

ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS

Vol 7

No 1

Hal 1-50

Semarang, Maret 2024

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 7 Nomor 1 Maret 2024

Ketua Editor : Asri Nurdiana, ST, MT
(Editor in Chief)

Dewan Editor : Prof. Ir. Mochamad Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.
(Editorial Board) Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Purwanto, M.T., M.Eng.
Helen Gianditha Wayangkau, ST, MT
Amanatullah Savitri, ST, M.Eng

Sekretariat Redaksi : Shifa Fauziyah, ST, MT
(Managing Editor)

Layout Redaksi : Shifa Fauziyah, ST, MT
(Layout Editor)

Jurnal Proyek Teknik Sipil (Potensi) diterbitkan sejak 2018, dengan frekuensi 2 kali dalam satu tahun (Maret dan September). Redaksi Menerima karangan ilmiah tentang hasil-hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil. Submit artikel dilakukan melalui online Journal System (OJS) dengan alamat <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.

Penerbit :
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Alamat Redaksi/Penerbit:
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Email : potensi@live.undip.ac.id
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telp. 081802444085

JURNAL PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 7 Nomor 1 Maret 2024

DAFTAR ISI

1. TRILOCK BRICK : Inovasi Desain Batako Bentuk Segitiga dengan Sistem Interlock
Ubbidah Agus Ningtiyas, Rizky Eka Saputri, Shifa Fauziah, Hartono 1 - 11
2. Kajian Penanggulangan Banjir Dengan Perbaikan Penampang Situ Pondok Jagung
Lutfia Vallentina, Rizka Arbaningrum, Frederik Josep Putuhena12 - 17
3. Jalur berkelanjutan dari instalasi pengolahan air limbah Bengkong Sadai di Batam
Yosef Adicita, I Wayan Koko Suryawan 18 - 27
4. Perencanaan keselamatan, kontrol keselamatan, dan kinerja keselamatan
Ardhianto Gutomo, M. Agung Wibowo, Budi Prasetyo Samadikun, Nurandani Hardyanti. 28 - 34
5. Pemanfaatan serabut kelapa dan abu ampas tebu sebagai substitusi fiberglass dan semen pada pembuatan GRC board
Alfian Ma'arif Alfitroh, Rafi Muhammad Farras, Bambang Setiabudi, Asri Nurdiana.....35 - 44
6. Pengaruh tambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton
Galih Prayogi, Istiqomah, Ben Novarro Batubara 45 - 50
7. Perencanaan pembangunan gedung dengan konsep rumah tumbuh
Elan Adrayazi, Jonrinaldi 51 - 58



9 772654 448002

TRILOCK BRICK : Inovasi desain batako bentuk segitiga dengan sistem interlock

Ubbidah Agus Ningtias^{a*}, Rizky Eka Saputri^b, Shifa Fauziyah^c, Hartono^d

^{a*,b,c,d} Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

Corresponding Author:

Ubbidah Agus Ningtias

Email: ubbidah.tyas@gmail.com

Keywords:

Batako, Interlock, Trilock brick

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *As the construction industry in Indonesia continues to grow, it has significantly impacted the demand for building materials, particularly in the construction sector. One such material is "batako," which is used as a wall filler, along with cement as a bonding material (grout). Therefore, there is a need for a solution that provides easier workability during installation and is cost-effective. The objective of this research is to innovate and analyze the design of triangular-shaped batako with an interlocking system on each side. The methodology used involves experimental testing in a laboratory and follows the Indonesian National Standard (SNI) 03-0349-1989. The process includes material testing, specimen production, compressive strength testing, absorption testing, and a cost comparison analysis. The research resulted in the development of "trilock brick," a triangular-shaped batako measuring 36 cm in length and 9 cm in thickness. The average compressive strength at 28 days was 9,487 MPa, with an average water absorption rate of 5.344%. The installation cost per 1 m² was Rp. 76,802, with a grout thickness of 0,5 cm. This research demonstrates that this innovation possesses compressive strength and water absorption values comparable to conventional batako. Additionally, trilock brick offers economic advantages with a cost difference of up to 13% compared to conventional batako requirements.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia semakin meningkat menjadikan material yang diperlukan juga meningkat. Batako merupakan salah satu material yang sering digunakan dalam bidang konstruksi. Dengan begitu permintaan konsumen akan batako sebagai bahan material penyusun dinding selalu meningkat yang mengakibatkan kebutuhan semen sebagai spesi ikut meningkat. Harga semen termasuk dalam harga material yang cukup mahal sehingga apabila kebutuhan semen terus meningkat, biaya yang dikeluarkan akan semakin mahal. Untuk mengurangi kebutuhan semen tersebut, dipakailah material inovasi beton seperti yang sering kita jumpai di pasaran.

Batako/bata beton merupakan bata cetak yang digunakan sebagai alternatif pengganti batu bata yang tersusun dari campuran pasir, semen *portland*, dan air dengan komposisi perbandingan yang bervariasi. Batako adalah salah satu material konstruksi yang dijadikan sebagai alternatif bahan penyusun dinding yang relatif kuat dan ekonomis (Putri et al., 2019). Kemudian, menurut SNI 03-0349-1989, batako adalah salah satu jenis material bangunan tersusun dari beberapa campuran yaitu semen, agregat, dan air dengan model seperti batu bata yang digunakan sebagai pasangan dinding. Dapat disimpulkan bahwa batako adalah alternatif material pasangan dinding yang terbuat dari bahan utama campuran pasir, semen, air yang dipadatkan dan dicetak dengan ukuran tertentu. Dimana batako ini memiliki dua tipe yaitu batako pejal dan batako berongga yang dalam proses pengerasannya tidak diperlukan pembakaran dan dapat ditempatkan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung (Suripatty, 2016).

Pemasangan batako sebagai pasangan dinding, haruslah disusun sedemikian rupa dengan memberi spesi berupa semen sebagai perekat antara batako satu dengan batako lain. Penggunaan spesi pada pemasangan batako umumnya setebal 2-3 cm untuk jarak rekatan masing-masing batako. Seperti yang kita ketahui, bahwa material semen merupakan salah satu material yang cukup mahal, maka dibutuhkan cara untuk menekan angka pemasangan batako agar lebih murah. Untuk menjawab

persoalan tersebut diperlukan inovasi bentuk dan pemasangan batako, misalnya dengan membuat model batako menjadi batako *interlock*.

Adanya sistem *interlock* / kunci pada masing-masing sisi batako yang menonjol dan sisi yang menjorok mampu mengurangi kebutuhan spesi, karena adanya kunci yang membuat batako satu dengan batako yang lain akan saling mengunci agar saat dilakukan pemasangan batako sebagai pengisi dinding batako tidak bergeser, sehingga mampu mengurangi semen sebagai spesi yang pada dasarnya memiliki tujuan sebagai perekat batako saat pemasangan.

Segitiga digambarkan sebagai bentuk geometri sederhana yang memiliki stabilitas tinggi (D.K. Ching, 2008). Sedangkan dalam dunia konstruksi segitiga dikenal sebagai bentuk struktur paling kuat, dimana bentuk segitiga pada struktur konstruksi tidak asing lagi sering kita jumpai, salah satu contohnya terlihat pada bentuk kuda-kuda atap.

Berdasarkan uraian diatas, meningkatnya kebutuhan akan pembangunan maka diperlukan material yang lebih ekonomis, kuat, dan memiliki nilai estetika. Maka dalam penelitian ini dibuatlah inovasi bentuk dan model batako *trilock brick* yang memiliki sistem kunci pada masing-masing sisinya dan bentuk segitiga yang memiliki stabilitas tinggi, sehingga menciptakan bentuk batako ekonomis yang hanya menggunakan sedikit semen sebagai bahan perekat.

2. DATA DAN METODE

2.1. Pengujian Kelayakan Material

Pengujian kelayakan material adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah suatu material tersebut memenuhi spesifikasi sesuai standar yang digunakan. Pengujian material dilakukan terhadap agregat halus. Ketentuan agregat halus yang digunakan berupa pasir dengan spesifikasi menurut ASTM C33 yaitu pasir dengan ukuran kurang dari 5 mm atau dapat lolos dari saringan nomor 4 (4,75 mm) serta tertahan pada saringan nomor 200 (Ichsan, 2019), spesifikasi menurut PBI yaitu pasir tidak boleh terdapat kandungan lumpur melebihi 5% dari berat kering (PPIUG, 1983).

2.2. Persiapan Desain Segitiga

Persiapan desain segitiga dilakukan dengan membuat cetakan berbentuk segitiga yang terbuat dari besi siku dengan dimensi cetakan panjang sisinya 36 cm dan tebal 9 cm. sedangkan untuk *interlock* di setiap sisinya terdapat bagian yang menonjol keluar serta lubang dengan dimensi masing-masing sama yaitu 12 x 3 x 2 cm. Cetakan ini dilengkapi dengan kunci baut di setiap sudutnya untuk mempermudah dalam pelepasan batako dari cetakan. Adapun bentuk cetakan *Trilock Brick* Tipe A dan Tipe B ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Cetakan *Trilock Brick* Tipe A



Gambar 2. Cetakan *Trilock Brick* Tipe B

2.3. Pembuatan Rancangan Campuran

Berdasarkan pedoman SNI 03-0349-1989 dan survey ke tempat pembuatan batako konvensional, penelitian ini menggunakan perbandingan campuran 1 PC : 6 PS dengan FAS 0,3. Selanjutnya dilakukan konversi pada perbandingan volume batako dan berat jenis material sehingga didapatkan massa setiap material yang dibutuhkan. Berdasarkan analisa perhitungan didapatkan kebutuhan campuran dalam pembuatan 1 benda uji batako yaitu semen 1,5 kg, pasir 6,1 kg, dan air 450 ml.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Trilock Brick yaitu inovasi desain batako bentuk segitiga sama sisi dengan menerapkan sistem *interlocking* di setiap sisinya. Inovasi ini memiliki keunggulan dalam mengurangi penggunaan spesi pada proses pemasangan dan lebih ekonomis dibandingkan batako konvensional. Adanya sistem *interlock* / kunci pada masing-masing sisi batako yang menonjol dan sisi yang menjorok mampu mengurangi kebutuhan spesi dan membuat batako tidak bergeser pada saat pemasangan. Bentuk segitiga yang dipilih digambarkan sebagai bentuk geometri sederhana yang memiliki stabilitas tinggi. Sedangkan dalam dunia konstruksi segitiga dikenal sebagai bentuk struktur paling kuat, dimana bentuk segitiga pada struktur konstruksi tidak asing lagi sering kita jumpai, salah satu contohnya terlihat pada bentuk kuda-kuda atap.

3.1. Pasir

Agregat halus merupakan bahan pengisi dalam campuran batako dengan menggunakan media perekat semen. Agregat juga menjadi salah satu yang mempengaruhi kualitas dari hasil batako. Agregat halus merupakan pasir dengan ukuran kurang dari 5 mm atau dapat lolos dari saringan nomor 4 (4,75 mm) serta tertahan pada saringan nomor 200 (ASTM C33-03, 2003). Adapun hasil pengujian *Grandsize Analysis* disajikan pada Tabel 1 dan hasil pengujian sifat fisis pasir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian *grandsize analysis*

Diameter Saringan	Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Presentase Berat Tertahan	Presentase Berat Tertahan Kumulatif	Presentase Berat Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
9,500	0	0	0	0	100
4,750	0	0	0	0	100
2,360	0	0	0	0	100
1,180	128,7	128,7	12,87	12,87	87,13
0,600	202,9	331,6	20,29	33,16	66,84
0,300	130,1	461,7	13,01	46,17	53,83
0,150	261	722,7	26,10	72,27	27,73
Diameter Saringan	Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Presentase Berat Tertahan	Presentase Berat Tertahan Kumulatif	Presentase Berat Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
0,075	191,6	914,3	19,16	91,43	8,57
0,000	85,6	999,9	8,56	99,99	0
Total	999,9			356	

Tabel 2. Hasil pengujian pasir ex. Muntilan

No.	Jenis Analisa	Hasil Analisa Rata-Rata
1	Modulus Kekhalusan	2,56
2	Kadar Lumpur	3,08 %
3	Kandungan Organik	4,6 % (warna kuning kecoklatan)

3.2. Pengujian Kuat Tekan

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan pada batako konvensional dan *trilock brick* menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata *trilock brick* lebih besar apabila dibandingkan dengan batako konvensional dengan perbandingan 2:1. Adapun hasil pengujian batako konvensional dengan *trilock brick* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan batako konvensional dan *trilock brick*

No.	Umur batako	Kuat tekan rata-rata batako konvensional	Kuat tekan rata-rata <i>Trilock Brick</i>
1	7 Hari	2,448 Mpa	7,438 Mpa
2	14 Hari	3,640 Mpa	8,548 Mpa
3	28 Hari	4,616 Mpa	9,487 Mpa

3.3 Pengujian Absorpsi

Berdasarkan hasil uji absorpsi dari sampel batako konvensional didapatkan hasil rata-rata sebesar 8,069%. Sedangkan, pada sampel *trilock brick* didapatkan hasil rata-rata sebesar 5,433%.

3.3 Analisis Perbandingan Harga Batako Konvensional dan *Trilock Brick*

Adapun hasil analisis perbandingan harga batako konvensional dengan *trilock brick* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Daftar harga 1 buah batako konvensional

		Kebutuhan	Satuan	Harga	Jumlah Harga
Material (60%)	Semen	1,2	kg	Rp1.175,00	Rp 1.410,00
	Pasir	4,86	kg	Rp 117,00	Rp 568,62
	Air	0,33	lt	Rp 150,00	Rp 49,50
Alat (10%)					Rp 350,00
Upah (30%)					Rp 1.050,00
Total					Rp 3.500,00

Tabel 5. Daftar harga 1 buah *trilock brick*

		Kebutuhan	Satuan	Harga	Jumlah Harga
Material (60%)	Semen	1,5	kg	Rp1.175,00	Rp 1.762,50
	Pasir	6,1	kg	Rp 117,00	Rp 713,70
	Air	0,45	lt	Rp 150,00	Rp 67,50
Alat (10%)					Rp 430,00
Upah (30%)					Rp 1.290,00
Total					Rp 4.300,00

Berdasarkan hasil perhitungan biaya yang ditunjukkan pada Tabel 4, batako konvensional memiliki biaya sebesar Rp 3.500.00,- per buah, sedangkan *Trilock Brick* sebesar Rp 4.300.00,- per buah (Tabel 5). Apabila dibandingkan biaya per buah, *Trilock Brick* lebih mahal daripada batako konvensional, karena dilihat dari bentuk dan volumenya berbeda, hal tersebut mempengaruhi material yang dibutuhkan. Namun, berikut terdapat rincian perbandingan kebutuhan biaya pada pemasangan per 1 m² batako konvensional dan *trilock brick* yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Adapun rincian biaya kebutuhan 1m² batako konvensional dan *trilock brick* disajikan pada Tabel 6.



Gambar 3. Sketsa Pemasangan 1 m² Batako Konvensional



Gambar 4. Sketsa Pemasangan 1 m² *Trilock Brick*

Tabel 6. Rincian Biaya Kebutuhan 1m² Batako Konvensional dan *Trilock Brick*

Perhitungan	Konvensional	<i>Trilock Brick</i>
Luas batako sisi samping	$0,30 \times 0,09 \times 2 = 0,0648 \text{ m}$	$0,36 \times 0,09 \times 3 = 0,0972 \text{ m}$
	$0,15 \times 0,09 \times 2 = 0,027 \text{ m}$	
	Luas Total = 0,918 m	
Kebutuhan Batako / m ²	$1/0,045 = 22 \text{ buah}$	$1/0,058 = 17 \text{ buah}$
Kebutuhan Spesi	$16 \times 0,30 \times 0,09 \times 0,02 = 0,00864$	$19 \times 0,36 \times 0,09 \times 0,005 = 0,00308$
	$20 \times 0,15 \times 0,09 \times 0,02 = 0,0054$	
	Total = 0,01404	
Total harga batako / m ²	$\text{Rp. } 3.500 \times 22 = \text{Rp. } 77.000,-$	$\text{Rp. } 4.300 \times 17 = \text{Rp. } 73.100,-$
Harga kebutuhan spesi dengan	$\text{Semen} = (1/6 \times 0,01404/0,00048) \times 1.175$	$\text{Semen} = (1/6 \times 0,00308/0,00048) \times 1.175$
Perhitungan campuran 1 PC : 5 PS	$= \text{Rp. } 5.728,-$	$= \text{Rp. } 1.257,-$
	$\text{Pasir} = (5/6 \times 0,01404 \times 1400) \times 117$	$\text{Pasir} = (5/6 \times 0,00308 \times 1400) \times 1.175$
	$= \text{Rp. } 1.916,-$	$= \text{Rp. } 421,-$
Total Kebutuhan / m ²	$\text{Pasir} + \text{Semen} = \text{Rp. } 7.644,-$	$\text{Pasir} + \text{Semen} = \text{Rp. } 1.678,-$
	$\text{Rp. } 77.000 + \text{Rp. } 7.644 = \text{Rp. } 84.644,-$	$\text{Rp. } 73.100 + \text{Rp. } 1.678 = \text{Rp. } 74.778,-$

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tekan rata-rata dan daya serap air *trilock brick* lebih unggul dibandingkan batako konvensional. Adanya sistem *interlocking* pada tiap sisinya membuat antar *trilock brick* saling mengunci sehingga hanya dibutuhkan 0,5 cm spesi dalam pemasangan untuk lebih merekatkan antar *trilock brick*. Pada pemasangan per 1 m², *trilock brick* hanya membutuhkan 17 buah dengan biaya sebesar Rp. 74.778,- sedangkan batako konvensional membutuhkan 22 buah dengan biaya sebesar Rp. 84.644,-. Sehingga dapat disimpulkan apabila memakai *trilock brick* lebih murah dibandingkan dengan batako konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat yang telah diberikan sehingga penelitian dengan judul *TRILOCK BRICK : Inovasi Desain Batako Bentuk Segitiga Dengan Sistem Interlock* ini dapat diselesaikan sesuai waktu yang direncanakan. Terima kasih kepada Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T. dan Bapak Drs.

Hartono, M.T. yang telah membimbing kami dalam keberjalanan penelitian ini mulai dari perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga saat ini. Selain itu, kami juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah terlibat dalam penyusunan penelitian, sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Kami menyadari dalam penyusunan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati kami akan menerima segala bentuk kritik maupun saran yang bersifat membangun.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, 1989, SNI- 03-0349-1989, Bata Beton Untuk Pasangan Dinding, Jakarta.
- ASTM C33-03. (2003). ASTM C33- 03 : Standard Spesification for Concrete Aggregate. *Annual Book of ASTM Standards, 04*, 1–11.
- D.K. Ching, F. (2008). *Arsitektur : Bentuk, Ruang, dan Tatahan* (J. Wiley & Sons (eds.); Third edit). Erlangga.
- Ichsan, M. F. (2019). Analisa Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang sebagai Bahan Campuran pada Pembuatan Paving Block di Tinjau dari Nilai Kuat Tekan dan Serapan Air. 19.
- PPIUG. (1983). Peraturan-Pembebanan-Indonesia-1983 (pp. 3–32).
- Putri, D., Kinasti, R. M. A., & Lalus, D. F. (2019). Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Dan Limbah Kaca Pada Campuran Batako. *Construction and Material Journal*, 1(3), 211–218. <https://doi.org/10.32722/cmj.v1i3.2418>
- Suripatty, H. J. (2016). Analisa Kualitas Proses Produksi Analisa Kualitas Proses Produksi Produk Batu Batako PT. Karya Papua Nabire. *Jurnal FATEKSA*, 1(1), 31–38.

Kajian penanggulangan banjir dengan perbaikan penampang situ pondok jagung

Lutfia Vallentina^{a*}, Rizka Arbaningrum^b, Frederik Josep Putuhenac

^{a*}Department of Civil Engineering, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

^{bc}Center for Urban Studies, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

Lutfia.vallentina@student.upj.ac.id

Keywords:

Flooding, Mitigation, Modeling, Normalization, Situ Pondok Jagung, Simulation

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Flood mitigation of Situ Pondok Jagung caused by its inadequate capacity to handle water, resulting in overflow and localized inundation, this study employed an analytical and simulation modeling approach using SWMM 5.1 software. The modeling process required input data such as Rain Gage, Subattachment, Conduit, Junction, Storage Unit, and Outfall. The analysis and modeling revealed a capacity shortfall, evident from the floodwater levels observed in Situ Pondok Jagung. The analysis and modeling results indicate an excess capacity of the storage capacity, as evidenced by the flood water elevation in Situ Pondok Jagung. Thus, the hydraulic analysis in SWMM 5.1 considers two design conditions: the existing condition with a height of 1.5m, showing a total water discharge of 103,75 m³/s, and a storage volume of 119.250 m³. For the planned condition using trial and error experiment, dredging was performed to a depth of 20cm, and an additional 50cm in height was added to the levee. As a result, the height of Situ Pondok Jagung became 2,2m, with zero overflow, and a storage volume of 174.900 m³. This represents a reduction of 40% and indicates that this planning effort could be considered as an alternative solution.

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Banjir di wilayah perkotaan ini sulit untuk dihindarkan, tetapi dapat dikendalikan. Salah satu penyebab banjir adalah kelebihan kapasitas pada saluran pembuangan air di wilayah penampungan atau drainase. Menurut penelitian dari Robert J. Kodoatie tahun 2021, perkembangan kota yang terus berlangsung karena arus urbanisasi mengakibatkan perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali dan penurunan daya dukung lingkungan. Hal ini menyebabkan peningkatan frekuensi bencana, terutama banjir sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk yang berkontribusi pada peningkatan lahan yang dibangun serta pengurangan luas ruang terbuka hijau.

Romantyo tahun 2000 menjelaskan bahwa wilayah perkotaan mencakup lahan basah seperti situ, danau, dan rawa, yang memiliki sistem perairan yang tergenang dan berair tawar. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK) tahun 2007, situ merupakan genangan air di permukaan tanah yang terbentuk secara alami atau buatan dan berfungsi untuk mengurangi volume air permukaan (*Run Off*) yang tidak tertampung, sehingga mencegah terjadinya banjir atau genangan. Kota Tangerang Selatan memiliki beberapa situ yang salah satunya berfungsi sebagai kolam penampung air hujan, seperti Situ Pondok Jagung yang terletak di Jalan Rawa Kutuk, Kelurahan Pondok Jagung Timur, Kota Tangerang Selatan, Banten.

Dilansir dari Tangerangnews.com, pada tanggal 14 September 2022, terjadi luapan air dari Situ Pondok Jagung yang menyebabkan genangan setinggi 30 sentimeter di Jalan Rawa Kutuk, Kelurahan Pondok Jagung Timur, dimana lokasi jalan tersebut tepat disamping Situ. Sehingga Situ Pondok Jagung tidak dapat menampung debit air yang masuk ke dalam storage, menyebabkan debit banjir melimpa ke Jalan Rawa Kutuk. Dari permasalahan tersebut Perlu adanya kajian dalam mengevaluasi perbaikan penampang agar *storage* mampu mengatasi limpasan.

Dalam mengkaji evaluasi perbaikan penampang agar mampu mengatasi limpasan di perlukan untuk mengetahui total debit air yang mengalir ke kondisi eksisting Situ Pondok Jagung, selanjutnya

mengetahui debit banjir eksisting dan debit banjir rencana melalui analisis hidraulika pada SWMM 5.1 yang kemudian menghitung untuk mengetahui reduksi banjir pada Situ Pondok Jagung setelah perbaikan penampang.

2. DATA DAN METODE

2.1. Kolam Tampungan

Situ merupakan kolam tampungan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KEMENLHK) tahun 2007, situ merupakan genangan air dalam suatu cekungan di permukaan tanah yang terbentuk secara alami atau buatan yang berfungsi untuk mengurangi volume air permukaan (run off) yang tak tertampung yang menjadi penyebab banjir atau genangan. Pada PP No.77 tahun 2001 berisi mengenai situ, disebut juga tempat atau wadah penampungan air irigasi pada waktu terjadinya surplus air di sungai atau pada saat hujan. Puspita tahun 2005 juga menjelaskan bahwa istilah situ biasanya digunakan masyarakat Jawa Barat untuk sebutan danau kecil. Situ digunakan untuk beberapa alternatif, yaitu : Suplau air ke hilir, irigasi, kontor banjir, kanal-kanal, dan rekreasi. Akan tetapi situ terdapat resiko yang tidak terhindari yaitu banjir disebabkan karena kapasitas tampungan air pada situ penuh atau full sehingga terjadinya limpasan.

2.2. Analisis Hidrologi

Pada analisis hidrologi terdapat beberapa tahapan yaitu menentukan DAS (Daerah Aliran Sungai), Menentukan lokasi stasiun hujan, melakukan perhitungan curah hujan rata-rata, analisis frekuensi dengan perhitungan disperse statistik normal dan logaritma, lalu melakukan uji grafis, Smirnov-kolmogrov, chikwadrat, selanjutnya pemilihan jenis sebaran, menghitung intensitas hujan serta kurva IDF, dan tahap akhir heterograf. Curah hujan rata-rata diperlukan mengetahui luas DAS disajikan pada Tabel 1 untuk ketentuan DAS yang digunakan .

Tabel 1. Kriteria DAS

Das Besar	(>5000 km ²)	Metode Isohyet.
Das Sedang	(500 s/d 5000 km ²)	Metode Thiessen.
Das Kecil	(<500 km ²)	Metode rata-rata aljabar.

Analisa Frekuensi dilakukan dengan mengitung dispersi statistik curah hujan normal dan logritma, logaritma digunakan jika nilai data terlalu besar sehingga untuk menyederhakan data agar dapat memenuhi syarat pada jenis sebaran. Intensitas curah hujan menggunakan rumus dari Mononobe, pada hasil ini meruapkan banuaknya jumlah hujan yang turun dengan menyakayakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan dalam tiap satuan waktu. Besarnya nilai intensitas hujan bergantung dari lamanya curah hujan serta frekuensi terjadinya hujan. Dapat dikatakan pula semakin singkat durasi hujan berlangsung maka intensitas hujan cenderung makin tinggi. Selain itu rumus mononobe juga untuk mengetahui kala ulang pada periode tertentu dalam melakukan perencanaan berdasarkan *hazard classification* pada buku loebis 1984. Adapun ketentuan kala ulang (*hazard classification*) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan kala ulang (*hazard classification*)

Jenis Bangunan Air	Kala Ulang Banjir T (tahun)
Bendungan Urugan Tanah/Batu (<i>Eart/rockfill dam</i>)	1000
Bendungan Beton/Batu Kali (<i>Concerete dam/masonry</i>)	500 - 1000
Bendungan (<i>Weir</i>)	50 - 100
Saluran Pengelak Banjir (<i>Flood Diversion Canal</i>)	20 - 50
Tanggul Sungai	10 - 20
Drainase Saluran di Sawah/Pemukiman	5 - 10

Heterograf hujan rencana, setelah perhitungan intensitas hujan makan diketahui kurva IDF. Kurva IDF ini merupakan bahan untuk melakukan perhitungan heterograf. Pada hetrograf ini ditentukan dengan mengakali inyensitas hujan dengan durasi hujannya dari kedalaamn prespitasi. Perbedaan selisih diantara nilai kedalaman curah hujan yang verturut-urut merupakan pertambahan kenaikan curah

hujan dalam interval selang waktu (Δt). dari penambahan waktu tersebut diurutkan dengan dibagi dmenjadi deret waktu, dengan intensitas curah hujan maksimumnya berada di tengah atau diurutkan dibagi hujan (T_c). Waktu konsentrasi (t_c) merupakan waktu yang diperlukan air hujan yang terjatuh untuk mengalir dari titik paling terjauh hingga kepada tempat yang di teliti.

2.3. Pemodelan Melalui SWMM 5.1

Pemodelan ini disebutkan oleh Rossman tahun 2010, Langkah paling kritis dalam simulasi adalah pemodelan jaringan drainase pada aplikasi EPA SWMM. Dalam system jaringan lapangan dimodelkan ke dalam aplikasi dengan menandai beberapa subcatchment area. Kemudian hasil analisis hidrologi yaitu heterograf kedalam rain gage untuk daerah tangkapan hujan, kemudian memodelkan subcatchment untuk memodelkan conduit, junction. Pada data ini di perlukan data konkrit untuk mengetahui kedalaman, dan luas, serta elevasi untuk mengetahui elevasi air. Setelah itu dilakukan run analysis untuk mendapatkan hasil pemodelan simulasi yang telah dilakukan.

2.4. Analisis Reduksi Banjir Situ Pondok Jagung

Analisis reduksi banjir bergunga untuk mengetahui seberapa besar Situ Pondok Jagung dalam mengurangi terjadinya limpasan air yang disebabkan oleh kelebihan kapasitas pada kolam tampunannya. Sehingga pada analisis ini penulis membuat alternatif dalam perencanaan perbaikan penampang pada Situ Pondok Jagung. Dapat dikatakan pada analisis ini mencari perbandingan dalam reduksi, dengan menggunakan dua pemodelan yakni pemodelan kondisi eksisting dan kondisi perencanaan perbaikan penampang pada Situ Pondok Jagung. Adapun untuk menghitung nilai reduksi banjir disajikan pada Persamaan 1.

$$\text{Reduksi banjir} = \frac{\text{Selisih banjir}}{Q_{\text{peak inflow Eksisting}} + Q_{\text{peak Inflow Rencana}}} \times 100 \quad \text{Pers. 1)}$$

2.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan terdapat beberapa tahapan yang didasari oleh landasan pola pemikiran, sebagai berikut :

- 1) Menentukan objek yaitu lokasi penelitian dengan mengkaji permasalahan yang terjadi untuk bahan atau isi penelitian ini, meliputi kondisi tata guna lahan, dan dimensi penampang eksisting kondisi nyatanya
- 2) Melakukan studi literatur untuk menentukan literasi yang digunakan dalam memvalidasi permasalahan dan pemecahan masalah
- 3) Pengumpulan data sekunder, data ini merupakan data curah hujan dari BBWS wilayah Sungai Ciliwing Cisadane, dan Sta. Klimatologi Tangerang Selatan, Peta topografi dan daerah limpasan
- 4) Menyusun serta kesimpulan dari pembahasan dan hasil pada penelitian ini

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Daerah Tangkapan Air

Pada kawasan Stu Pondok jagung diketahui keseluruhan luasan area dengan menggunakan *Google Earth*. Luas Situ Pondok Jagung sebesar 79.500 m², dengan luasan area tangkapan air sebesar 865.000 m². Adapun daerah tangkapan air wilayah Situ Pondok Jagung ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Daerah Tangkapan Air Wilayah Situ Pondok Jagung

3.2. Analisis Hidrologi

Penentuan Curah Hujan Rata-rata pada penelitian ini menggunakan interval data sepuluh tahun terakhir, dengan menggunakan empat lokasi stasiun hujan. Stasiun Hujan tersebut yaitu: Sta. Klimatologi Bogor, Sta. Hujan FT Universitas Indonesia, Sta. Meteorologi Soekarno Hatta, dan Sta. Klimatologi Tangerang Selatan. Dimulai dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2022. Pada penelitian ini menggunakan perhitungan curah hujan rata-rata aljabar dikarenakan luasan Situ Pondok Jagung sebesar 79.500 m². Sehingga untuk perhitungan rata-rata hujan maksimum disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Curah hujan maksimum harian

No	Tahun	Curah hujan maksimum tahunan (mm)				Rerata Regional
		St.K.Bogor	St.H.FT Universitas Indonesia	St. K. Tangerang Selatan	St. M. Soekarno Hatta	
1	2013	97,4	101,7	96	397,4	173,12
2	2014	169,1	151,5	119,5	104,1	136,05
3	2015	155,8	97,2	117	127,7	124,42
4	2016	108,6	141,5	97	147,6	123,67
5	2017	117,6	105,7	80,2	125,5	107,25
6	2018	134,5	95,2	86,3	85,4	100,35
7	2019	141	122,6	77,4	57	99,5
8	2020	122,9	155,2	208,9	147,9	158,72
9	2021	95,9	132,6	118,9	79,4	106,7
10	2022	155,2	119,4	123,8	150,6	137,25

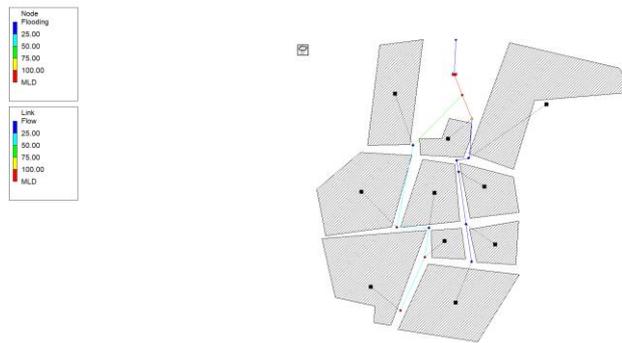
Heterograf menentukan besarnya intensitas curah hujan yang diperlukan. Dalam perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan cara menentukan kala ulang periode tahun berdasarkan bangunan air terhadap kriteria kala ulang (*Hazard Classification*). Sehingga didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil heterograf hujan rancangan

Tc	Δt (jam)	It (mm)	Δp (mm)	Heterograf (mm)
0,167	00:00-00:10	225,724	225,724	33.680
0,333	00:10-00:20	142,197	83,527	83.527
0,500	00:20-00:30	108,517	33,680	225.724
0,667	00:30-00:40	89,579	18,938	18.938
0833	00:40-00:50	77,197	12,382	12.382
1,000	00:50-01:00	68,361	8,835	8.835

3.3. Simulasi Pemodelan SWMM

Pada simulasi pemodelan ini menggunakan aplikasi SWMM 5.1 dimana dengan membuat peta wilayah melalui *Google Earth*. Dari tahapan awal kemudian di masukan atau plotting kedalam SWMM 5.1 selanjutnya membuat subcatchment area, junction, conduit, dan outfall dan tidak lupa untuk rain gage untuk memasukan data hujan rencana. Selanjutnya terdapat beberapa komponen kemiringan suatu wilayah subcatchment (*%slope*), 0,013 nilai konstanta manning daerah *pervious* dan 0,1 *impervious*, 0,05 kedalaman *depression storage* pada daerah *pervious* dan *impervious*, dan 25% daerah *impervious* yang tidak memiliki *depression storage*. Pada *Junction* parameter yang dimasukan adalah invert elevation, yaitu elevasi dari saluran drainase eksisting. Nilai invert.el dimasukan dari elevasi tertinggi hingga terendah pada *junction*. Parameter *conduit* yang dimasukan dalam simulasi adalah bentuk saluran (*shape*) dan panjang saluran (*length*). Sehingga dapat dilihat pada Gambar 2 untuk sub DTA dan *Subcatchment* area wilayah sungai Pondok Jagung.



Gambar 2. Pemodelan Simulasi SWMM

Pada kedalaman *storage* 1,5 m. Dapat disimpulkan bahwa terjadinya *full capacity*, sehingga terjadinya limpasan air. Selain *water elevation* di dapatkan hasil analisis hidraulika yang disajikan pada Tabel 5. Total *Inflow* kondisi eksisting.

Tabel 5. Total *inflow* eksisting

Hours	Depth	Q (MLD)	Q (m ³ /s)
0:15:00	1	359,77	4,173
0:30:00	1	393,13	4,560
0:45:00	1	418,15	4,851
1:00:00	1	418,15	4,851
1:15:00	1	408,2	4,735
1:30:00	1	388,11	4,502
1:45:00	1	378,37	4,389
2:00:00	1	372,89	4,326
2:15:00	1	369,46	4,286
2:30:00	1	367,17	4,259
2:45:00	1	365,56	4,240
3:00:00	1	364,38	4,227
3:15:00	1	363,49	4,216
3:30:00	1	362,81	4,209
3:45:00	1	362,28	4,202
4:00:00	1	361,85	4,197
4:15:00	1	361,51	4,194
4:30:00	1	361,23	4,190
4:45:00	1	360,99	4,187
5:00:00	1	360,8	4,185
5:15:00	1	360,63	4,183
5:30:00	1	360,49	4,182
5:45:00	1	360,37	4,180
6:00:00	1	360,27	4,179
Total			103,705

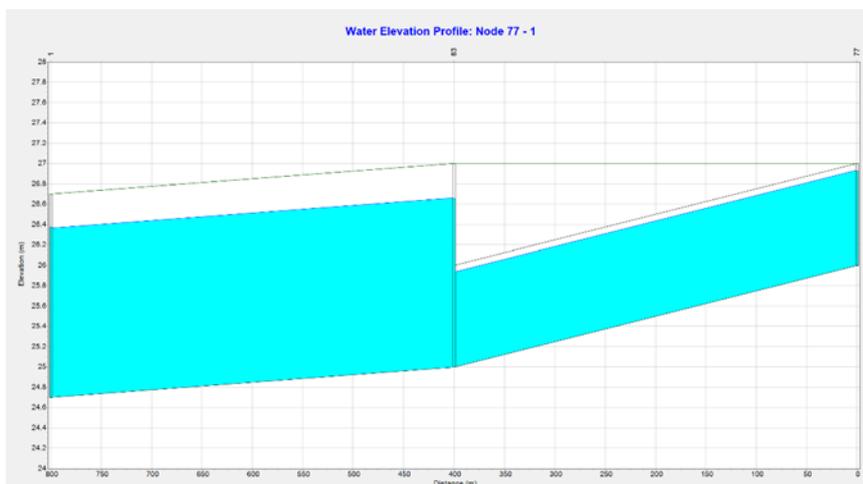
Debit banjir puncak sebesar 4,151 m³/s. Selain itu perlu diketahui juga untuk Volume Eksisting *storage* dengan menggunakan Persamaan 2.

$$Volume\ Storage\ Eksisting = 79.500\ m^2 \times 1,5\ m = 119.250\ m^3 \quad \text{Pers.2)}$$

Perhitungan volume di dapatkan dari luasan Situ Pondok Jagung sebesar 79.500 m², dengan ketinggian 1,5m dari gambar penampang melintang.

3.4. Rencana Perbaikan Penampang Situ Pondok Jagung

Pada rencana ini dilakukan metode trial-error, dimana pelaksanaannya mencari alternatif yang efektif untuk mereduksi banjir yang terjadi di kemudian hari dan diharapkan bahwa tidak terjadinya banjir sehingga dalam pelaksanaan ini dilakukan dengan skema renacan normalisasi atau pengerukan 20cm dan tinggi turap setinggi 50cm. sehingga tinggi situ menjadi 2,2 m. Hasil elvasi muka air untuk mengetahui kapasitas dari *storage* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rencana Water Elevation

3.5. Hasil Reduksi

Debit banjir rencana *storage* tersebut adalah 1,799 m³/s, Pada skema rencana ini ketinggian situ menjadi 2,2m. Pada bagian ini dilakukan dengan perbandingan kondisi eksisting dengan skema rencana perbaikan penampang situ dengan normalisasi pengerukan 20cm dan penambahan turap setinggi 50cm, untuk mengetahui total reduksi yang dihasilkan. Adapun hasil reduksi banjir disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Reduksi banjir

	Kondisi Eksisting (m ³ /s)	Rencana (m ³ /s)	Selisih (m ³ /s)	Reduksi (%)
Debit Banjir	4,151	1,799	2,352	40%

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa dalam skema rencana perbaikan penampang Situ Pondok Jagung didapatkan hasil reduksi debit banjir sebesar 40%, dinilai dapat mengurangi banjir. Dengan dilakukannya rencana normalisasi pengerukan sedalam 20cm dan penambahan turap setinggi 50cm.

4. KESIMPULAN

Hasil dari analisis hidrolika SWMM 5.1 di dapatkan total debit air yang masuk pada kondisi eksisting Situ Pondok Jagung sebesar 103,75 m³/detik, Besarnya debit banjir air kondisi eksisting pada Situ Pondok Jagung sebesar 4,151m³/detik. Serta tinggi Situ besar 1,5 m sehingga volume eksisting *storage* sebesar 119.250 m³. Rencana perbaikan penampang pada situ pondok jagung, dengan skema rencana normalisasi pengerukan 20 cm dan penambahan turap setinggi 50 cm. Sehingga tinggi Situ Pondok Jagung mejadi 2,2 m. Dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya reduksi banjir Situ Pondok jagung sebesar 40%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada BBWS Ciliwung-Cisadane yang telah memberikan informasi mengenai data hujan dan kepada Dinas Sumber Daya Air Kota Tangerang Selatan yang telah memberikan informasi mengenai penampang Situ Pondok Jagung.

REFERENSI

- Akbar, Muhammad Y., (2021). Analisis Sumur Resapan Dalam Mengurangi Dampak Banjir di Perumahan Bukit Pamulang Indah. Fakultas Teknologi dan Desain Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang Selatan.
- Arbaningrum, R. (2019) "Desain Polder yang Ekonomis di Wilayah Semarang Timur". WIDYAKALA JOURNAL 6 (1), 9-17
- Arbaningrum, R., Putri, J. G., Sapto, P & Kurniani, D. (2015) "Perencanaan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir". Jurnal Karya Teknik Sipil 4(1), 186–196.
- Arbaningrum R, Al Dianty, M., Putuhena, F J, Priyambodo R & Ontorwirjo B. (2021). "Increasing Effectiveness of The Urban Artificial Reservoir Trough Cross Section Improvement". IOP Conf. Ser.:Earth Environ. Sci.945 012046
- Apriyanti, Okta. (2022). Analisis Reduksi Debit Banjir Kali Grogol Terhadap Pembangunan Waduk Lebak Bulus. Tangerang Selatan: Fakultas Teknologi dan Desain Universitas Pembangunan Jaya.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2015). Analisis Hidrologi, Hidraulik, dan Kriteria Desain Bangunan di Sungai: SNI 1724-2015. Jakarta:Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2016). Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana: SNI 2415-2016. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Fajar, I., & Sudinda, T. W. (2019, September). Analisis bendungan kering (*dry dam*) Ciawi sebagai upaya pengendalian banjir DKI Jakarta. In Prosiding Seminar Intelektual Muda (Vol. 1, No. 2).
- Ginting, M. (2018). Penerapan Sistem Kolam Retensi (Retarding Basin) pada Daerah Aliran Sungai Deli untuk Pengendalian Banjir Kota Medan.
- Gironás, J., Roesner, L. A., Rossman, L. A., & Davis, J. (2010). A new applications manual for the Storm Water Management Model(SWMM). *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 813-814.
- Ignes, Jessica. (2021). Analisa Debit Maksimum Pada Long Storage Sungai Serua di Lingkungan Universitas Pembangunan Jaya. Skripsi. Tangerang Selatan:Fakultas Teknologi dan Desain. Universitas Pembangunan Jaya.
- Indarto., (2016). Hidrologi Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai, Penerbit Bumi Aksara, Bandung: Indonesia.
- Kodoatie, R. J. (2021). *Rekayasa dan manajemen banjir kota*. Penerbit Andi.
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi: Edisi Revisi*. Penerbit Andi, Yogyakarta: Indonesia.
- Loebis, Joerson (1984). *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*, Departement Pekerjaan Umum, Penerbit Pekerjaan Umum: Jakarta.
- Nugroho, S. A. (2017). Reduksi banjir menggunakan kolam retensi di sungai bakalan kabupaten Jepara.
- Priyambodo Rifki. (2020). Peningkatan Efektivitas Kolam Tampung Situ Ciledug Pamulang Melalui Perbaikan Penampang. Skripsi. Tangerang Selatan:Fakultas Teknologi dan Desain. Universitas Pembangunan Jaya.
- Qudsiyah, Anggun Haziratul (2022) *Evaluasi Kelayakan Sistem Polder Dan Kolam Retensi Andir Dalam Mereduksi Banjir Di Kabupaten Bandung*.
- Rossman, Lewis A. (2010). *Strom Water Management Model, User's Manual Version 5.0*. Water Supply and Water Resources Division Nasional Risk Management Research Laboratory, Ohio: USA.
- Sukmara, R. B. (2015). Analisa Penanggulangan Banjir Sungai Karang Mumus Samarinda. (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Suripin., (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta: Indonesia.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta: Indonesia.

Jalur berkelanjutan dari instalasi pengolahan air limbah Bengkong Sadai di Batam

Yosef Adicita^a, I Wayan Koko Suryawan^{b*}

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Universal, Kota Batam

^{b*} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Kota Jakarta

Corresponding Author:

Email:

i.suryawan@universitaspertamina.ac.id

Keywords:

Batam, Bengkong Sadai, Sustainable Water Management, SWOT Analysis, Treatment, Urban Infrastructure

Abstract: *The urban center of Batam faces recurrent water crises. The introduction of the Bengkong Sadai Wastewater Treatment Plant (WWTP) offers a potential solution, converting domestic wastewater into reusable water, thereby addressing scarcity concerns. This research provides a comprehensive SWOT analysis of the WWTP, aiming to understand its potential for ensuring sustainable water management in Batam. We identified that while the WWTP capitalizes on state-of-the-art infrastructure, making a notable contribution to water reclamation and organic fertilizer production, it also confronts challenges like community engagement and operational complexities. Based on the analysis, the study emphasizes the criticality of proactive maintenance, robust stakeholder collaboration, and the need for a forward-thinking approach. This work sheds light on Batam's endeavors and offers a blueprint for other urban locales grappling with similar challenges.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Kota-kota di seluruh dunia, khususnya di kawasan urban yang sedang berkembang, seringkali dihadapkan pada masalah krisis air yang semakin meningkat. Krisis ini tidak hanya terbatas pada kekurangan sumber daya air bersih, tetapi juga mencakup masalah penanganan dan pengelolaan air limbah. Kota Batam, salah satu kota metropolitan yang tumbuh pesat di Indonesia, juga tidak terkecuali dari tantangan ini. Secara geografis, Batam memiliki potensi untuk menjadi pusat ekonomi dan pariwisata, terutama dengan posisinya yang strategis di jalur perdagangan internasional (Arisandi and Pradana, 2018; Siahaan *et al.*, 2019). Namun, perkembangan pesat yang disertai dengan peningkatan populasi dan aktivitas industri telah menimbulkan dampak negatif terhadap sumber daya air (Dicky, 2008; Apritama, Suryawan and Adicita, 2020). Sumber daya air bersih menjadi semakin terbatas, sementara produksi air limbah meningkat secara eksponensial.

Air limbah domestik, yang terdiri dari tinja, buangan air dari dapur, dan cucian pakaian, menjadi salah satu isu utama dalam pengelolaan sumber daya air di Batam. Tanpa pengelolaan yang tepat, air limbah ini dapat mencemari sumber air bersih dan merusak ekosistem (Prajati, Afifah and Apritama, 2021; Suryawan *et al.*, 2021; Afifah *et al.*, 2023). Limbah dapat mencemari sumber air tanah, mengganggu kehidupan akuatik, dan menimbulkan potensi risiko kesehatan bagi manusia. Penyakit seperti kolera, disentri, dan penyakit lain yang berkaitan dengan air limbah dapat muncul dan menyebar dengan cepat jika tidak ada tindakan pencegahan yang tepat. Di sisi lain, air limbah, jika dikelola dengan baik, memiliki potensi untuk menjadi sumber daya bernilai. Teknologi pengolahan air limbah telah berkembang dengan pesat, memungkinkan konversi limbah menjadi air yang dapat digunakan kembali (Cheong *et al.*, 2022; Septiariva *et al.*, 2022; Suryawan *et al.*, 2022), serta produk lain seperti pupuk organik. Dengan demikian, pengelolaan air limbah yang efektif tidak hanya dapat mengatasi masalah pencemaran, tetapi juga dapat memberikan solusi inovatif terhadap krisis air.

Air limbah domestik dari berbagai sumber, seperti perumahan, perhotelan, apartemen, dan mal, dikumpulkan dan diolah. Sistem gravitasi menggunakan pipa mengalirkan limbah ini ke stasiun pompa, yang menyaringnya dari sampah dan sedimen. Dari sana, limbah dialirkan ke IPAL Bengkong Sadai untuk pengolahan lebih lanjut. Sistem ini memanfaatkan dua pipa yang terpasang di setiap

rumah, masing-masing bertanggung jawab untuk mengalirkan tinja dan air limbah dari dapur dan cucian.

Badan Pengusahaan Batam (BP Batam) mengakui pentingnya isu ini dan mengambil langkah proaktif dengan memulai proyek Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Dengan inisiatif ini, BP Batam berupaya mengatasi dua tantangan utama Kota Batam: kekurangan sumber air bersih dan pengelolaan air limbah yang tidak memadai. Melalui proyek ini, Batam berambisi untuk menjadi contoh bagaimana sebuah kota bisa memanfaatkan teknologi canggih untuk mengatasi isu-isu lingkungan yang mendesak. Namun, menjalankan proyek semacam ini di kawasan urban yang padat tentunya datang dengan tantangan tersendiri. Infrastruktur kota, seperti pemukiman, perhotelan, apartemen, dan pusat perbelanjaan, memerlukan perencanaan yang matang untuk integrasi sistem IPAL yang efektif. Selain itu, partisipasi dan pemahaman masyarakat terhadap pentingnya sistem ini juga menjadi kunci keberhasilan proyek.

Sejauh ini, banyak literatur dan penelitian yang berfokus pada teknologi pengolahan air limbah dan dampak lingkungan dari air limbah (Afifah, Suryawan and Sarwono, 2020; Prajati, Afifah and Apritama, 2021; Suryawan *et al.*, 2021; Afifah *et al.*, 2023), namun sedikit yang menyoroti tantangan operasional dan strategis dari penerapan dan pengelolaan IPAL di lingkungan perkotaan yang kompleks seperti Batam. Selain itu, seiring dengan waktu dan perubahan dinamika kota, mungkin ada hambatan, peluang, dan ancaman yang belum diidentifikasi atau yang mungkin berkembang selama operasional IPAL. Berdasarkan gap yang telah diidentifikasi, tujuan dari studi ini adalah untuk melakukan evaluasi mendalam mengenai operasional IPAL di Batam dengan menggunakan analisa SWOT. Melalui analisa ini, studi berupaya untuk mengidentifikasi SWOT dari operasional IPAL yang telah diterapkan oleh BP Batam, termasuk aspek teknologi, manajemen, dan integrasi dengan infrastruktur kota lainnya. Dengan mengetahui hasil dari analisa SWOT, BP Batam dan pemangku kepentingan lainnya akan mendapat wawasan berharga mengenai langkah-langkah yang perlu diambil untuk memastikan keberlanjutan, efektivitas, dan keberhasilan dari proyek IPAL di Batam.

2. DATA DAN METODE

Dalam melakukan penelitian ini, metode yang diterapkan adalah studi literatur, yang merupakan pendekatan kualitatif untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi informasi dari sumber-sumber literatur yang relevan. Sebelum memulai studi literatur, penting untuk mendefinisikan dengan jelas apa yang ingin dicapai dari penelitian ini. Untuk studi ini, pertanyaan penelitian utama adalah: "Apa tantangan operasional yang dihadapi oleh IPAL di Batam dan bagaimana analisis SWOT dapat membantu mengatasi tantangan tersebut?" Pencarian literatur akan dilakukan melalui basis data ilmiah, jurnal-jurnal terakreditasi, laporan pemerintah, publikasi dari organisasi internasional, dan dokumen resmi lainnya yang relevan dengan IPAL, pengelolaan air limbah, dan konteks khusus Batam. Ini termasuk, namun tidak terbatas pada, basis data seperti Scopus, Google Scholar, dan JSTOR. Setelah literatur ditemukan, langkah selanjutnya adalah seleksi dan penyaringan sumber berdasarkan relevansi, kualitas, dan validitas. Literatur yang paling relevan dengan pertanyaan penelitian, dan yang berasal dari sumber-sumber kredibel, akan dipilih untuk ulasan lebih lanjut. Data yang dikumpulkan dari literatur akan dianalisis secara sistematis. Ini akan melibatkan identifikasi tema atau pola yang muncul, sintesis informasi dari berbagai sumber, dan interpretasi temuan dalam konteks Batam dan IPAL. Berdasarkan analisis data, temuan akan dikelompokkan ke dalam kategori SWOT: Kekuatan, Kelemahan, Peluang, dan Ancaman. Kerangka analisa SWOT ini akan membantu dalam pemahaman yang lebih baik tentang situasi saat ini dan memberikan rekomendasi untuk tantangan operasional yang mungkin dihadapi oleh IPAL di Batam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan konstruksi proyek IPAL Bengkong Sadai di Kota Batam mengalami kemajuan signifikan. Sebagai figur kunci dalam proyek ini, per Juni 2022, proyek yang mendapatkan dukungan dana pinjaman dari pemerintah Korea Selatan telah mencapai tahap pengerjaan sebesar 90,8%. Lebih detilnya, ia mencatat bahwa fasilitas utama IPAL dan lima stasiun pompanya sudah rampung 100%. Namun, instalasi sambungan ke rumah-rumah warga baru mencapai 69,4%, sedangkan jaringan pipanya telah selesai 93,8% (GerbangKepri, 2022). Semua informasi ini disampaikan oleh Iyus Rusmana di kantor BP Batam.

Setelah adanya tinjauan dari BPKP (Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan) pusat, beberapa tindakan lanjut telah direncanakan. Pertama, ada perpanjangan waktu proyek yang telah disepakati dengan EDCF Korea hingga Desember 2022. Kedua, penyelesaian pengerjaan 3,7 Km pipa utama di tujuh lokasi yang direncanakan antara Juli hingga Desember 2022. Selanjutnya, sambungan rumah direncanakan mulai Oktober 2022, dan tahap commissioning sebagian direncanakan berlangsung antara Januari hingga Juni 2023. Rencana operasional penuh dari IPAL Bengkong Sadai dijadwalkan dimulai pada Juli 2023, namun hanya sebagian area yang akan beroperasi (BP Batam, 2023).

Beberapa langkah telah selesai, termasuk pengadaan truk tinja, pengadaan SDM, dan berbagai kajian terkait. Ia menekankan bahwa pengoperasian penuh dari IPAL Bengkong Sadai direncanakan pada Juli 2023, dengan penerapan L2T2 dimulai pada September 2022. Dari segi infrastruktur pipa, *Main pipeline* telah mencapai pengerjaan 89,7%, atau setara dengan 37,5 Km dari total 42,8 Km yang direncanakan (GerbangKepri, 2022). Sementara itu, *Secondary Pipeline* hampir selesai dengan 88,4% atau 67,1 Km dari total 72,5 Km. Meskipun demikian, ada beberapa kendala yang dihadapi dalam proyek ini. Beberapa perumahan belum bisa diakses untuk instalasi, dengan total keseluruhan sekitar 3,7 Km yang masih perlu dikerjakan. Namun, tiga titik dari kendala tersebut sudah mendapatkan solusi dengan desain ulang.

Proyek IPAL Bengkong Sadai di Batam menampilkan sejumlah kekuatan yang menjanjikan kesuksesan jangka panjang. Salah satu kekuatan utamanya adalah infrastruktur yang sudah dibangun dengan baik. Melihat data yang disajikan, sebagian besar komponen kritical proyek, termasuk fasilitas utama IPAL dan stasiun pompa, telah selesai 100%. Infrastruktur yang kuat ini menjamin bahwa proyek tersebut telah diletakkan di atas fondasi yang kokoh, siap untuk mengatasi tantangan operasional masa depan dan menjamin keberlanjutan jangka panjang. Selain infrastruktur, dukungan dari entitas pemerintah seperti BP Batam dan BPKP memberikan legitimasi dan jaminan ke proyek ini. Dukungan pemerintah ini tidak hanya menandakan bahwa proyek tersebut diakui dan diterima pada level tertinggi, tetapi juga memastikan bahwa semua regulasi dan standar pemerintah dipenuhi, meminimalkan risiko hukum atau birokrasi di masa depan. Pendanaan dari pemerintah Korea Selatan juga merupakan kekuatan penting lainnya (GerbangKepri, 2022). Dengan adanya pinjaman lunak, proyek ini memiliki akses ke sumber daya keuangan yang memadai, memastikan bahwa tidak ada hambatan keuangan yang akan menghambat kemajuan proyek (Abednego and Ogunlana, 2006). Lebih jauh lagi, penggunaan teknologi canggih dalam mengolah limbah menjadi air bersih dan produksi pupuk organik menandakan bahwa proyek ini tidak hanya memenuhi kebutuhan dasar pengelolaan limbah, tetapi juga bergerak maju dengan inovasi dan solusi berkelanjutan (Septiariva *et al.*, 2022; Suryawan and Lee, 2023).

Namun, setiap proyek besar tentunya memiliki kelemahannya. Ketergantungan pada pendanaan dari pemerintah asing, dalam hal ini Korea Selatan, menghadirkan risiko. Setiap perubahan dalam relasi diplomatik, kondisi ekonomi, atau prioritas pemerintah negara investor dapat mempengaruhi aliran pendanaan (Ban and Bohle, 2021; Zhan and Santos-Paulino, 2021). Meski pinjaman tersebut bersifat lunak, ketergantungan yang berlebihan pada sumber pendanaan eksternal dapat menghadirkan kerentanan dalam jangka panjang (V, Ngân and Chauvin, 2011). Keterbatasan akses ke beberapa perumahan juga merupakan kelemahan yang serius. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada rencana umum yang baik, pelaksanaan detail mungkin menghadapi hambatan. Setiap keterlambatan dalam mengakses atau mengintegrasikan sistem ke perumahan-perumahan tertentu dapat menimbulkan ketidakpuasan di antara warga dan mempengaruhi reputasi dan efektivitas keseluruhan proyek (V, Ngân and Chauvin, 2011; Sahoo *et al.*, 2020).

Di sisi lain, peluang untuk proyek ini tampak cerah. Perkembangan teknologi, terutama di bidang pengelolaan limbah, dapat membuka jalan bagi proyek IPAL Bengkong Sadai untuk lebih meningkatkan efisiensinya, mengurangi biaya, dan meningkatkan kapasitasnya. Dengan Batam sebagai salah satu pusat pertumbuhan di Indonesia, kebutuhan akan pengelolaan limbah yang efisien dan berkelanjutan akan terus meningkat. Ini menciptakan peluang untuk memperluas layanan IPAL ke wilayah lain di kota atau bahkan ke wilayah lain di Indonesia. Selain itu, model kerjasama antara sektor publik dan swasta dapat diperkenalkan atau diperluas. Sebagai contoh, sektor swasta dapat diajak untuk berinvestasi dalam teknologi atau operasional, atau mungkin dalam kampanye edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat (Suryawan and Lee, 2023; Sutrisno *et al.*, 2023).

Meskipun peluangnya melimpah, proyek ini tentu menghadapi ancaman. Perubahan kebijakan pemerintah, kondisi ekonomi global, atau bahkan fluktuasi dalam hubungan diplomatik dengan negara pemberi pinjaman, dalam hal ini Korea Selatan, dapat membawa ketidakpastian ke proyek. Ancaman lingkungan, seperti potensi polusi dari operasi IPAL atau dampaknya terhadap ekosistem lokal, harus diawasi dan ditangani dengan hati-hati untuk memastikan keberlanjutan lingkungan. Akhirnya, menerima dukungan dan kerjasama dari masyarakat adalah kunci. Setiap resistensi atau protes dari masyarakat, terutama mereka yang terpengaruh langsung oleh proyek, bisa menjadi hambatan serius dalam operasional dan pengembangan proyek di masa depan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisa kondisi proyek IPAL Bengkong Sadai, Batam

	1. Kekuatan (Strengths)	2. Kelemahan (Weaknesses)	
Infrastruktur yang Kuat	Dengan hampir seluruh komponen proyek, seperti fasilitas utama IPAL dan stasiun pompa, sudah selesai 100%, proyek ini memiliki pondasi yang kuat untuk operasional jangka panjang.	Ketergantungan Pendanaan Luar	Ketergantungan pada pinjaman dari Korea Selatan bisa menjadi masalah jika ada ketidaksesuaian kebijakan atau ketentuan pinjaman di masa depan.
Dukungan Pemerintah	Keterlibatan dan dukungan dari BP Batam serta BPKP menunjukkan bahwa proyek ini mendapat dukungan penuh dari pemerintah.	Keterbatasan Akses	Masalah akses ke beberapa perumahan mengindikasikan potensi hambatan dalam pelaksanaan proyek secara keseluruhan.
Pendanaan Luar Negeri	Pinjaman lunak dari pemerintah Korea Selatan memastikan bahwa proyek memiliki dana yang cukup untuk pembangunan dan pemeliharaannya.	Tantangan dalam Integrasi Sistem	Mengintegrasikan sistem IPAL ke rumah-rumah warga, terutama yang sudah ada sebelumnya, bisa menjadi kompleks dan memerlukan waktu.
Teknologi Pengolahan Canggih	Konversi limbah menjadi air bersih dan produksi pupuk organik menunjukkan penggunaan teknologi terdepan dalam pengelolaan limbah.		
	3. Peluang (Opportunities)	4. Ancaman (Threats)	
Pengembangan Teknologi	Dengan perkembangan teknologi, ada peluang untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas pengolahan limbah.	Ketidakpastian Politik dan Ekonomi	Perubahan kebijakan pemerintah atau kondisi ekonomi global dapat mempengaruhi pendanaan atau operasional proyek.
Ekspansi Layanan	Mengingat kebutuhan akan pengelolaan limbah yang efisien, ada potensi untuk memperluas proyek ini ke area lain di Batam atau bahkan di luar Batam.	Tantangan Lingkungan	Dampak lingkungan dari IPAL, seperti kemungkinan polusi atau gangguan ekosistem, bisa menjadi ancaman jangka panjang.
Pembentukan Kerja Sama Publik-Swasta	Adanya peluang untuk bekerja sama dengan sektor swasta dalam hal pengelolaan dan pemeliharaan IPAL.	Resistensi Masyarakat	Mungkin ada sebagian masyarakat yang resisten atau tidak setuju dengan proyek ini, terutama jika mereka merasa terganggu atau dirugikan.

4. KESIMPULAN

Proyek Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Batam, yang dikelola oleh Badan Pengusahaan Batam (BP Batam), menandai langkah penting dalam mengatasi krisis air yang telah lama dialami oleh kota tersebut. Melalui analisis SWOT, terungkap bahwa inisiatif ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas hidup penduduk Batam dan mempromosikan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Namun, ada beberapa hambatan dan tantangan yang harus diatasi agar proyek ini dapat berjalan dengan maksimal. Rekomendasi telah diajukan, termasuk peningkatan kesadaran masyarakat, penguatan regulasi, dan adopsi model ekonomi sirkular. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, inisiatif seperti IPAL menunjukkan bahwa solusi inovatif dan kolaboratif dapat menghasilkan dampak positif yang berkelanjutan bagi masyarakat dan lingkungan.

REFERENSI

Abednego, M. P. and Ogunlana, S. O. (2006) 'Good project governance for proper risk allocation in public-private partnerships in Indonesia', *International Journal of Project Management*, 24(7), pp. 622-634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiproman.2006.07.010>.

- Afifah, A. S. *et al.* (2023) 'Evaluation of domestic wastewater and river management in Belian Village, Batam City Sub-district, Indonesia', *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, 18(1), p. 295. doi: 10.20961/region.v18i1.60019.
- Afifah, A. S., Suryawan, I. W. K. and Sarwono, A. (2020) 'Microalgae production using photo-bioreactor with intermittent aeration for municipal wastewater substrate and nutrient removal', *Communications in Science and Technology*, 5(2), pp. 107–111. doi: 10.21924/cst.5.2.2020.200.
- Apritama, M. R., Suryawan, I. W. K. and Adicita, Y. (2020) 'Analisis Hidrolis dan Jejak Karbon Jaringan Distribusi Air Bersih di Pulau Kecil Padat Penduduk (Pulau Lengkang Kecil, Kota Batam)', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), pp. 227–235. doi: 10.29122/jtl.v21i2.3807.
- Arisandi, D. and Pradana, M. N. R. (2018) 'Pengaruh Penggunaan Social Media Terhadap Brand Awareness Pada Objek Wisata Di Kota Batam', *JMD: Jurnal Riset Manajemen & Bisnis Dewantara*, 1(2), pp. 109–116. doi: 10.26533/jmd.v1i2.263.
- Ban, C. and Bohle, D. (2021) 'Definancialization, financial repression and policy continuity in East-Central Europe', *Review of International Political Economy*, 28(4), pp. 874–897. doi: 10.1080/09692290.2020.1799841.
- BP Batam (2023) *BP Batam Pastikan Proyek IPAL Rampung di Tahun 2024*. Available at: <https://bpbatam.go.id/bp-batam-pastikan-proyek-ipal-rampung-di-tahun-2024/>.
- Cheong, W. L. *et al.* (2022) 'Anaerobic Co-Digestion of Food Waste with Sewage Sludge: Simulation and Optimization for Maximum Biogas Production', *Water*. doi: 10.3390/w14071075.
- Dicky, M. (2008) *Implikasi Perubahan Guna Lahan Terhadap Kualitas Air Baku Kota Batam*, Program Pascasarjana Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota Universitas Diponegoro. Semarang: Universitas Diponegoro.
- GerbangKepri (2022) *Perkembangan Dan Kendala Proyek IPAL Bengkong Sadai*. Available at: [Perkembangan Dan Kendala Proyek IPAL Bengkong Sadai](#).
- Prajati, G., Afifah, A. S. and Apritama, M. R. (2021) 'Nh₃-n and cod reduction in endek (Balinese textile) wastewater by activated sludge under different do condition with ozone pretreatment', *Walailak Journal of Science and Technology*, 18(6), pp. 1–11. doi: 10.48048/wjst.2021.9127.
- Sahoo, K. C. *et al.* (2020) 'Landscape of Sewerage and Septage Set-up in Puri, Odisha BT - Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies', in Ghosh, S. K. (ed.). Singapore: Springer Singapore, pp. 547–560.
- Septiariva, I. Y. *et al.* (2022) 'Characterization Sludge from Drying Area and Sludge Drying Bed in Sludge Treatment Plant Surabaya City for Waste to Energy Approach', *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), pp. 268–275.
- Siahaan, A. U. *et al.* (2019) 'Pelatihan Bahasa Inggris Untuk Masyarakat Hinterland Dalam Pengembangan Kampung Wisata Pasir Panjang', *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (AbdiMas)*, 1(1), pp. 29–37. doi: 10.30871/abdimas.v1i1.1253.
- Suryawan, I. *et al.* (2021) 'Comparison of ozone pre-treatment and post-treatment hybrid with moving bed biofilm reactor in removal of Remazol Black 5', *International Journal of Technology*, 12(4), pp. 727–738. doi: 10.14716/ijtech.v12i4.4206.
- Suryawan, I. W. K. *et al.* (2022) 'Effect of sludge sewage quality on heating value: case study in Jakarta, Indonesia', *Desalination and Water Treatment*, 249, pp. 183–190. doi: 10.5004/dwt.2022.28071.
- Suryawan, I. W. K. and Lee, C.-H. (2023) 'Citizens' willingness to pay for adaptive municipal solid waste management services in Jakarta, Indonesia', *Sustainable Cities and Society*, 97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104765>.
- Sutrisno, A. D. *et al.* (2023) 'Building a Community's Adaptive Capacity for Post-Mining Plans Based on Important Performance Analysis: Case Study from Indonesia', *Land*. doi: 10.3390/land12071285.
- V, Đ., Ngàn, T. and Chauvin, P. (2011) 'The Unintended Consequences of Successful Resource Mobilization : Financing Development in Vietnam Jay K . Rosengard , Tr à n Th ì Qu ế Giang ',.
- Zhan, J. X. and Santos-Paulino, A. U. (2021) 'Investing in the Sustainable Development Goals: Mobilization, channeling, and impact', *Journal of International Business Policy*, 4(1), pp. 166–183. doi: 10.1057/s42214-020-00093-3.

Perencanaan keselamatan, kontrol keselamatan, dan kinerja keselamatan

Ardhianto Gutomo^{a*}, M. Agung Wibowo^b, Budi Prasetyo Samadikunc^c, Nurandani Hardyanti^d

^{a*,b,c,d} Universitas Diponegoro, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

ardhiantogutomo@students.undip.ac.id

Keywords:

Lean construction, Safety planning, Safety control, Safety performance

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Despite the fact that lean construction (LC) has been shown to increase construction safety, little research has been done to investigate how LC technology can be applied to safety management. This study aims to close this gap by developing a safety planning and control (SPC) process based on LC technology and evaluate it using a structural equation model. The process is based on the final planner system research framework (LPS) and consists of four sub-systems (ie, analysis layer, planning layer, control layer, and performance layer). Data was collected from 150 projects HSE employee at building construction in the Jakarta area. These findings will serve as a guide for construction stakeholders looking to improve efficiency safety management by incorporating some LC technology into the SPC process. And four subsystems work together to create a positive circulation system that aids long-term improvement construction safety management.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Karena sifatnya yang khusus, sektor konstruksi merupakan salah satu dari sebagian besar industri berisiko tinggi di seluruh dunia (Wu *et al.*, 2019). Indonesia menghadapi tantangan yang serupa. Beberapa perusahaan konstruksi di Indonesia terekspos terhadap risiko keterlambatan proyek, kekurangan kualitas, kelebihan biaya, dan bahaya keselamatan ketika mereka melakukan proyek konstruksi (Li *et al.*, 2017). Di Indonesia, 773 kecelakaan dan 904 kematian terjadi dalam konstruksi perumahan dan bangunan kota dari Januari hingga Desember 2019, mencerminkan kenaikan angka kematian sebesar 5,31 persen dan 7,62 persen, masing-masing, dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya (BPJS Ketenagakerjaan, 2023). Sebagai Akibatnya, telah terjadi lonjakan dalam penelitian keselamatan konstruksi metode manajemen (Han *et al.*, 2020). Karena sifatnya yang satu kali, dinamis, dan sifat kompleks proyek konstruksi, perencanaan keselamatan dan kontrol (SPC) digunakan sebagai metode manajemen keselamatan menghadapi dinamika dan kompleksitas yang dihadapi dalam konstruksi perusahaan (de Melo dan Costa, 2019).

Proses SPC telah diakui sebagai salah satu langkah kritis diperlukan untuk mencapai tujuan kecelakaan nol, dan itu telah menjadi subjek dari beberapa studi penelitian (Aisheh *et al.*, 2021). Satu aliran pemikiran diusulkan proses SPC berdasarkan teknik *line of balance planning* atau metode jalur kritis (CPM) (de Melo dan Costa, 2019), yang merupakan proyek metodologi manajemen untuk mengatur jadwal proyek dengan menggabungkan teori kendala dan analisis ketidakpastian (Demirkesen, 2020). Namun, mengidentifikasi ketidakpastian di bawah kendala sumber daya adalah hal yang sulit tugas, dan strategi yang mengatasi ketidakpastian yang ditimbulkan oleh interaksi berbagai sistem dari perspektif yang sistematis dibutuhkan. Aliran pemikiran lain mengusulkan proses SPC berdasarkan sistem perencana terakhir (LPS) (Eldeep, Farag dan Abd El-hafez, 2022), yaitu sebuah perencanaan produksi, pemantauan, dan sistem kontrol yang digunakan prinsip konstruksi ramping (LC) untuk mengurangi ketidakpastian rekayasa kegiatan melalui desain alur kerja *pull* dan multi-level sub-sistem interaktif (Gao *et al.*, 2023). Rencana keselamatan dipisahkan menjadi tiga bagian pada saat ini: rencana induk, rencana ke depan, dan rencana mingguan. Kontrol keamanan mencakup kontrol proses dan kontrol hasil, yang merupakan statistik pada indikator (Li *et al.*, 2017). Namun, proses SPC berdasarkan LPS kurang memiliki gambaran rinci tentang hal tersebut fungsi pencegahan dan koordinasi kontrol keselamatan dan tidak tidak mempertimbangkan indikator kinerja keselamatan.

Proses SPC, seperti LPS, sangat didasarkan pada prinsip inti LC seperti transparansi proses, pengurangan limbah, dan kontinyu perbaikan (Wu *et al.*, 2019). LC adalah metodologi manajemen proyek berdasarkan teori manajemen produksi yang bertujuan untuk memaksimalkan nilai pelanggan sambil menolak segala bentuk pemborosan (nonvalue-adding activities) (Viana, Formoso dan Isatto, 2017). Kecelakaan atau cedera yang mengganggu alur kerja adalah jenis pemborosan dalam konteks lean (Vickers, 2017). Sebagai akibatnya, penerapan prinsip dan teknologi LC dapat membantu pengurangan kecelakaan dalam proyek konstruksi (Evans dan Farrell, 2023). Penelitian sebelumnya sebagian besar berfokus pada apakah ada hubungan antara LC dan kinerja keselamatan konstruksi (Rashidian *et al.*, 2023), tapi ada kekurangan studi tentang mengintegrasikan teknologi LC dan Proses SPC untuk meningkatkan manajemen keselamatan konstruksi.

Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah seperti yang disebutkan di bawah ini. Tujuan pertama adalah untuk menganalisis pengaruh perencanaan keselamatan terhadap kinerja keselamatan menggunakan analisis empiris perusahaan konstruksi Indonesia; Tujuan kedua adalah untuk menganalisis pengaruh control keselamatan terhadap kinerja keselamatan dengan menyeimbangkan antara manfaat ekonomi dan manfaat keselamatan.

2. TINJAUAN LITERATUR

2.1. Accident Causation Theory

Teori kausalitas kecelakaan adalah sebuah kerangka kerja yang digunakan untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan kecelakaan atau insiden dalam berbagai lingkungan, seperti tempat kerja, sistem transportasi, dan ruang publik. Ada beberapa teori kausalitas kecelakaan yang berbeda, tetapi semuanya bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab mendasar dari kecelakaan sehingga dapat dicegah di masa depan.

Salah satu teori kausalitas kecelakaan yang banyak digunakan adalah Swiss Cheese Model, yang dikembangkan oleh James Reason pada tahun 1990-an. Model ini menggambarkan bagaimana kecelakaan terjadi ketika beberapa lapisan pertahanan, yang direpresentasikan sebagai irisan keju, gagal mencegah bahaya mencapai targetnya. Setiap lapisan pertahanan memiliki lubang atau kelemahan yang dapat sejajar untuk menciptakan jalan bagi kecelakaan terjadi. Misalnya, dalam lingkungan tempat kerja, lapisan pertahanan dapat mencakup protokol keselamatan, perawatan peralatan, dan pelatihan karyawan. Jika salah satu lapisan ini gagal, dapat menciptakan kesempatan bagi kecelakaan terjadi.

Teori kausalitas kecelakaan lain yang populer adalah Teori Domino Heinrich, yang dikembangkan pada awal abad ke-20. Teori ini menunjukkan bahwa kecelakaan adalah hasil dari rangkaian peristiwa, seperti jatuhnya sejumlah domino. Menurut teori ini, kecelakaan terjadi ketika beberapa faktor atau domino sejajar untuk menciptakan situasi berbahaya. Misalnya, jika seorang karyawan merasa lelah dan tidak memperhatikan, mereka mungkin tidak memperhatikan bahaya keselamatan, yang dapat menyebabkan kecelakaan.

Teori kausalitas kecelakaan lainnya meliputi Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), yang berfokus pada peran faktor manusia dalam kecelakaan, dan Energy Damage Model, yang menekankan transfer energi dalam kecelakaan. Secara keseluruhan, teori-teori ini bertujuan untuk menyediakan kerangka kerja untuk memahami faktor-faktor kompleks yang menyebabkan kecelakaan dan untuk membantu mencegahnya di masa depan.

2.2. Perencanaan Keselamatan

Menurut Eldeep, Farag dan Abd El-hafez (2022), perencanaan keselamatan adalah proses perencanaan dan pengorganisasian kegiatan untuk memastikan keselamatan di lingkungan kerja. Perencanaan keselamatan mencakup identifikasi risiko dan bahaya yang mungkin terjadi, serta pengembangan strategi untuk meminimalkan atau menghilangkan risiko tersebut.

2.3. Kontrol Keselamatan

Menurut Evans dan Farrell (2023), kontrol keselamatan adalah tindakan untuk mengurangi risiko dan memastikan bahwa lingkungan kerja aman bagi pekerja. Safety control mencakup penggunaan alat

pelindung diri, pengelolaan bahan berbahaya, pelatihan keselamatan, dan inspeksi rutin untuk memastikan bahwa peralatan dan fasilitas bekerja dengan baik.

2.4. Kinerja Keselamatan

Menurut Gao *et al.* (2023), kinerja keselamatan adalah ukuran untuk menilai seberapa baik program keselamatan kerja diterapkan di lingkungan kerja. Safety performance melibatkan pengukuran tingkat kecelakaan, insiden, dan cedera di lingkungan kerja. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi masalah dan meningkatkan praktik keselamatan kerja di masa depan.

2.5. Hipotesis

Adapun pada penelitian ini digunakan hipotesis antara lain sebagai berikut:

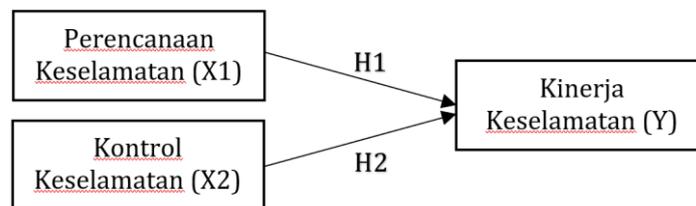
H1: Perencanaan keselamatan berpengaruh positif terhadap kinerja keselamatan.

H2: Kontrol keselamatan berpengaruh positif terhadap kinerja keselamatan.

3. DATA DAN METODE

3.1. Metode

Menurut post-positivisme, penelitian ini mengadopsi deduktif strategi penelitian, mengingat bahwa teori yang ada adalah substansial cukup untuk mengembangkan hipotesis (Grix, 2018). Teori dan pengetahuan proses SPC dan teknologi LC cukup luas untuk mengembangkan hipotesis (Han *et al.*, 2020). Penelitian ini bermaksud untuk membangun proses SPC berdasarkan teknologi LC dan verifikasi validitasnya dengan analisis empiris. Untuk tujuan ini, strategi penelitian hybrid diterapkan untuk memverifikasi rasionalitas ilmiah dari proses SPC berdasarkan teknologi LC. Model penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Penelitian

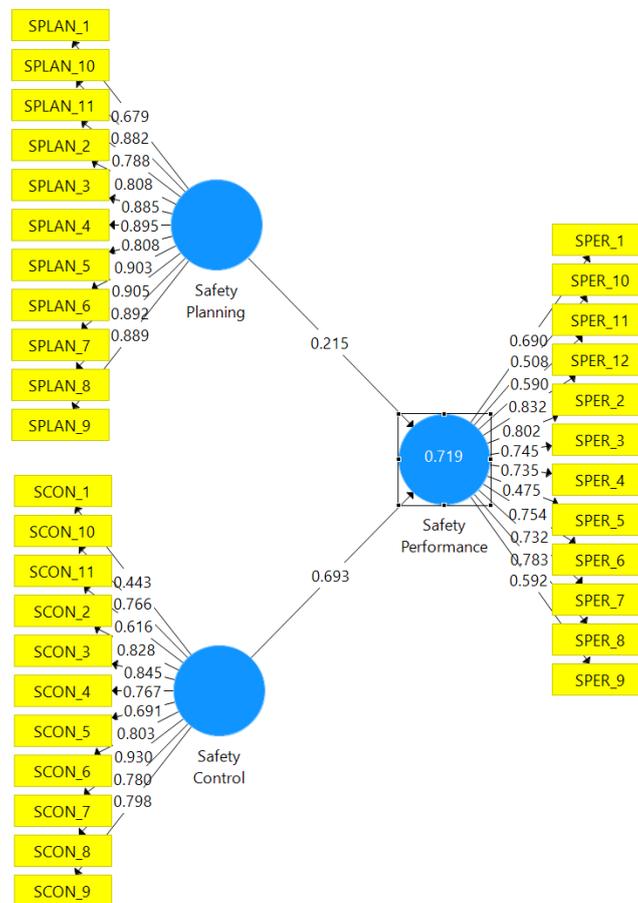
Kuesioner telah dibuat untuk menguji hipotesis penelitian, dan survei percontohan dilakukan untuk mengidentifikasi item yang diadaptasi menurut penelitian Gao *et al.* (2023). Survei kuesioner didistribusikan ke karyawan HSE di proyek konstruksi bangunan Gedung di area Jakarta. Akhirnya, pemodelan persamaan struktural (SEM) digunakan untuk menyelidiki hubungan antara berbagai faktor dalam proses SPC berdasarkan teknologi LC. Sebelum membangun SEM, analisis faktor eksplorasi (EFA) menggunakan SPSS versi 26 dilakukan untuk menemukan struktur faktor dari suatu ukuran dan menguji reliabilitas internalnya (Han *et al.*, 2020). Dan untuk menentukan validitas proses, penelitian ini kembali ke beberapa responden yang disurvei dan meminta umpan balik pada hasil analisis. Penelitian menggunakan alat analisis SmartPLS versi 3.0.

Kuesioner awal diidentifikasi sesuai dengan yang relevan berdasarkan tinjauan literatur sebelumnya. Penelitian ini melakukan survei dengan mengirimkan kuesioner pendahuluan kepada 150 karyawan HSE di proyek konstruksi bangunan dan Gedung di area Jakarta. Survei percontohan menghasilkan kuesioner yang valid, dan berdasarkan hasil survei, kami memodifikasi item tertentu untuk menyederhanakan bahasa sehingga dapat dipahami dengan mudah. Kuesioner ini menggunakan Skala Likert memudahkan untuk diwawancarai untuk menyatakan seberapa besar mereka setuju dengan setiap pertanyaan (Likert, 1932). Oleh karena itu, responden diminta untuk mengurutkan setiap indikator dengan skor skala Likert dari 1 (sangat tidak setuju) hingga 5 (sangat tidak setuju) (Likert, 1932).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Responden adalah 150 orang karyawan HSE dari lima proyek pembangunan gedung di Jakarta yang terdiri dari 60 orang (40%) perempuan, dan 90 orang (60%) adalah laki-laki. Jumlah responden dari masing-masing proyek adalah 30 orang. Selanjutnya responden berusia 18 sampai 30 tahun adalah sebanyak 150 orang (100%). Untuk level pendidikan seluruh responden adalah S1 (*bachelor's degree*). Responden yang diteliti sebanyak 10 orang yang sudah bekerja dari 6 sampai 10 tahun dan 140 orang yang bekerja kurang dari 5 tahun. Responden karyawan HSE yang menduduki jabatan *middle manager* di proyek sebesar 64,3% (90 orang), *lower manager* sebanyak 40 orang (38,6%) dan 10 orang (7,1%) karyawan *professional*.

Dalam penelitian ini, jika masing-masing konstruk memiliki AVE > 0,50, ukuran loading factor minimum yang dapat diterima adalah 0,70. Berdasarkan hasil pengolahan SmartPLS 3.0 yang ditunjukkan pada Gambar 2, nilai loading factor untuk semua indikator berada di atas 0,70. Oleh karena itu, model validitas konvergen dalam penelitian ini telah memenuhi syarat. Nilai loadings, cronbach's alpha, composite reliability, dan AVE untuk setiap konstruk lengkap disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Hasil analisis *outer model*

Tabel 1. Validitas konvergen

Contract	Indicators	Factors Loadings	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	AVE
Safety Planning	SPLAN_1	0,679	0,961	0,966	0,724
	SPLAN_2	0,808			
	SPLAN_3	0,885			
	SPLAN_4	0,895			
	SPLAN_5	0,808			
	SPLAN_6	0,903			
	SPLAN_7	0,905			
	SPLAN_8	0,892			

Contract	Indicators	Factors Loadings	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	AVE
	SPLAN_9	0,889			
	SPLAN_10	0,882			
	SPLAN_11	0,788			
Safety Control	SCON_1	0,443*	0,925	0,937	0,580
	SCON_2	0,828			
	SCON_3	0,845			
	SCON_4	0,767			
	SCON_5	0,691*			
	SCON_6	0,803			
	SCON_7	0,930			
	SCON_8	0,780			
	SCON_9	0,798			
	SCON_10	0,766			
	SCON_11	0,616*			
Safety Performance	SPER_1	0,690*	0,901	0,916	0,584
	SPER_2	0,802			
	SPER_3	0,745			
	SPER_4	0,735			
	SPER_5	0,475*			
	SPER_6	0,754			
	SPER_7	0,732			
	SPER_8	0,783			
	SPER_9	0,592			
	SPER_10	0,508*			
	SPER_11	0,590*			
	SPER_12	0,832			

Uji validitas diskriminan dilakukan untuk memastikan bahwa konsep masing-masing variabel laten berbeda dengan variabel laten lainnya. Model dikatakan validitas diskriminan yang baik jika nilai AVE untuk setiap konstruk eksogen melebihi korelasi antar konstruk dengan konstruk lainnya. Hasil uji validitas diskriminan dengan menggunakan nilai AVE dengan melihat nilai Fornell-Larcker Criterion yaitu pada Tabel 2. Hasil uji validitas diskriminan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai AVE untuk semua konstruk lebih tinggi dari korelasi dengan konstruksi potensial lainnya (menurut Kriteria Fornell-Larcker). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model telah memenuhi validitas diskriminan.

Tabel 2. Diskriminan validitas (Fornell-Larcker Criterion)

	Safety Planning	Safety Control	Safety Performance
Safety Planning	0,851		
Safety Control	0,642	0,762	
Safety Performance	0,660	0,832	0,696

Pengujian hipotesis dengan melihat koefisien jalur hasil analisis bootstrapping yaitu dengan membandingkan t-statistik dengan t-tabel. Hipotesis menerima nilai t-statistik > t-tabel (1,65). Hasil analisis bootstrapping selengkapnya pada koefisien jalur dengan tingkat kepercayaan 90% ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai koefisien jalur yang ditunjukkan oleh t-statistik harus lebih tinggi dari nilai t-tabel dengan tingkat signifikansi alfa 5% (0,05) dan nilai t di atas 1,65.

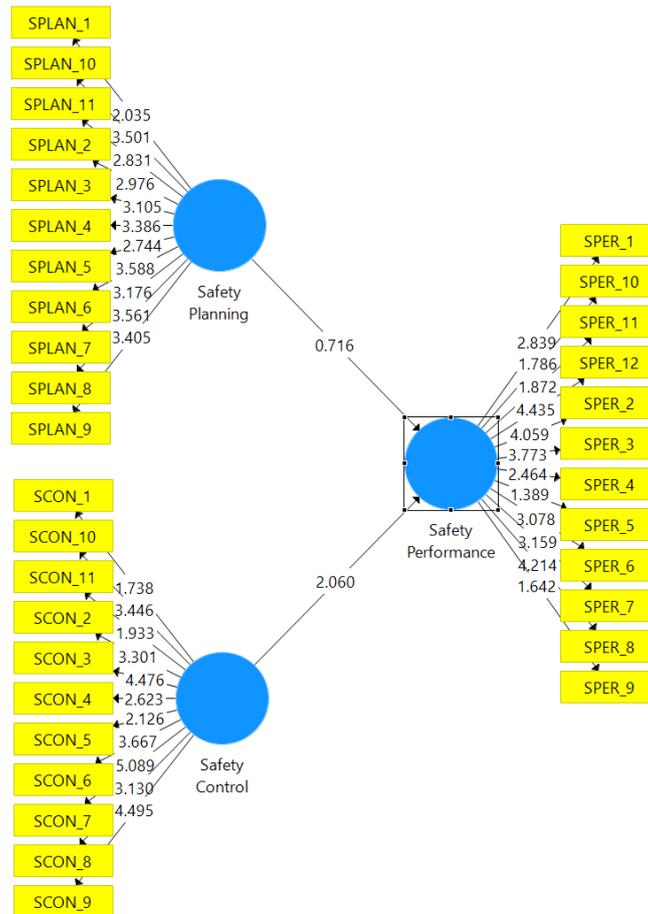
Nilai t-statistik untuk semua jalur dalam model struktural yang dipelajari. Secara ringkas hasil analisis uji-t koefisien jalur ditunjukkan pada Tabel 3. Analisis uji-t koefisien jalur yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perencanaan keselamatan berpengaruh langsung dan signifikan terhadap kinerja keselamatan (H1 : Diterima, t=0,716 dan p=0.015). Kontrol keselamatan berpengaruh langsung dan signifikan terhadap kinerja keselamatan (H2: Diterima, t=2,060 dan p=0.040).

Tabel 3. Results of Direct Effect Coefficient

		Coefficient	t-value	p-value	Hypothesis
H1	Safety planning -> Safety performance	0.301	0,716	0.015*	Accepted
H2	Safety control -> Safety performance	0.337	2,060	0.040*	Accepted

t-value > 1.645, *p-value < 0.05, **p-value < 0.01, *p-value < 0.001

Analisis selanjutnya mengukur nilai R-square (R²) pada model struktural untuk setiap laten endogen. Tabel 5 menyajikan nilai R² untuk variabel kinerja keselamatan. Dari Tabel 4 diperoleh nilai R² kepuasan sebesar 0,719 yang menunjukkan bahwa variabel perencanaan keselamatan dan kontrol keselamatan dapat menjelaskan kinerja keselamatan sebesar 71,9%. Selanjutnya variabel perencanaan keselamatan dan kontrol keselamatan cukup dapat menjelaskan keragaman variabel kinerja keselamatan sebesar 67,2%.



Gambar 3. Inner Model Analysis Results

Tabel 4. Coefficient of Determinant Score (R-square)

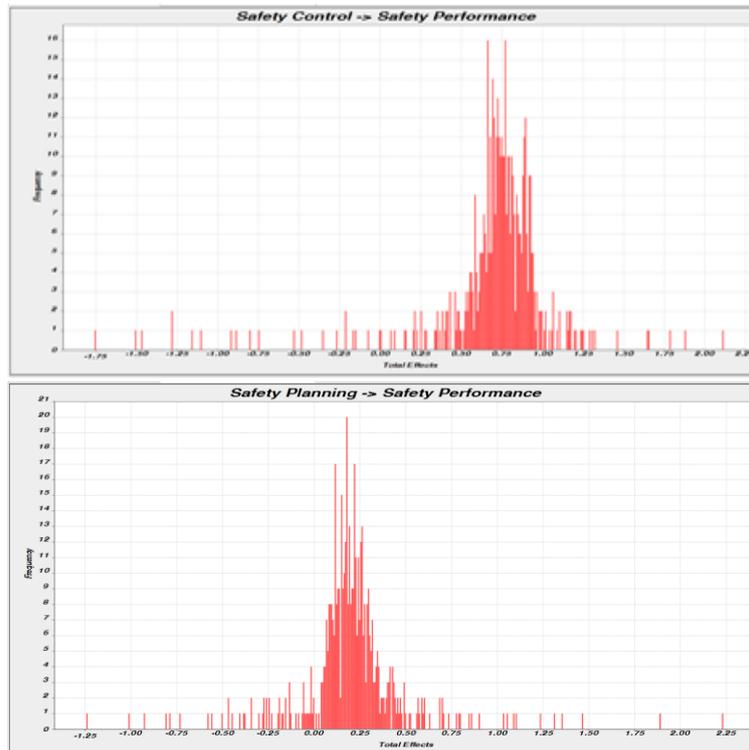
	R-square	R-square adjusted
Safety performance	0,719	0,672

F-square (f²) dihitung untuk mengukur signifikansi pengaruh parsial variabel eksogen terhadap variabel endogen, nilai estimasi f² adalah 1,130 dan 1,006 menunjukkan bahwa nilai pengaruhnya lemah, sedang, dan kuat (Cohen, 1988). Berdasarkan hasil pada Tabel 5, nilai f² variabel perencanaan keselamatan terhadap kinerja keselamatan sebesar 1,130 (sedang), variabel kontrol keselamatan terhadap kinerja keselamatan sebesar 1,006 (kuat).

Tabel 5. Assessing the level of effect size (f²)

Relationship	f ²	Conclusion
Safety planning -> Safety performance	1,130	Sedang
Safety control -> Safety performance	1,006	Kuat

Adapun hasil *total effects histogram* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Total Effects Histogram

Terakhir, Q-square (Q^2) mengukur seberapa baik model menghasilkan parameter yang diamati dan diestimasi. Jika nilai Q^2 lebih besar dari 0 (nol), maka model dianggap memiliki nilai prediksi yang relevan. Pada penelitian ini diperoleh hasil perhitungan Q^2 sebesar 0,474 untuk perencanaan keselamatan dan 0,482 untuk kontrol keselamatan serta untuk kinerja keselamatan sebesar 0,332 yang berarti variabel dalam penelitian ini memiliki korelasi prediktif yang baik karena nilai Q^2 melebihi nol; hasilnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Q-Square Model Fit Results

	Q^2 (=1-SSE/SSO)
Safety planning	0,474
Safety control	0,482
Safety performance	0,332

5. KESIMPULAN

Untuk meningkatkan keamanan konstruksi lebih jauh lagi, penelitian ini dibangun proses SPC berdasarkan teknologi LC, terdiri dari lapisan analisis, lapisan perencanaan, lapisan kontrol, dan kinerja lapisan, dan analisis empiris digunakan untuk menentukan validitas proses. Dan kesimpulan berikut memberikan referensi untuk penelitian strategi pada pelaksanaan proses SPC berdasarkan teknologi LC. Pertama, menggabungkan teknologi LC (seperti LPS, manajemen JIT, manajemen visual, manajemen 6S, dan kualitas PDCA manajemen) ke dalam proses SPC meningkatkan sifat ilmiah dan validitas sistem. Penggabungan ini mengintegrasikan pemikiran ramping ke dalam manajemen keselamatan perusahaan konstruksi dan berfungsi sebagai referensi bagi perusahaan konstruksi untuk memperbarui proses SPC mereka. Di antara sistem perencanaan, LPS digunakan di seluruh sistem sebagai dasar untuk proses, analisis identifikasi risiko total digunakan dalam rencana induk keselamatan, sumber daya keselamatan dan JIT analisis digunakan dalam rencana keselamatan, manajemen visual, dan manajemen 6S digunakan dalam rencana mingguan keselamatan, teknologi Deming Circle digunakan dalam kontrol alur kerja dan visual manajemen digunakan dalam pengendalian unit kerja. Kedua, kertas memverifikasi kelayakan sistem dan memberikan dukungan teoretis untuk penerapan proses SPC di perusahaan konstruksi. Lapisan analisis keselamatan,

perencanaan keselamatan lapisan, lapisan kontrol keselamatan, dan bentuk lapisan kinerja keselamatan sistem lengkap yang beredar secara positif, mengerahkan signifikan efek positif pada keselamatan proyek konstruksi. Akhirnya, makalah ini menekankan pentingnya peserta proyek kesadaran keselamatan. Proses SPC berdasarkan teknologi LC dapat membantu manajer proyek untuk menyeimbangkan manfaat ekonomi dan manfaat keselamatan dari manajemen proyek, meningkatkan partisipasi peserta proyek antusiasme untuk manajemen keselamatan konstruksi.

REFERENSI

- Aisheh, Y. I. A. *et al.* (2021) "Barriers of occupational safety implementation in infrastructure projects: gaza Strip case," *International journal of environmental research and public health*, 18(7).
- BPJS Ketenagakerjaan (2023). Tersedia pada: <https://www.bpjsketenagakerjaan.go.id/>.
- Demirkesen, S. (2020) "Measuring impact of Lean implementation on construction safety performance: a structural equation model," *Production Planning & Control*, 31(5), hal. 412–433.
- Eldeep, A. M., Farag, M. A. M. dan Abd El-hafez, L. M. (2022) "Using BIM as a lean management tool in construction processes—A case study," *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), hal. 101556.
- Evans, M. dan Farrell, P. (2023) "A strategic framework managing challenges of integrating lean construction and integrated project delivery on construction megaprojects, towards global integrated delivery transformative initiatives in multinational organisations," *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(2), hal. 376–416.
- Gao, M. *et al.* (2023) "Study on the mechanism of a lean construction safety planning and control system: An empirical analysis in China," *Ain Shams Engineering Journal*, 14(2), hal. 101856.
- Grix, J. (2018) *The foundations of research*. Bloomsbury Publishing.
- Han, Y. *et al.* (2020) "Structural equation modeling approach to studying the relationships among safety investment, construction employees' safety cognition, and behavioral performance," *Journal of construction engineering and management*, 146(7), hal. 4020065.
- Li, S. *et al.* (2017) "A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, hal. 846–851.
- Likert, R. (1932) "A technique for the measurement of attitudes.," *Archives of psychology*.
- de Melo, R. R. S. dan Costa, D. B. (2019) "Integrating resilience engineering and UAS technology into construction safety planning and control," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11), hal. 2705–2722.
- Rashidian, S. *et al.* (2023) "A review of the interrelationships and characteristics of Building Information Modeling, Integrated Project Delivery and Lean Construction maturity models," *Smart and Sustainable Built Environment*, (ahead-of-print).
- Viana, D. D., Formoso, C. T. dan Isatto, E. L. (2017) "Understanding the theory behind the Last Planner System using the Language-Action Perspective: two case studies," *Production planning & control*, 28(3), hal. 177–189.
- Vickers, N. J. (2017) "Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?," *Current biology*, 27(14), hal. R713–R715.
- Wu, X. *et al.* (2019) "Impacts of lean construction on safety systems: A system dynamics approach," *International journal of environmental research and public health*, 16(2), hal. 221.

Pemanfaatan serabut kelapa dan abu ampas tebu sebagai substitusi fiberglass dan semen pada pembuatan GRC board

Alfian Ma'arif Alfitroh^{a*}, Rafi Muhammad Farras^b, Bambang Setiabudic, Asri Nurdiana^d

^{a*,b,c,d} Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

alfianmaarifalfitroh@gmail.com**Keywords:**

Abu Ampas Tebu, Fiberglass, GRC Board, SeratSerabut Kelapa, Semen

Received :

Revised :

Abstract: *In a construction project, the use of partition walls can cost quite a lot due to the high cost of raw materials used in partition walls. But unfortunately in the manufacture of GRC boards still use materials that are not environmentally friendly such as fiberglass (fiber fiber). Coconut fibers were used as additives because they have high tensile strength, while bagasse ash is used as a cement substitution to reduce production costs as well as help in reducing the amount of sugar industry waste. The purpose of this study is to find out the best mixture variation, bending strength, hitting firmness, and price comparison. In this study, comparing conventional GRC Board with 3 variations of coconut fiber substitution mixture of 10%, 20%, 30% and bagasseash 2.5%, 5%, 10% with a total of 12 samples and sizes for constancy tests at 20 cm x 20 cm x 0.6 cm and for flexural strength tests with a size of 10 cm x 10 cm x 0.6 cm. Mechanical testing based on SNI-01-4449-2006. The results of the test proved that the optimum mixture is in GRC Board D (30% coconut fiber and 2.5% bagasse ash) because it can produce better flexural strength and firmness than conventional GRC Board and cheaper price than conventional GRC Board.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor penting dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia. Namun, industri ini juga menjadi salah satu penyebab meningkatnya emisi karbondioksida yang sangat mengancam lingkungan hidup kita. Oleh sebab itu, para peneliti terus melakukan riset untuk mencari bahan alternatif yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai pengganti material konvensional seperti fiberglass dan semen.

Salah satu material alternatif yang diteliti ialah serat alami dari limbah pertanian seperti serabut kelapa dan abu ampas tebu. Abu ampas tebu memiliki kandungan kadar silika (SiO_2) tinggi sekitar 68,5% (Rompas dkk., 2013). Abu ampas tebu digunakan untuk campuran batako dan campuran beton pada penelitian terdahulu. Kekuatan fisik serabut kelapa ditentukan oleh ukuran, bentuk, panjang serta ketebalannya. Pada penelitian terdahulu serabut kelapa digunakan beton komposit dan juga unruk campuran pada panel partisi. Kedua jenis limbah tersebut memiliki sifat mekanik yang mampu melebihi kekuatan fiberglass serta kemampuan adhesi beton semen pada GRC board (*Glassfiber Reinforced Cement*). Dalam penelitian ini, kami akan memanfaatkan serabut kelapa dan abu ampas tebu sebagai substitusi fiberglass dan semen pada pembuatan GRC board sebagai pengganti dinding partisi.

2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Penulis menggunakan metode penelitian studi literatur sebagai metode pengumpulan data, pengumpulan informasi dilakukan dengan cara mencari referensi yang relevan. Penulis melakukan penelitian mengenai bahan penyusun GRC Board mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), sementara penelitian mengenai bahan substitusi menggunakan serabut kelapa dan abu ampas tebu merujuk pada jurnal terbaru yang berhubungan dengan serabut kelapa dan abu ampas tebu. Setelah itu, penulis melakukan penelitian di laboratorium.

2.2. Pengujian Material

Pengujian kelayakan material adalah pengujian yang dilakukan guna mengetahui apakah material yang digunakan sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan standar. Pengujian material dilakukan terhadap agregat halus. Pengujian gradasi dilakukan untuk menentukan ukuran dengan mematuhi standar SNI 03-1968-1990 dan memeriksa kandungan lumpur sesuai dengan SNI S-0401998-F. Menurut standar tersebut, agregat halus tidak boleh melebihi 5%, apabila memiliki kadar lumpur diatas 5%, maka perlumencuci agregat halus tersebut.

2.3. Pengujian Kelayakan Material

Sebelum dipakai untuk bahan tambah pada pengujian, serabut kelapa dan abu ampas tebu diolah terlebih dahulu. Ampas tebu dibakar terlebih dahulu kemudian dihaluskan kembali, dan dilakukan penyaringan dengan saringan no. 200, sedangkan untuk serabut kelapa disortir terlebih dahulu kemudian di keringkan lalu di potong dengan ukuran 2 – 3 cm. Adapun abu ampas tebu yang telah lolos saringan ditunjukkan pada Gambar 1 sedangkan serabut kelapa kering ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Abu ampas tebu yang telah lolos saringan



Gambar 2. Serabut kelapa kering

2.4. Job Mix Design

Dalam pembuatan GRC Board dengan bahan campuran serabut kelapa dan abu ampas tebu, akan dibuat 4 variasi. Variasi A merupakan GRC Board konvensional tanpa campuran apapun. Variasi B Merupakan GRC Board dengan campuran serabut kelapa 10% dan abu ampas tebu 5%. Variasi C Merupakan GRC Board dengan campuran serabut kelapa 20% dan abu ampas tebu 10%. Variasi D Merupakan GRC Board dengan campuran serabut kelapa 30% dan abu ampas tebu 2,5%. Dimensi benda uji yang akan dibuat berukuran 20 cm x 20 cm x 0,6 cm. Dengan perbandingan semen, agregat halus, fiberglass, dan air adalah 1 : 1 : 0.05 : 0.27. Adapun rancangan *job mix design* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Job Mix Design

Bahan	Variasi A Konvensional	Variasi B 10% serabut kelapa 5% abu ampas tebu	Variasi C 20% serabut kelapa 10% abu ampas tebu	Variasi D 30% serabut kelapa 2,5% abu ampas tebu
Semen	200 gr	190 gr	180 gr	195 gr
Pasir	200 gr	200 gr	200 gr	200 gr
Fiberglass	10 gr	9 gr	8 gr	7 gr
Serabut Kelapa	-	1 gr	2 gr	3 gr
Abu Ampas Tebu	-	10 gr	20 gr	5 gr
Air	130 ml	130 ml	130 ml	130 ml

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pnegujian Agregat Halus

Agregat halus dilakukan dua pengujian, yaitu uji saringan dan kadar lumpur. Berdasarkan pengujian agregat halus yang telah dilakukan, pasir yang digunakan pada penelitian memenuhi syarat SNI acuan. Adapun rekapitulasi hasil pengujian dari pengujian agregat halus disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil	SNI Acuan	Syarat	Keterangan
Uji Saringan	2,35	SNI 03-1968-1990	Maksimum 4,76	Memenuhi
Uji KadarLumpur	96%	SNI S-04-1998-F	>70%	Memenuhi

3.2. Hasil Pengujian Waktu Ikat

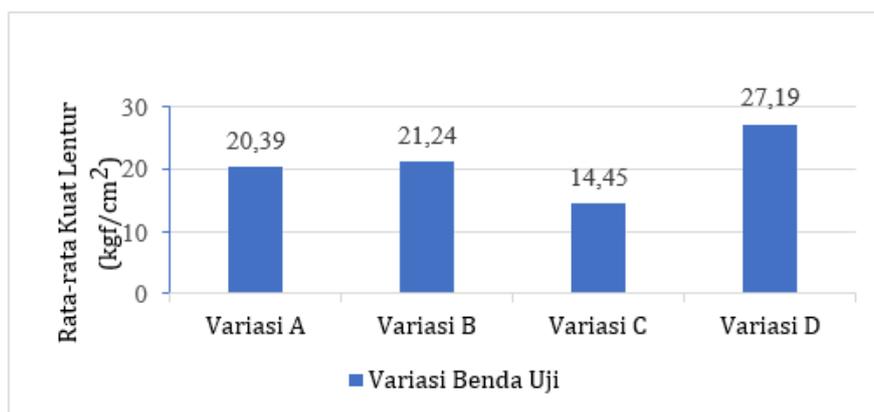
Pengujian waktu ikat bertujuan untuk mendapatkan nilai waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir pada mortar. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 2049-1015. Adapun adalah hasil pengujian waktu ikat pada mortar ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik uji waktu ikat

3.3. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan gambar grafik dibawah, dapat diketahui kuat lentur dari masing - masing benda uji berukuran 20 cm x 10 cm x 0,6 cm. Dari pengolahan data diperoleh, bahwa GRC variasi D memiliki nilai kuat lentur paling tinggi sebesar 27,19 kgf/cm² dan nilai kuat lentur paling rendah terdapat pada GRC variasi C sebesar 14,45 kgf/cm². Adapun hasil pengujian kaut lentur ditunjukkan pada Gambar 4.

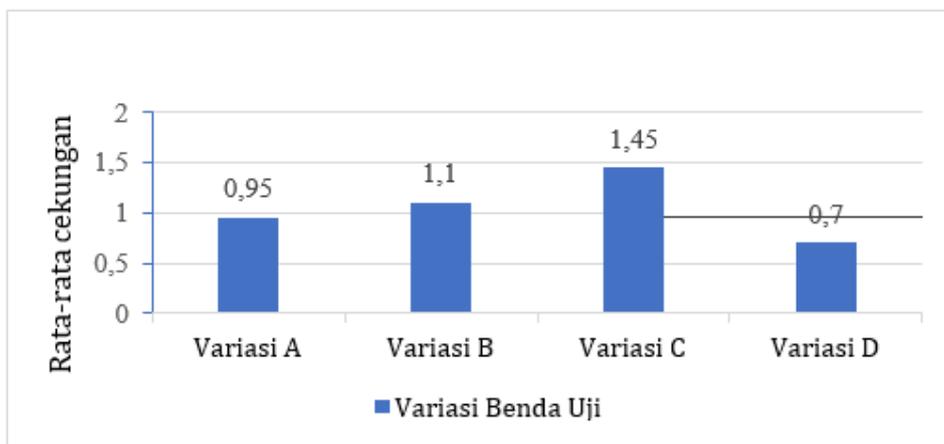


Gambar 4. Grafik uji kuat lentur

Dalam pengujian kuat lentur dilakukan sebanyak dua sampel benda uji untuk setiap variasi dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 8 sampel berukuran 20 cm x 10 cm x 0,6 cm. Standar yang digunakan adalah SNI 01-4449-2006. Berdasarkan data hasil pengujian kuat lentur diketahui bahwa GRC variasi A, B, dan D berhasil karena sudah melewati standar yang telah ditentukan yaitu > 200,8829 kgf/cm², namun pada kuat lentur tertinggi didapatkan pada variasi D. Hal ini disebabkan serat serabut kelapa lebih kuat dari *fiberglass* dan penambahan abu ampas tebu 2,5% dari berat semen sangat efektif. Sedangkan untuk GRC variasi C memiliki nilai uji terendah dikarenakan penambahan terlalu banyak abu ampas tebu kurang efektif.

3.4. Hasil Pengujian Keteguhan Pukul

Berdasarkan gambar grafik dibawah, dapat diketahui keteguhan pukul dari masing - masing benda uji berukuran 20 cm x 20 cm x 0,6 cm. Dari pengolahan data diperoleh, bahwa GRC variasi D memiliki nilai keteguhan pukul paling tinggi sebesar 0,7 cm dan nilai keteguhan pukul paling rendah terdapat pada GRC variasi C sebesar 14,54 cm. Adapun hasil pengujian keteguhan pukul ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik uji keteguhan pukul

Dalam pengujian kuat lentur dilakukan sebanyak dua sampel benda uji untuk setiap variasi dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 8 sampel berukuran 20 cm x 20 cm x 0,6 cm. Standar yang digunakan adalah SNI 01-4449-2006. Berdasarkan data hasil pengujian kuat lentur diketahui bahwa GRC variasi A, B, C, dan D berhasil karena hanya terjadi cekungan < 15 mm tidak mengalami patah atau retak, namun pada variasi C terjadi cekungan. Untuk hasil terbaik didapatkan pada variasi D dan untuk hasil terendah pada variasi C.

3.5. Biaya Material

Analisa rancangan anggaran biaya yang dikeluarkan pada setiap ukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (ukuran perlembar GRC Board) dan per meter pada pembuatan GRC Board inovasi dengan variasi terbaik D. Berikut rincian perbandingan biaya yang dikeluarkan pada setiap variasi papan partisi inovasi dengan menggunakan panjang benda uji 200 mm x 200 mm x 6 mm. Adapun rincian harga bahan disajikan pada Tabel 3 sedangkan rincian harga pembuatan GRC Board variasi D disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Rincian harga bahan

Harga Pasir (1 M ³)	Harga Portland Semen (1 sak)	Harga <i>Fiberglass</i> (kg)	Harga Serabut Kelapa (kg)	Harga Abu Ampas Tebu (kg)
Rp. 320.000	Rp. 57.000	Rp. 35.000	-	-

Tabel 4 menunjukkan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk membuat GRC *Board* variasi D berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 569, GRC *Board* variasi D berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar) adalah Rp. 42.345, sementara untuk biaya GRC *Board* variasi D per 1 m² adalah Rp 14.225.

Tabel 4. Rincian harga pembuatan GRC Board variasi D

Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
Semen	0,195	kg	Rp. 1.425	Rp 278
Fiberglass	0,007	kg	Rp. 35.000	Rp 245
Pasir	0,2	kg	Rp. 290	Rp 46
Serabut kelapa	0,03	kg	-	-
Abu ampastebu	0,05	kg	-	-
Total biaya / benda uji				Rp 569
Total biaya / ukuran 1220 x 2440 mm				Rp 42.345
Total biaya / m ²				Rp 14.225

Tabel 5 menunjukkan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk membuat GRC *Board* konvensional berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 681, GRC *Board* konvensional berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar) adalah Rp. 50.680, sementara untuk biaya per 1 m² adalah Rp 17.025.

Tabel 5. Rincian harga pembuatan GRC Board konvensional

Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
Semen	0,2	Kg	Rp. 1.425	Rp 285
Fiberglass	0,01	Kg	Rp. 35.000	Rp 350
Pasir	0,2	Kg	Rp. 290	Rp 46
Total biaya / benda uji				Rp 681
Total biaya / ukuran 1220 x 2440 mm				Rp 50.680
Total biaya / m ²				Rp 17.025

Dari analisis harga didapatkan biaya pengeluaran untuk membuat GRC *Board* variasi D berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 569, GRC *Board* variasi D berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar) adalah Rp. 42.345, sementara untuk biaya GRC *Board* variasi D per 1 m² adalah Rp 14.225. Dibandingkan dengan harga GRC *Board* konvensional berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 681, GRC *Board* konvensional berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar) adalah Rp. 50.680, sementara untuk biaya per 1 m² adalah Rp 17.025. GRC *Board* inovasi variasi D lebih murah dari GRC *Board* konvensional.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian serta analisis data, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Substitusi abu ampas tebu 2,5% dari berat semen dapat dikatakan merupakan kombinasi yang optimal dalam pembuatan inovasi GRC *Board*, sedangkan sebagai serat penguat persentase optimal serabut kelapa sebesar 30% dari berat serat.
- 2) Jumlah variasi pada serabut kelapa juga mempengaruhi karakteristik GRC *Board* antara lain kuat lentur dan keteguhan pukul. Adanya penambahan abu ampas tebu sebanyak 2,5% dari berat semen juga mempengaruhi Keteguhan pukul pada papan partisi. GRC *Board* berdasarkan hasil pengujian telah memenuhi dari nilai ketentuan standar dengan nilai Keteguhan pukul melebihi nilai SNI 01-4449-2006 yaitu cekungan < 15 mm dan pada uji kuat lentur didapatkan nilai uji kuat lentur terbaik pada variasi D namun pada variasi B telah melebihi nilai SNI 01-4449-2006 yaitu > 200,8829 kgf/cm².
- 3) Didapatkan biaya pengeluaran untuk membuat GRC *Board* variasi D berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 569, GRC *Board* variasi D berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar)

adalah Rp. 42.345, sementara untuk biaya GRC *Board* variasi D per 1 m² adalah Rp 14.225. Dibandingkan dengan harga GRC *Board* konvensional berukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm adalah Rp. 681, GRC *Board* konvensional berukuran 1220 mm x 2440 mm x 6 mm (per lembar) adalah Rp. 50.680, sementara untuk biaya per 1 m² adalah Rp 17.025. GRC *Board* inovasi variasi D lebih murah dari GRC *Board* konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Tuhan YME, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan hasil penelitian. Diharapkan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca sebagai salah satu sumber literatur.

REFERENSI

- Abrori, Ahmad Alfian. (2015). Pemanfaatan Abu Kulit Kerang Hijau Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton. [Skripsi]. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Karwur, H.Y. *et al.* (2013) 'Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen', *Jurnal Sipil Statik*, 1(4), pp. 1-6.
- Keputusan Menteri Perumahan dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia Nomor : 403/KPTS/M/2002 Tanggal : 02 Desember 2002 tentang Pedoman Teknik Pembangunan Rumah Sederhana Sehat (Rs Sehat).
- Mesin & Ratulangi, t.t. "ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SABUT KELAPA" Universitas Sam Ratulangi Manado 2013.
- Moncmanová, A. (2007). Environmental Deterioration of Materials. WIT Press. United Kingdom.
- Prahara. 2015. Analisa Pengaruh Penggunaan Serat Serabut Kelapa Dalam Presentase Tertentu Pada Beton Mutu Tinggi. *ComTech*. Vol. 6 (2): 208-2013.
- Rompas dkk., 2013. "PENGARUH PEMANFAATAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DALAM CAMPURAN BETON DITINJAU TERHADAP KUAT TARIK LENTUR DAN MODULUS ELASTISITAS" *jurnal Sipil Statik Vol.1 No.2, Januari 2013 (82-89)*.
- Sudjono dkk., 2018. "PENGEMBANGAN BATAKO BERBAHAN DASAR ABU AMPAS TEBU SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PORTLAND".
- Sulaiman, Fatah. 2019. Pemanfaatan Abu Ampas Tebu dan Polimer Alam Lateks sebagai Bahan Substitusi Pembuatan Beton Polimer Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. Vol. 5 (2):7-12.

Pengaruh tambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton

Galih Prayogi^{a*}, Istiqomah^b, Ben Novarro Batubara^c

^{a*,b,c} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia

Corresponding Author:

Email:

galihprayogi19@upi.edu

istiqomah@upi.edu

bensnovr@yahoo.com

Keywords:

Beton serat, kuat tarik belah, kuat tekan, serat sabut kelapa

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Concrete has a weakness against tensile forces. One way to improve concrete's weakness in tensile strength is by adding fiber to the concrete mix which is called fiber concrete. This research was to determine the compressive strength and split tensile strength of normal concrete with the addition of coconut fiber aged 7 days, 14 days, and 28 days. The percentage of additional coconut fiber fiber is 0.5%; 2.5%; 4.5%; 6.5%; and 8.5% of the total volume of concrete. Testing the compressive strength and split tensile strength of concrete used cylindrical samples with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm. The fiber used is coconut fiber with a length of 30 mm. The compressive strength value of concrete without the addition of fiber at 28 days was 31.33 MPa, while concrete with the addition of 0.5%; 2.5%; 4.5%; 6.5%; and 8.5% coconut fiber obtained compressive strength values of 33.05 MPa respectively; 33.72 MPa; 24.46 MPa; 16.47 MPa; and 9.23 MPa. The split tensile strength value of concrete without the addition of fiber at 28 days was 2.835 MPa, while concrete with the addition of 0.5%; 2.5%; 4.5%; 6.5%; and 8.5% coconut fiber obtained split tensile strength values of 3.497 MPa respectively; 3,754 MPa; 4,029 MPa; 3,345 MPa; and 3.039 MPa, while the maximum compressive strength value occurs in the 2.5% variation concrete with the addition of coconut fiber, namely 33.05 MPa, while the maximum split tensile strength value occurs in the 4.5% variation concrete with the addition of coconut fiber fiber, namely 4,029 MPa. The results of the split tensile strength equation based on the compressive strength value of concrete at a percentage of 0% were $0.507\sqrt{f_c}$, while in concrete the addition of coconut fiber was at 0.5%; 2.5%; 4.5%; 6.5%; and 8.5% respectively amounted to $0.608\sqrt{f_c}$; $0.646\sqrt{f_c}$; $0.815\sqrt{f_c}$ $0.824\sqrt{f_c}$ $1.0004\sqrt{f_c}$.

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan konstruksi terus meningkat seiring dengan meningkatnya populasi dan taraf hidup masyarakat, Saat ini hampir seluruh struktur bangunan menggunakan beton sebagai alternatif bahan bangunan yang dipilih. Beton merupakan salah satu bahan konstruksi bangunan yang sangat penting dan paling dominan digunakan pada struktur bangunan. Tetapi beton ternyata memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu upaya untuk meningkatkan kuat tarik beton dilakukan dengan menambahkan serat, sehingga menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat. Beton serat mempunyai keunggulan meningkatkan ketahanan beton terhadap abrasi dan impact, meningkatkan kekuatan tekan, lentur, tarik.

Berbagai penelitian dengan penambahan serabut kelapa, campuran beton menunjukkan bahwa serat kelapa dari sabut kelapa dapat meningkatkan kekuatan Mekanika beton dan menutupi kekurangan beton, penggunaan bahan tambah serabut kelapa pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan maksimum optimal, dan dengan penambahan serabut kelapa, modulus runtuh beton mencapai nilai optimum pada proporsi tertentu (Eniarti, 2018).

2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2008).

Metode eksperimen dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton rencana $f'c = 30$ MPa sebagai kontrol dengan beton eksperimen yang menggunakan serat sabut kelapa sebagai bahan tambah, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton.

Adapun jumlah sampel yang akan digunakan sebanyak 54 sampel untuk uji kuat tekan dan 18 sampel untuk uji kuat tarik belah. Sampel ini dibuat berdasarkan penambahan volume serat sabut kelapa yang digunakan, yaitu 0%; 0,5%; 2,5%; 4,5%; 6,5%; dan 8,5% dari volume total campuran beton. Untuk mempermudah penamaan beton, digunakan kode sebagai berikut :

- i) BSSK= Beton Serat Sabut Kelapa Kuat Tekan
- ii) BSSK TB= Beton Serat Sabut Kelapa Kuat Tarik Belah

Adapun jumlah sampel penelitian untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah sampel penelitian untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah

Klasifikasi	Jumlah Pengujian Kuat Tekan			Jumlah Pengujian Kuat Tarik Belah	Jumlah Sampel
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	28 Hari	
BSSK 0% (Kontrol)	3	3	3	3	12
Beton Eksperimen:					
BSSK 0,5%	3	3	3	3	12
BSSK 2,5%	3	3	3	3	12
BSSK 4,5%	3	3	3	3	12
BSSK 6,5%	3	3	3	3	12
BSSK 8,5%	3	3	3	3	12
	Jumlah				72

2.2. Bahan-bahan Penelitian

Adapun data bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir galunggung. Sebelum dilaksanakannya perancangan campuran beton dilakukan beberapa pengujian material untuk mengetahui karakteristik agregat halus. Hasil pengujian material agregat halus disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil uji material agregat halus

No	Pengujian	Hasil
1	Kadar air	4,83 %
2	Berat isi	1397 kg/m ³
3	Modulus halus butir	2,96
4	Kadar lumpur	4,71%
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,55
6	<i>Bulk specific gravity</i> kondisi kering	2,28
7	<i>Bulk specific gravity</i> kondisi SSD	2,38
8	Persentase absorpsi air	14,96%

2) Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (*crushed stone*). Sebelum dilaksanakannya perancangan campuran beton dilakukan beberapa pengujian material untuk mengetahui karakteristik agregat kasar. Hasil pengujian material agregat kasar disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji material agregat kasar

No	Pengujian	Hasil
1	Kadar air	1,88 %
2	Berat isi	1396 kg/m ³
3	Modulus halus butir	7,69
4	Nilai keausan	30,30%
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,38
6	<i>Bulk specific gravity</i> kondisi kering	2,17
7	<i>Bulk specific gravity</i> kondisi SSD	2,26
8	Persentase absorpsi air	4,08 %

3) Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia.

4) Serat

Bahan serat yang digunakan merupakan serat sabut kelapa dengan diameter 1mm dan panjang 30 mm.

2.3. Perhitungan *Mix Design*

Adapun pada penelitian ini digunakan perhitungan *mix design* yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan *mix design*

Material	Satuan	Komposisi Material Campuran Beton Per Sampel					
		0%	0,5%	2,5%	4,5%	6,5%	8,5%
Semen	Kg	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
Air	Kg	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455
Agregat halus kondisi lapangan	Kg	1,269	1,269	1,269	1,269	1,269	1,269
Agregat kasar kondisi lapangan	Kg	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742
Serat sabur kelapa	Kg	0,000	0,004	0,022	0,040	0,063	0,076

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis beton dilakukan dengan menimbang berat benda uji. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis beton mengalami peningkatan pada variasi 0,5% dan mengalami penurunan pada variasi 2,5%, 4,5%, 6,5% dan 8,5% terhadap beton *control*. Adapun hasil pengujian berat jenis beton disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian berat jenis beton

Persentase Serat Sabut Kelapa	Berat Jenis Beton (Kg/m ³)			Rata-Rata Berat Jenis (Kg/m ³)
	7 hari	14 hari	28 hari	
BSSK 0%	2253,63	2287,69	2304,67	2282,38
BSSK 0,5%	2354,43	2315,71	2340,98	2337,44
BSSK 2,5%	2248,12	2245,22	2274,31	2256,26
BSSK 4,5%	2252,57	2233,55	2279,19	2255,48
BSSK 6,5%	2202,70	2191,08	2196,60	2197,17
BSSK 8,5%	2013,84	2025,48	2054,14	2031,49

3.2. Hasil Pengujian *Slump* Beton

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelecakan dari adukan beton untuk setiap variasi penambahan serat sabut kelapa. Dari hasil pengujian *slump* beton menunjukkan bahwa *slump* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase variasi serat. Konsentrasi serat yang terlalu tinggi menyebabkan semakin tinggi pula resiko penggumpalan yang berpengaruh terhadap kepadatan campuran beton, sehingga dapat meningkatkan kesulitan saat pengerjaan beton. Adapun hasil pengujian *slump* beton disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian *slump* beton

Nama Sampel	<i>Slump</i> (mm)
BSSK 0%	100
BSSK 0,5%	95
BSSK 2,5%	80
BSSK 4,5%	70
BSSK 6,5%	40
BSSK 8,5%	20

3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari silinder beton yang mewakili spesimen beton dalam *mix design*. Pengujian kuat tekan dilakukan saat umur beton 7, 14, dan 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari

Umur (Hari)	Kode Benda Uji	Rata Rata Kuat Tekan (MPa)
7	0%	19,39
7	0,5%	19,69
7	2,5%	21,51
7	4,5%	18,34
7	6,5%	12,81
7	8,5%	5,84

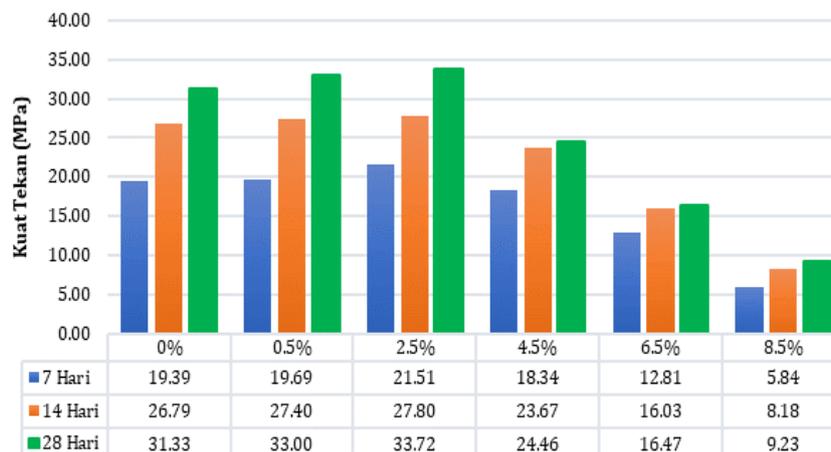
Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 14 hari

Umur (Hari)	Kode Benda Uji	Rata Rata Kuat Tekan (MPa)
14	0%	26,79
14	0,5%	27,40
14	2,5%	27,80
14	4,5%	23,67
14	6,5%	16,03
14	8,5%	8,18

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari

Umur (Hari)	Kode Benda Uji	Rata Rata Kuat Tekan (MPa)
28	0%	31,33
28	0,5%	33,00
28	2,5%	33,72
28	4,5%	24,46
28	6,5%	16,47
28	8,5%	9,23

Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari pada sampel beton mengalami peningkatan dan penurunan pada persentase yang sama terlihat bahwa kuat tekan beton yang diberi tambahan serat sabut kelapa cenderung naik dalam persentase tertentu dibandingkan beton tanpa tambahan serat sabut kelapa. Pada hasil pengujian mencapai titik maksimum pada 2,5% penambahan serat, namun mengalami penurunan kembali pada 4,5% dan seterusnya. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya persentase serat maka akan semakin besar pori-pori yang dihasilkan serat di dalam adukan beton sehingga didapatkan beton yang kurang padat dan kuat tekan yang dihasilkan menjadi lebih kecil, maka hal tersebut mengakibatkan kuat tekan beton cenderung menurun pada persentase kandungan yang lebih besar. Sedangkan peningkatan terjadi karena penambahan variasi serat dengan kadar optimum serat mengisi hampir seluruh rongga yang ada dan dengan kadar serat yang tidak berlebihan maka adukan tidak kekurangan bahan ikat (pasta semen) yang mengikat serat sehingga tidak menyebabkan berkurangnya lekatan. Serat membantu mengikat dan menyatukan campuran beton setelah terjadinya pengikatan awal dengan pasta semen. Pasta beton akan semakin kokoh atau stabil dalam menahan beban karena aksi serat (*fiber bridging*) yang saling mengikat disekelilingnya. Serat yang tersebar secara merata dengan orientasi acak dalam adukan beton diharapkan dapat mencegah terjadinya retakan-retakan yang terlalu dini baik akibat panas hidrasi maupun akibat beban-beban yang bekerja pada beton. Adapun hubungan umur beton dengan kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Hubungan umur beton dengan kuat tekan beton

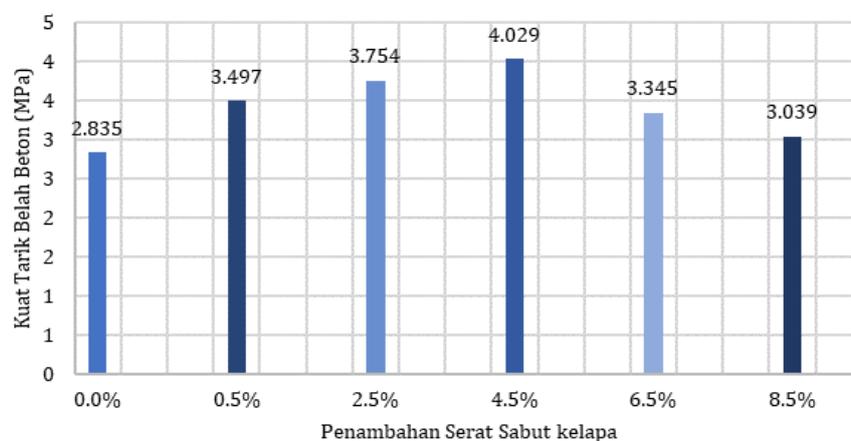
Pada Gambar 1 hubungan umur beton dengan kuat tekan beton pada 7 hari, 14 hari dan 28 hari mengalami penurunan dan peningkatan yang serupa.

3.4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan saat umur beton 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tarik belah beton disajikan pada Tabel 10 dan Gambar 2.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat tarik belah beton umur 28 hari

Umur (Hari)	Kode Benda Uji	Rata Rata Kuat Tarik belah (MPa)
28	0%	2,83508
28	0,5%	3,497165
28	2,5%	3,753935
28	4,5%	4,028742
28	6,5%	3,345437
28	8,5%	3,038798



Gambar 2. Kuat tarik belah beton umur 28 hari

Hasil pengujian kuat tarik belah beton umur 28 hari mengalami penurunan dan peningkatan dapat dilihat perolehan nilai kuat tarik belah tertinggi pada umur beton 28 hari ada pada beton dengan penambahan serat sabut kelapa 4,5% yaitu 4,029 MPa, meningkat 42% dibandingkan beton tanpa tambahan serat yang memperoleh nilai kuat tekan 2,835 MPa. Pada pengujian kuat tarik, beton dengan penambahan serat serabut kelapa sebanyak 4,5 % memiliki nilai kuat tarik yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran serat serabut kelapa.

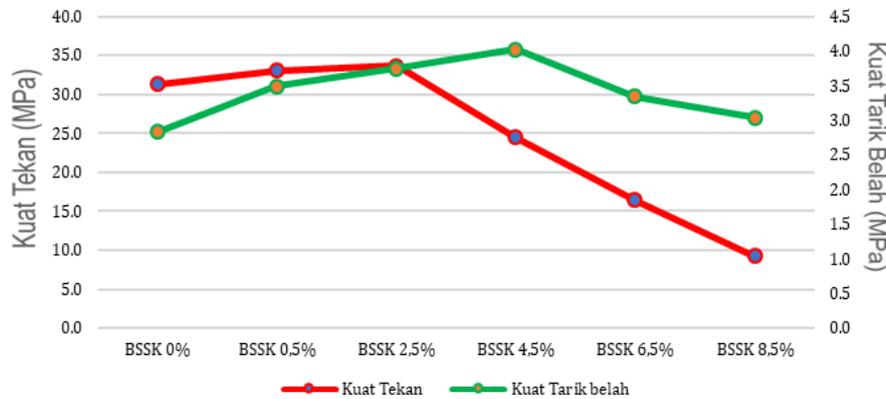
3.5. Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton, didapatkan hasil persamaan sebagaimana yang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Persamaan kuat tarik belah berdasarkan nilai kuat tekan

Kode	Kuat Tekan	Kuat Tarik belah	α	Persamaan Kuat Tarik Belah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan	Persentase Kuat Tarik Belah Dari Nilai KuaT Tekan
0%	31,330	2,835	0,507	$0,507\sqrt{f_c}$	9,05%
0,5%	32,998	3,497	0,608	$0,608\sqrt{f_c}$	10,60%
2,5%	33,724	3,754	0,646	$0,646\sqrt{f_c}$	11,13%
4,5%	24,463	4,029	0,815	$0,815\sqrt{f_c}$	16,47%
6,5%	16,471	3,345	0,824	$0,824\sqrt{f_c}$	20,31%
8,5%	9,227	3,039	1,0004	$1,0004\sqrt{f_c}$	32,93%

Tabel 11 menunjukkan bahwa hasil persamaan kuat tarik belah berdasarkan nilai kuat tekan beton pada persentase 0% mendapat $0,507\sqrt{f_c}$ sedangkan pada beton penambahan serat serabut kelapa pada 0,5%; 2,5%; 4,5%; 6,5%; dan 8,5% berturut-turut sebesar $0,608\sqrt{f_c}$; $0,646\sqrt{f_c}$; $0,815\sqrt{f_c}$; $0,824\sqrt{f_c}$; $1,0004\sqrt{f_c}$. Adapun grafik hubungan penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari

4. KESIMPULAN

Pada Nilai kuat tekan beton tanpa penambahan serat pada umur 28 hari sebesar 31,33 MPa, sedangkan beton dengan penambahan 0,5%; 2,5%; 4,5%; 6,5%; dan 8,5% serat sabut kelapa memperoleh nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 33,05 MPa; 33,72 MPa; 24,46 MPa; 16,47 MPa; dan 9,23 MPa. Pada Nilai kuat tarik belah beton tanpa penambahan serat pada umur 28 hari sebesar 2,835 MPa, sedangkan beton dengan penambahan 0,5%; 2,5%; 4,5%; 6,5%; dan 8,5% serat sabut kelapa memperoleh nilai kuat tarik belah berturut-turut sebesar 3,497 MPa; 3,754 MPa; 4,029 MPa; 3,345 MPa; dan 3,039 MPa. Dan Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada beton variasi 2,5% dengan penambahan serat sabut kelapa yaitu sebesar 33,05 MPa, sedangkan nilai kuat tarik belah maksimum terjadi pada beton variasi 4,5% dengan penambahan serat sabut kelapa yaitu sebesar 4,029 MPa.

REFERENSI

- ACI Committee 544. (2002). *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Report: ACI 544.1r-96. Michigan : American Concrete Institute
- Departemen Pekerjaan Umum. (2018). *Spesifikasi Umum Divisi 7 Beton dan Beton Kinerja Tinggi*
- Eduardi Prahara, Gouw Tjie Liong, Rachmansya (2015). Analisa pengaruh penggunaan serat serabut kelapa dalam persentase tertentu pada beton mutu tinggi. *Binus University*
- Hasubuallah, jasman (2022). Pengaruh penambahan sabut kelapa terhadap kuat tekan beton. Universitas muhammadiyah parepare
- Ir. H. Zainuddin, MT, Agustiya Eko Wahyudi (2019). Pengaruh penambaham serat sabut kelapa pada beton normal dengan uji kuat tekan dan kuat lentur. Universitas bojonegoro.

Perencanaan pembangunan gedung dengan konsep rumah tumbuh

Elan Adrayazi^a, Jonrinaldi^b

^{ab} Program Studi Pendidikan Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

Keywords:

Gedung, Rumah Tumbuh,
Masyarakat

Received :

Revised :

Abstract: *Building construction is a series of technical planning activities, construction implementation, and supervision, whether new construction, building maintenance, expansion of existing buildings, and/or continuation of building construction. A Growing House means building a residence in stages according to priority needs and costs. The application of the growing house concept in this research was carried out in buildings, the growing house concept was taken as a stage in the construction of a new building in an old building. In planning this work, standards for earthquake loads, building structure analysis, and loading have been implemented by Indonesian national standards. Mosque buildings are a very important means of worship for Muslims, so planning them with the competence of building structural experts must prioritize public safety. The ability to build structural engineers is always based on applicable regulations and standard structural analysis theories so that the results obtained can be justified. In this research, the benefits of buildings for the community have also been analyzed, so that the construction of new buildings does not interrupt community worship activities.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Dalam peraturan menteri PUPR nomor 22 tahun 2018 pembangunan gedung adalah kegiatan mendirikan bangunan gedung yang diselenggarakan melalui tahap perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, dan pengawasannya, baik merupakan pembangunan baru, perawatan bangunan gedung, maupun perluasan bangunan gedung yang sudah ada, dan/atau lanjutan pembangunan bangunan gedung. Pada penelitian ini perencanaan bangunan gedung yang dimaksud adalah perencanaan pembangunan gedung baru pada lokasi gedung lama yang masih berfungsi. Rumah Tumbuh (Growing House) yaitu membangun hunian secara bertahap yang disesuaikan dengan prioritas kebutuhan hunian yang esensial, pembangunan tersebut dapat berlangsung dalam jangka waktu yang lama. (kompas.com, 2020), konsep rumah tumbuh dilakukan karena keterbatasan dana (Arguniansah N dan Widiastuti K, 2016). Konsep rumah tumbuh biasanya dilakukan pada hunian saja (Agusniansyah N. 2013), (Agusniansyah N. 2014), (Akmal dan Imelda, 2011), (Dewi NKA dan Swanedri NM, 2007). Penerepan konsep rumah tumbuh pada penelitian ini dilakukan pada bangunan gedung, konsep rumah tumbuh di ambil sebagai tahapan pembangunan gedung baru pada gedung lama, sehingga pembangunan gedung baru yang biasanya terlebih dahulu menghancurkan gedung lama, tidak dilakukan pada pekerjaan ini, hal ini dilakukan karena bangunan yang akan di bangun adalah bangunan masjid yang berfungsi sebagai tempat beribadah yang utama bagi umat muslim, kebutuhan dana untuk membangun langsung dari awal hingga dapat ditempati langsung membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama. Dikhawatirkan jika di lakukan penghancuran bangunan eksisting maka pembangunan kembali akan berlangsung lama, karena pembangunan dilakukan dengan menggunakan penggalangan dana dari umat. Perencanaan pembangunan gedung baru direncanakan tidak mengganggu struktur eksisting, sehingga pada saat pembangunan gedung baru gedung lama tidak dihancurkan dan masih tetap berfungsi. Penghancuran gedung lama dilakukan secara bertahap sesuai dengan tahapan pembangunan gedung baru. Adapun bangunan kondisi eksisting dan rencana bangunan baru ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Bangunan eksisting



Gambar 2. Rencana bangunan baru

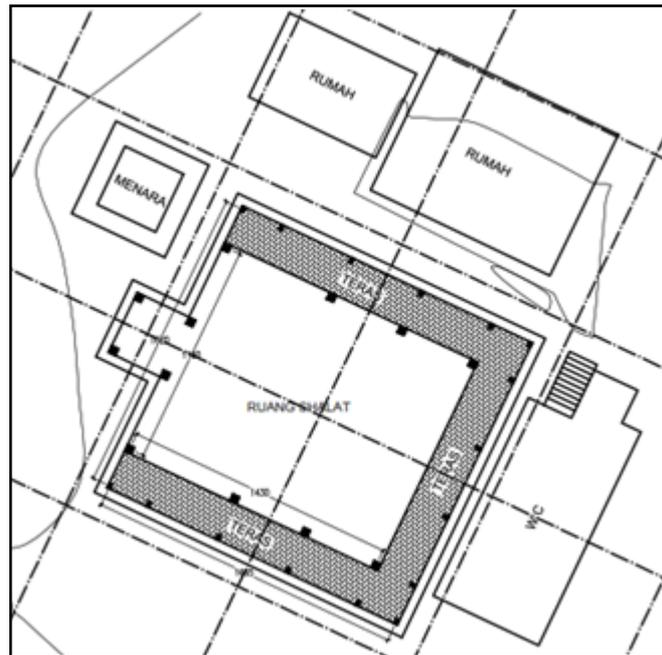
2. DATA DAN METODE

2.1. Metode

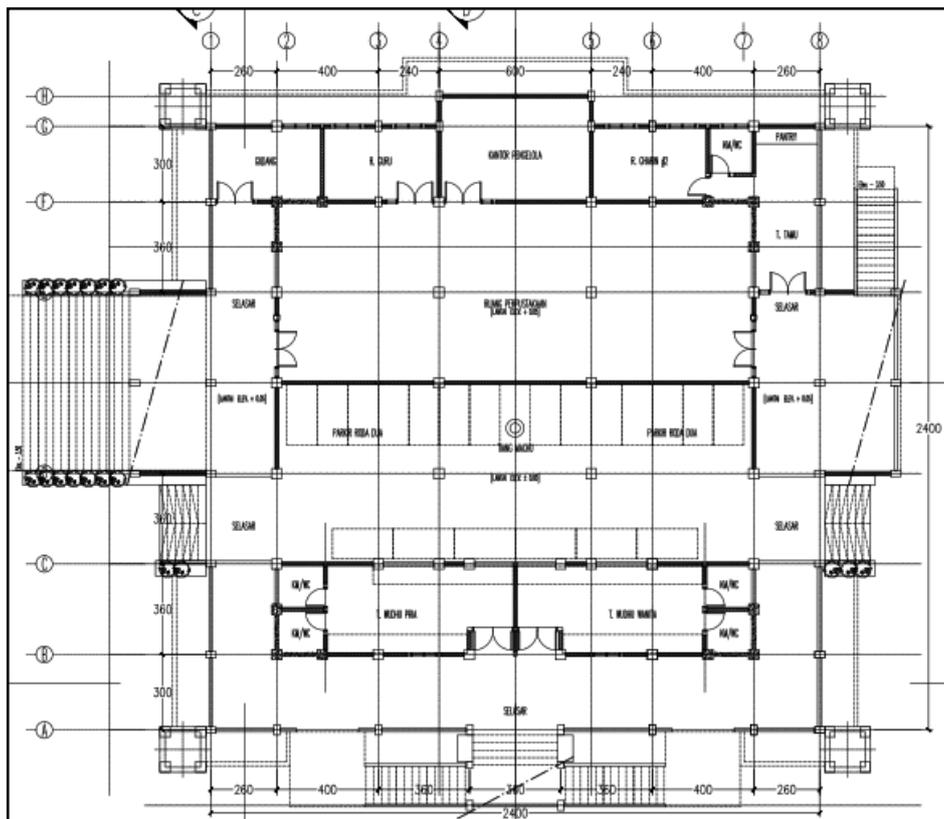
Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menganalisis denah bangunan eksisting (lama) kemudian merencanakan denah bangunan baru. Perencanaan ini dengan mempertimbangkan kaidah-kaidah struktur dan arsitektur pada bangunan baru, sehingga bangunan yang akan didirikan nantinya dapat bermanfaat bagi masyarakat dan terpenuhi unsur keselamatan dan kesehatan masyarakat yang menggunakannya. Untuk menjamin keamanan dan kenyamanan bangunan selama masa layanannya, struktur bangunan direncanakan dengan berpedoman kepada kaidah dan peraturan yang berlaku di Indonesia antara lain sebagai berikut:

- a) SNI 2847:2013 : Persyaratan Beton Struktural Bangunan Gedung.
- b) SNI 03-2847-2002 :Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- c) SNI 07-2052-2002 :Baja Tulangan Beton.
- d) SNI1726:2012 :Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- e) SNI 1727-2013 :Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- f) ACI 318-08 :*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*
- g) IBC 2009 :*International Building Code.*
- h) FEMA P-750 2009 :*National earthquake hazards reduction program (NEHRP) recommended gempa provisions for new buildings and other structures.*

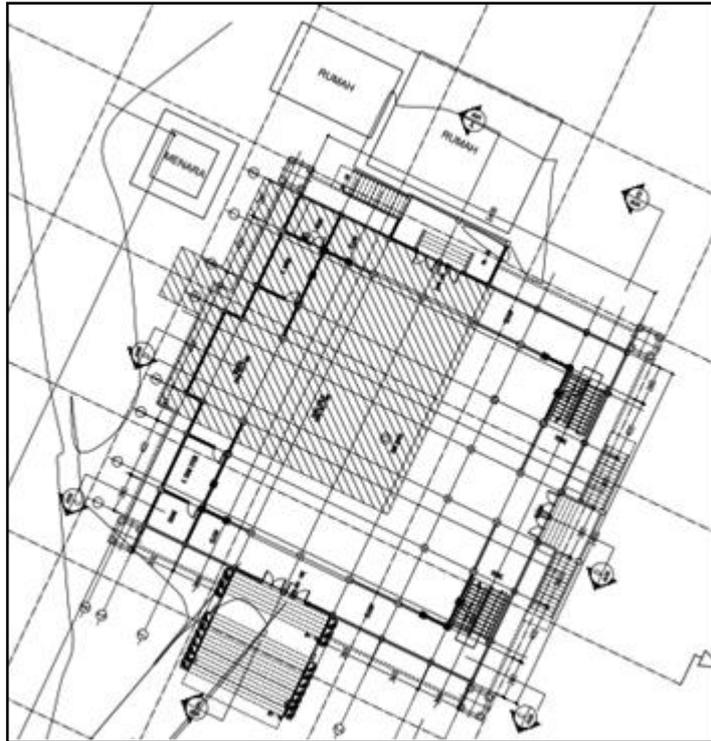
Adapun denah bangunan kondisi eksisting, denah rencana bangunan, dan perbandingan bangunan lama dan baru ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3. Denah bangunan eksisting



Gambar 4. Denah rencana bangunan



Gambar 5. Perbandingan bangunan lama dan bangunan baru

2.2. Perencanaan Balok

Intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar $0.85 f_c'$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok sebesar b dan sedalam a , dengan Persamaan 1.

$$a = \beta_1 \cdot c \quad \text{Pers. 1)}$$

Keterangan:

c = arah serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

adapun nilai β_1 adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0.85 \text{ untuk } 0 \leq f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008(f_c' - 30) \text{ untuk } 0 \leq f_c' \leq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.65 \text{ untuk } f_c' > 55 \text{ Mpa}$$

Untuk menghindari keruntuhan mendadak maka batasan rasio tulangan maksimum pada balok dengan tulangan tunggal disajikan pada Persamaan 2.

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b \quad \text{Pers. 2)}$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

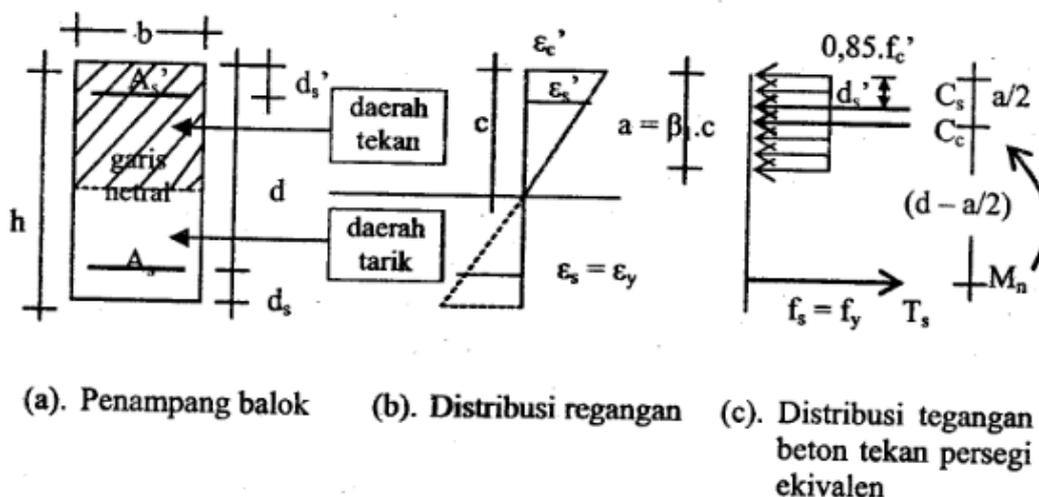
Akan tetapi rasio tulangan tersebut tidak boleh $< \rho_{\min} \geq 1.4 / f_y$

Dalam perencanaan penulangan lentur balok beton bertulang, asumsi-asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bidang penampang tetap rata sebelum dan sesudah deformasi lentur terjadi
- Diagram tegangan dan regangan baja diketahui
- Diagram tegangan dan regangan beton diketahui
- Tegangan tarik beton diabaikan
- Regangan tekan maksimum beton diambil sebesar 0.003

Dari asumsi-asumsi di atas, Gambar berikut memperlihatkan sebuah penampang persegi dengan tulangan rangkap, tulangan tekan A_s' ditempatkan sejarak d_s' dari serat atas dan tulangan tarik A_s

pada jarak d dari serat atas, hubungan tegangan dan regangan pada penampang balok beton bertulang dapat dimodelkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain balok tulangan rangkap

C_c adalah resultan gaya tekan beton yang besarnya dihitung dengan Persamaan 3.

$$C_c = 0,85 f_c' . a . b \quad \text{Pers. 3)}$$

Sedangkan C_s adalah resultan gaya tarik untuk tulangan tekan disajikan pada Persamaan 4.

$$C_s = A_s' . f_s' \quad \text{Pers. 4)}$$

Maka momen tahanan nominal total disajikan pada Persamaan 5.

$$M_n = A_s' f_y (d - d_s') + (0.85 f_c' a . b) . (d - a/2) \quad \text{Pers. 5)}$$

Persamaan ini hanya berlaku apabila tulangan tekan A_s' leleh. Bila belum leleh harus dicari tegangan aktual f_s' pada tulangan tekan A_s' tersebut.

2.3. Perencanaan Kolom

Tulangan tekan pada kolom beton yang dibebani eksentris pada tingkat beban ultimate umumnya akan mencapai tegangan leleh, kecuali jika beban tersebut kecil atau menggunakan baja mutu tinggi atau dimensi kolomnya relatif kecil. Sehingga umumnya diasumsikan baha baja tulangan tekan sudah leleh, kemudian baru regangannyadiperiksa apakah memenuhi ketentuan ini. Dari Gambar 6 dengan $f_s' = f_s$ dihasilkan Persamaan 6.

$$P_u = 0.85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y \quad \text{Pers. 6)}$$

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik, dapat disusun Persamaan 7.

$$P_u . e = 0.85 f_c' a b \left(d - \frac{1}{2} a \right) + A_s' f_y (d - d') \quad \text{Pers. 7)}$$

Keterangan:

- e' = eksentrisitas beban ultimit
- f_c' = kekuatan tekan beton silinder
- f_y = tegangan leleh baja tulangan
- f_s = tegangan pada baja tulangan tarik
- A_s = luas tulangan tarik
- A_s' = luas tulangan tekan

Dengan menyusun keseimbangan kondii batas terhadap tulangan tarik, dapat ditentukan titik sentroid plastis dari penampang disajikan pada Persamaan 8.

$$d'' = \frac{0.85f_c'bh\left(d - \frac{1}{2}h\right) + A_s'f_y(d - d')}{0.85f_c'bh + (A_s + A_s')f_y} \quad \text{Pers. 8)}$$

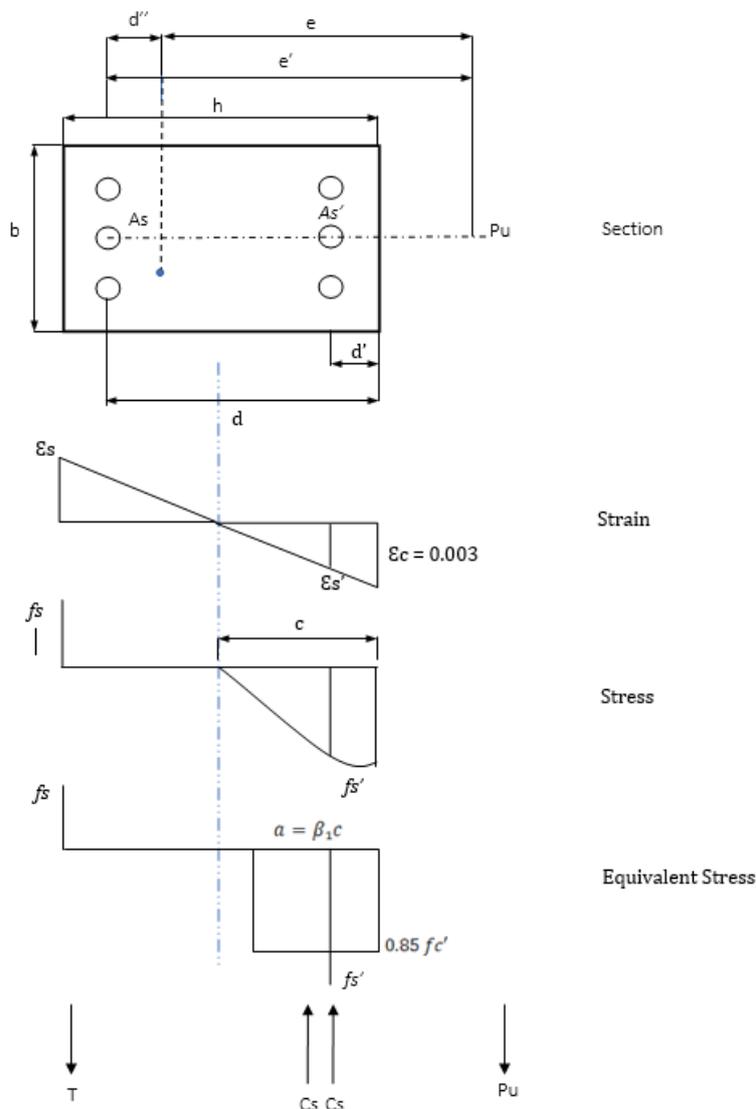
Untuk kolom dengan beban eksentris disajikan pada Gambar 7 dan disajikan pada Persamaan 9.

$$P_u \cdot e = 0.85 f_c' ab (d - d - \frac{1}{2}a) + A_s'f_y (d - d' - d'') + A_s f_s d'' \quad \text{Pers. 9)}$$

Kondisi seimbang (*balance failure*) disajikan pada Persamaan 10.

$$ab = \beta_1 cb = \frac{0.003 E_s}{0.003E_s + f_y} \beta_1 d \quad \text{Pers. 10)}$$

Dengan $f_s = f_y$ dan $\beta_1 = 0.85$. Adapun beban eksentris pada penampang dengan tulangan pada dua sisi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Beban eksentris dan penampang dengan tulangan pada dua sisi

Substitusi nilai ab dan f_s kedalam persamaan (2.34) dan (2.35) akan memperoleh beban aksial dan momen lentur untuk kondisi keruntuhan imbang. Adanya variasi dalam nilai beban yang bekerja, ragam keruntuhan yang terjadi mungkin saja bukan merupakan keruntuhan imbang. Kondisi ini yang

disebut dengan keruntuhan tarik atau keruntuhan tekan berturut-turut dapat terjadi tergantung pada nilai beban aksial yang bekerja pada penampang tersebut. Sebagai contoh keadaan keruntuhan tarik (tension failure) akan berlaku bila $P_u < P_b$ yang berarti juga $\epsilon_s > \epsilon_y$ atau $c < c_b$. Tegangan pada tulangan tarik f_s sama dengan tegangan leleh f_y . Keruntuhan tekan (compression failure) bila $P_u > P_b$ yang berarti $\epsilon_s < \epsilon_y$ atau $c > c_b$. Tegangan pada tulangan tarik mesti ditentukan dengan Persamaan 11.

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a}$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad \text{Pers. 11)}$$

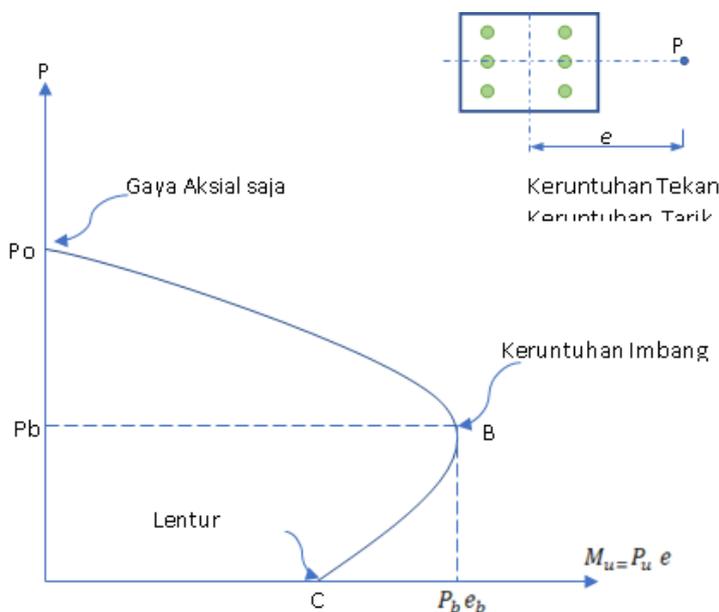
Persamaan dalam pasal ini disusun berdasarkan asumsi bahwa baja tulangan tekan sudah leleh $f_s' = f_y$ keadaan ini harus diperiksa dengan melihat regangan pada baja tulangan yang disajikan pada Persamaan 12.

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} > \frac{f_y}{E_s} \quad \text{Pers. 12)}$$

Jika baja tulangan tekan belum leleh, yang regangannya lebih kecil daripada ϵ_y nilai f_s' harus ditentukan melalui diagram tegangannya yang dapat dirumuskan dengan Persamaan 13.

$$f_s' = \epsilon_s' E_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} E_s = 0.003 \frac{\alpha - \beta_1 d}{\alpha} E_s \quad \text{Pers. 13)}$$

Nilai ini kemudian disubstitusikan kedalam persamaan sebelumnya untuk menggantikan tegangan pada baja tulangan tekan. Untuk suatu penampang yang dimensi dan luas baja tulangnya telah ditetapkan, dan dengan nilai gaya aksial maupun momen yang dibuat variabel, dapat dibuat suatu diagram interaksi seperti diperlihatkan dalam diagram 2.4. Diagram interaksi adalah daerah batasan yang menunjukkan ragam kombinasi beban yang dapat ditahan oleh kolom tersebut secara aman ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram interaksi tipikal

Momen dan gaya aksial merupakan beban yang dominan yang bekerja pada kolom. Kegagalan yang umum terjadi pada kolom adalah meningkatnya nilai gaya aksial di atas batas kekuatan kolom. Dalam analisis kapasitas kolom, baja tulangan diasumsikan selalu mengalami pada kondisi beban maksimum. Dengan demikian besarnya beban aksial dan momen ultimit disajikan pada Persamaan 14.

$$P_u = 0.85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y$$

$$P_u \cdot e = 0.85 f_c' a b \left(d - \frac{1}{2} a \right) + A_s' f_y (d - d')$$

Pers. 14)

Dengan e' merupakan titik eksentrisitas beban ultimit dan beban ultimit bekerja pada titik sentroid yang disajikan pada Persamaan 15.

$$d'' = \frac{0.85f_c'bh\left(d - \frac{1}{2}h\right) + A_s'f_y(d - d')}{0.85f_c'bh + (A_s + A_s')f_y} \quad \text{Pers. 15)}$$

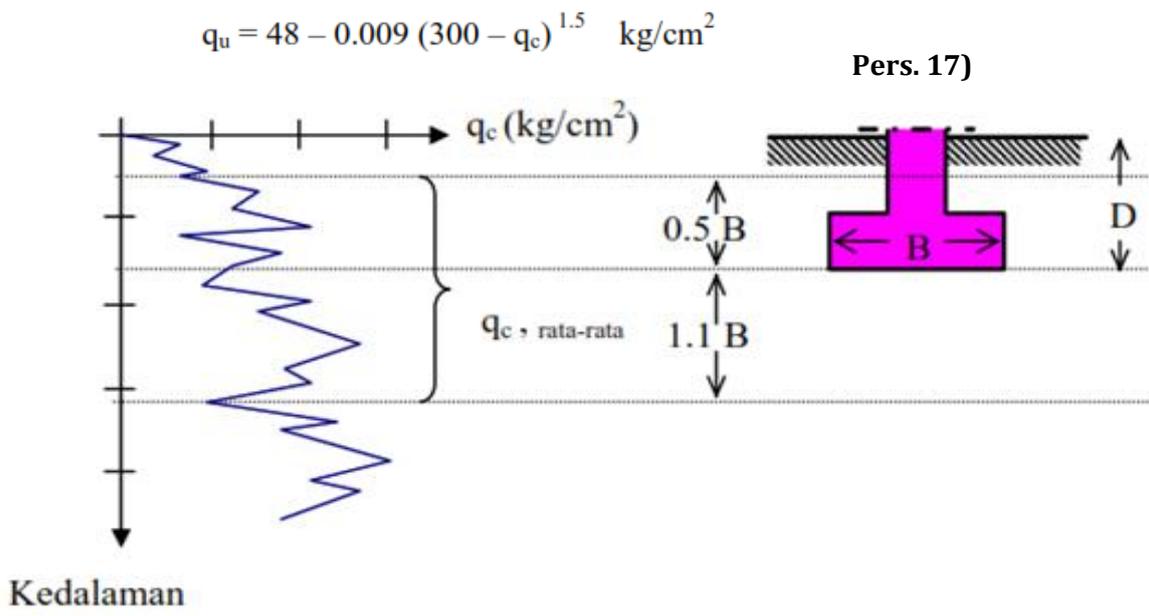
Perencanaan komponen beton bertulang di atas mengikuti peraturan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).

2.4. Perencanaan Pondasi

Berdasarkan hasil uji lapangan sondir, rumus daya dukung Terzaghi dapat digunakan dengan memberikan faktor daya dukung yang disesuaikan oleh Schmertmann dengan tahanan ujung konus sondir (q_c dalam satuan kg/cm^2) sebagai berikut (Schmertmann-1978 dalam Bowles-1988) disajikan pada Persamaan 16.

$$q_c \simeq 0.8 N_q \simeq 0.8 N_\gamma \quad \text{Pers. 16)}$$

Dengan q_c adalah nilai rata-rata tahanan konus untuk interval $\frac{1}{2} B$ ke atas sampai dengan $1.1 B$ di bawah dasar rencana pondasi (lihat Gambar 2.5). Kedalaman dasar pondasi (D) untuk rumusan ini hanya diperuntukkan hingga 1.5 dari lebar pondasi (B). Selanjutnya berdasarkan grafik yang dikeluarkan Schmertmann dan jenis tanah berbutir (tidak kohesif) pada lapisan dasar pondasi, pendekatan empiris diatas dapat dituliskan dalam Persamaan 17 sedangkan nilai rata-rata Q_c ditunjukkan pada Gambar 9.

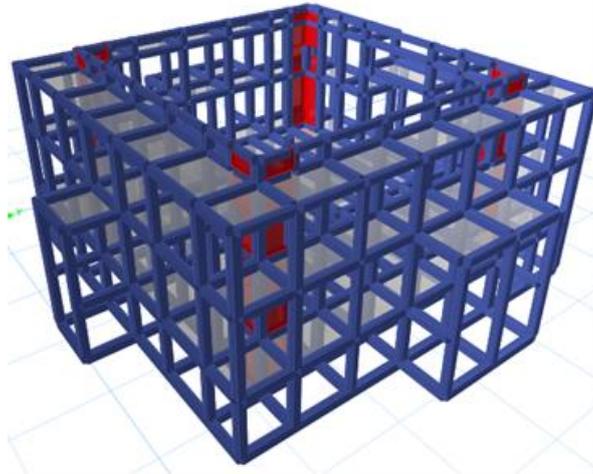


Gambar 9. Nilai rata-rata Q_c untuk perencanaan pondasi dangkal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan dan Data Teknis Struktur

Pemodelan perencanaan struktur dilakukan dengan tiga dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



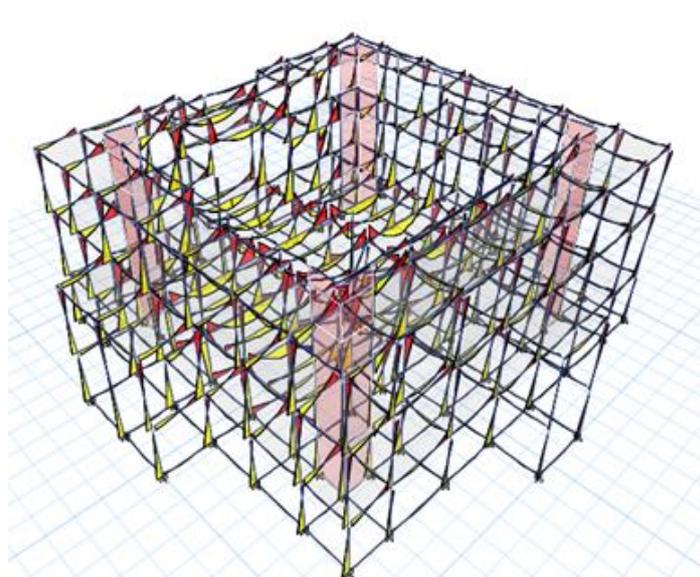
Gambar 10. Model struktur Gedung

Spesifikasi teknis struktur ditentukan antara lain sebagai berikut:

Dimensi struktur	: Sesuai dengan data perencanaan
Mutu beton	: K-300 dan K-250
Mutu baja	: BjTS-40 (ulir) dan BjTP-24 (polos)
Fungsi bangunan	: Bangunan masjid
Wilayah gempa	: Lokasi pada peta gempa
Peta gempa	: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011
Perencanaan gempa	: SNI 1726:2012
Faktor Keutamaan Gempa	: 1,50

3.2. Hasil Analisis

Setelah dilakukan pemodelan struktur dan dianalisa dengan memasukkan beban vertikal dan horizontal serta kombinasi beban, maka diperoleh diagram momen untuk struktur 3D seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram momen portal 3D

3.3. Perencanaan Komponen Struktur Beton Bertulang

Hasil dari perencanaan berupa dimensi dan tulangan komponen struktur, untuk struktur kolom dan balok dapat disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Daftar tulangan kolom

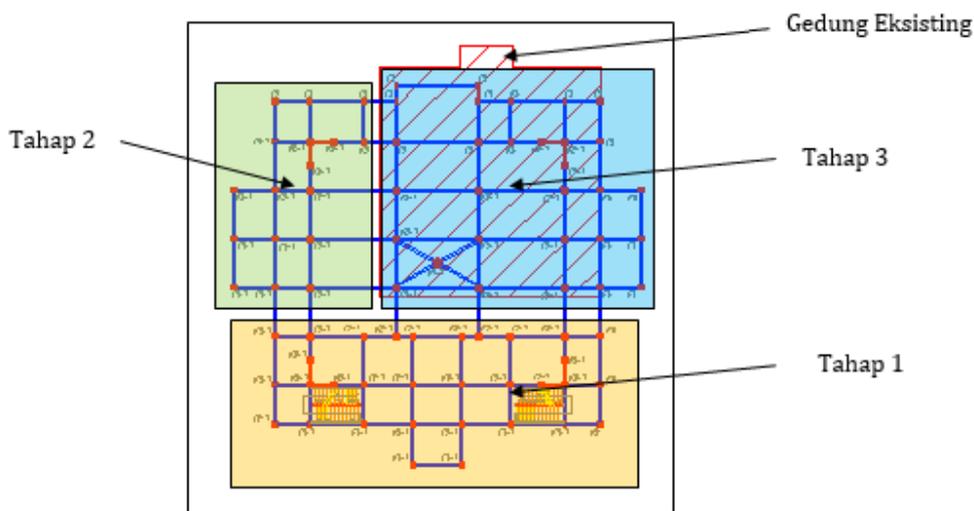
No	Struktur	Ukuran (cm)	Tulangan	Sengkang	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	Dia 45	12D19	D10-100	D10-150
2	K2	40x40	12D19	D10-100	D10-150
3	K3	30x40	10D16	D10-100	D10-150
4	K4	Dia 45	12D19	D10-100	D10-150
5	K5	Dia 20	6D13	D10-100	D10-150

Tabel 2. Daftar tulangan balok

No	Struktur	Ukuran (cm)	Tulangan		Sengkang	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	B1	30x50	12D16	12D16	D10-100	D10-150
2	B2	30x40	10D16	10D16	D10-100	D10-150
3	B3	25x35	5D16	5D16	D10-100	D10-150
4	B4	20x30	5D13	5D13	D10-100	D10-150

3.4. Metode Pengerjaan

Pada penelitian ini perencanaan diarahkan untuk mempertahankan bangunan eksisting sesuai dengan tahapan pekerjaan bangunan baru, sehingga diharapkan pada saat proses konstruksi masyarakat tetap bisa menjalankan ibadah. Tahapan – tahapan pekerjaan konstruksi yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tahapan pembangunan baru

Tahapan pekerjaan yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan tiga tahapan, tahap 1 dan 2 merupakan pembangunan pada daerah diluar bangunan eksisting, pada proses tahapan ini bangunan eksisting masih bisa digunakan untuk kegiatan beribadah, sedangkan pada tahap 3 pembangunan dilakukan pada bangunan eksisting, namun stuktur yang direncanakan diupayakan tidak berada pada struktur eksisting, sehingga pengerjaannya tidak menghancurkan bangunan eksisting terlebih dahulu. Pada tahap 1 dilakukan pekerjaan Pondasi, Sloof dan kolom lantai 1 serta balok dan pelat lantai 2, setelah pekerjaan pada tahap 1 selesai dikerjakan dilakukan pekerjaan pada tahap 2, yaitu pekerjaan Pondasi, Sloof dan kolom lantai 1 serta balok dan pelat lantai 2. Pada kondisi ini, bangunan pada tahap 1 dan 2 sudah bisa digunakan untuk kegiatan ibadah. Selanjutnya dilakukan pembangunan pada lokasi

tahap 3, yang berada pada bangunan eksisting, pada tahapan ini dilakukan pekerjaan Pondasi, Sloof dan kolom lantai 1 serta balok dan pelat lantai 2, penghancuran bangunan eksisting disesuaikan dengan lokasi struktur. Dikarenakan pembangunan ini menggunakan sistem tumbuh (bertahap) sehingga banyak dilakukan sambungan pengecoran, pada saat pelaksanaan pengawas diharapkan dapat memberikan perhatian khusus terhadap sambungan pengecoran ini sesuai dengan standard yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Dalam perencanaan pekerjaan ini telah menerapkan standard untuk beban gempa, analisa struktur bangunan dan pembebanan sesuai dengan standard nasional indonesia. Bangunan masjid merupakan sarana ibadah umat islam yang amat penting, sehingga perencanaan nya sesuai dengan kompetensi ahli struktur bangunan harus mengutamakan keselamatan masyarakat, kemampuan insinyur struktur bangunan selalu di dasarkan atas peraturan yang berlaku dan teori analisa struktur yang baku sehingga hasil yang di peroleh dapat dipertanggung jawabkan. Dalam penelitian ini, juga sudah dianalisa tentang kemanfaatan bangunan untuk masyarakat, sehingga pembangunan gedung baru tidak memutus kegiatan beribadah masyarakat.

REFERENSI

- Agusniansyah, N. (2013). Rumah Tumbuh : Desain matang Pegang Peran (wawancara dengan Hasto Prianggoro), Majalah Nova, Edisi 7-13 Oktober 2013. Jakarta
- Agusniansyah, N. (2014). Konsep Awal Rumah Tumbuh, [Http://www.rumahtumbuh.com/konsep-awal-rumah-tumbuh](http://www.rumahtumbuh.com/konsep-awal-rumah-tumbuh). Diakses 25 September 2014.
- Agusniansyah, N., & Widyastuti, K. (2016). Konsep Pengolahan Desain Rumah Tumbuh. Modul Vol 16 No 1 Januari Juni 2016
- Akmal, dan Imelda. (2011). Serial Ide : 20 Desain Inspiratif Rumah tumbuh type 45-68 m2. PT.Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- 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). "Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)". Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI2847:2013). Jakarta: BSN.
- Dipohusodo, I. (1999). Struktur Beton Bertulang. Jakarta.
- Hakam, A. (2008). Rekayasa Pondasi. Padang
- Hardiyatmo, H.C. (1996). Teknik Pondasi 1. Jakarta
- Paulay, T., & Priestley, M.J.N. (1992). Seismic Desain Of Reinforced Concrete And Masonry Buildings. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc.
- Tavio, & Wijaya, U. (2018). "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja". Yogyakarta.
- Wahyudi, L., & Rahim, A. S. (1997). Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03. Jakarta.