan lingkungan dan dapat mengurangi biaya (*cost*) dibandingkan bila material harus didatangkan dari Sulawesi. Rata-rata nilai kuat tekan bebas yang didapatkan pada campuran tanah laterit dengan kadar semen sebesar 5% dan kadar bahan aditif *soil stabilizer* 2% adalah sebesar 2,39 MPa atau sebesar 24,40 kg/cm². Jika dibandingkan dengan hasil pengujian XRD terlihat bahwa senyawa SiO₂ (*Quartz*) sebesar 17,2% merupakan senyawa dominan. Senyawa tersebut adalah senyawa yang menunjukkan indeks kekerasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada Kepala Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Abepura Jayapura yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Tak lupa juga disampaikan kepada Saudara Dr. Miswar Tumpu atas bantuan, masukan serta koreksi terhadap hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, Annual Books of ASTM Standards, Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420-D5611, 2004.
- Chaosheng Tang, Bin Shi, Wei Gao, Fengjun Chen, Yi Ca, *Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil*, Geotextiles and Geomembranes 25 (2007) 194–202.
- D. K. Paul & C. T. Gnanendran. 2013. *Stress–strain behaviour and stiffness of lightly stabilised granular materials from UCS testing and their predictability*. International Journal of Pavement Engineering, 14:3, 291-308.
- F.H.M. Portelinha, D.C. Lima, M.P.F. Fontes, C.A.B. Carvalho. 2012. *Modification of a Lateritic Soil with Lime and Cement: An Economical Alternative for Flexible Pavement Layers, Soils and Rocks, São Paulo*, 35(1): 51-63.
- Nilo Cesar Consoli, Pedro Prietto, J. Antonio H. Carraro dan Karla Salvagni Heineck. 2001. *Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixtures*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, pp. 774-782.
- Nima Latifi, Aminaton Marto and Amin Eisazadeh. *Analysis of strength development in non-traditional liquid additive-stabilized laterite soil from macro and micro-structural considerations*. Environ Earth Sci (2015) 73:1133–1141.
- Penuntun Praktikum Mekanikah Tanah, Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- S. Horpibulsuk, N. Miura dan T. S. Nagaraj. 2003. *Assessment of strength development in cement-admixed high*

water content clays with Abrams' law as a basis. Geotechnique 53, No. 4, pp. 439–444.

- S. Horpibulsuk, N. Miura, dan T. S. Nagaraj. 2005. *Clay–Water/Cement Ratio Identity for Cement Admixed Soft Clays. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 2, pp. 187-192.
- SNI 03-1742-1989. *Panduan pengujian kepadatan ringan untuk tanah. Standar Nasional Indonesia. Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil.* SNI 03-1743-1989. *Panduan pengujian kepadatan berat untuk tanah. Standar Nasional Indonesia. Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil.*
- SNI 03-1967-1990. *Metode pengujian batas cair tanah dengan alat Cassagrande.*
- SNI 03-6887-2002. *Metode pengujian kuat tekan bebas campuran tanah-semen.*
- SNI 1964:2008. *Cara uji berat jenis tanah tanah.* Revisi dari SNI 03-1964-1990.
- SNI 1966:2008. *Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah.* Revisi dari SNI 03-1966-1990
- SNI 3423:2008. *Cara uji analisis ukuran butir tanah.* Revisi dari SNI 03-3423-1994.
- Sujit Kumar Dash dan Monowar Hussain. 2012. *Lime Stabilization of Soils: Reappraisal, Journal of Engineering*. Vol. 2, No. 6, pp. 707-714.
- Yaolin Yi, S.M., Martin Liska, and Abir Al-Tabbaa. 2014. *Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC. Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 267-274.



POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM
BADAN PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

Jalan Prof. Soedarto, SH No. 15 Tembalang Semarang 50275

Telp/Fax. 024-7472848

Email : info@politeknikpu.ac.id

www.politeknikpu.ac.id

ISBN 978-623-09-0121-8



9 786230 901218

