



PILARS

JURNAL SIPIL
DAN ARSITEKTUR

OPEN ACCESS



E-ISSN 2988-5973

JURNAL SIPIL DAN ARSITEKTUR



PILARS	Volume 1	Nomor 2	September 2023	Hal 1-72	Semarang-Jawa Tengah
---------------	---------------------	----------------	---------------------------	-----------------	---------------------------------



Departemen Sipil dan Perencanaan
Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro
Semarang - Jawa Tengah
Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Kecamatan Tembalang,
Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

JURNAL

SIPII DAN ARSITEKTUR



Volume 1 Nomor 2 September 2023

Ketua Editor	: Asri Nurdiana, S.T., M.T.	(UNDIP)
Dewan Editor	: Oky Kurnia Putra, S.T.	(UNDIP)
Dewan Redaksi	: Drs. Hartono, M.T.	(UNDIP)
	Riza Susanti, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Shifa Fauziyah, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Previari Umi Pramesti, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Ratih Widiastuti, S.T., M.T.	(UNDIP)
Dewan Reviewer	: Bambang Setiabudi, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Dr. Arnis Rochma Harani, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Dr. Resza Riskiyanto, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Ir. M. Mirza Abdillah Pratama, S.T., M.T.	(UNM)
	Helen Gianditha Wayangkau	(UNCEN)

Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur (PILARS) merupakan jurnal terbuka berfokus pada karya ilmiah di bidang teknik sipil dan arsitektur. Jurnal PILARS terbit sebanyak 4 kali dalam satu tahun (Maret, Juni, September, dan Desember). Redaksi menerima artikel ilmiah terkait dengan hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil dan arsitektur. Submit artikel melalui laman *website* <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pilars/index>.

Penerbit :
Departemen Sipil dan Perencanaan

Alamat :
Departemen Sipil dan Perencanaan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 5027

JURNAL SIPIL DAN ARSITEKTUR

Volume 1 Nomor 2 September 2023

DAFTAR ISI

1. Inovasi pembuatan plafon ramah lingkungan dengan substitusi serat daun nanas dan serbuk daun tembakau
(Laras Rafita Siwi, Olivia Desriyatna Az-zahra, Riza Susanti, Hartono)1-6
2. Inovasi pemanfaatan serat *polypropylene* dan limbah abu cangkang sawit sebagai bahan substitusi beton
(Rizal Andika Saputra, Luthfi Helmi Pratama, Puji Widodo, Riza Susanti)7-15
3. Pemanfaatan limbah onggok aren dan ampas tebu sebagai inovasi batako ramah lingkungan
(Aisyah Rindi Antika, Hilda Ari Ashara, Bambang Setiabudi, Hartono).....16-22
4. Penerapan *software* SAP 2000 pada *re-design* struktur gedung terpadu psikologi olahraga Universitas Negeri Surabaya
(Fajar Muhamad Nabil, Muhammad Ramadhan Tegar Bagaskoro, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi)23-35
5. Penggunaan serat pandan duri (*Pandanus tectorius*) sebagai pengganti *fiber glass* pada list profil gypsum
(Assyifa Rahmanisa, Puji Dewi Lestari, Shifa Fauziyah, Hartono).....36-45
6. Pemanfaatan limbah tulang sapi dan kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal
(Hardinant Akesi Suratman, Hardika Putro Wijaksono, Hartono, Shifa Fauziyah)46-54
7. Perencanaan ulang struktur portal utama gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang integrasi BIM (*Building Information Modelling*)
(Nabila Elsa Fernanda, Rendi Dwi Pratama, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi)55-72



Inovasi pembuatan plafon ramah lingkungan dengan substitusi serat daun nanas dan serbuk daun tembakau

Olivia Desriyatna Az-zahra^{a*}, Laras Rafita Siwi^b, Riza Susanti^c, Hartono^d

^{a*, b, c, d} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

rafitasiwi@gmail.com

oliviadesriyatna@gmail.com

Article history:

Received : 13 June 2023

Revised : 7 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Ceiling, gypsum, flexural strength test

ABSTRACT

Ceiling with a mixture of pineapple leaf fibers and tobacco powder as a substitute for gypsum flour is a new innovation that has physical and mechanical properties of ceilings that are better than conventional ceilings. The materials used in making this ceiling are gypsum flour, pineapple leaf fiber, tobacco leaf powder, epoxy resin, and distilled water. The types of tests carried out on this gypsum ceiling are flexural strength tests, density tests, thickness swelling tests, and water absorption tests. To compare between conventional ceilings and ceilings with added materials such as pineapple leaf fiber and tobacco leaf powder. The test was carried out after the gypsum ceiling reached the age of 7 days which was placed in a room temperature. The flexural strength test with 5 specimens, while the thickness swelling test and water absorption test were carried out with 2 specimens. In the manufacture of this test object, there are as many as 2 variations, where variation A is a conventional ceiling which means 0% mixture. Then variation B with a mixture of 2% for pineapple leaf fiber and 1% for shot leaf powder. The result of the test is optimal test object is produced with characteristics according to SNI 01-4449-2006, namely in variation B where variation B has a flexural strength value of 71.66% better than conventional ceilings, 0.79% better in density testing compared to conventional ceilings, and 4.7% better than the water absorption value of conventional ceilings.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

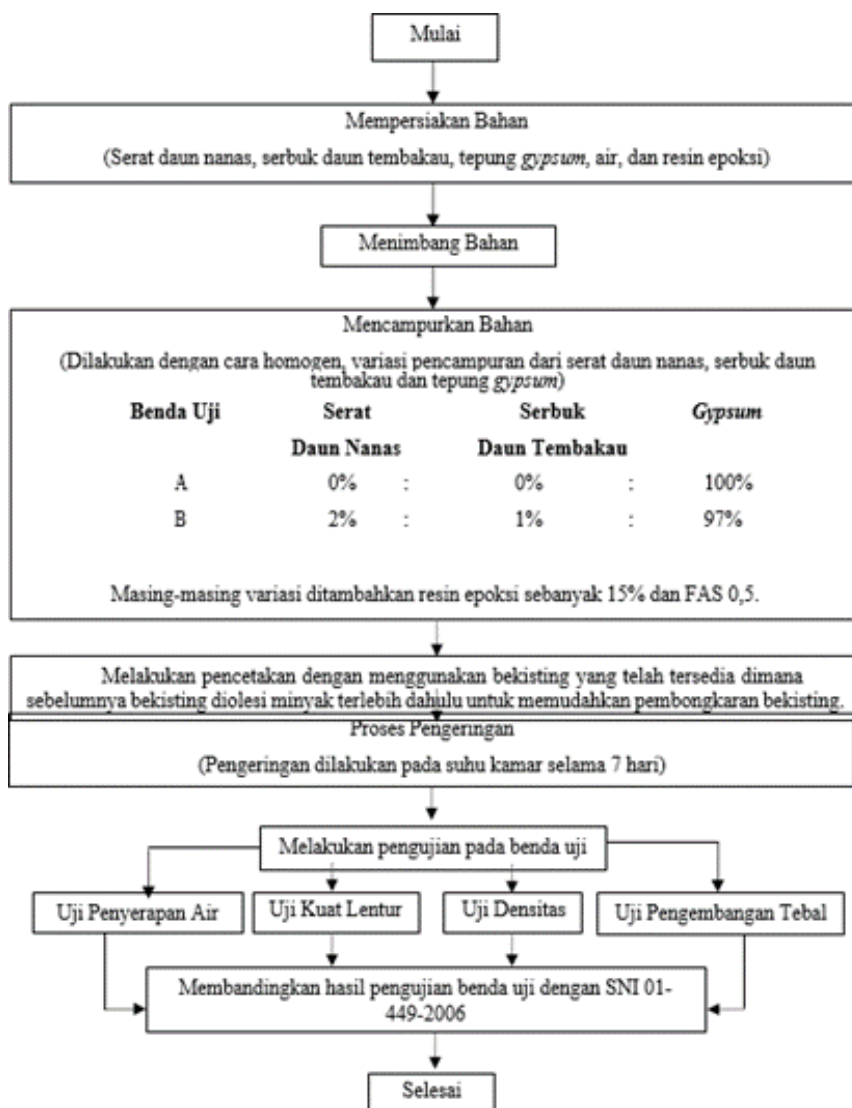
Indonesia merupakan negara dengan dua musim, yaitu musim kemarau dan hujan. Musim hujan dapat berpotensi menimbulkan jamur dan terjadi rembesan pada bagian konstruksi bangunan, salah satunya plafon. Plafon memiliki peran penting diantaranya untuk menjaga agar suhu akibat sinar matahari tetap stabil di dalam ruangan dengan menghantarkan uap panas di ruang atap kemudian dialirkan ke ruang di bawahnya. Selain itu plafon juga melindungi ruangan dari rembesan air, serta meredam bunyi nyaring saat hujan berlangsung, dan menyembunyikan kabel instalasi listrik agar ruangan terlihat lebih rapi (Petrus, 2016).

Selain mudah terdampak akibat masalah cuaca, plafon *gypsum* konvensional yang umumnya terbuat dari *gypsum* bersifat tidak tahan air, mudah rapuh, dan kekuatannya masih kurang (Irwanto, 2018). *Gypsum* sendiri merupakan salah satu mineral dari batuan sedimen yang merupakan bahan baku dari kapur tulis di mana *gypsum* mengandung 90% $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Patandung, 2015). Kualitas plafon dipengaruhi oleh material yang digunakan (Patandung, 2018). Oleh karena itu, salah satu inovasi alternatif lain yang mungkin dilakukan adalah dengan menambahkan serat daun nanas dan serbuk daun tembakau. Hal ini disebabkan karena kandungan selulosa dari serat daun nanas sebanyak

69,5% - 71,5% yang menyebabkan kuat lentur pada plafon lebih baik dibandingkan dengan plafon konvensional, sebesar 10,53 kg/cm² (Hilda dan Alimin, 2012). Serat daun nenas sendiri tergolong serat yang kuat (Hidayat, 2008). Penggunaan serat yang kuat mampu menghasilkan kualitas plafon yang baik (Pasetyo, 2017). Serat yang kuat juga memiliki fungsi sebagai penguat guna meningkatkan kuat tarik agar lebih daktail (Tarnoko dan Hadi Ali, 2015). Tidak hanya itu, penggunaan serat pada papan *gypsum* mampu merubah sifat fisis dan mekanik papan (Oktaviani, 2020). Sedangkan serbuk daun tembakau mengandung nikotin (*Nicotiana tabacum L*) yang dapat berfungsi sebagai bahan anti serangga dan jamur (Fauziah dkk, 2014). Penambahan serat daun nenas dan serbuk daun tembakau pada pembuatan plafon *gypsum* dapat diharapkan dapat menghasilkan plafon dengan kuat lentur dan sifat anti jamur yang lebih baik dibandingkan plafon konvensional serta lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah sebagai bahan substitusi penyusun plafon (Oktaviani Siska, Dwi, 2020).

2. Data dan metode

Metode kuantitatif dipilih peneliti dengan data yang didapat dari percobaan laboratorium. Berdasarkan jobmix desain yang telah dilakukan yaitu perbandingan serat nenas, serbuk tembakau dan gypsum untuk varian A adalah 0:0:100% dan varian B adalah 2%:1%:97%. Selanjutnya sampel setelah didiamkan selama 7 hari diuji dengan mengacu pada SNI 01-449-2006 yaitu pengujian daya penyerapan air, kuat lentur, uji tebal dan uji densitas. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Metode pembuatan benda uji

Tahapan membuat benda uji memiliki urutan sebagai berikut.

1. Menyediakan semua kebutuhan alat dan bahan yang diperlukan. Serat daun nanas yang dipilih dalam keadaan kering sehingga hasil akhir akan maksimal (Zulkifli, 2022).
2. Melakukan pengujian pada daun nanas yang akan digunakan seratnya dan daun tembakau yang akan dijadikan serbuk. Serat daun nanas yang telah siap dilakukan pengujian terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Serat daun nanas

3. Menimbang seluruh bahan seperti tepung *gypsum*, serat daun nanas, serbuk daun tembakau, air, dan resin untuk masing-masing benda uji. Penggunaan resin sendiri digunakan sebagai bahan pengikat di mana bahan pengikat ini akan meningkatkan ikatan antar partikel yang memengaruhi sifat mekanik dari papan gypsum (Melyan Iphoni, 2014).
4. Mencampur seluruh bahan pada setiap benda uji yang digunakan sesuai takaran sesuai dengan Gambar 3.



Gambar 3. Pencampuran benda uji

5. Setelah semua bahan tercampur, aduk menggunakan sendok.
6. Olesi cetakan kaca menggunakan minyak bekisting dan menuangkan bahan kedalam cetakan kaca.
7. Setelah lapisan pertama dituangkan pada bekisting kemudian lanjut dengan pemberian serat daun nanas lapisan pertama sesuai dengan Gambar 4.



Gambar 4. Penyusunan serat daun nanas di atas adonan gypsum

8. Lapisan serat daun nanas yang telah disusun pada bagian atas adonan kemudian lanjut pemberian adonan kedua.
9. Setelah itu pemberian serat daun nanas lapisan kedua, dilanjutkan dengan pemberian adonan *gypsum* lapisan ketiga, lanjut ke pemberian serat daun nanas lapisan ketiga dan pemberian adonan *gypsum* lapisan terakhir yang kemudian di beri lapisan kertas terlebih dahulu yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemberian lapisan kertas

10. Press cetakan kaca menggunakan penutup kaca dan dijepit menggunakan penjepit.
11. Menunggu benda uji selama 24 jam, setelah itu benda uji dapat dilepaskan.
12. Menunggu benda uji selama 7 hari agar benda uji mengeras dan kering secara merata.
13. Melakukan analisis benda uji pada hari ke 7.

3. Hasil dan pembahasan

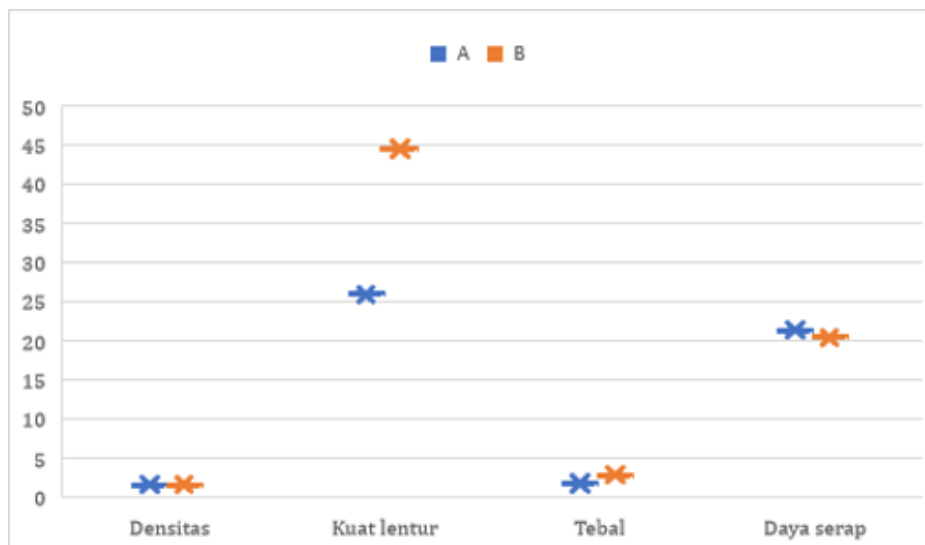
Komposisi serta jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan jumlah benda uji

No.	Variasi	Jenis Pengujian	Tepung Gypsum (gr)	Aquadess (ml)	Resin Epoxy (ml)	Serat Daun Nanas (gr)	Serbuk Daun Tembakau (gr)	Jumlah Sampel (buah)
1	A	Densitas	160	80	12	0	0	5
		Kuat Tekan	160	80	12	0	0	
		Pengembangan tebal	100	50	7,5	0	0	1
		Penyerapan Air	100	50	7,5	0	0	1
2	B	Densitas	156,8	78,4	11,76	3,2	1,6	5
		Kuat Tekan	156,8	78,4	11,76	3,2	1,6	
		Pengembangan tebal	98	49	7,35	2	1	1
		Penyerapan Air	98	49	7,35	2	1	1

3.1. Hasil pengujian

Pengujian mengacu pada SNI 01-449-2006 yaitu pengujian daya serap air, kuat lentur, uji tebal dan uji densitas ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil perbandingan varian A dan B untuk tiap pengujian

Hasil pengujian densitas yang ditunjukkan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata dari varian benda uji telah memenuhi SNI 01- 4449-2006 berkaitan dengan papan serat di mana nilai minimum dari pengujian densitas yaitu $0,84 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan dari pengujian, nilai kuat lentur pada semua variasi telah memiliki nilai rata- rata yang memenuhi SNI 01-4449-2006 di mana nilai minimum yang harus dicapai yaitu $20,00 \text{ kgf/cm}^2$, diketahui bahwa nilai kuat lentur pada varian B lebih tinggi dari varian A hal ini dikarenakan penggunaan serat daun nanas pada plafon *gypsum* mampu menutupi rongga udara sehingga plafon *gypsum* memiliki ikatan matriks yang baik antara adonan *gypsum* dengan serat daun nanas. Hasil pengujian ini juga melebihi hasil penelitian terdahulu yang dilakukan Qorina dan Mayudin (2016) tentang serat eceng gondok sebagai substitusi plafon gypsum di mana persentase yang digunakan yaitu sebesar 2,5%, 5%, 7,5% dengan hasil $1,125 \text{ kg/cm}^2$, $1,575 \text{ kg/cm}^2$, $1,535 \text{ kg/cm}^2$, $1,17 \text{ kg/cm}^2$. Nilai batas maksimum dari uji pengembangan tebal yaitu 10,00% berdasarkan SNI 01-4449-2006 yang artinya semua variasi telah memenuhi standar SNI. Sedangkan nilai batas maksimum dari daya serap air pada papan plafon *gypsum* yaitu sebesar 30,00% yang berarti, semua variasi telah memenuhi SNI 01-4449-2006 (Fatthurrahman, 2020). Penggunaan serat daun nanas dapat menyebabkan air meresap ke dalam pori- pori serat daun nanas apabila terdapat rongga udara pada benda uji (Hasri dkk, 2017). Sehingga berpengaruh terhadap nilai daya serap air pada benda uji.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap plafon *gypsum* dengan penambahan serat daun nanas dan serrbuk daun tembakau dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Serat daun nanas dan serbuk daun tembakau dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi tepung *gypsum* dalam pembuatan plafon *gypsum* untuk interior rumah yang ramah lingkungan. Hal ini didukung dengan telah dilakukannya pengujian densitas, kuat lentur, penyerapan air, dan pengembangan tebal sesuai SNI 01-4449-2006.
2. Variasi A tanpa campuran serat daun nanas dan serbuk daun tembakau menghasilkan nilai densitas $1,526 \text{ g/cm}^3$, nilai uji lentur $25,900 \text{ kgf/cm}^3$, nilai pengembangan tebal 1,65 %, dan nilai daya serap air sebesar 21,33%.
3. Karakteristik pada variasi B dengan komposisi 2% serat daun nanas dan 1% serbuk daun tembakau. Variasi B menghasilkan nilai densitas $1,538 \text{ g/cm}^3$, nilai uji lentur $44,460 \text{ kgf/cm}^3$, nilai pengembangan tebal 2,78 %, dan nilai daya serap air sebesar 20,37%. Selain itu pada variasi B memiliki nilai kuat lentur sebesar 71,66% lebih baik dari pada plafon konvensional, 0,79% lebih baik pada pengujian densitas dibandingkan plafon konvensional, serta 4,7% lebih baik dari nilai daya serap air pada plafon konvensional.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Tuhan YME, dosen pembimbing peneliti, serta semua pihak yang senantiasa memberikan dukungan, saran, dan masukan kepada peneliti dalam menyusun laporan hasil penelitian ini sehingga dapat dilaksanakan hingga selesai. Diharapkan pembaca dapat mengambil manfaat serta pengetahuan dari penelitian yang telah dilakukan ini.

Referensi

- Patandung, P. (2016). Pengembangan Pembuatan Plafon dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, Vol. 8, 35-48.
- Irwanto, Syahrul Humaidi, Kurnia Sembiring. (2018). Pemanfaatan Serat Kulit Jagung (*Zea mays*) Sebagai Campuran Gypsum Untuk Pembuatan Plafon Dengan Bahan Pengikat Epoksi. *Tesis Universitas Sumatera Utara*.
- Hilda Trisna, Alimin Mahyudin, 2012. Analisis Sifat Fisis dan Mekanik Papan Komposit Gypsum Serat Ijuk dengan Penambahan Boraks (Dinatrium Tertaborat Decahydrate). *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 1, 30-36.
- Fauziah, V., & dkk. (2014). Optimasi Serat Kenaf sebagai Filler Biokomposit dengan Aditif Serbuk Daun Tembakau pada Aplikasi Papan Gypsum Plafon. *Jurnal Biofisika*, Vol. 10, 30-42.
- Wuriyudani Hasri Arlin, Sulhadi, Teguh Darsono. 2017. Perancangan Modular Panel Dekoratif Berbahan Dasar Rotan Untuk Interior Bangunan Komersial. *Jurnal Universitas Kristen Petra*. Vol. 5, No. 2.
- Hidayat, Pratikno. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Bahan Baku Tesktil. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta
- Oktaviani Siska, Dwi. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Daun Nanas terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Papan Semen Gypsum. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 9, No. 1, Januari 2020, hal. 31–37 ISSN: 2302-8491
- Fathurrahman dkk. (2020). Perbandingan Papan Gypsum Serat Daun Nenas (*Ananas Comosus L. Merr*) Terhadap Papan Gypsum Komersil Dilihat Dari Sifat Fisis Dan Mekanis Berdasarkan Sni Spesifikasi Panel Atau Papan Gypsum 03-6384-2000. *Jurnal Pendidikan Teknik dan Vokasional*, Vol. 3, No. 2, Desember 2020, hal. 121-130 ISSN: 2502-1605
- Zulkifli dkk. (2022). Hubungan Antara Panjang Dan Lebar Daun Nenas Terhadap Kualitas Serat Daun Nanas Berdasarkan Letak Daun Dan Lama Perendaman Daun. *Jurnal Agrotek Tropika*, Vol. 10, No. 2, Mei 2022
- Qorina, U., Mahyudin, A., dan Handani, S., "Pengaruh Persentase Massa Gypsum Dan Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Papan Semen- Gypsum Berserat Eceng Gondok", *Jurnal Fisika Unand*, 5(3), 2016.
- Badan Standardisasi Indonesia. SNI 01-4449-2006. Papan Serat
- Melyan Iphoni, et, al. (2014). Sifat Mekanik Papan Gypsum Dari Serbuk Limbah Kayu Non Komersial, *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, Vol 2, Nomor 2
- Patandung, P. (2015). Pengaruh Variasi Serat Sabut Kelapa terhadap Kualitas Plafon. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 7(1), 21-30.
- Patandung, P. (2018). Pengembangan Pembuatan Plafon dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 8(1), 39-50.
- Prasetyo, D. A. (2017). Pemanfaatan Serat Kulit Jagung Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Plafon Eternit. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1/REKAT/17
- Tarnoko dan Hadi Ali. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Terhadap Sifat Mekanis Eternit yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*. Vol 1, Nomor 1. Universitas Lampung: Lampung



Inovasi pemanfaatan serat *polypropylene* dan limbah abu cangkang sawit sebagai bahan substitusi beton

Rizal Andika Saputra ^{a*}, Luthfi Helmi Pratama ^b, Puji Widodo ^c, Riza Susanti ^d

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

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Corresponding author:

Email:

rizalriz945@gmail.com

Article history:

Received : 20 June 2023

Revised : 8 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Infrastructure, concrete,
polypropylene fiber, palm shell ash

The existence of infrastructure development has increased rapidly in encouraging global competitiveness, including infrastructure development in Indonesia. In infrastructure development, there are many aspects that must be considered. The planning stage is the most important stage in infrastructure development, because it will determine the quality of the building to be produced. Therefore, infrastructure development in Indonesia must use good construction material design to improve the quality of buildings and minimize the impact of damage to buildings. One of the alternative efforts made is to improve the quality of building quality by utilizing materials that can reduce expensive development costs and are more environmentally friendly. The use of palm kernel shell ash and polypropylene fiber waste can be an alternative solution to this problem. The research method carried out is quantitative experimental conducted in the laboratory with variations in test objects in the form of (0% ACS; 0% PP); (6 % ACS;0% PP); (0 % ACS;6% PP); (3% ACS;3% PP) tested for compressive strength and flexural strength at 28 days concrete life. Palm kernel shell ash waste was chosen as an added material for concrete mixture because it has the same properties as cement, namely silica (SiO₄), while polypropylene fiber was chosen because it can function as a filler that binds hollow concrete. From the research that has been done, several variations of test objects that have been made have been made then have gone through a testing process and compared to normal concrete K-300, modified concrete (3% ACS; 3% PP) is concrete with optimum variations that are more efficient and have high quality in compressive and flexural strength test results, which are 31,174 MPa and 30 MPa from normal concrete quality results.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Saat ini keberadaan pembangunan infrastruktur mengalami peningkatan yang pesat dalam mendorong daya saing global, termasuk pembangunan infrastruktur yang ada di negara Indonesia (KPPIP, 2014). Pada pembangunan Infrastruktur terdapat banyak aspek yang harus diperhatikan. Perencanaan menjadi salah satu tahapan dalam proses pembangunan infrastruktur yang harus diperhatikan dengan baik. Aspek-aspek yang baik salah satunya adalah dengan melakukan perencanaan bangunan konstruksi yang memperhatikan kondisi lingkungan dan mutu material penyusunnya, salah satunya kualitas pada beton. Dengan merencanakan dan mengoptimalkan kualitas bangunan seperti bangunan dengan kuat tekan dan lentur yang tinggi menjadi cara yang dapat dilaksanakan dalam mencapai pembangunan yang berspesifikasi tinggi.

Namun saat ini biaya untuk melakukan pembangunan tidak sedikit, hal ini dikarenakan mahalnnya harga bahan bangunan yang terus melonjak naik seiring berjalannya waktu sehingga mengakibatkan seseorang yang hendak membeli bahan bangunan di toko bangunan harus mengeluarkan biaya yang

cukup banyak. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi harga bahan bangunan menjadi cukup mahal, diantaranya dikarenakan tingginya biaya produksi, kenaikan harga transportasi dari produsen ke penjual, dan akibat juga adanya kenaikan pajak pertambahan nilai (PPN) sejak April 2022 dari 10 % naik menjadi 11 %. Oleh karena itu perlu adanya upaya untuk dapat menekan biaya pembangunan yang tinggi akibat harga bahan bangunan yang mahal. Melalui pemanfaatan limbah cangkang sawit serta serat *polypropylene* yang dijadikan substitusi parsial ke dalam campuran beton dapat menjadi alternatif dalam menekan harga bahan bangunan yang mahal menjadi lebih efisien, serta dapat mengurangi limbah yang ada dimasyarakat dan meningkatkan kualitas beton dalam hasil kuat tekan dan kuat lentur beton menjadi lebih tinggi. Limbah kelapa sawit dapat diolah menjadi dapat diolah menjadi abu cangkang sawit yang dimana hasil olahan tersebut memiliki komposisi silika (SiO_4) yang dapat menjadi bahan campuran semen dalam industri konstruksi material penyusun beton (Sarifah & Pasaribu, 2017). Selain limbah abu cangkang sawit yang bisa dijadikan material penyusun beton, terdapat Serat PP (*Polypropylene*) yang dapat dimanfaatkan juga menjadi bahan tambah campuran beton dalam dunia konstruksi. Serat PP (*Polypropylene*) memiliki sifat yang unik yaitu tidak menyerap air dan mengikat sehingga dapat diaplikasikan ke dalam inovasi beton serat (Kartini, W, 2017). Penelitian ini untuk mengetahui komposisi yang optimum dari adanya pencampuran serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang divariasikan pada beton normal yang kemudian akan dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton yang diharapkan mampu memberikan pengaruh yang baik dari segi kualitas beton yang dihasilkan dari beton modifikasi.

2. Data dan metode

2.1. Persiapan dan pengujian material

Tahap pengujian material dilakukan pengujian terhadap agregat halus, agregat kasar, semen, serta bahan tambah yang digunakan yaitu serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan material yang sesuai dengan rencana dan dalam keadaan yang baik.

- a) Pengujian Agregat Halus
 - Dari hasil kadar lumpur dengan menggunakan pasir muntitan didapatkan nilai rata-rata sebesar 2,4 %, yang mana menurut SK-SNI-S-04-1989-F kadar lumpur memiliki nilai sebesar 5 %. Dari hasil tersebut untuk kadar lumpur menggunakan pasir muntitan sudah memenuhi SK-SNI-S-04-1989-F.
 - Untuk gradasi pasir muntitan memiliki hasil modulus halus butir sebesar 3,01 %, dengan hasil tersebut pasir muntitan memenuhi syarat sesuai SNI 03-1972-1990 yaitu 1,5 - 3,8.
- b) Pengujian Agregat Kasar
 - Dari hasil pemeriksaan Analisa ayak agregat kasar didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 7,69 % untuk sampel pengujian 1 kg kerikil dengan pemeriksaan agregat menggunakan alat *sieve shaker*.
- c) Pengujian Air
 - Pemeriksaan air dilakukan melalui pengamatan dengan cara visual yang sesuai dengan PBI-1971. Untuk hasil yang dipakai, tidak berbau, air harus jernih, harus bersih tidak boleh memiliki kandungan minyak, lumpur, garam dan tidak boleh memiliki kandungan bahan-bahan yang lain yang bisa menurunkan kualitas beton.
- d) Pengujian Semen
 - Keadaan Kemasan Semen, Pengujian ini dilihat dari kondisi semen yang mana kemasan semen dilakukan dengan cara visual secara langsung. Untuk penelitian ini kondisi semen masih bagus tidak terbuka ataupun robekan, untuk kemasan sendiri juga kering dan kondisi semen terlihat gembur tidak memadat.
 - Keadaan Butiran Semen, Untuk proses pengujian ini dengan melakukan cara yaitu membuka kemasan semen dan selanjutnya di lihat secara visual mengenai keadaan butiran semen. Dari hasil yang didapatkan dalam pengamatan semen, terlihat bahwa semen dipakai dalam penelitian ini masih bagus atau dalam keadaan baik yang mana tidak terjadi gumpalan pada butiran.

2.2. Hasil uji kelayakan material

Material penyusun beton modifikasi terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan untuk dapat menentukan kelayakan material sebagai bahan campuran beton dan hasil pemeriksaan tersebut akan dicocokkan dengan standard pengujian oleh SNI. Tabel 1 menunjukkan pemeriksaan material yang diuji mengacu pada SNI.

Tabel 1. Hasil uji kelayakan material

No	Jenis Material	Hasil Pengujian	Standard	Keterangan
1.	Agregat Halus	Persentase kandungan lumpur yang telah diuji tanpa campuran $\text{Na}(\text{OH})_3$ adalah 2,4 %. Persentase kandungan lumpur dari pengujian ini kurang dari 5 %.	SNI 03-1968-1990 Tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar	Memenuhi
2.	Agregat Kasar	Diperoleh nilai keausan rata-rata dari pengujian yang telah dilakukan adalah : 24,1 % < 40 %	SNI 03-1968-1990 Tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar	Memenuhi
3.	Semen	Semen masih dalam kondisi baik tidak terjadi gumpalan pada butiran semen ketika kemasan semen dibuka	SNI 7656:2012 Tentang Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa	Memenuhi
4.	Air	Tidak berbau, jernih, tidak terdapat kandungan minyak, lumpur, garam, dan bahan lain yang dapat menurunkan kualitas beton.	SNI 03-6861.1-2002 Tentang persyaratan air untuk campuran beton	Memenuhi

2.3. Persiapan material tambahan

Pada tahap ini material serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang didapatkan akan dilakukan beberapa perlakuan sebelum di proses sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton modifikasi. Berikut adalah gambar limbah abu cangkang sawit yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta serat *polypropylene* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan nomor 200 atau ukuran 0,075 mm dengan kondisi kering melalui proses pengeringan.



Gambar 2. Serat *Polypropylene*

2.4. Job Mix Design

Penulis melakukan perencanaan *mix design* yang bertujuan agar mengetahui perbandingan proporsi material yang digunakan dalam pembuatan beton modifikasi dengan bahan tambah serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Dalam penelitian ini bahan tambah serat *polypropylene* akan disubstitusikan dari berat agregat kasar dan abu cangkang sawit di substitusikan dari berat semen. Dengan total 4 variasi yaitu benda uji A (0 % Serat *Polypropylene* ; 0 % Abu Cangkang Sawit), benda uji B (0 % Serat *Polypropylene* ; 6 % Abu Cangkang Sawit), benda uji C (6 % Serat *Polypropylene*; 0 % Abu Cangkang Sawit) dan benda uji D (3 % Serat *Polypropylene*; 3 % Abu Cangkang Sawit). Tabel 2 menunjukkan hasil *job mix design* yang akan direncanakan.

Tabel 2. Rancangan *Job mix design*

Benda Uji	Serat PP	Abu Cangkang Sawit	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji Silinder	Jumlah Benda Uji Balok
A	0%	0%	28	5	1
B	0%	6%	28	5	1
C	6%	0%	28	5	1
D	3%	3%	28	5	1

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil kuat tekan

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan saat beton berusia 28 hari.

Tabel 3. Kuat tekan beton (MPa)

No	Jenia Benda Uji	Tanggal Diuji	Umur (hari)	Hasil Uji (MPa)
1	Beton Normal	19-05-2023	28	26,150
2	Beton Modifikasi (0 % PP 6 % ACS)	30-05-2023	28	22,392
3	Beton Modifikasi (6 % PP 0 % ACS)	07-06-2023	28	26,940
4	Beton Modifikasi (3 % PP 3 % ACS)	07-06-2023	28	31,174

Hasil pengujian kuat tekan yang ditunjukkan pada Tabel 3, dengan menggunakan benda uji silinder terdapat penurunan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi penambahan 6 % serat *polypropylene*. Nilai kuat tekan beton tersebut adalah sebesar 22,392 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 26,15 MPa. Hal ini dikarenakan penambahan serat *polypropylene* dengan variasi penambahan sebesar 6% dapat membuat campuran beton tidak dapat tercampur dengan sempurna karena terlalu banyak air semen yang diserap oleh serat *polypropylene*. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa semakin adanya penambahan persentase serat *polypropylene* yang tinggi dapat mengakibatkan nilai penyerapan air beton semakin tinggi.

Selanjutnya hasil kuat tekan beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) memiliki nilai kuat tekan sebesar 26,94 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat beton tekan normal sebesar 26,15 Mpa. Hal ini diakibatkan abu cangkang sawit memiliki kandungan silika (SiO₄) yang sifatnya sama dengan semen. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Hayward,1995) bahwa dalam penelitian abu cangkang sawit apabila bereaksi dengan bahan kapur dan air maka akan membentuk material seperti semen yaitu berupa Kalsium Silika Hidrat.

Kemudian pada benda uji beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) mengalami peningkatan yang paling tinggi yaitu sebesar 31,174 MPa lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sebesar 26,94 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa nilai kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian beton yang dicampur dengan serat *polypropylene* optimum pada variasi penambahan sebesar 2 %, serta penelitian yang dilakukan oleh (Johan, 2020) bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi penambahan abu cangkang sawit sebesar 9 % hal ini diakibatkan kadar senyawa silika (SiO₄) akan lebih besar dari kadar semen normal. Sehingga pada penambahan variasi 3 % abu cangkang sawit dan 3 % serat *polypropylene* merupakan variasi yang paling optimum.

3.2. Hasil kuat lentur

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur beton yang telah dilakukan saat usia beton 28 hari.

Tabel 4. Kuat lentur beton

No	Jenis Benda Uji	Tanggal Diuji	Umur (hari)	Hasil Uji (MPa)
1	Beton Normal	12-06-2023	28	25
2	Beton Modifikasi (0 % PP 6 % ACS)	12-06-2023	28	32
3	Beton Modifikasi (6 % PP 0 % ACS)	12-06-2023	28	18
4	Beton Modifikasi (3 % PP 3 % ACS)	12-06-2023	28	30

Hasil pengujian kuat lentur yang ditunjukkan pada tabel 4, dengan menggunakan benda uji berbentuk balok didapatkan penurunan hasil kuat lentur beton pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*). Nilai kuat lentur beton tersebut adalah sebesar 18 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat lentur beton normal yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini sama seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh (Elia, 2023) bahwa Pemeriksaan kuat lentur beton dengan menggunakan variasi dari abu cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 9%, 11% dan 13% yang diuji pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat lentur beton yang terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Hal ini juga dikarenakan abu cangkang sawit mengakibatkan beton memiliki sifat getas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Amir, 2020) disebutkan bahwa kegagalan suatu struktur beton dapat disebabkan oleh adanya sifat getas pada material, getas memiliki sifat yang kuat terhadap tekan namun lemah terhadap lentur, salah satu sifat

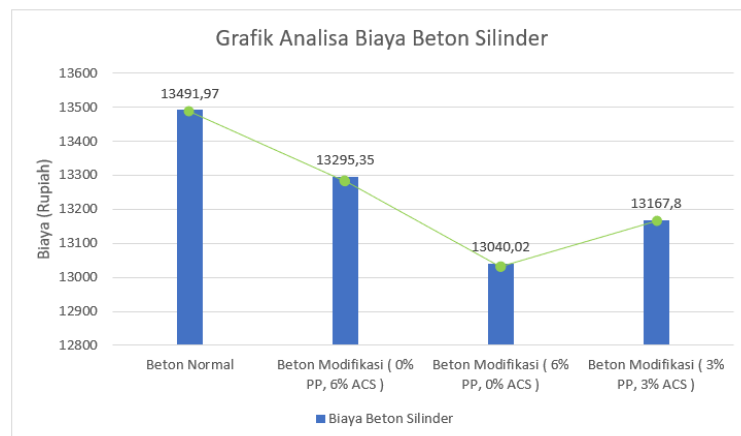
material tersebut dimiliki pada bahan abu cangkang sawit yang menaikkan nilai kuat tekan namun menurunkan nilai kuat lentur.

Selanjutnya hasil kuat lentur beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) memiliki kenaikan nilai kuat lentur tertinggi yaitu sebesar 32 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat lentur beton normal sebesar 25 Mpa. Kenaikan kuat lentur beton tersebut diakibatkan karena dengan adanya penambahan serat *polypropylene* maka beton akan tidak mudah retak. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Dina, 1999) bahwa dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton dapat memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan, kikisan, dan dapat memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre-hardening stage* sehingga dapat mengurangi adanya keretakan akibat adanya penyusutan, (ACI Committee 544, 1982) serat *polypropylene* dapat memperbaiki sifat beton diantaranya ketahanan terhadap beban kejut, ketahanan terhadap susutan, dan ketahanan terhadap keausan, dan berdasarkan (Siregar, 2017) serat *polypropylene* dapat mengubah sifat getas menjadi lebih daktal pada beton. Sehingga hal tersebut juga mengakibatkan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) memiliki kuat lentur yang lebih rendah dari beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) namun lebih tinggi dari hasil kuat lentur beton normal.

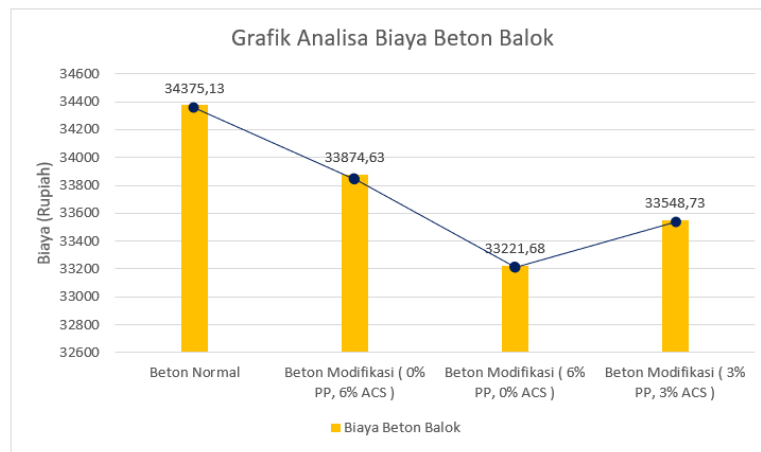
3.3. Hasil analisis biaya

Analisis biaya yang dilakukan adalah dengan membandingkan pembuatan beton normal dengan beton modifikasi yang menggunakan serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Perhitungan Analisa biaya dihitung berdasarkan kebutuhan dalam *job mix design* yang dibuat dalam penelitian disesuaikan dengan harga kebutuhan belanja material di toko bangunan yang ada di daerah Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah.

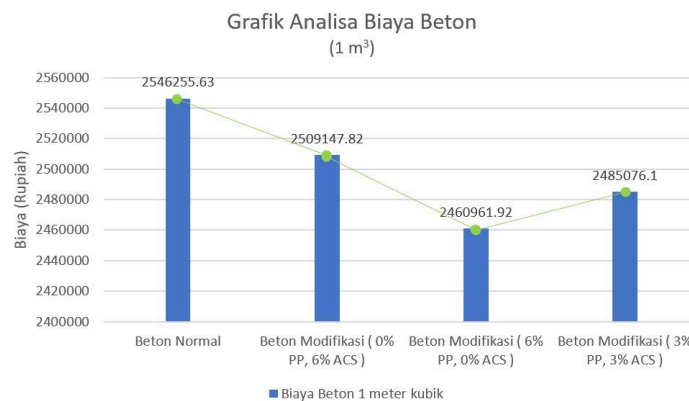
Pada gambar grafik analisa biaya beton modifikasi yang dihitung berdasarkan volume cetakan (Gambar 3 dan Gambar 4), serta pada perhitungan volume per m³ (Gambar 5) dapat disimpulkan bahwa beton modifikasi lebih efisien dari beton normal dikarenakan harga semen dan agregat kasar dapat ditekan dengan adanya substitusi serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang divariasikan.



Gambar 3. Grafik analisa biaya silinder



Gambar 4. Grafik analisa biaya balok



Gambar 5. Grafik analisis biaya per m³

4. Kesimpulan

1. Penelitian ini menunjukkan campuran beton yang optimum yang memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur tertinggi pada variasi campuran beton yang disubstitusi dengan campuran 3% serat *polypropylene* dan 3% limbah abu cangkang sawit dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 31,174 MPa dan kuat lentur sebesar 30 MPa.
2. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dengan menggunakan benda uji silinder yang telah dilakukan pada laboratorium terdapat penurunan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi penambahan 6 % serat *polypropylene*. Nilai kuat tekan beton tersebut adalah sebesar 22,392 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 26,15 MPa. Hal ini dikarenakan penambahan serat *polypropylene* dengan variasi penambahan sebesar 6% dapat membuat campuran beton tidak dapat tercampur dengan sempurna karena terlalu banyak air semen yang diserap oleh serat *polypropylene*. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa semakin adanya penambahan persentase serat *polypropylene* yang tinggi dapat mengakibatkan nilai penyerapan air beton semakin tinggi. Hasil kuat tekan beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) memiliki nilai kuat tekan sebesar 26,94 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat beton tekan normal sebesar 26,15 MPa. Hal ini diakibatkan abu cangkang sawit memiliki kandungan silika (SiO₄) yang sifatnya sama dengan semen. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Hayward,1995) bahwa dalam penelitian abu cangkang sawit apabila bereaksi dengan bahan kapur dan air maka akan membentuk material seperti semen yaitu berupa Kalsium Silika Hidrat. Kemudian pada benda uji beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) mengalami peningkatan yang paling tinggi yaitu sebesar 31,174 MPa lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sebesar 26,94 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa nilai kuat tekan yang

diperoleh dari hasil pengujian beton yang dicampur dengan serat *polypropylene* optimum pada variasi penambahan sebesar 2 %, serta penelitian yang dilakukan oleh (Johan, 2020) bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi penambahan abu cangkang sawit sebesar 9 % hal ini diakibatkan kadar senyawa silika (SiO₄) akan lebih besar dari kadar semen normal. Sehingga pada penambahan variasi 3 % abu cangkang sawit dan 3 % serat *polypropylene* merupakan variasi yang paling optimum. Selanjutnya pada pengujian kuat lentur, berdasarkan hasil pengujian kuat lentur dengan menggunakan benda uji berbentuk balok didapatkan penurunan hasil kuat lentur beton pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*). Nilai kuat lentur beton tersebut adalah sebesar 18 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat lentur beton normal yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini sama seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh (Elia, 2023) bahwa Pemeriksaan kuat lentur beton dengan menggunakan variasi dari abu cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 9%, 11% dan 13% yang diuji pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat lentur beton yang terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Hal ini juga dikarenakan abu cangkang sawit mengakibatkan beton memiliki sifat getas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Amir, 2020) disebutkan bahwa kegagalan suatu struktur beton dapat disebabkan oleh adanya sifat getas pada material, getas memiliki sifat yang kuat terhadap tekan namun lemah terhadap lentur, salah satu sifat material tersebut dimiliki pada bahan abu cangkang sawit yang menaikkan nilai kuat tekan namun menurunkan nilai kuat lentur. Hasil kuat lentur beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) memiliki kenaikan nilai kuat lentur tertinggi yaitu sebesar 32 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat lentur beton normal sebesar 25 MPa. Kenaikan kuat lentur beton tersebut diakibatkan karena dengan adanya penambahan serat *polypropylene* maka beton akan tidak mudah retak. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Dina, 1999) bahwa dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton dapat memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan, kikisan, dan dapat memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre-hardening stage* sehingga dapat mengurangi adanya keretakan akibat adanya penyusutan, (ACI Committee 544, 1982) serat *polypropylene* dapat memperbaiki sifat beton diantaranya ketahanan terhadap beban kejutan, ketahanan terhadap susutan, dan ketahanan terhadap keausan, dan berdasarkan (Siregar, 2017) serat *polypropylene* dapat mengubah sifat getas menjadi lebih daktal pada beton. Sehingga hal tersebut juga mengakibatkan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) memiliki kuat lentur yang lebih rendah dari beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) namun lebih tinggi dari hasil kuat lentur beton normal.

3. Berdasarkan analisis data perhitungan biaya yang disesuaikan dengan bentuk cetakan benda uji dan per 1 m³ beton dikalikan dengan harga bahan yang telah diperoleh sebelumnya, didapatkan beton modifikasi yang telah disubstitusikan dengan menggunakan serat *polypropylene* dan limbah abu cangkang sawit lebih murah dibandingkan dengan beton normal konvensional.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Tuhan YME, kepada dosen pembimbing dalam penelitian ini serta seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan hasil penelitian ini. Semoga kedepannya penelitian ini bisa bermanfaat bagi pembaca dalam menambah wawasan dan pengetahuan.

Referensi

- Khairizal, Y., Kurniawandy, A., & Kamaldi, A. (2015, Oktober). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal. *Jom FTEKNIK*, 2, 1-11.
- Sarifah, J., & Pasaribu, B. (2017, September). Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung. *Buletin Utama Teknik*, 13, 55- 61.
- Simanjuntak, J. O., Saragih, T. E., Lumbangaol, P., & Panjaitan, S. P. (2020, Desember). Beton Bermutu Dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Cangkang Sawit. *Jurnal Darma Agung*, 28, 387-401.
- Kartini, W. (2017). Penggunaan Serat Polypropylene untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton. *Rekayasa Perencanaan*, 4(1), 1-13.

- Pudjisuryadi, P., & Lumantara, B. (2006). Studi Tentang Daktilitas Struktur Pada Sistem Shearwall Frame Dengan Belt Truss. *Civil Engineering Dimension*, 8(1), 41-46.
- Muto, Kiyoshi. (1987). Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa. Diterjemahkan oleh: Ir.Wira M.S.C.E. Jakarta: Erlangga.
- Mulyono, T., 2006, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Royan, N. (2012). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Variasi Pasir dan Cangkang Sawit. *Berkala Teknik*, 2(4). 1-12.
- Indra Syahrul Fuad, d. (2014). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Belah pada Mutu Beton K-175. *Desiminasi Teknologi*, 66-71.
- Ir Indra Syahrul Fuad, M. (2008). *Petunjuk Praktikum Beton*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Tridianti.
- ACI COMMITTEE 304, 1997, *Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications (ACI 304.1R-92) (Reapproved 1997)*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- ACI COMMITTEE 544, May 1982, *State of The art Report On Fibre Reinforced Concrete, ACI 544 IR-82*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *SK SNI 15-2049-2004, Semen Portland Pozolan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Arde, 2005, *Penggunaan Polypropylene Fiber Ditinjau Terhadap Mekanisme Tekan dan Lentur Pada Campuran Beton Normal*, Teknik Sipil, UPN Veteran, Surabaya, Jawa Timur.
- Yusra, A., 2014, *Pengaruh Variasi Zat Tambahan Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi*, Universitas Syiah Kuala, Aceh.
- Purwanto, E. 1999. *Perilaku Fiber Lokal Pada Perilaku Dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- SNI 03-1974-1990.1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 03-4431-1997.1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan..* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 15-7064-2004. 2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Suhendro, B. 1991, *Pengaruh Pemakaian Fiber Secara Parsial Pada Balok Beton Bertulang*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- M. Lerry, Elhusna dan Y. Afrizal, "Perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen," *Inersia*, vol. 4, no. 2, pp. 43-50, 2012.
- I. B. Rahardja, V. N. C. Surbakti dan A. L. Siregar, "Empowering Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Bata Beton Ringan (Light-Weight Concrete)," *Jurnal Teknologi*, vol. 14, no. 1, pp. 119-126, 2022
- G. Vitri dan H. Herman, "Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton," *Jurnal Teknik Sipil ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 78-87, 2019.
- V. Itteridi dan Rusandinata, "Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Ilmiah Bering's*, vol. 5, no. 1, pp. 21-26, 2018.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, (PBI, 1989).



Pemanfaatan limbah ongkok aren dan ampas tebu sebagai inovasi batako ramah lingkungan

Aisyah Rindi Antika^{a*}, Hilda Ari Ashara^b, Bambang Setiabudi^c, Hartono^d

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

aisyahrindi19@gmail.com

hildaariashara@gmail.com

Article history:

Received : 26 June 2023

Revised : 31 July 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Brick, Bagase Ash, Fiber Palm

ABSTRACT

Brick is a wall building material that is currently being chosen because it is considered more efficient in terms of installation. This research utilizes solid waste in the form of palm sugar cassava and bagasse as an environmentally friendly brick innovation. The method used in this research is the experimental method. The parameters to be achieved in this study are the compressive strength and water absorption values regulated in SNI 03-0349-1989. The percentage of bagasse ash to be added is 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight of cement and 1% of sand on the weight of palm sugar by using FAS (Cement Water Factor) of 0.35. The average compressive strength values and resulting water absorption are 10.52 Mpa and 5.4%, 15.76 Mpa and 4.9%, 17.62 Mpa and 4.6%, 23.65 Mpa and 4.5 %, and 5.14 MPa and 7.9%. The use of these two materials can optimally increase the compressive strength of bricks at the percentage of 7.5% bagasse ash and 1% sugar palm cassava. This innovation can reduce waste and become a brick business opportunity for local people at a lower cost.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang cepat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2022 jumlah penduduk meningkat hingga 1,17%. Peningkatan jumlah populasi penduduk tersebut akan berbanding lurus dengan adanya pembangunan infrastruktur gedung, rumah tinggal, dan limbah yang dihasilkan dalam pemenuhan kebutuhan. Kebutuhan tempat tinggal di Indonesia mencapai 800 ribu unit dengan realisasi terbangun mencapai 200 unit setiap tahunnya (Salsabiel Firdaus, 2013).

Dalam membangun rumah hunian selain mempertimbangkan bangunan yang kokoh kita juga perlu memperhatikan efisiensi biaya yang akan dikeluarkan. Adapun cara menekan biaya pembangunan yaitu dengan pemilihan material konstruksi yang murah tetapi juga bermutu tinggi, sehingga dapat menghasilkan bangunan yang berkualitas.

Batako merupakan material penyusun dinding yang keberadaannya dinilai penting. Komposisi penyusun batako terdiri dari semen, pasir, dan air. Ukuran batako yang besar menjadikan batako unggul dalam segi waktu pemasangan dan biaya jika dibandingkan dengan penggunaan bata merah. Pengembangan inovasi material konstruksi terus meningkat seiring dengan berjalannya waktu, salah satu inovasi tersebut mengenai material penyusun batako yang berasal dari limbah produksi.

Kabupaten Klaten menghasilkan limbah padat yang berasal dari produksi tepung aren sebanyak 2,19 ton setiap harinya (Maulidina Juliana, 2020). Limbah padat aren atau ongkok aren sebagai bahan tambah pembuatan batako dapat menghasilkan nilai kuat tekan hingga 30,75 kg/cm² (Muhammad Amin, 2014). Tidak hanya limbah aren, angka limbah padat yang dihasilkan dari produksi tebu cukup

besar yaitu mencapai 2,99 juta ton (A.S. Dwi Saptati dkk, 2016). Limbah padat tebu melalui proses pembakaran menghasilkan abu dengan kandungan silika 71% dapat berperan sebagai pengganti sebagian semen karena bersifat *pozzolan* (Yobel, 2018).

2. Data dan metode

2.1. Metodologi penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Eksperimen yang dilakukan dengan pembuatan *mix design*. Percobaan yang dilakukan adalah melalui pembuatan benda uji dengan 5 variasi perbandingan material yang berbeda dan dilanjutkan dengan pengujian kuat tekan dan penyerapan air. Variasi batako konvensional yang digunakan adalah 0% abu ampas tebu dan 0% ongkok aren dengan komposisi rasio semen : pasir yaitu 1:6. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di laboratorium Bahan Bangunan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan: saringan, saringan shaker, timbangan digital, oven, gelas ukur, pengaduk, panci, pengujian kompresi, cetakan kubus 15x15x15 cm. Bahan yang digunakan: abu ampas tebu, limbah gula aren, semen PCC, agregat halus melewati saringan 4,75 mm, air, dan NaOH.

2.3. Prosedur penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa prosedur atau langkah kerja sebagai berikut.

1. Menyiapkan semen, pasir, abu ampas tebu, serat aren, air dan alat yang akan digunakan.
2. Menimbang bahan menggunakan timbangan digital dengan berat masing-masing bahan sesuai dengan variasi yang akan dibuat.
3. Mencampurkan seluruh bahan yang telah ditimbang pada wadah dan aduk hingga homogen, kemudian tambahkan air dan aduk kembali kurang lebih 20 menit hingga adonan homogen.
4. Hasil campuran bahan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan benda uji kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm dan dilakukan penusukan dan pemukulan berkali-kali agar benda uji yang dihasilkan padat dan tidak berongga.

2.4. Parameter penelitian

Parameter penelitian merupakan indikator yang akan dicapai pada sebuah penelitian. Indikator tersebut sebagai berikut.

2.4.1. Uji kuat tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan tekanan atau gaya tekan tanpa mengalami deformasi atau kerusakan yang signifikan. ASTM C-133-97 sebagai acuan pengujian kuat tekan batako. Perhitungan kuat tekan ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$F_c = P/A \dots\dots\dots(1)$$

Kuat tekan didapatkan dari pembagian beban maksimum (P) dengan luas permukaan benda uji (A).

Standar kuat tekan minimum batako berongga yang dapat digunakan adalah 17 kg/cm². Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* yang telah dikalibrasi pada tahun 2020. Alat *Compression Testing Machine* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Digital Compression Testing Machine*

2.4.2. Uji penyerapan air

Penyerapan air adalah kemampuan material untuk menyerap dan mempertahankan jumlah air tertentu di dalamnya. Daya serap air yang diizinkan berdasarkan SNI 03-0349-1989 maksimal 25%. Perhitungan prosentase daya serap air ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\text{Penyerapan Air (\%)} = (mb - mk) / mb \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Massa basah benda uji (MB) didapatkan dari hasil penimbangan setelah benda uji direndam, massa kering benda uji (mk) didapatkan dari penimbangan benda uji setelah pengeringan dengan oven.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengujian kuat tekan

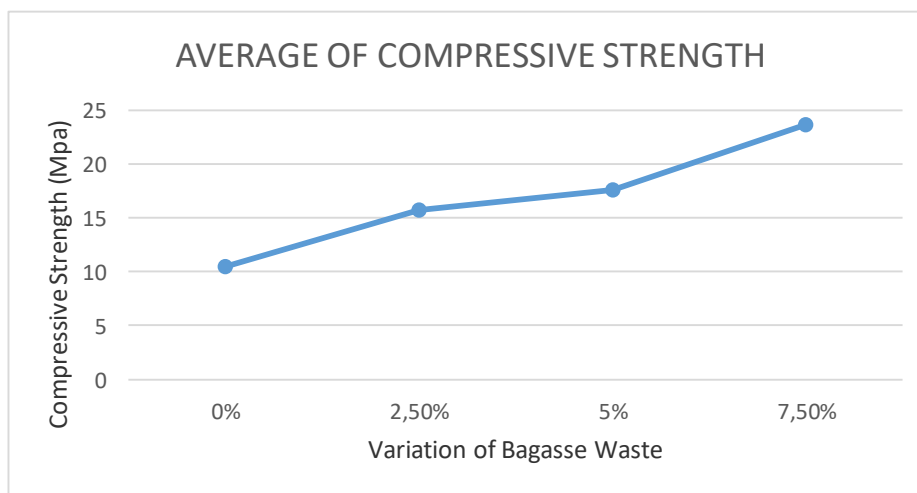
Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan benda uji umur 7 hari dengan 5 variasi campuran material yang berbeda.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan

No.	Variasi AT	Variasi SA	Nilai Kuat Tekan 7 Hari (Mpa)	Rata-rata (MPa)
1	0%	1%	11,66 11,86 8,03	10.52
2	2.5%	1%	15,8 14,47 17,01	15.76
3	5%	1%	16.37 12.25 24.24	17.62
4	7.5%	1%	16.82 25.20 28.94	23.65
5	10%	1%	6.73 2.16 6.54	5.14

Keterangan:
 AT : Abu Ampas Tebu
 SA : Serat Onggok Aren

Tabel 1 menunjukkan variasi 0% adalah batako konvensional tanpa campuran abu ampas tebu dan serat aren, dengan kuat tekan rata-rata 10,52 MPa. Variasi kedua dilakukan dengan mensubstitusi abu ampas tebu 2,5% dari berat semen dan 1% serat aren dari berat pasir, diperoleh nilai rata-rata 15,76 MPa. Variasi ketiga dilakukan dengan mensubstitusi abu ampas tebu 5% dari berat semen dan 1% serat aren dari berat pasir, diperoleh nilai rata-rata 17,62 MPa. Variasi keempat dilakukan dengan mensubstitusi abu ampas tebu 7,5% dari berat semen dan 1% serat aren dari berat pasir, diperoleh nilai rata-rata 23,65 MPa. Variasi kelima dilakukan dengan mensubstitusi abu ampas tebu 10% dari berat semen dan 1% serat aren dari berat pasir, dan terjadi penurunan nilai rata-rata kuat tekan dengan nilai 5.14 MPa. Semua pengujian dilakukan saat benda uji berumur 7 hari. Penggunaan abu ampas tebu dan serat aren sebagai bahan substitusi parsial pada batako dapat meningkatkan nilai kuat tekan yang tinggi dibandingkan dengan batako konvensional. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Amin (2014) dan Renata (2021). Gambar 3.1 menunjukkan penambahan kedua bahan tersebut secara optimal dapat meningkatkan kuat tekan batako dengan persentase 7,5% abu ampas tebu dan 1% serat onggok aren.



Gambar 2. Grafik nilai rata-rata kuat tekan

3.2. Pengujian penyerapan air

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan benda uji umur 7 hari dengan 5 variasi campuran material yang berbeda.

Tabel 2. Data uji penyerapan air

No. Variasi	Variasi AT (%)	Variasi SA (%)	Massa Basah (gr)	Massa Kering (gr)	Nilai Kuat Tekan 7 Hari (Mpa)	Rata-rata (%)
1	0	1	6300	6015	4.7	5.4
			6215	5890	5.5	
			6475	6110	5.9	
2	2.5	1	6515	6195	5.2	4.9
			6380	6075	4.9	
			6070	5780	4.5	
3	5	1	6260	5990	4.5	4.6
			6150	5850	5.1	
			6585	6315	4.3	
4	7.5	1	6155	5900	4.3	4.5
			6380	6100	4.6	
			6320	6050	4.5	
5	10	1	5650	5070	11.4	7.9
			6820	6420	6.2	
			6895	6510	6	

Keterangan:

AT : Abu Ampas Tebu

SA : Serat Onggok Aren

Tabel 3.2 menunjukkan nilai rata-rata penyerapan air pada variasi 1 adalah 5.4%. Variasi 2 menghasilkan rata-rata penyerapan air sebesar 4.9%. Variasi 3 menghasilkan rata-rata penyerapan air sebesar 4.6%. Variasi 4 menghasilkan rata-rata penyerapan air sebesar 4.5%. Variasi 5 menghasilkan rata-rata penyerapan air sebesar 7.9%. Penyerapan optimum terjadi pada variasi 3 dengan campuran 7.5% AT dan 1% SA. Penggunaan abu ampas tebu dan serat aren sebagai bahan substitusi parsial pada batako dapat menghasilkan nilai daya serap air yang lebih unggul dibandingkan dengan batako konvensional. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Amin (2014) dan Renata (2021).

3.3. Pengujian daya serap air

Analisa biaya dilakukan dengan cara menghitung seluruh kebutuhan material, alat, dan upah antara batako konvensional dengan batako substitusi abu ampas tebu 7,5% dan onggok aren 1% sehingga didapatkan perbandingan harga untuk keduanya.

3.3.1. Batako konvensional

Tabel 3 menunjukkan analisa perhitungan biaya kebutuhan produksi 1 buah batako konvensional

Tabel 3. Analisis biaya batako konvensional

		Kebutuhan	Satuan	Harga	Jumlah Harga
Material (60%)	Semen	1,006	kg	Rp1.500,00	Rp 1.509,00
	Pasir	2,726	kg	Rp 214,29	Rp 584,15
	Air	0,352	lt	Rp 150,00	Rp 52,80
Alat (10%)					Rp 214,60
Upah (30%)					Rp 643,79
Total					Rp 3.004,34

Produksi batako konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 3.004,34 untuk setiap benda uji yang ditunjukkan pada Tabel 3 biaya mencakup kebutuhan material, alat, dan upah untuk pekerja.

3.3.2. Batako campuran 7,5% AT + 1% SA

Tabel 4 menunjukkan analisa perhitungan biaya 1 buah batako campuran 7,5% abu ampas tebu dan 1% serat aren.

Tabel 4. Analisis biaya batako variasi 7,5% AT + 1% SA

		Kebutuhan	Satuan	Harga	Jumlah Harga
Material (60%)	Semen	0,931	kg	Rp1.500,00	Rp 1.396,50
	Pasir	2,699	kg	Rp 214,29	Rp 578,37
	Air	0,326	lt	Rp 150,00	Rp 48,90
	AT	0,07	kg	Rp 0	Rp 0
	SA	0,027	kg	Rp 0	Rp 0
Alat (10%)					Rp 202,38
Upah (30%)					Rp 607,13
Total					Rp 2.833,28

Produksi batako dengan substitusi 7.5% AT dan 1% SA membutuhkan biaya sebesar Rp 2.833,28 untuk setiap benda uji yang ditunjukkan pada tabel 3.3.2. Biaya mencakup kebutuhan material, alat, dan upah untuk pekerja.

3.3.3. Perhitungan spesi

Tabel 5 menunjukkan perhitungan spesi batako konvensional dan batako campuran 7,5% abu ampas tebu dan 1% serat aren

Tabel 5. Perhitungan spesi

Perhitungan	Konvensional	Variasi 7.5% AT dan 1% SA
Luas batako sisi samping	$0,30 \times 0,09 \times 2 = 0,0648 \text{ m}$	$0,30 \times 0,09 \times 2 = 0,0648 \text{ m}$
	$0,15 \times 0,09 \times 2 = 0,027 \text{ m}$	$0,15 \times 0,09 \times 2 = 0,027 \text{ m}$
	Luas Total = 0,918 m	Luas Total = 0,918 m
Kebutuhan Batako / m ²	$1/0,045 = 22 \text{ buah}$	$1/0,045 = 22 \text{ buah}$
Kebutuhan Spesi	$16 \times 0,30 \times 0,09 \times 0,02 = 0,00864$	$16 \times 0,30 \times 0,09 \times 0,02 = 0,00864$
	$20 \times 0,15 \times 0,09 \times 0,02 = 0,0054$	$20 \times 0,15 \times 0,09 \times 0,02 = 0,0054$
	$22 \times 0,0016 = 0,0352$	$22 \times 0,0016 = 0,0352$
	Total = 0,0492	Total = 0,0492
Total harga batako / m ²	Rp. $3.200 \times 22 = \text{Rp } 70.400,-$	Rp. $3.000 \times 22 = \text{Rp } 66.000,-$
Harga kebutuhan spesi dengan campuran 1 PC : 5 PS	Semen = $(1/6 \times 0,0492/0,00048) \times 1.500$	Semen = $(1/6 \times 0,0492/0,00048) \times 1.500$
	= Rp. 25.625,-	= Rp. 25.625,-
	Pasir = $(5/6 \times 0,0492 \times 1400) \times 117$	Pasir = $(5/6 \times 0,0492 \times 1400) \times 117$
	= Rp. 6.715,-	= Rp. 6.715,-
	Pasir + Semen = Rp. 32.340,-	Pasir + Semen = Rp. 32.340,-
Total Kebutuhan / m ²	Rp $70.400 + \text{Rp } 32.340 = \text{Rp } 102.740,-$	Rp. $66.000 + \text{Rp } 32.340 = \text{Rp } 98.340,-$

Tabel 5 menunjukkan hasil analisa perhitungan pada pemasangan 1m² batako konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 102.740,- sedangkan biaya pemasangan 1m² batako campuran 7,5% abu ampas tebu dan 1% serat aren membutuhkan biaya sebesar Rp 98.340,-

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan campuran abu ampas tebu dan ongkok aren menghasilkan inovasi bata berkualitas tinggi. Abu ampas tebu berperan sebagai pengganti parsial semen dan ongkok aren berfungsi sebagai pengganti pasir. Seluruh pengujian pada benda uji dilakukan pada umur 7 hari dan mengacu pada SNI 03-0349-1989.

Variasi 0% adalah batako konvensional tanpa campuran abu ampas tebu dan ongkok aren, dengan kuat tekan rata-rata 10,52 MPa. Variasi kedua dilakukan dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 2,5% dari berat semen dan 1% ongkok aren dari berat pasir memperoleh nilai rata-rata 15,76 MPa. Variasi ketiga dilakukan dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 5% dari berat semen dan 1% ongkok aren dari berat pasir memperoleh nilai rata-rata 17,62 MPa. Variasi keempat dilakukan dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 7,5% dari berat semen dan 1% ongkok aren dari berat pasir, dengan nilai rata-rata 23,65 MPa. Variasi kelima dilakukan dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 10% dari berat semen dan 1% ongkok aren dari berat pasir, dengan nilai rata-rata 5,14 MPa. Nilai optimum untuk kuat tekan dan penyerapan air dihasilkan pada campuran 7,5% abu ampas tebu + 1% ongkok aren, dengan nilai kuat tekan 23,65 Mpa dan nilai penyerapan air sebesar 4,5%. Inovasi yang dihasilkan memenuhi standar SNI 03-0349-1989.

Dari penelitian ini diharapkan dapat menyelamatkan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan dari produksi es tebu dan pembuatan pati aren. Inovasi ini dapat mengurangi limbah dan menjadi peluang bisnis batako bagi masyarakat setempat dengan biaya lebih rendah.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk pembaca.

Referensi

- Amin, Muhammad. (2014). Pemanfaatan Limbah Serat Aren dan Agregat Ringan sebagai Bahan Material Beton Cerdik. Jurnal UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung, Vol. 01.
- Anhadi, Aulia Rahmina dan Hariadi Yulianto. (2018). *Karakteristik Kuat Tekan dan Penyerapan Air Batako Dengan Penambahan Serbuk Kayu dan Fly Ash*.
- Armendariz, Gadri. (2015). "Analisa Kuat Tekan Batako dengan Limbah Cangkang Telur sebagai Bahan Tambah". Skripsi. Purwokerto : Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Harahap, Sahrul. (2021). "Analisa perbandingan biaya serta waktu pelaksanaan material dinding batu bata dan batako pada rumah type 36" Volume 3. Padang : Universitas Graha Nusantara.
- Hidayati, Nur, dkk. (2016). Potensi Ampas Tebu sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif. Natural B, 3(4), 311-317.
- Karesi, Maulidina Juliano, dan Ahmad M Fuadi. (2020). "Pembuatan Kertas dari Limbah Padat Produksi Tepung Aren dengan Proses Soda". Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Lempang, Mody. (2012). "Pohon Aren dan Manfaat Produksinya". Volume 9 No 1. Makassar : Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- Madurwar, Mangesh V., Sachin A. Mandavgane, and Rahul V. Ralegaonkar. (2015). "Development and feasibility analysis of bagasse ash bricks.
- Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982 Pasal 6. Tentang batu cetak beton (bataton).
- SNI 03-0349-1989 ,Bata Beton Untuk Pasangan Dinding, ICS 91.100.30, Badan Standardisasi Nasional Indonesia BSNI.
- SNI 03-1750-1990, Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan, ICS 9 91.100.30, Badan Standardisasi Nasional Indonesia BSNI.
- SNI 1737-1989-F, Tata Cara Pelaksanaan Aspal Beton, Badan Standardisasi Nasional Indonesia BSNI.
- Supribadi, I K. *Ilmu Bangunan Gedung*. Seri Bangunan Sipil A. Bandung : Armico, 1987.
- Yobel. (2018). "Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai Substitusi Semen pada Pembuatan Batako". Skripsi. Medan : Universitas Medan Area.
- Zulfa. (2014). "Optimasi kinerja akustik pada batako expose dengan campuran abu onggok aren". Skripsi. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.



Penerapan *software* SAP 2000 pada *re-design* struktur gedung terpadu psikologi olahraga Universitas Negeri Surabaya

Fajar Muhamad Nabil^{a*}, Muhammad Ramadhan Tegar Bagaskoro^b, Asri Nurdiana^c, Bambang Setiabudi^d

^{a*, b, c, d} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

fajarmuhamadnabil@gmail.com

Article history:

Received : 10 July 2023

Revised : 9 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Re-design, Structure Dimentions,
Building reinforcement dimensions,
SAP 2000

ABSTRACT

Building structure planning has an important role for further consideration before the implementation of construction in the field to anticipate construction failure, so it requires knowledge based on applicable rules and strengthened with software to support construction success. The structural planning research on the re-design of the UNESA Sports Psychology Integrated Building project using SAP2000, aims to provide knowledge in applying the concept of building structure design and has an output in the form of structural dimensions and reinforcement in accordance with the rules of PPIUG 1983, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, and RSA Ciptakarya. The method used is planning the dimensions of the upper structure, analyzing the working load, analyzing the structure using SAP2000, and planning the lower structure with a strong bearing capacity to accept the vertical load of the structure from the SAP2000 analysis results. Based on the final results obtained for the floor slab has two types S1 (12 cm thick, Ø10-150), S2 (10 cm thick, Ø10-150), Tiebeam and beams with types TB1 (40/75 cm 6D22), B1 (50/70 cm 13D22), B1a (50/70 cm 11D22), B2 (40/60 cm 9D19), B3 (30/50 cm 9D19), B4 (30/40 cm 8D19), Columns of type K1 (80/80 cm 22D22), K1a (80/80 cm 24D22), K1b (80/80 cm 20D22), K1c (80/80 cm 18D22), K2 (70/70 cm 18D22), K3 (68/68 cm 16D22), K4 (60/60 cm 16D19), KL (43/43 cm 10D19), and foundations with a spoonpile diameter of 60 cm number 4 with pilecap dimensions (350/350 cm D16-150).

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Perencanaan struktur bangunan memiliki peranan penting untuk bahan pertimbangan lebih lanjut sebelum pelaksanaan pembangunan di lapangan untuk mengantisipasi kegagalan konstruksi. Diperlukan ilmu yang dilandasi dengan aturan-aturan yang berlaku dan diperkuat dengan *software* untuk penunjang kesuksesan konstruksi.

Penelitian ini penting untuk dilakukan relevan dengan perkembangan terkini dalam bidang Teknik Sipil sehingga dirasa penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman tentang perencanaan Gedung bertingkat.

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang struktur pada Gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA menggunakan SAP2000 dan dijadikan sebagai pengetahuan dalam penerapan konsep desain struktur bangunan. *Output* dari penelitian ini berupa dimensi struktur beserta tulangan sesuai

dengan landasan penelitian yang mengacu pada PPIUG 1983, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, dan RSA Ciptakarya.

1.1. Batasan masalah

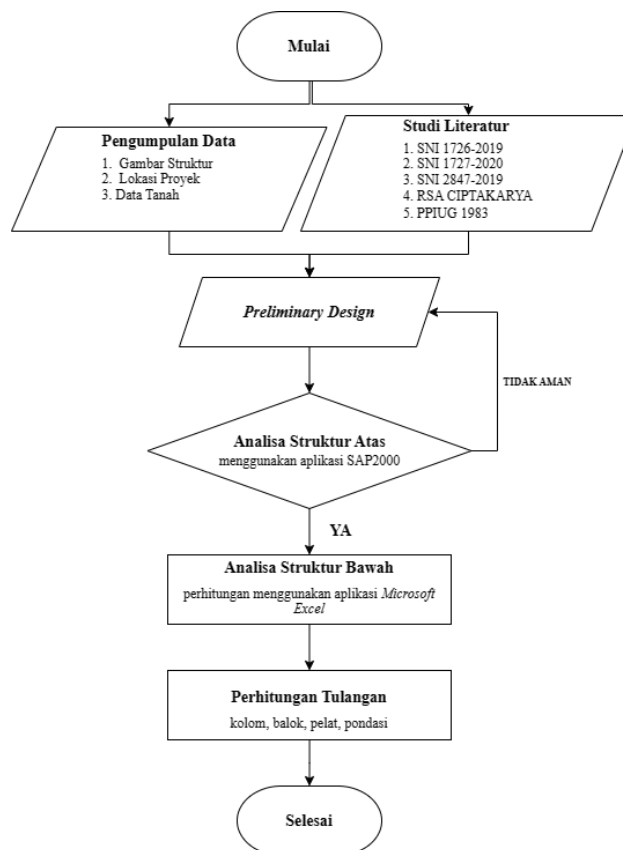
Pembahasan dibuat lebih terfokus dengan batasan-batasan masalah sebagai berikut.

- a) Struktur bangunan yang direncanakan adalah Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya (7 lantai dan 2 lantai atap)
- b) Perencanaan atap menggunakan dak beton
- c) Analisis struktur menggunakan aplikasi SAP 2000
- d) Analisis gempa menggunakan respon spektrum
- e) Penelitian ini mengacu pada SNI sebagai berikut.
 - i) Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)
 - ii) SNI 1726-2019 membahas Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
 - iii) SNI 1727-2020 membahas Perencanaan Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Gedung
 - iv) SNI 2847-2019 membahas Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
 - v) RSA Ciptakarya

2. Data dan metode

Metode yang digunakan dalam penyusunan penelitian Redesain Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya ini terdapat 5 tahapan yaitu :

1. menganalisa beban struktur atas berupa beban mati, hidup, gempa
2. Perencanaan dimensi struktur atas
3. Perhitungan kekuatan struktur dengan aplikasi SAP2000
4. Analisa struktur bawah menggunakan perhitungan di *Microsoft Excel*
5. Perhitungan tulangan kolom, balok, pelat, pondasi Berikut dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preliminary design

a) Hasil Perhitungan Dimensi Balok

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan preliminary desain balok tipe B1 panjang (L) 8 meter mutu beton ($f'c$) 25 MPa dan kuat leleh tulangan lentur (f_y) 420 MPa untuk mendapatkan tinggi (h) dan lebar (b) balok dalam perencanaan struktur sesuai dengan (SNI 2847-2019) sebagai berikut.

$$h \geq \frac{L}{16} (0,4 + \frac{f_y}{700}) = 500 \text{ dibulatkan menjadi } 700 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = 466,7 \text{ dibulatkan menjadi } 500 \text{ mm}$$

Rekapitulasi hasil dimensi balok dengan langkah perhitungan yang sama untuk lantai 1 sampai lantai 9 (atap) dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi yang telah diperoleh dilakukan pengecekan ulang terhadap syarat tinggi dan lebar efektif sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 pada Tabel 2 diambil sampel berdasarkan tipe dan bentang terpanjang. Tinggi efektif balok (d) didapat dari (h-selimit beton) dan bentang balok bersih (L_n) dari hasil ($L-1/2$ (dimensi kolom) x 2).

Tabel 1. Rekapitulasi rencana desain balok

No	As balok	(L)	(h)	dipakai (h)	(b)	dipakai (b)	Tipe Balok
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	1,7,8,10,11,13,14,B,C,D,E,G,H,J,K,L,M	8000	500	700	466,7	500	B1 (700x500)
2	2,3,5,6,Ca, Da,F,Ga,I,Ka	8000	500	600	400,0	400	B2 (600x400)
3	F	4000	250	700	466,7	500	B1 (700x500)
4	9a,11a	4000	250	600	400,0	400	B2 (600x400)
5	Ca,D,Da,F,E,F,G,Ga,H,I,J,K,Ka	4000	250	500	250,0	300	B3 (500x300)
6	9a,11a	2000	125	500	250,0	300	B3 (500x300)
7	11a	2000	125	400	266,7	300	B4 (400x300)
8	K	8000	500	750	375,0	400	TB1 (750x400)

Tabel 1. Syarat tinggi dan lebar efektif

No	Tipe	(b x h) (mm)	(d) (mm)	L (mm)	L_n (mm)	Syarat (d) SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1	Syarat Lebar SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1
1	TB1	400 x 750	710	8381,5	7581,5	OK	OK
2	B1	500 x 700	660	8381,5	7581,5	OK	OK
3	B2	400 x 600	560	8139	7339	OK	OK
4	B3	300 x 500	460	4000	3250	OK	OK
5	B4	300 x 400	360	4000	3250	OK	OK

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2. dapat disimpulkan bahwa perencanaan dimensi balok pada re-desain Gedung Terpadu psikologi Olahraga UNESA telah memenuhi syarat tinggi efektif dan lebar efektif sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1.

b) Hasil perencanaan pelat

Ditentukan tipe pelat satu arah atau dua arah berdasarkan dimensi yang telah direncanakan. Direncanakan pelat tipe S1 dengan panjang (Ly) 4 meter dan lebar (Lx) 4 meter maka dapat dihitung $Lx/Ly > 2$ sehingga didapatkan hasil 1 dan dapat disimpulkan pelat masuk kedalam kategori pelat dua arah. Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 8.3.1.1 dapat dihitung untuk ketebalan pelat S1 seperti berikut.

$$\text{Tebal Minimal} = \frac{\text{panjang bersih balok (Ln.)}}{33} = \frac{3550}{33} = 107,58 \text{ mm}$$

sehingga dipakai tebal pelat 120 mm

c) Hasil perencanaan dimensi kolom

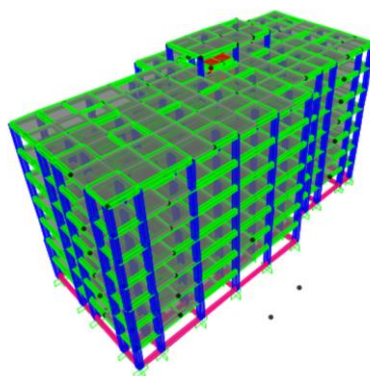
Mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 15.7.2 harus memenuhi dua ketentuan yaitu: dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300mm, rasio dimensi penampang terkecil (b/h) tidak kurang dari 0,4. Direncanakan kolom tipe K1 dengan tinggi (H) 4,5 meter menerima balok dengan tinggi (h) 70 cm dan lebar (b) 50 cm. $b_{\text{kolom}} = h_{\text{kolom}}$ sehingga dapat dikontrol perhitungan sebagai berikut.

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{H_{\text{kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{balok}}} = 55,7 \text{ cm}$$

dibulatkan menjadi 80 cm sehingga dipakai kolom tipe K1 80/80 cm.

3.2. Pemodelan struktur

Pemodelan struktur SAP2000 pada re-desain gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA sesuai dengan perhitungan dimensi diatas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan struktur menggunakan SAP2000

3.3. Analisis struktur

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 ada beberapa kontrol yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Kontrol Analisa Beban Gempa
 - a. Analisis Spektrum Respons Ragam

Hasil analisa SAP2000 menunjukkan struktur telah melebihi 90% dan sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 karena analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapat partisipasi masa ragam terkombinasi 100% dengan syarat partisipasi lebih dari 90%. Berikut Tabel 3 merupakan hasil Modal Partisipasi Massa Rasio

Tabel 3. Modal partisipasi massa ratio

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	9	0,53547	0,00107	0,00207	3,654E-06	0,887	0,884	5,24E-06	0,00291	0,001356	0,119	0,4	0,154	0,887	
MODAL	Mode	10	0,504952	0,00000	0,00115	3,671E-17	0,887	0,885	5,24E-06	0,001982	1,71E-15	0,00002282	0,402	0,154	0,887	
MODAL	Mode	11	0,453606	0,00106	0,00000	2,753E-17	0,888	0,885	5,24E-06	5,227E-14	0,0008269	0,00004656	0,402	0,154	0,887	
MODAL	Mode	12	0,401622	0,00000	0,00000	8,443E-14	0,888	0,885	5,24E-06	7,973E-17	9,107E-14	0,00001391	0,402	0,154	0,887	
MODAL	Mode	13	0,336272	0,00002	0,04700	1,158E-07	0,888	0,933	5,35E-06	0,03	1,805E-06	0,000187	0,432	0,154	0,888	
MODAL	Mode	14	0,319775	0,04500	0,00004	3,052E-07	0,933	0,933	5,66E-06	2,256E-05	0,011	0,002257	0,432	0,165	0,89	
MODAL	Mode	15	0,297472	0,00142	0,00015	9,612E-07	0,934	0,933	6,62E-06	5,525E-05	0,0003226	0,046	0,432	0,165	0,936	
MODAL	Mode	16	0,250235	0,00000	0,00038	1,214E-15	0,934	0,933	6,62E-06	0,0002891	5,081E-15	0,000007518	0,433	0,165	0,936	
MODAL	Mode	17	0,233683	0,00036	0,00000	4,363E-13	0,935	0,933	6,62E-06	4,115E-13	0,0001055	0,00001601	0,433	0,165	0,936	
MODAL	Mode	18	0,228327	0,00000	0,00000	0,000553	0,935	0,933	0,00056	0,0001206	0,001069	7,943E-08	0,433	0,166	0,936	
MODAL	Mode	19	0,228249	0,00000	0,00001	0,005283	0,935	0,933	0,005843	0,001194	0,006153	3,412E-07	0,434	0,173	0,936	
MODAL	Mode	20	0,226084	0,00004	0,00839	0,009753	0,935	0,942	0,016	0,009596	0,000254	0,000002793	0,444	0,173	0,936	

- b. Perbandingan geser dasar statis dan dinamis

Hasil analisa gempa SAP2000 didapat hasil untuk gaya geser gempa arah x dan arah y sudah memenuhi kontrol gaya geser gempa dan sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 syarat untuk kombinasi respons gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) harus lebih dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen. Apabila kurang dari 100% maka dikalikan dengan V/V_t , sehingga perencanaan re-desain struktur gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA telah dinyatakan aman. Hasil perbandingan geser dasar statis dan dinamis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan geser dasar statis dan dinamis

Base	Dinamik (V_{tx})	Statik (V)	Faktor skala	kontrol
Shear	Geser Dasar (kN)	Geser Dasar (kN)	V / V_{tx}	$(V_t) \geq 100\% V_s$
arah x	708143,19	560236,47	0,791134	OK
arah y	731480,76	560236,47	0,765894	OK

- c. Simpangan antar lantai

Hasil analisa SAP2000 bisa disimpulkan bahwa simpangan lantai arah x dan y sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1, karena simpangan antar lantai (Δ) tidak lebih dari simpangan antar tingkat izin (Δ_a), sehingga pada perencanaan re-desain gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA dapat dinyatakan aman. Tabel 5 dan Tabel 6 merupakan hasil simpangan lantai arah x dan y.

Tabel 5. Simpangan lantai arah x

Lantai	Hsx	dx	Δx	Δa (Ijin)	kontrol
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	$\Delta x < \Delta$ ijin
ATAP	3500	0,0585	0,0106	88	OK
ATAP / LT 8	4500	0,0566	0,0205	113	OK
Lantai 7	4500	0,0528	0,0346	113	OK
Lantai 6	4500	0,0466	0,0477	113	OK
Lantai 5	4500	0,0379	0,0587	113	OK

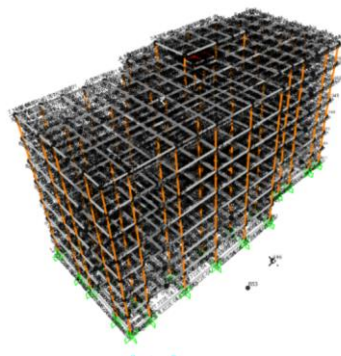
Lantai 4	4500	0,0272	0,0634	113	OK
Lantai 3	4500	0,0157	0,0558	113	OK
Lantai 2	4500	0,0056	0,0306	113	OK
Lantai 1	4500	0,0000	0,0000	113	OK

Tabel 6. Simpangan lantai arah y

Lantai	Hsx (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	Δa (Ijin) (mm)	kontrol $\Delta y < \Delta$ ijin
ATAP	3500	0,0640	0,0132	88	OK
ATAP/LT8	4500	0,0616	0,0246	113	OK
Lantai 7	4500	0,0572	0,0391	113	OK
Lantai 6	4500	0,0500	0,0526	113	OK
Lantai 5	4500	0,0405	0,0639	113	OK
Lantai 4	4500	0,0289	0,0675	113	OK
Lantai 3	4500	0,0166	0,0590	113	OK
Lantai 2	4500	0,0059	0,0322	113	OK
Lantai 1	4500	0,0000	0,0000	113	OK

2. Kontrol analisis rasio struktur

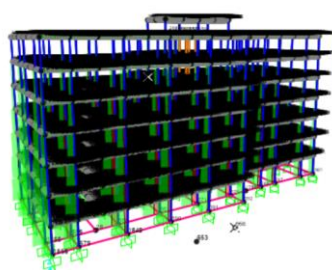
Pengecekan penampang pada struktur menggunakan SAP2000 untuk mengetahui kecocokan perencanaan material dan dimensi bentang dengan bentang, serta mengetahui kondisi struktur mengalami bekerja berlebihan (*overstressed*) atau dinyatakan aman. Berdasarkan hasil dari pengecekan di SAP2000 atau pada gambar 3, bahwa struktur pada perencanaan re-desain gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA dinyatakan aman dan tidak mengalami *overstressed*.



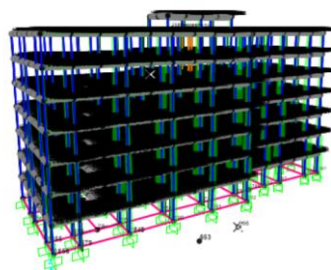
Gambar 3. Pengecekan kecocokan struktur

3. Pengecekan hasil analisis gaya lintang, momen, dan gaya aksial pada struktur

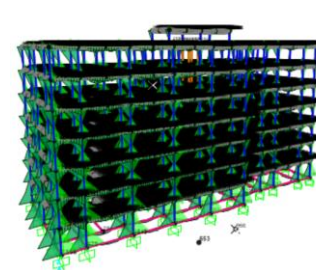
Berikut hasil dari analisa SAP2000 pada gaya dalam struktur perencanaan re-desain gedung Terpadu Psikologi Olahraga UNESA pada gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4. Gaya aksial



Gambar 5. Gaya lintang



Gambar 6. Gaya momen

3.4. Perhitungan penulangan struktur

3.4.1. Hasil perhitungan pelat

Penulangan pelat terdiri dari tulangan tumpuan arah x,y dan lapangan arah x,y. dikarenakan pada contoh perhitungan tulangan pelat tipe S1 ini memiliki dimensi yang simetris yakni panjang (lx) 4 meter dan (ly) 4 meter maka akan dihitung keseluruhan dengan Langkah yang sama dan dipakai satu model tulangan untuk kemudahan ketika pemasangan di lapangan. Pelat S1 menerima beban (qu) dengan kombinasi pembebanan 1,2 x 435,1(DL) + 1,6 x 300 (LL) sebesar 1002,12 kg/m². Mutu beton digunakan f'c 25 MPa dan mutu baja (fy 420) dan (fys 240) dengan ketebalan pelat 12 cm, selimut beton 25 mm, dan diameter (Ø) tulangan 10 mm. perhitungan momen pada pelat dengan menentukan koefisien berdasarkan dimensi pelat sesuai dengan tabel Marcus pada PBI 1971 didapat nilai lapangan (Clx dan Cly sebesar 21) dan nilai tumpuan (Ctx dan Cty sebesar 52) sehingga dapat dihitung momen tulangan lapangan dan tumpuan pelat dengan rumus :

$$M_{lx} \text{ dan } M_{ly} = 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot Clx = 336,71 \text{ Kgm}$$

$$M_{tx} \text{ dan } M_{ty} = 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot Ctx = 833,76 \text{ Kgm}$$

Dilanjut dengan perhitungan tebal manfaat pelat

$$D_x = \text{tebal pelat} - \text{decking} - 1/2 \text{ Ø} = 90 \text{ mm}$$

$$D_y = \text{tebal} - \text{decking} - \text{Ø} - 1/2 \text{ Ø} = 80 \text{ mm}$$

Perhitungan Tulangan Minimum dan Maximum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,019$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = 19,76$$

Perhitungan Tulangan Lapangan Arah X (Ø13-150)

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{3367123}{0,8} = 4208904 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,52$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times m \times R_n} \right) = 0,00125$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0033 > 0,00291 < 0,019$ (sehingga dipakai ρ_{min})

$$\rho_{perlu} = 0,0033$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 300 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan $\rightarrow S_{maks} < 2 \times \text{tebal pelat} \rightarrow S_{maks} < 240 \text{ mm}$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \text{Ø}^2 \times b}{A_s} = 261,67 \text{ mm} \text{ sehingga dipakai jarak antar tulangan } 150 \text{ mm}$$

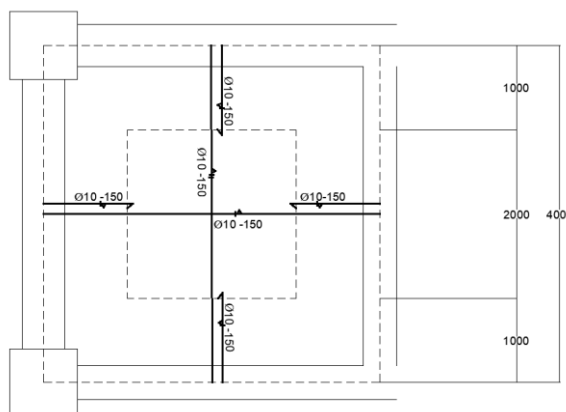
$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \text{Ø}^2 \times b}{S_{pakai}} = 523,33 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan telah memenuhi syarat $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$ sehingga dapat disimpulkan untuk tulangan lapangan arah X dipakai **Ø10-150**.

Perhitungan pada penulangan lapangan arah y dan tumpuan arah x,y sama dengan perhitungan penulangan lapangan arah x sehingga didapat rekapitulasi penulangan seperti pada Tabel 7 dan Gambar 7.

Tabel 7. Rekapitulasi penulangan pelat

Tipe	Ly	Lx	Ly/Lx	Lap X	Lap Y	Tump X	Tump Y
	m	m		mm	mm	mm	Mm
S1	4	4	1	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150
S2	4	4	1	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150



Gambar 7. Penulangan Pelat S1 dan S2

3.4.2. Hasil penulangan lentur dan geser balok

Tulangan lentur sudah memenuhi syarat gaya aksial sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.1.1 karena gaya tekan aksial (P_u) tidak lebih dari $A_g f_c / 10$, dan syarat tinggi efektif sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 dan as yang dipakai lebih dari as min dan as perlu sehingga dapat dinyatakan aman untuk penulangan lentur (utama). Berikut merupakan Tabel 8 hasil rekapitulasi tulangan lentur balok.

Tabel 2. Rekapitulasi tulangan Lentur Balok

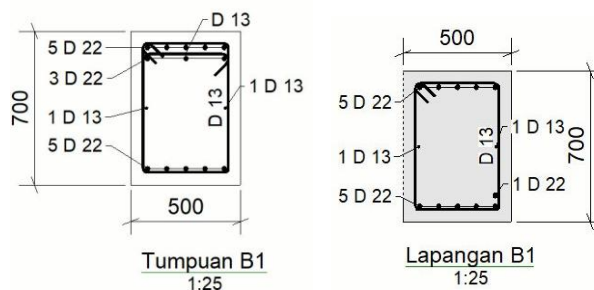
Nama	Ukuran Balok (b x h)	Bentang, L (mm)	Daerah	Letak Tulangan	As Perlu (SAP2000) mm ²	As min 1	As min 2	Ø mm	Luas mm ²	Jumlah	As Terpasang mm ²	Dipasang	
TB1	400 x 750	8000	Tumpuan	Atas	951	845,238	946,667	22	380,13	3	1140,398	3 D 22	
				Bawah	534	845,238	946,667	22	380,13	3	1140,398	3 D 22	
				Lapangan	Atas	265	845,238	946,667	22	380,13	3	1140,398	3 D 22
					Bawah	434	845,238	946,667	22	380,13	3	1140,398	3 D 22
B1	500 x 700	8000	Tumpuan	Atas	2959	982,143	1100	22	380,13	8	3041,062	8 D 22	
				Bawah	1409	982,143	1100	22	380,13	5	1900,664	5 D 22	
				Lapangan	Atas	919	982,143	1100	22	380,13	5	1900,664	5 D 22
					Bawah	1652	982,143	1100	22	380,13	6	2280,796	6 D 22
B1a	500 x 700	8000	Tumpuan	Atas	1837	982,143	1100	22	380,13	6	2280,796	6 D 22	
				Bawah	1105	982,143	1100	22	380,13	5	1900,664	5 D 22	
				Lapangan	Atas	587	982,143	1100	22	380,13	5	1900,664	5 D 22
					Bawah	921	982,143	1100	22	380,13	6	2280,796	6 D 22

B2	400 x 600	8000	Tumpuan	Atas	750	982,143	1100	19	283,53	5	1417,644	5	D	19	
				Bawah	506	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19	
				Lapangan	Atas	228	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19
					Bawah	993	982,143	1100	19	283,53	5	1417,644	5	D	19
B3	300 x 500	4000	Tumpuan	Atas	1116	982,143	1100	19	283,53	5	1417,644	5	D	19	
				Bawah	534	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19	
				Lapangan	Atas	353	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19
					Bawah	451	982,143	1100	19	283,53	5	1417,644	5	D	19
B4	300 x 400	4000	Tumpuan	Atas	358	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19	
				Bawah	177	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19	
				Lapangan	Atas	88	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19
					Bawah	341	982,143	1100	19	283,53	4	1134,115	4	D	19

Tulangan geser (sengkang) menggunakan Av dengan jarak sengkang dan dimensi tulangan hasil dari analisa SAP2000, berikut Tabel 9 merupakan dimensi dan jumlah tulangan dengan maksimal jarak tulangan 150 mm.

Tabel 3. Penulangan Geser Balok

Nama	Ukuran Balok (b x h)	Bentang, L	Gaya Aksial Pu	Daerah	Av / Sperlum ² /mm	Ø mm	Jumlah Kaki	Luas mm ²	S perlu mm	S pakai mm	Dipasang			
TB1	400 x 750	8000	12	Tumpuan	1,564	13	2	265,46	169,73	132,000	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,44	13	2	265,46	184,35	184,350	2	D	13	- 150
B1	500 x 700	8000	24,852	Tumpuan	1,272	13	2	265,46	208,7	208,699	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,056	13	2	265,46	251,39	251,387	2	D	13	- 150
B2	400 x 700	8000	15,87	Tumpuan	1,026	13	2	265,46	258,74	150,000	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,963	13	2	265,46	275,66	275,664	2	D	13	- 150
B3	300 x 500	4000	5,21	Tumpuan	1,181	13	2	265,46	224,78	150,000	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,965	13	2	265,46	275,09	230,000	2	D	13	- 150
B4	300 x 400	4000	1,25	Tumpuan	0,895	10	2	157,08	175,51	150,000	2	D	10	- 100
				Lapangan	0,818	10	2	157,08	192,03	180,000	2	D	10	- 150



Gambar 1. Contoh detail balok

3.4.3. Hasil penulangan lentur dan geser kolom

Penulangan dimensi tulangan lentur (utama) sesuai dengan As perlu yang didapat dari SAP2000 dan dipakai tulangan yang memiliki As lebih besar seperti pada tabel 10. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1. pemakaian dimensi tulangan sudah sesuai.

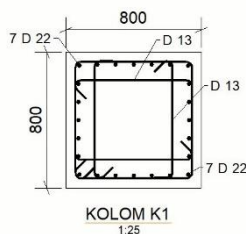
Tabel 4. Rekapitulasi tulangan lentur kolom

Nama	Ukuran Kolom	As perlu mm ²	∅ mm	Gaya Aksial Pu (Kolom)	Luas mm ²	Jumlah	As Terpasang mm ²	Syarat As Terpasang >= As perlu	Dipasang
K1	800 x 800	6400	22	5934,2	380,13	22	8363	OK	22 D 22
K1a	800 x 800	8063	22	2801	380,13	24	9123	OK	24 D 22
K1b	800 x 800	6520	22	3568,2	380,13	20	7603	OK	20 D 22
K1c	800 x 800	6400	22	660,03	380,13	18	6842	OK	18 D 22
K2	700 x 700	4900	22	4084,9	380,13	18	6842	OK	18 D 22
K3	680 x 680	4624	22	839,99	380,13	16	6082	OK	16 D 22
K4	600 x 600	3600	19	193,34	283,53	16	4536	OK	16 D 19
KL	430 x 430	1849	19	163,5	283,53	10	2835	OK	10 D 19

Perhitungan tulangan geser (sengkang) menggunakan hasil dari analisa SAP2000 berupa Av untuk menentukan dimensi dan jarak tulangan yang dibutuhkan. Berdasarkan SNI 2847:2019 perhitungan pada penulangan lentur dan geser sudah memenuhi syarat. Tabel 11 merupakan hasil rekapitulasi tulangan geser kolom.

Tabel 5. Rekapitulasi tulangan geser kolom

Nama	Ukuran Kolom	Av / Sperlu mm ² / mm	∅ mm	Luas mm ²	S perlu mm	Spasi Max 1 mm	Spasi Max 2 mm	S pakai mm	Dipasang
K1	800 x 800	0,670	13	796,39	1188,6	132	150	150	6 D 13 - 150
K2	700 x 700	0,586	13	796,39	1359	132	150	150	6 D 13 - 150
K3	680 x 680	0,787	13	530,93	674,62	132	150	150	4 D 13 - 150
K4	600 x 600	1,060	13	530,93	500,88	114	150	150	4 D 13 - 150
KL	430 x 430	0,141	13	530,93	3765,5	114	150	150	4 D 13 - 150



Gambar 2. Contoh detail kolom

3.4.4. Perhitungan pondasi

Perhitungan pondasi menggunakan dasaran dari hasil tes sondir pada tanah sehingga didapat data berupa hasil qc sebesar 200 kg/cm², tf sebesar 1200 kg/cm, dan kedalaman tanah keras pada 12 meter dari permukaan tanah. Berdasarkan hasil didapat beban terbesar dari struktur atas yang disalurkan melalui kolom sebesar (P) 672,28 ton, sehingga direncanakan diameter *spoonpile* 60 cm. berikut perhitungan pondasi :

a. Menghitung *Properties* Tiang

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2826 \text{ cm}^2$$

$$Vd = A \times L = 3391200 \text{ cm}^2$$

$$K = \pi \times d = 188,4 \text{ cm}$$

b. Menghitung Daya Dukung *Ultimate*

$$Q_u = \frac{q_c \times A}{3} + \frac{T_f \times K}{5} = 233,616 \text{ ton}$$

c. Menghitung Daya Dukung Netto

$$W = Vd \times \gamma \text{ beban} = 8,139 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{nett}} = Q_u - W = 225,48 \text{ ton}$$

d. Menghitung kebutuhan Pondasi

$$N = \frac{P}{Q_{\text{nett}}} = 2,2982 \text{ buah sehingga dibulatkan menjadi 4 buah } \textit{spoonpile} \text{ (25)}$$

e. Menghitung Efisiensi Pondasi

$$m = \text{jumlah baris} = 2, \quad n = \text{Jumlah tiang} = 2$$

$$s = 2,5d - 4d = \text{didapat jarak antar } \textit{spoonpile} \text{ dengan kisaran 150-240 cm sehingga dipakai 175 cm}$$

$$\theta = \arctan \frac{d}{s} = 18,925$$

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\theta(n'-1)m + (n-1)n'}{90 \times m \times n'} = 0,889$$

f. Menghitung Daya Dukung Izin

$$Q_{\text{izin}} = n \times \text{Eff} \times Q_{\text{netto}} = 802,074 \text{ ton}$$

Kontrol daya dukung tiang pancang *spoonpile* sudah sesuai

$$P < Q_{\text{izin}}$$

3.4.5. Perhitungan pilecap

Direncanakan pilecap dengan dimensi 3500/3500 mm dengan ketebalan 800 mm, selimut beton 70 mm, menahan beban (P) hasil dari analisa SAP2000 sebesar 672,28 ton dari kolom tipe K1 80/80 cm, ditahan dari bawah oleh 4 buah *spoonpile* (ns) dengan jarak antar tiang (s) 1,75 meter, jarak *spoonpile* ke tepi pilecap 875 mm. digunakan mutu beton $f'c$ 25 MPa, mutu baja f_y 420 MPa. Sesuai dengan SNI 2847-2019. Pasal 22.6.5.3 digunakan as sebesar 40, sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

Perhitungan tulangan bawah (tarik) pilecap D16-150

$$\text{Lebar penampang kritis. } B = \text{lebar pilecap}/2 - \text{lebar kolom}/2 = 1750 - 400 = 1350 \text{ mm} \quad (29)$$

$$\text{Berat pilecap pada penampang kritis } q' = 2400 \times 3,5 \times 0,8 = 6720 \text{ kg/m} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 2 \times (P_u/n_s \times s) - 1/2 \times q' \times B^2 \\ &= 2 \times 294,12 - 3360 \times 1,8225 \\ &= 582121,4 \text{ kgm} = 582,12 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$R_n = \text{Mu}/(\phi \times b \times d) = 0,3468$$

$$\rho_{\text{perlu}} = ((0,85 \times 25/420) \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,3968}{0,85 \times 25}})) = 0,00083$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,001 \times 3500 \times 730 = 2127,1 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times 3500 \times 800 = 5040 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan tarik **D16-150** mm dan terpasang = $(3500-70 \times 2)/150 + 1 = 23,4$ dibulatkan menjadi 24 buah tulangan

$$A_s = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 23,4 \times 256 = 4702,464 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon_H = 0 \rightarrow C_c = T_s = (0,85 \times f'c \times a \times b = A_s \times f_y \rightarrow a = (A_s \times f_y)/(0,85 \times f'c \times b))$$

$$a = (A_s \times f_y)/(\beta \times f'c \times b) = 1975034,88/74375 = 26,56 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta = 26,56/0,85 = 31,241$$

kontrol leleh tulangan

$$\epsilon_s = (d-c)/c \times \rho_{perlu} = 0,02133 > f_y/E_s \text{ modulus} = 0,0021s$$

Sehingga tulangan sudah meleleh

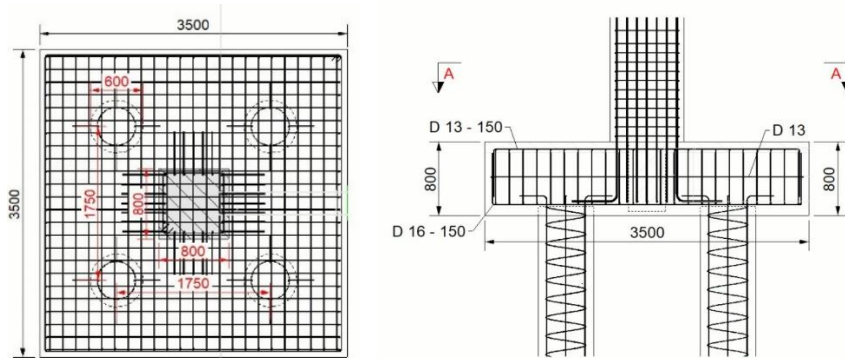
$$\epsilon_t = \epsilon_s \rightarrow 0,02133 > 0,005 \rightarrow \theta = 0,9$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times L \times (d - (a/2)) = 1415551847 \text{ KNm} = 1415,55 \text{ KNm}$$

Kontrol daya dukung pilecap sudah memenuhi syarat $M_n \times \theta > M_u$ berat pilecap $\rightarrow 1273,997 \text{ KNm} > 666,156 \text{ KNm}$.

Tabel 12. Tulangan pilecap

Tulangan Tarik (Bawah)	Tulangan Tekan (atas) 20% dari tulangan utama
D16-150	D13-150



Gambar 10. Detail tulangan pilecap

4. Kesimpulan

Hasil analisa yang telah dilakukan dalam penelitian perencanaan ini dapat disimpulkan yaitu:

- Perubahan Struktur atas Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya yang didapat dari hasil perhitungan SAP2000 sebagai berikut :
 - Digunakan ketebalan struktur pelat lantai (tipe S1) 12 cm dengan tulangan $\emptyset 10-150$ dan ketebalan pelat atap (tipe S2) 10 cm dengan tulangan $\emptyset 10-150$.
 - Digunakan dimensi dan tulangan pada tiebeam dan balok tipe TB1 (40/75 cm 6D22), B1 (50/70 cm 13D22), B1a (50/70 cm 11D22), B2 (40/60 cm 9D19), B3 (30/50 cm 9D19), B4 (30/40 cm 8D19).
 - Digunakan dimensi dan tulangan kolom tipe K1 (80/80 cm 22D22), K1a (80/80 cm 24D22), K1b (80/80 cm 20D22), K1c (80/80 cm 18D22), K2 (70/70 cm 18D22), K3 (68/68 cm 16D22), K4 (60/60 cm 16D19), KL (43/43 cm 10D19).
- Perubahan Struktur bawah Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya dari perhitungan struktur bawah sebagai berikut :
 - Digunakan 4 *spoonpile* di setiap pilecap dengan diameter 60 cm dan panjang 12 meter.
 - Digunakan dimensi pilecap 350/350 cm dengan tulangan bawah (tarik) $\emptyset 16-150$ dan tulangan atas (tekan) $\emptyset 13-150$.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pengawas proyek Gedung Terpadu Psikologi Olahraga Universitas Negeri Surabaya yang telah memberikan *detail engineering design (DED)* sebagai pendukung dalam penelitian ini.

Referensi

Anggoro Wiratmoko, B., Winarto, S., & Cahyo, Y. (2019). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Ketahanan Pangan Nganjuk. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 2(1), 106.

<https://doi.org/10.30737/jurmateks.v2i1.396>

- ARFIANTI RUKMANA, S. (2020). *PERBANDINGAN MODEL STRUKTUR MENGGUNAKAN METODE MATRIKS DENGAN PROGRAM SAP 2000*. 1-6.
- Junito Martins, C., Triwuryanto, & Maulana, R. (2020). *Analisis Rab Pembangunan Rumah Tempat Tinggal Type 120 Di Kabupaten Sleman*. 01(01), 31-40.
- Leonard, A., Dundu, T. A. K. T., & Walangitan, D. R. O. (2019). Perataan Tenaga Kerja Dengan Menggunakan Microsoft Project Pada Proyek Rehabilitasi Puskesmas Minanga. *Jurnal Sipil Statik*, 7(10), 1261-1268.
- Nofiyanto, A., Sukrawa, M., & Putera, A. A. (2013). Perencanaan Struktur Stadion Menggunakan Integrasi Tekla Structure Dan Sap2000. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17(2), 139-144.
- Odja, M. O., Likadja, F. J., Ina, W. T., & Pella, S. I. (2021). Penggunaan Microsoft Excel untuk Kemudahan Pengolahan Data Nilai Hasil Belajar Siswa. *ABDIMAS Jurnal LPPM Undana*, 15(2), 22-29.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983), Bandung
- Putri, D. E., & Ambarawati, D. K. (2018). REDESIGN GEDUNG PASCASARJANA POLITEKNIK KESEHATAN SEMARANG. In *Galang Tanjung* (Issue 2504). UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG.
- Rizaludin, Winarto, S., & Ridwan, A. (2020). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Pasca Sarjana Fakultas Teknik Universitas Kadiri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 55. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i1.889>
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI - 1726 - 2020 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI - 1727 - 2019 Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019, Desember 19). SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan. Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia.
- Tugiono, S. S. (2021). *PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG STUDENT APARTMENT, YOGYAKARTA*.
- Mahendrayu, B., & Kartini, W. (2019). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil KERN*, 2(2), 121-130.



Penggunaan serat pandan duri (*Pandanus tectorius*) sebagai pengganti *fiber glass* pada list profil gypsum

Assyifa Rahmadanisa^{a*}, Puji Dewi Lestari^b, Shifa Fauziyah^c, Hartono^d

^{a*, b, c, d} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

arahmadanisa@gmail.com

Article history:

Received : 11 July 2023

Revised : 7 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Gypsum Profile List, Thorn
Pandanus Fiber, Gypsum Flour

ABSTRACT

The gypsum profile list is a material made from gypsum flour which in its manufacture uses fiberglass as reinforcement to strengthen the gypsum profile list. Currently, natural fibers are being developed so that they can be alternative materials to replace fiberglass or synthetic fibers which are difficult to decompose. One of the natural fibers is pandan leaf fiber which is included in the Pandanaceae family such as pandanus thorns. Thorn pandanus are known to have long, strong, and flexible leaves. The purpose of this study was to determine whether thorn pandanus fiber with certain variations can be used as a substitute for fiberglass in the manufacture of gypsum profile lists. In addition to knowing the composition of the mixture between thorn pandanus fiber and gypsum flour in order to obtain the optimum composition. This research refers to SNI 01-4449-2006 regarding fiberboard for testing density, thickness expansions, and flexural strength while testing water absorption using FAO standards. Based on the test results, it was found that the most optimum composition of the gypsum profile list mixture was found in sample B with 99% gypsum flour: 1% thorn pandanus fiber which had a density value of 0.805 g/cm³, a water absorption value of 27.87%, a thickness expansion of 1.92 %, and flexural strength 10410.7 kgf/cm² due to the results of density, thickness expansion, and flexural strength complies with SNI 01-4449-2006 standards regarding fiberboard while the water absorption test complies with FAO standards.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Pada dasarnya list profil gypsum merupakan bahan atau material yang sering digunakan untuk *finishing* pada bangunan. Material ini memiliki karakter yang kaku, getas, serta berat. List profil gypsum menggunakan *fiber glass* sebagai tulangan untuk memperkuat list profil gypsum tersebut. Untuk itu, dengan mencampurkan *fiber glass* ke komposisi list profil gypsum akan menjadi lebih lentur, lebih ringan, serta lebih rapi ketika dipotong. Serat sintetis atau *fiber glass* memiliki harga yang cukup mahal di pasaran. Menurut Perdana (2016) serat sintetis yang sulit diuraikan dapat diganti dengan menggunakan serat alam. Tanaman pandan duri menjadi salah satu serat alam yang masih banyak ketersediannya di alam. Umumnya pandan duri dimanfaatkan untuk membuat kerajinan tangan. Serat pandan duri merupakan jenis serat alam yang masuk dalam suku *Pandanaceae* yang banyak ditemukan di pesisir pantai (Permata, 2020). Pandan duri dikenal memiliki daun yang panjang, kuat dan lentur. Ketersediaan pandan duri di alam masih sangat besar dan berpotensi untuk diolah menjadi serat. Selain dari itu, pandan duri masih belum banyak dimanfaatkan secara efektif. Serat alam inilah yang memungkinkan dipakai sebagai pengganti *fiber glass* (Fathurrahman dkk, 2020).

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mencari bahan pengganti *fiber glass* (serat sintetis). Beberapa diantaranya menggunakan serat daun nanas, serat rami, batang kelor dan lain-lain. Menurut Malika (2021) variasi serat batang kelor tertentu dapat digunakan sebagai bahan pengganti serat fiber dalam pembuatan lis profil gypsum dengan komposisi campuran paling optimum adalah komposisi 2% serat:98% tepung gypsum dengan hasil uji sifat fisis dan sifat mekanik telah memenuhi syarat SNI 01-4449-2006. Hasil penelitian yang dilakukan Rizki dkk (2023) menunjukkan hasil bahwa serat rami sebagai bahan pembuatan list gypsum memiliki nilai gaya maksimum dan regangan yang lebih besar dari nilai standar SNI 01-4449-2006 dan didapatkan komposisi yang optimum adalah campuran serat 2%:list gypsum 98%.

Saat ini, sudah ada penelitian mengenai serat pandan duri tetapi belum ada penelitian yang menggunakan serat pandan duri dalam pembuatan list profil gypsum. Pandan duri memiliki kandungan selulosa yang tinggi. Selulosa pada pandan duri membentuk polisakarida yang merupakan hasil fotosintesis. Selulosa berfungsi memberikan kekuatan tarik sel dari adanya ikatan kovalen antar unit gula penyusun selulosa. Sehingga tingginya tingkat kelenturan berbanding lurus dengan tinggi kadar selulosa (Winarni & Waluyo, 2006). Serat pandan duri menjadi salah satu tanaman yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi (Sunardi dkk, 2014).

Hal ini membuat peneliti ingin melakukan penelitian ini untuk mencari kebaruan serta inovasi dalam memanfaatkan tanaman pandan duri. Berdasarkan uraian tersebut, maka akan dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah serat pandan duri dengan variasi tertentu dapat digunakan sebagai pengganti *fiber glass* dalam pembuatan list profil gypsum, mengetahui komposisi campuran antara serat pandan duri dengan tepung gypsum agar diperoleh komposisi yang optimum serta menganalisis perbandingan biaya pembuatan list profil gypsum konvensional dan inovasi. Sehingga dapat menghasilkan list profil gypsum inovasi yang berkualitas dan ramah lingkungan.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Metode pengumpulan data pada penelitian ini adalah studi literatur dan metode eksperimental. Data studi literatur didapat dari jurnal-jurnal ilmiah terkait dengan penelitian ini kemudian digunakan dan dijadikan rujukan dalam pelaksanaan penelitian. Sedangkan metode eksperimental dilakukan secara langsung oleh penulis untuk mendapatkan data-data dan hasil pengujian yang valid.

2.2. Alat dan bahan penelitian

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya timbangan digital, wadah, pengaduk, cetakan sampel uji, pisau, gunting, jarum, alat UTM (*Universal Testing Machine*), dan jangka sorong. Selain itu, bahan yang digunakan dalam pembuatan list profil gypsum adalah casting gypsum, serat pandan duri, air, dan minyak goreng.

2.3. Pembuatan serat pandan duri

Pada tahap ini tanaman pandan duri yang didapatkan akan diolah menjadi serat sebelum nantinya digunakan sebagai pengganti *fiber glass* pada list profil gypsum. Pandan duri dibersihkan bagian durinya yang ada pada tepi daun kemudian direbus selama ±2 jam bertujuan untuk melunakan pandan duri. Setelah itu, pada tahap pengeringan pandan duri dijemur kurang lebih selama 3 hari. Pandan duri yang sudah kering akan diuraikan menjadi serat. Proses pembuatan serat pandan duri seperti pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 1. Daun Pandan Duri **Gambar 2.** Pandan yang Dikeringkan **Gambar 3.** Serat Pandan Duri

2.4. Komposisi campuran

Peneliti membuat variasi komposisi campuran guna mengetahui perbandingan antara serat pandan duri dengan tepung gypsum agar menghasilkan list profil gypsum yang sesuai SNI 01-4449-2006. Pada SNI 01-4449-2006 untuk nilai densitas kisaran 0,40 – 0,84 g/cm³ (Papan Serat Kerapatan Sedang), pengujian, nilai pengembangan tebal < 10% dan keteguhan lentur mensyaratkan nilai ≥ 15,0 kgf/cm². Standar SNI 01-4449-2006 tidak menetapkan nilai daya serap air. Karena keterbatasan literatur mengenai standar nilai daya serap air maka dalam penelitian ini, untuk pengujian daya serap air menggunakan standar mutu FAO (*Food and Agriculture Organization*) dengan nilai 20-75%. Penelitian ini akan menggunakan 4 variasi pencampuran seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi komposisi campuran list profil gypsum

Sampel	Serat pandan duri (%)	Tepung gypsum (%)
A	0	100
B	1	99
C	2	98
D	3	97

2.5. Pembuatan list profil gypsum

Adapun langkah-langkah pembuatan list profil gypsum dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Siapkan bahan untuk pembuatan list profil gypsum antara lain casting gypsum, serat pandan duri, dan air.
2. Siapkan peralatan untuk membuat list profil gypsum seperti, wadah, timbangan digital, alat pengaduk, cetakan sampel uji dengan ukuran 10x10x1 cm³, 5x5x1 cm³ dan 5x17x1 cm³.
3. Timbanglah tepung gypsum dan serat pandan duri sesuai dengan variasi komposisi yang direncanakan.
4. Siapkan wadah lalu campurkan tepung gypsum, air dan serat pandan duri aduk hingga rata dengan persentase komposisi campuran.
5. Lumuri cetakan dengan minyak goreng agar adonan tidak menempel di cetakan.
6. Tuangkan adonan yang telah dibuat ke dalam cetakan sebagai lapisan pertama.

7. Susun serat pandan duri pada lapisan kedua hingga merata dan rapikan. Kemudian tuangkan kembali adonan pada lapisan ketiga atau terakhir.
8. Rapikan permukaan atas agar sampel menjadi rata dengan cetakan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembuatan List Profil Gypsum

9. Diamkan sekitar 20-30 menit hingga list profil gypsum mengering lalu keluarkan dari cetakan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Sampel List Profil Gypsum

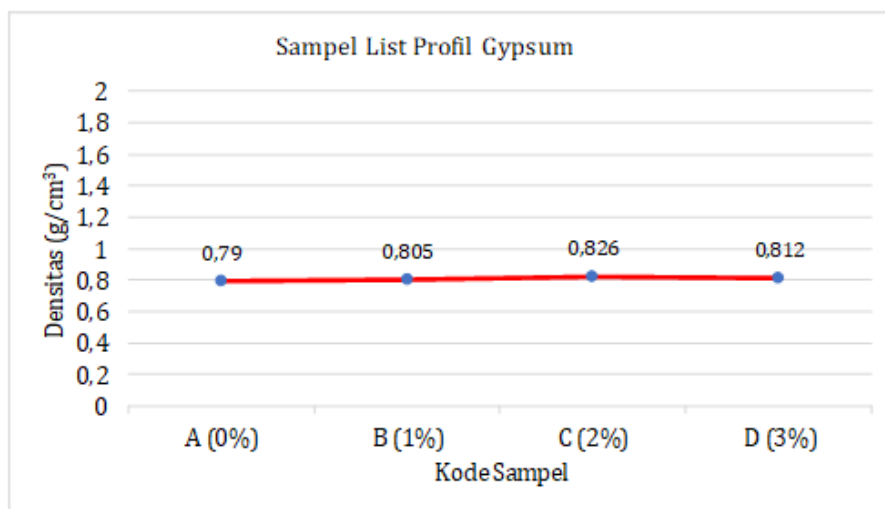
10. Keringkan list profil gypsum usahakan tidak terkena sinar matahari langsung selama ± 7 hari.
11. List profil gypsum siap diuji.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil pengujian sifat fisis

3.1.1. Densitas

Pengujian densitas menggunakan sampel berukuran $10 \times 10 \times 1 \text{ cm}^3$ yang telah dikeringkan selama ± 7 hari. Kemudian sampel ditimbang menggunakan timbangan digital lalu dilakukan perhitungan massa jenis sampel dengan rumus massa dibagi dengan volume sampel. Data hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Nilai Densitas Sampel

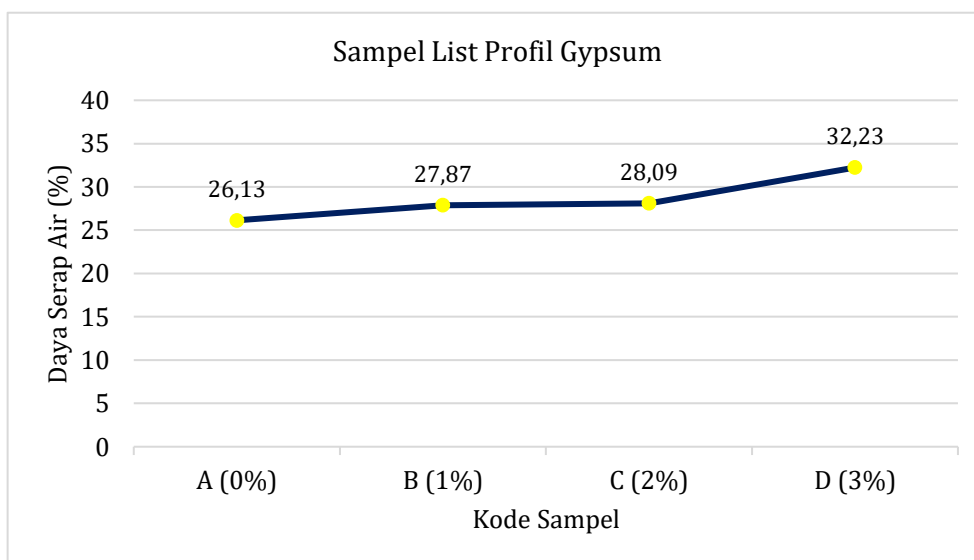
Pada Gambar 6. dapat dilihat nilai densitas dari list profil gypsum sampel A sebesar $0,79 \text{ g/cm}^3$, sampel B sebesar $0,805 \text{ g/cm}^3$, sampel C sebesar $0,826 \text{ g/cm}^3$, dan sampel D sebesar $0,812 \text{ g/cm}^3$. Menurut Hisyam, M. dan Fauzi Widyawati (2021), perbedaan yang tidak jauh berbeda dari hasil densitas yang diperoleh disebabkan karena sedikitnya selisih persentase serat pada komposisi papan gypsum. Dilihat dari hasil pengujian densitas atau kerapatan, maka list profil gypsum ini termasuk jenis Papan Serat Kerapatan Sedang (PSKS) sesuai dengan klasifikasi papan serat berdasarkan kerapatannya yang tertera pada SNI 01-4449-2006. Untuk papan serat kerapatan sedang mensyaratkan nilai densitas kisaran $0,40\text{--}0,84 \text{ g/cm}^3$. Pada penelitian ini semua sampel list profil gypsum telah memenuhi standar nilai SNI 01-4449-2006. Namun, pada sampel D terlihat mulai mengalami penurunan nilai densitas sehingga sampel list profil gypsum C memiliki kerapatan yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga sampel lainnya.

Dari Gambar 6. terlihat nilai densitas mengalami penurunan pada sampel D yaitu dengan penambahan 3% serat pandan duri. Kenaikan persentase densitas berbanding lurus dengan tingginya kadar bahan pengisi. Penurunan nilai densitas disebabkan serat yang kurang merata (Amaliyah, D. M. dan Saibatul Hamdi, 2015). Terjadinya penurunan nilai densitas pada variasi 40% disebabkan karena adanya void atau gelembung yang terbentuk pada sampel (Mufidun, A. dan Ahmad Abtokhi, 2016). Trisna, H dan Alimin Mahyudin (2012) dalam penelitiannya mengatakan bahwa bertambahnya serat yang melebihi batas membuat rongga udara pada sampel semakin besar, sehingga nilai kerapatannya akan semakin rendah.

Beberapa pernyataan tersebut memperkuat hasil pengujian, sampel D mengalami penurunan karena lebih banyak mengandung serat pandan duri dibandingkan dengan tepung gypsum. Sehingga saat proses pencetakan sampel, serat pandan duri yang dimasukkan ke dalam cetakan tidak merata. Kemudian saat masa pengeringan sampel terbentuklah celah atau rongga udara yang mengakibatkan nilai densitas mengalami penurunan.

3.1.2. Daya resap air

Pengujian daya serap air menggunakan sampel berukuran $10 \times 10 \times 1 \text{ cm}^3$ yang telah dikeringkan selama ± 7 hari. Kemudian dilakukan perendaman sampel selama 2 jam lalu sampel ditimbang untuk mendapatkan massa basah. Setelah itu dilakukan perhitungan selisih massa kering dan massa basah sampel uji. Data hasil pengujian daya serap air dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nilai Daya Serap Air Sampel

Pada Gambar 7. menunjukkan nilai daya serap air list profil gypsum mengalami kenaikan semakin bertambahnya serat pandan duri. Daya serap air rata-rata sampel A sebesar 26,13%, sampel B sebesar 27,87%, sampel C sebesar 28,09%, dan sampel D sebesar 32,23%. Dalam SNI 01-4449-2006 untuk daya serap air tidak ada nilai yang disyaratkan tetapi nilai daya serap air juga berpengaruh pada kualitas papan serat (Kurniawati, 2015). Walaupun standar SNI 01-4449-2006 tidak menetapkan nilai

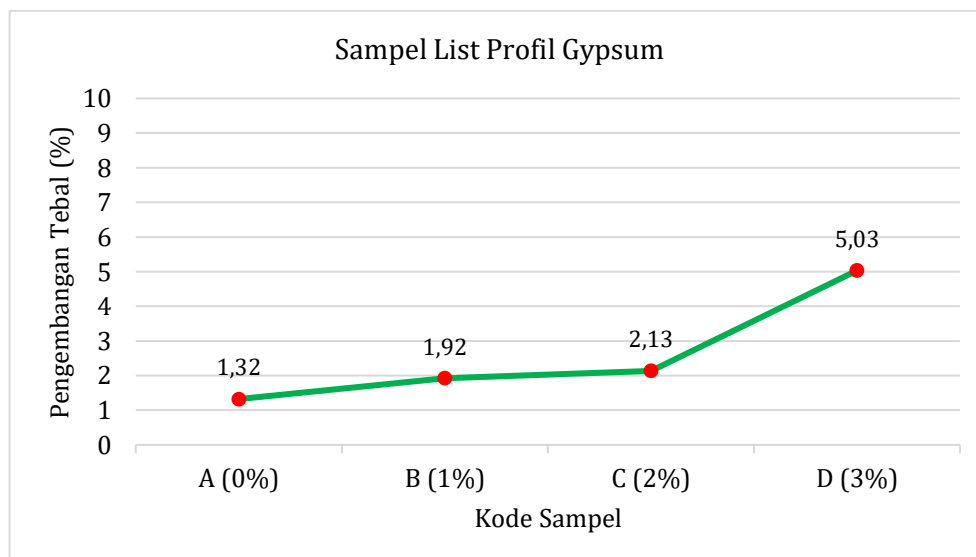
maksimal daya serap air, tetapi pengujian daya serap air perlu dilakukan untuk mengetahui ketahanan list profil gypsum terhadap air. Nilai daya serap air ini juga akan berpengaruh terhadap nilai pengembangan tebal sampel. Tidak seperti ketiga pengujian yang lainnya yaitu densitas, pengembangan tebal, dan keteguhan lentur yang menggunakan standar SNI 01-4449-2006 karena keterbatasan literatur mengenai standar nilai daya serap air maka dalam penelitian ini, untuk pengujian daya serap air menggunakan standar mutu FAO (*Food and Agriculture Organization*) dengan nilai maksimum 20-75%. Untuk variasi yang menggunakan serat pandan duri yaitu variasi sampel B, C, dan D ternyata variasi sampel B dengan 1% serat pandan duri memiliki nilai daya serap air paling baik.

Dari Gambar 7. terlihat nilai daya serap air mengalami kenaikan persentase walaupun tidak signifikan. Kurniawati (2015) dalam hasil penelitiannya menjelaskan bahwa nilai daya serap air akan semakin rendah apabila kadar perekat semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian dimana sampel D yang mengandung 97% tepung gypsum:3% serat pandan duri lebih besar penyerapan airnya dibandingkan dengan sampel C 98% tepung gypsum:2% serat pandan duri, sampel B 99% tepung gypsum:1% serat pandan duri, dan sampel A 100% tepung gypsum:0% serat pandan duri.

Hasil pengujian menunjukkan semakin kecil penambahan serat pandan duri maka semakin rendah nilai daya serap air yang dihasilkan. Apabila serat pandan duri yang digunakan bertambah banyak maka air akan lebih mudah masuk atau menyerap sehingga nilai penyerapan air semakin besar. Selain itu, nilai densitas berbanding terbalik dengan daya serap air. Artinya semakin tinggi persentase penyerapan air maka semakin rendah nilai densitas yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan pada sampel D yang memiliki kadar serat pandan duri sebanyak 3% mengalami penurunan nilai densitas dan daya serap airnya.

3.1.3. Pengembangan tebal

Pengujian pengembangan menggunakan sampel berukuran 5x5x1 cm³ yang telah dikeringkan selama ±7 hari. Kemudian dilakukan perendaman sampel selama 24 jam pada suhu kamar lalu diukur ketebalannya menggunakan jangka sorong. Setelah itu dilakukan perhitungan selisih massa kering dan massa basah sampel uji. Data hasil pengujian pengembangan tebal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Nilai Pengembangan Tebal Sampel

Pada Gambar 8. menunjukkan nilai pengembangan tebal list profil gypsum dimana sampel A memiliki nilai sebesar 1,32%, sampel B sebesar 1,92%, sampel C sebesar 2,13%, dan sampel D sebesar 5,03%. Pada sampel A memiliki nilai pengembangan tebal terkecil sedangkan nilai pengembangan terbesar terdapat pada sampel D. Berdasarkan SNI 01-449-2006 mengenai pengembangan tebal setelah perendaman air selama 24 jam maka list profil gypsum ini termasuk dalam Tipe 15 dengan syarat pengembangan tebal < 10%. Jika dilihat dari nilai yang disyaratkan dalam SNI 01-4449-2006 maka pada penelitian ini semua sampel list profil gypsum telah memenuhi standar nilai SNI 01-4449-

2006. Akan tetapi sampel B memiliki nilai pengembangan tebal yang paling baik dikarenakan nilai pengembangan tebal pada sampel B lebih kecil dibandingkan dengan sampel C dan D.

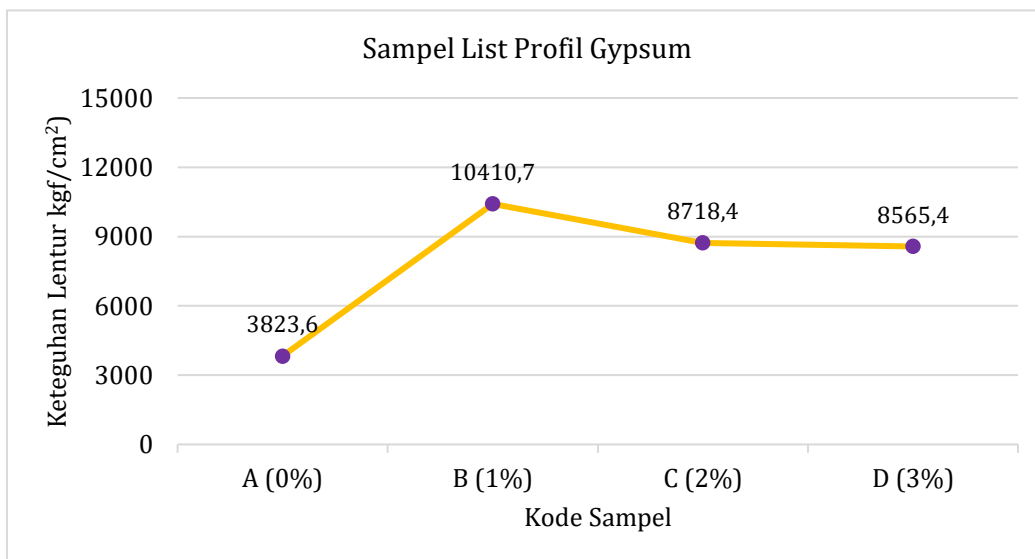
Dari Gambar 8. dapat dilihat kenaikan pengembangan tebal yang cukup signifikan pada sampel D. Amaliyah, D. M. dan Saibatul Hamdi (2015) menjelaskan bahwa pengembangan tebal berhubungan dengan daya serap air. Hal ini memperkuat hasil pengujian penelitian ini, dimana sampel A mengandung 0% serat pandan duri, sampel B mengandung 1% serat pandan duri, sampel C mengandung 2%, dan sampel C mengandung 3% serat pandan duri. Sehingga semakin bertambahnya serat pandan duri maka persentase tepung gypsum semakin berkurang. Akibatnya sampel list profil gypsum dengan serat pandan duri yang lebih banyak akan lebih mudah menyerap air.

Pengembangan tebal berhubungan dengan densitas. Menurut Nurhanisa, dkk (2021), suatu bahan yang berkepadatan kecil memiliki nilai pengembangan tebal yang besar. Hal tersebut diperkuat dari hasil pengujian penelitian ini, dimana sampel D yang mengalami penurunan densitas memiliki persentase nilai pengembangan tebal yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel A, B, dan C. Ini berarti sampel list profil gypsum yang berkepadatan lebih rendah akan menyerap air lebih banyak sehingga mempengaruhi ketebalan sampel tersebut. Air masuk dari rongga-rongga udara pada sampel yang terbentuk karena penambahan serat pandan duri yang semakin banyak.

3.2. Hasil pengujian sifat mekanik

3.2.1. Keteguhan lentur

Pengujian pengembangan menggunakan sampel berukuran $5 \times 17 \times 1 \text{ cm}^3$ yang telah dikeringkan selama ± 7 hari. Pengujian ini menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Data hasil pengujian keteguhan lentur dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Nilai Keteguhan Lentur Sampel

Pada Gambar 9. hasil pengujian keteguhan lentur terendah terdapat pada sampel A dengan 0% serat yaitu $3823,6 \text{ kgf/cm}^3$. Selanjutnya sampel B dengan persentase serat 1% mengalami peningkatan yang signifikan, nilai keteguhan lentur yang diperoleh adalah $10410,7 \text{ kgf/cm}^3$. Pada sampel C dengan persentase serat 2% mulai mengalami penurunan keteguhan lentur menjadi $8718,4 \text{ kgf/cm}^3$. Namun, penambahan serat pandan duri yang melebihi kadar optimum membuat nilai keteguhan lentur terus menurun, seperti yang terlihat pada sampel D persentase serat 3% diperoleh nilai keteguhan lenturnya adalah $8565,4 \text{ kgf/cm}^3$. Sehingga dalam persentase 1% serat pandan duri diperoleh nilai optimum keteguhan lentur sampel list profil gypsum.

Berdasarkan SNI 01-4449-2006 nilai keteguhan lentur sampel list profil gypsum telah memenuhi syarat yaitu $\geq 15,0 \text{ kgf/cm}^2$. Pada penelitian ini semua sampel list profil gypsum memenuhi nilai standar SNI 01-4449-2006. Namun, pada sampel B memiliki nilai keteguhan lentur yang paling tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa keteguhan lentur yang optimum terdapat pada sampel tersebut.

Dari Gambar 9. dapat dilihat mulai dari sampel C dan D mengalami penurunan nilai keteguhan lentur. Penelitian Rizki I. W., dkk (2023) menunjukkan nilai gaya maksimum sampel meningkat saat sampel ditambahkan *filler* sebesar 2%. Artinya penambahan *filler* yaitu serat rami mampu menambah nilai gaya maksimum pada sampel komposit list gypsum. Namun semakin tingginya persentase serat rami dapat meningkatkan gelembung udara dalam sampel sehingga nilai gaya maksimum akan mengalami penurunan.

Hasil pengujian keteguhan lentur pada penelitian ini terlihat dari sampel A ke sampel B mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Tetapi seiring dengan penambahan persentase serat pandan duri pada sampel C dan D mulai menunjukkan sedikit penurunan. Ini berarti semakin banyak penambahan serat pandan duri akan mengurangi nilai keteguhan lentur sampel list profil gypsum. Dilihat dari hasil keteguhan yang diperoleh, penambahan serat pandan duri ke dalam pembuatan list profil gypsum dapat meningkatkan nilai keteguhan lentur. Akan tetapi penambahan serat yang melebihi kadar optimum juga dapat menurunkan nilai keteguhan lentur yang dihasilkan.

3.3. Analisis biaya list profil gypsum inovasi

Pada penelitian ini diperlukan analisis biaya untuk membandingkan biaya pembuatan list profil gypsum inovasi dengan list profil gypsum konvensional. Untuk perhitungan volume bahan yang diperlukan memakai ukuran list profil gypsum dengan panjang 2 meter dan lebar 18 cm. Harga satuan yang digunakan adalah harga hasil *survey* berdasarkan harga pasar di toko material dan toko bahan makanan. Biaya pembuatan list profil gypsum inovasi menggunakan serat pandan duri seperti pada Tabel 2. Adapun biaya pembuatan list profil gypsum konvensional seperti pada Tabel 3.

Tabel 2. Analisis Biaya Pembuatan List Profil Gypsum Inovasi

Analisis Biaya Pembuatan List Profil Gypsum				
Material	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Tepung Gypsum	2	Kg	Rp2.700,00	Rp5.400,00
Serat Pandan duri	0,1	Kg	-	-
Air	6	Liter	-	-
Minyak Goreng	1	Gelas	Rp5.000,00	Rp5.000,00
Total Biaya Material				Rp10.400,00
Tenaga	20% × Rp10.400,00			Rp2.080,00
Total Biaya Keseluruhan				Rp12.480,00

Tabel 3. Analisis Biaya Pembuatan List Profil Gypsum Konvensional

Analisis Biaya Pembuatan List Profil Gypsum				
Material	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Tepung Gypsum	2	Kg	Rp2.700,00	Rp5.400,00
Fiber glass	0,1	Kg	Rp30.000,00	Rp3.000,00
Air	6	Liter	-	-
Minyak Goreng	1	Gelas	Rp5.000,00	Rp5.000,00
Total Biaya				Rp13.400,00
Tenaga	20% × Rp13.400,00			Rp2.680,00
Total Biaya Keseluruhan				Rp16.080,00

Dari Tabel 2. menunjukkan biaya yang diperlukan untuk membuat list profil gypsum inovasi per 2 m dengan lebar 18 cm sebesar Rp12.480,00. Sedangkan Tabel 3. adalah biaya yang diperlukan untuk pembuatan list profil gypsum konvensional yang dijual di pasaran dengan lebar 18 cm sebesar Rp 16.080,00/2 m. List profil gypsum inovasi menggunakan serat pandan duri menurunkan biaya produksi dibandingkan list profil gypsum konvensional yang menggunakan *fiber glass*. Harga list profil

gypsum konvensional di pasaran tergantung dari lebar dan banyaknya motif list profil gypsum itu sendiri. Semakin lebar dan banyaknya motif list profil akan semakin mahal harganya.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan berikut kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Serat pandan duri dengan variasi tertentu dapat digunakan sebagai pengganti *fiber glass* pada list profil gypsum. Hal ini diperkuat dari hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanik yang telah memenuhi syarat SNI 01-4449-2006 dan FAO (*Food and Agriculture Organization*).
2. Dari semua hasil pengujian menunjukkan komposisi campuran antara serat pandan duri dengan tepung gypsum dalam pembuatan list profil gypsum yang paling optimum terdapat pada sampel B dengan nilai densitas 0,805 g/cm³, daya serap air sebesar 27,87%, pengembangan tebal 1,92%, dan keteguhan lentur memiliki nilai 10410,7 kgf/cm².
3. Biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan list profil gypsum inovasi dari serat pandan duri ini dengan lebar 18 cm sebesar Rp 12.480,00/2 m Sementara biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel list profil gypsum konvensional dengan lebar 18 cm sebesar Rp 16.080,00/2 m. List profil gypsum inovasi menggunakan serat pandan duri menurunkan biaya produksi dibandingkan list profil gypsum konvensional yang menggunakan *fiber glass*.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Allah SWT, Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T. dan Bapak Drs. Hartono, M.T. selaku dosen pembimbing serta Bapak Adhitya Bayu selaku laboran yang telah mengizinkan dan membantu kami melakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal, Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Diharapkan penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan penelitian selanjutnya.

Referensi

- Abadi, R. (2017). Prototipe Alat Cetak Gypsum. Stikom Surabaya. Hal. 7-9.
- Amaliyah, D. M., Saibatul Hamdi. (2015). Sifat Fisik Mekanik Papan Gypsum Berbahan Pengisi Alternatif Limbah Serutan Rotan. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, Volume 7, Nomor 1.
- Badan Standarisasi Nasional. (2006). SNI 01-4449-2006. Papan Serat.
- Fahurrahman, H., Amos Neolaka, Riyan Arthur. (2020). Perbandingan Papan Gypsum Serat Daun Nenas (*Ananas comosus L. Merr*) Terhadap Papan Gypsum Komersil Dilihat Dari Sifat Fisis Dan Mekanis Berdasarkan SNI Spesifikasi Panel Atau Papan Gypsum 03-6384-2000. Jurnal Pendidikan Teknik dan Vokasional, Volume 3, Nomor 2, 121-130.
- FAO. (1958). Fibreboard and Particleboard. Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- Hamdi, S. (2014). Sifat Mekanik Papan Gypsum Dari Serbuk Limbah Kayu Non Komersial. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, Volume 6, Nomor 2.
- Hisyam, M. dan Fauzi Widyawati. (2021). Analisis Pengaruh Massa Serat Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Papan Komposit Gypsum Berpenguat Sisal (*Agave Sisalana*). Jurnal Teknik dan Sains, Volume 2, Nomor 1.
- Kurniawati, L. (2015). Karakteristik Papan Serat Kulit Jagung Dengan Asam Sitrat Sebagai Perekat. Skripsi. Universitas Negeri Jakarta.
- Malika, T. N., (2021). Analisis Kualitas Lis Profil Gypsum Dengan Variasi Penambahan Batang Kelor (*Moringa oleivera*). Skripsi. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Mastariyanto, Perdana dan Yulsardi Romi. (2016). Pengaruh Fraksi Volume Penguat Terhadap Kekuatan Lentur Green Composite Untuk Aplikasi Pada Bodi Kendaraan. Jurnal Ipteks Terapan Vol.9.i4, hal. 276-284 ISSN: 1979-9292
- Mufidun, A., Ahmad Abtokhi. (2016). Pemanfaatan Filler Serbuk Cangkan Kerang Simpson (*Pacuna placenta*) Dan Matriks Poliester Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Komposit. Jurnal Neutrino, Volume 9, Nomor 1.
- Nurhanisa, M., Dwiria Wahyuni, Patrisisa Masela. (2021). Pengaruh Susunan Serat Pada Papan Komposit Serat Bambu Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis. POSITRON, Volume 11, Nomor 2.
- Permata, A. (2020). Indonesian Journal of Instructional Efektivitas Teknik Modeling Dalam Meningkatkan Keterampilan Membuat Anyaman Tikar Dari Pandan Berduri Pada Anak Tunarungu. Indonesian Journal of Instructional Technology, 1(2), 14-19.

- Rizki, I. W., Adhea Yunita Sari, Utiya Hikmah. (2023). Analisis Sifat Mekanik List Gypsum Berbasis Serat Rami. *Journal Online of Physics*, Volume 8, Nomor 2.
- Sunardi, M. F., Rina Lusiani, Cahyadi. (2014). Pengaruh Arah Serat Komposit Serat Daun Pandan Duri Dengan Matrik Polyester Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Impak Untuk Aplikasi Body Kendaraan Motor. *Teknika Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(2): 151.
- Trisna, H., Alimin Mahyudin. (2012). Analisis Sifat Fisis Dan Mekanik Papan Komposit Gypsum Serat Ijuk Dengan Penambahan Boraks (Dinatrium Tetraborat Decahydrate). *Jurnal Fisika Unand*, Volume 1, Nomor 1.
- Winarni, Ina dan Totok K. Waluyo., (2006), Peningkatan Teknik Pengolahan Pandan (Bagian I): Pewarnaan Dan Pengeringan, *Journal of Chemical*.



Pemanfaatan limbah tulang sapi dan kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal

Hardinant Akesi Suratman^{a*}, Hardika Putro Wijaksono^b, Hartono^c, Shifa Fauziyah^d

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

hardinantakesi47@gmail.com
putrohardika16@gmail.com

Article history:

Received : 24 July 2023

Revised : 9 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

solid concrete bricks, cow bone waste, glass waste

ABSTRACT

Cement is a non-renewable natural resource, this natural resource will run out over time. In this research, waste cow bone and glass were used as a partial substitute for cement for solid concrete bricks. This study used a quantitative method in the form of an experimental method referring to the General Requirements for Building Materials in Indonesia (PUBI – 1982) and the Indonesian National Standard (SNI) 03-0349-1989, with a total of 24 test objects measuring 15 x 15 x 15 cm consisting of 4 variations of composition which were tested at the age of 7 days. The content of calcium oxide (CaO) in beef bones and silica (SiO₂) contained in glass can be used to increase the hardening of concrete. Based on the test results, it was found that a mixture of solid concrete bricks with 4.5% beef bone powder and 3% glass powder (BSK 1), produced an optimum average compressive strength of 290.56 Kg/cm² with a water absorption value of 2.445%, declared to be entering quality I solid concrete brick. This proves that the innovation of solid concrete bricks with the addition of bovine bone and glass waste can be stated to be better than conventional solid concrete bricks, resulting in solid concrete bricks that have high compressive strength, economical price and are environmentally friendly.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Bata Beton Pejal merupakan suatu komponen yang sering dipergunakan dalam konstruksi tersusun atas campuran *portland cement*, pasir dan air. Bata beton pejal biasanya disebut juga dengan batako, dalam konstruksi bata beton pejal ini sering digunakan sebagai pengganti bata merah yang bertujuan untuk mempersingkat waktu pekerjaan dinding. Seiring perkembangan jaman, terdapat berbagai inovasi yang muncul dalam pembuatan beton, salah satunya inovasi campuran agregat dengan cara penambahan ataupun substitusi. Banyaknya inovasi baru dalam pembuatan bata beton pejal ini sebagai langkah pengganti bahan utama penyusun bata beton. Semen merupakan bagian dari bahan utama dalam pembuatan bata beton pejal yang memiliki sifat tidak dapat diperbaharui, apabila bahan tersebut digunakan secara terus menerus akan habis dikarenakan sumber semen berasal dari material alam. Selain itu, beberapa inovasi bata beton pejal banyak yang dilakukan sebagai langkah meminimalisir jumlah limbah yang ada.

Di Indonesia, permasalahan sampah masih menjadi masalah yang tidak ada ujungnya. Tercatat dalam statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), ditahun 2020 kuantitas limbah yang dihasilkan Indonesia mencapai 68,5 juta ton dengan sumber terbanyak berasal dari limbah rumah tangga. Contoh limbah yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga, seperti sisa makanan dan kaca.

Berdasarkan data SIPSN Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2022, grafik komposisi jenis limbah sisa makanan menunjukkan angka 41,72%. Pada limbah sisa makanan masih banyak yang

belum terkelola dengan baik, salah satunya adalah limbah tulang sapi. Di Indonesia, jumlah konsumsi daging sapi pada tahun 2022 mencapai 498.923,14 ton (Badan Pusat Statistik, Maret 2022), hal ini mengiringi jumlah limbah yang dihasilkan dari sapi. Bukan hanya sisa makanan, kaca juga merupakan contoh limbah yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga. Pada grafik komposisi jenis limbah kaca mencapai 2,02% (SIPSN KLHK, 2022), berada di posisi ke-8 dalam komposisi sampah tersebut. Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang tidak bisa terurai, tetapi berpotensi menjadi material *pozzolan* karena terdapat kandungan silika dan kandungan aktif semen lainnya.

Dibalik dari sisi negatif limbah tersebut, terdapat sisi positif atau kelebihan yang masih bisa dimanfaatkan. Tulang sapi memiliki kandungan yang dapat dijadikan campuran beton. Umumnya tulang mempunyai kandungan Kalsium Oksida (CaO) yang merupakan salah satu komposisi penting semen. CaO berfungsi pada semen dalam proses hidrasi apabila dicampur dengan air. CaO juga dapat memperkuat daya lekat terhadap agregat akibat pori-pori yang mengecil pada beton (PP Pamilih, 2020). Sehingga, kalsium oksida ini berfungsi untuk mempercepat pengerasan beton.

Bukan hanya tulang sapi, limbah kaca juga memiliki kelebihan yang dapat dimanfaatkan kembali. Kaca diolah menjadi bubuk kaca yang dapat digunakan untuk campuran beton. Dengan memiliki beberapa kandungan didalamnya seperti, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO yang dapat digunakan dalam substitusi semen, karena ukuran butirnya yang sangat kecil sehingga dapat mengisi lubang pori beton yang membuat kuat tekan beton bertambah (Hanafiah, 2011).

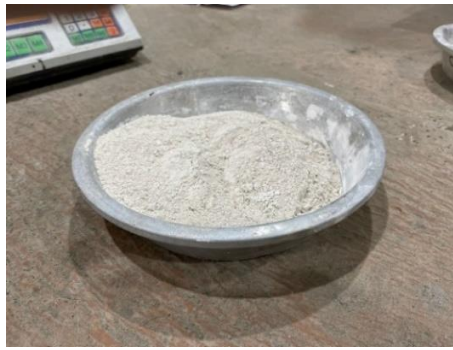
Oleh karena itu, bubuk tulang sapi dan bubuk kaca dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal karena dilihat dari kandungan yang terkandung pada kedua bahan tersebut memiliki komposisi dari semen. Maka, dilakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas kedua bahan tersebut dalam segi kuat tekan dan daya serap air. Hasil yang diharapkan pada penelitian ini bubuk tulang sapi dan bubuk kaca dapat membantu mempercepat pengeringan yang menghasilkan bata beton pejal dengan kuat tekan yang lebih tinggi daripada bata beton pejal konvensional. Selain itu, penggunaan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai bentuk langkah meminimalisir jumlah limbah yang ada, serta menghasilkan bata beton pejal ramah lingkungan dengan harga lebih murah dari bata beton pejal konvensional.

Inovasi ini menciptakan hal baru dalam substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak melakukan inovasi terhadap beton. Selain itu, pada penelitian sebelumnya belum ada yang mencampurkan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca menjadi satu kesatuan sebagai substitusi parsial semen.

2. Data dan metode

2.1. Pengolahan limbah tulang sapi

Limbah tulang sapi yang digunakan pada pembuatan bata beton pejal ini menggunakan semua bagian tulang yang ada pada sapi. Langkah dalam pengolahan limbah tulang sapi yaitu dengan menghaluskan tulang sapi menjadi bubuk atau halus menggunakan alat penghancur tulang atau *bone crusher*. Setelah limbah tulang sapi berubah menjadi bubuk halus, bubuk tulang sapi tersebut disaring menggunakan saring dan diambil yang lolos saringan nomor 200, lalu olahan tersebut dicampurkan atau di *mix* dengan persentase sebesar 0%, 4,5%, 6% dan 7,5% sebagai substitusi semen *portland* dalam pembuatan bata beton pejal. Persentase *mix design* yang ditentukan didasari oleh beberapa *riset statement*, salah satunya jurnal Pamilih, P.P (2020) yang membuktikan bahwa kuat tekan beton menurun pada persentase bubuk tulang sapi sebagai parsial semen melebihi 7,5%, maka diambil rencana *mix design* campuran bubuk tulang sapi dibawah 7,5%. Bubuk tulang sapi yang telah lolos saringan 200 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bubuk tulang sapi

2.2. Pengolahan limbah kaca

Limbah kaca yang dipergunakan pada pembuatan bata beton pejal ini menggunakan berbagai macam jenis kaca. Limbah kaca diperhalus menjadi serbuk menggunakan alat penghancur atau penumbuk untuk menjadikan kaca menjadi kepingan kecil-kecil, lalu kepingan kecil tersebut diperhalus menjadi serbuk menggunakan *Mortar* dan *Stamper*. Serbuk kaca yang sudah halus dilakukan penyaringan menggunakan saringan dan diambil yang lolos saringan nomor 200, setelah itu dicampurkan atau di *mix* dengan persentase sebesar 0%, 3%, 6% dan 10% sebagai substitusi semen *portland* dalam pembuatan bata beton pejal. Persentase *mix design* yang ditentukan didasari oleh beberapa *riset statement*, salah satunya jurnal Handayasari, dkk (2016) yang membuktikan bahwa kuat tekan beton menurun pada persentase serbuk kaca sebagai parsial semen melebihi 10%, maka diambil rencana *mix design* campuran serbuk kaca dibawah 10%. Pengolahan bubuk kaca ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep transmisi cahaya

2.3. Pengujian material agregat halus

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh material yang sudah layak dan siap digunakan untuk pembuatan bata beton pejal. Acuan kelayakan material didasarkan sesuai syarat PUBI-1982 yaitu pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Selain itu, pasir disyaratkan lolos saringan 4,75 mm atau ukuran pasir < 5 mm dan tertahan di saringan 0,075 mm sesuai spesifikasi ASTM C33.

2.4. Merancang *mix design*

Mix design pada pembuatan bata beton pejal menjadikan penelitian terdahulu sebagai acuan referensi. Berdasarkan hasil penelitian dari berbagai jurnal didapatkan persentase rata-rata bubuk tulang sapi untuk mencapai kuat tekan optimum sebesar 7,5%, sedangkan untuk persentase rata-rata

serbuk kaca untuk mencapai kuat tekan optimum sebesar 10%. Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm yang menggunakan proporsi bahan campuran 1 (semen) : 6 (pasir) : 0,35 (FAS), dengan menjadikan tulang sapi dan kaca sebagai substitusi semen. Rancangan *mix design* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan *mix design*

Jenis Beton	Proporsi Bahan	Nama Benda Uji
Bata Beton Pejal 0% tulang sapi dan 0% serbuk kaca	1 (Semen) : 6 (Pasir)	BBP
Bata Beton Pejal 4,5% tulang sapi dan 3% serbuk kaca	1 (Semen 93,5%, Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Serbuk Kaca 3%) : 6 (Pasir)	BSK1
Bata Beton Pejal 6% tulang sapi dan 6% serbuk kaca	1 (Semen 88%, Bubuk Tulang Sapi 6%, Serbuk Kaca 6%) : 6 (Pasir)	BSK2
Bata Beton Pejal 7,5% tulang sapi dan 10% serbuk kaca	1 (Semen 82,5%, Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Serbuk Kaca 10%) : 6 (Pasir)	BSK3

2.5. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan bata beton pejal ini dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan kuat tekan bata beton pejal normal dengan bata beton pejal yang sudah didesain. Uji kuat tekan ini menggunakan mesin tekan yang kecepatan penekanannya bisa diatur. Dalam menghitung kuat tekan benda uji, beban maksimal pada saat benda uji hancur dibagi luas bidang tekan berat kotor (satuan kg/cm²), lalu didapatkan hasil dari kuat tekan tersebut. Uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Uji Kuat Tekan

2.6. Pengujian daya serap air

Pengujian daya serap air ini dilakukan pada saat benda uji mencapai 7 hari. Uji ini bertujuan untuk mengetahui besarnya air yang diserap benda uji, semakin besarnya air yang diserap berarti semakin banyak pori atau rongga yang berada pada bata beton pejal, sehingga ketahanan benda uji akan berkurang. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung selisih antara massa benda uji yang sudah dioven dengan suhu 105 ± 5°C dan massa benda uji yang sudah direndam selama 24 jam.

2.7. Perencanaan *output* bata beton pejal

Output yang dihasilkan dari penelitian ini adalah bata beton pejal berukuran sedang berdasarkan SNI 03-0349-1989 dengan dimensi 30 cm (panjang) x 15 cm (lebar) x 10 cm (tebal). Bata beton pejal yang dihasilkan akan menggunakan variasi campuran bubuk tulang sapi dan bubuk kaca yang optimal sebagai substitusi parsial semen.

3. Hasil dan pembahasan

Inovasi bata beton pejal dengan memanfaatkan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai substitusi parsial semen, memiliki keunggulan dalam menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dan harga yang lebih ekonomis daripada bata beton pejal konvensional. Kandungan CaO dan SiO₂ yang terkandung pada tulang sapi dan kaca tersebut merupakan bagian komposisi yang sama dengan semen. Hal ini menjadikan kedua bahan tersebut menjadi substitusi parsial semen yang membantu meningkatkan kuat tekan bata beton pejal dan mengurangi penggunaan semen untuk menciptakan harga yang lebih murah.

3.1. Pengujian analisis saringan

Agregat halus merupakan butiran kekal yang berarti tidak mudah hancur. Agregat halus dalam pembuatan bata beton pejal sangat berperan dalam mempengaruhi kualitas. Agregat halus yang baik memiliki kandungan lumpur tidak melebihi 5% dari berat kering dan disyaratkan lolos saringan 4,75 mm atau ukuran pasir < 5 mm dan tertahan di saringan 0,075 mm sesuai spesifikasi ASTM C33. Hasil pengujian agregat halus ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian gradasi agregat halus

Diameter Saringan	Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Persentase Berat Tertahan	Persentase Berat Tertahan Kumulatif	Persentase Berat Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
9,50	0	0	0%	0%	100%
4,75	14	14	3%	3%	97%
2,36	20	34	4%	7%	93%
1,18	85	119	17%	24%	76%
0,60	95	214	19%	43%	57%
0,30	117	331	24%	67%	33%
0,15	66	397	13%	80%	20%
0,075	55	452	11%	91%	9%
0	45	497	9%	100%	0%
Jumlah	497		100%		

Tabel 3. Hasil pengujian gradasi agregat halus

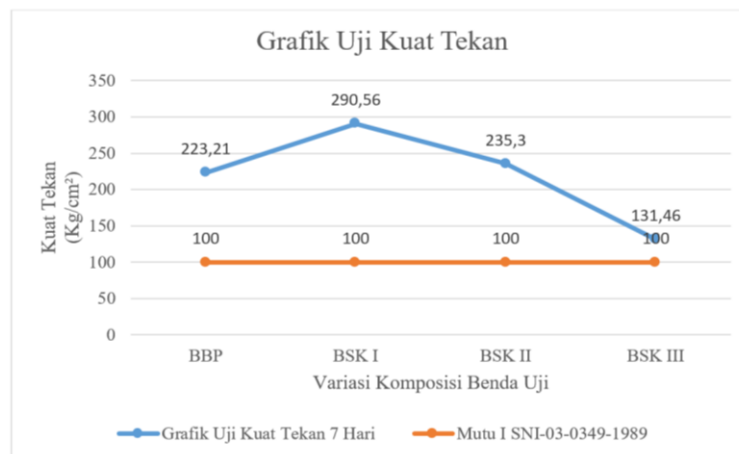
No	Jenis Pengujian	Hasil Analisis Pengujian
1	Kadar Lumpur	3%
2	Persentase Kehilangan Berat (Uji Gradasi)	0,6%
3	Modulus Kehalusan	2,23
4	Spesifikasi Pasir	Pasir Sedang

3.2. Pengujian kandungan lumpur system cucian

Pengujian kuat tekan dilakukan saat benda uji mencapai umur 7 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 12 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan yang disyaratkan dan membandingkan antara kuat tekan bata beton pejal normal dan bata beton pejal yang sudah didesain. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan bata beton pejal umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan

Variasi <i>Mix Design</i>	No	Berat (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)
BBP Konvensional	1	7,265	296	18,79	191,70
	2	7,355	398	25,26	257,75
	3	7,100	340	21,58	220,19
	Rata-rata		344,67	21,88	223,21
BSK I (Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Bubuk Kaca 3%)	1	7,545	530	33,64	343,24
	2	7,290	456	28,94	295,31
	3	7,300	360	22,85	233,14
	Rata-rata		448,67	28,48	290,56
BSK II (Bubuk Tulang Sapi 6%, Bubuk Kaca 6%)	1	6,875	377	23,93	244,15
	2	6,870	344	21,83	222,78
	3	6,750	369	23,42	238,97
	Rata-rata		363,33	23,06	235,3
BSK III (Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Bubuk Kaca 10%)	1	6,815	186	11,81	120,46
	2	7,070	210	13,33	136,00
	3	6,735	213	13,52	137,94
	Rata-rata		203	12,88	131,46

**Gambar 4.** Grafik uji kuat tekan

Gambar 4 menunjukkan bahwa semua variasi *mix design* telah memenuhi syarat kuat tekan SNI-03-0349-1989 dengan mutu I. Nilai kuat tekan rata-rata maksimum berada pada variasi BSK I sebesar 290,56 Kg/cm². Sedangkan, nilai kuat tekan rata-rata minimum terjadi pada variasi BSK III sebesar 131,46 Kg/cm², yang berarti variasi BSK III ini menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari bata beton pejal konvensional sebesar 223,21 Kg/cm².

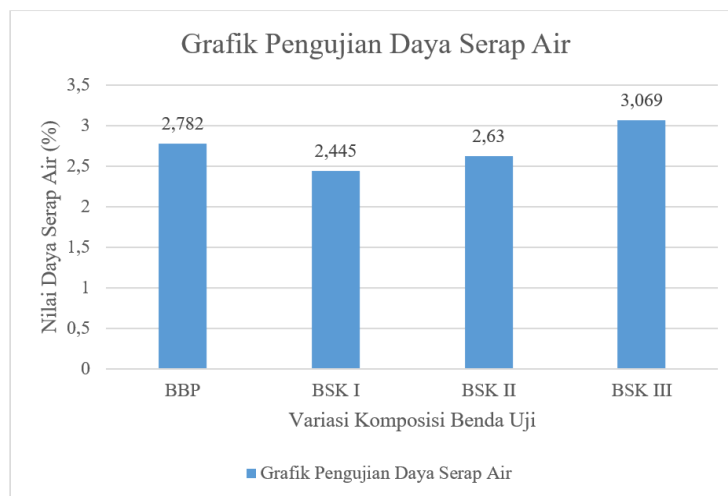
Berdasarkan hasil penelitian Anwar Ahmad, dkk (2017), penambahan bubuk tulang sapi sebanyak 7,5% sebagai substitusi parsial semen terhadap beton dapat meningkatkan kuat tekan beton optimum. Selain itu, hasil penelitian Handayasari, dkk (2016) membuktikan bahwa penambahan bubuk kaca sebanyak 10% sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal dapat menghasilkan kuat tekan optimum. Namun, pada penelitian ini dalam mencampurkan persentase optimum dari kedua bahan tersebut menjadi satu justru menurunkan kuat tekan bata beton pejal, tetapi masih berada pada mutu I SNI 03-0349-1989.

3.3. Pengujian daya serap air

Pengujian daya serap air dilakukan saat benda uji mencapai umur 7 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 12 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kadar air yang diserap benda uji. Berikut ini hasil uji daya serap air benda uji bata beton pejal ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 5. Pengujian daya serap air

Variasi <i>Mix Design</i>	No	Massa Kering (Kg)	Massa Basah (Kg)	Nilai Daya Serap Air (%)
BBP Konvensional	1	6,860	7,080	3,207
	2	6,780	6,970	2,508
	3	6,845	7,025	2,630
	Rata-rata			2,782
BSK I (Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Bubuk Kaca 3%)	1	7,135	7,310	2,452
	2	7,395	7,570	2,366
	3	7,350	7,535	2,517
	Rata-rata			2,445
BSK II (Bubuk Tulang Sapi 6%, Bubuk Kaca 6%)	1	7,215	7,400	2,564
	2	7,440	7,635	2,621
	3	7,395	7,595	2,705
	Rata-rata			2,630
BSK III (Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Bubuk Kaca 10%)	1	6,875	7,060	2,690
	2	6,930	7,145	3,102
	3	6,735	6,965	3,414
	Rata-rata			3,069



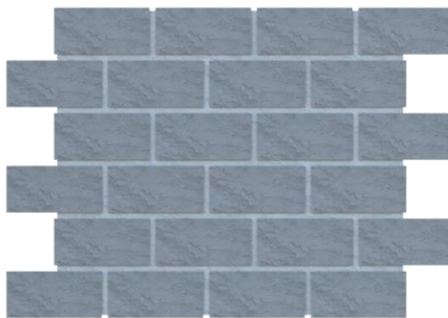
Gambar 2. Grafik pengujian daya serap air

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian daya serap air tiap variasi bata beton pejal pada umur 7 hari didapatkan nilai persentase rata-rata daya serap air untuk variasi bata beton konvensional (BBP) sebesar 2,782%, variasi BSK I sebesar 2,445%, variasi BSK II sebesar 2,630%, dan variasi terakhir BSK III sebesar 3,069%. Hal ini membuktikan bahwa semua variasi telah memenuhi syarat daya serap air kurang dari 25% seperti yang telah ditetapkan SNI-03-0349-1989.

3.4. Analisis perbandingan anggaran biaya

Berdasarkan hasil pengujian *mix design* yang telah direncanakan, diperoleh variasi komposisi campuran terbaik yang dapat diterapkan dalam inovasi bata beton pejal yaitu BSK I.

Berikut ini perbandingan biaya produksi BSK I dengan Bata Beton Pejal Konvensional ditunjukkan pada Tabel 6, perhitungan biaya ini menggunakan dimensi bata beton pejal sedang berukuran 30 x 15 x 10 cm yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi pemasangan 1m² bata beton pejal

Tabel 6. Rencana anggaran biaya produksi

Material	Harga Satuan (Rp)	Bata Beton Pejal Konvensional		Bata Beton Pejal BSK I	
		Kebutuhan (Kg)	Jumlah Harga (Rp)	Kebutuhan (Kg)	Jumlah Harga (Rp)
Semen	Rp 1.500,00	2,025	Rp 3.037,5	1,873	Rp 2.809,50
Pasir	Rp 214,29	5,400	Rp 1.157,16	5,400	Rp 1.157,16
Air	Rp 150,00	0,709	Rp 106,35	0,709	Rp 106,35
Tulang Sapi	Rp 0	-	Rp 0	0,091	Rp 0
Kaca	Rp 0	-	Rp 0	0,061	Rp 0
Total			Rp 4.301,01	Total	Rp 4.073,01

Anggaran biaya produksi 1 buah bata beton pejal konvensional didapatkan sebesar Rp. 4.301,01 dan biaya produksi 1 buah bata beton pejal BSK I (4,5% bubuk tulang sapi dan 3% bubuk kaca) sebesar Rp. 4.073,01. Maka, dapat disimpulkan bahwa bata beton pejal BSK I lebih hemat Rp. 228,00 daripada bata beton pejal konvensional, hal ini disebabkan berkurangnya kebutuhan semen yang disubstitusi parsial oleh bubuk tulang sapi dan bubuk kaca. Dikarenakan biaya produksi 1 buah bata beton pejal lebih murah dibandingkan konvensional, maka rencana biaya pemasangan BSK I per 1 m² nya lebih murah dibandingkan konvensional yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 1. Rencana biaya pemasangan per 1 m² bata beton pejal konvensional dengan BSK I

Perhitungan	Bata Beton Pejal Konvensional	Bata Beton Pejal BSK I
Luas Batako Sisi Samping	0,3 x 0,15 = 0,045 m ²	0,3 x 0,15 = 0,045 m ²
Kebutuhan Batako	1/0,045 = 22 buah	1/0,045 = 22 buah
	17,5 x 0,30 x 0,1 x 0,02 = 0,010	17,5 x 0,30 x 0,1 x 0,02 = 0,010
Kebutuhan Spesi	18 x 0,15 x 0,1 x 0,02 = 0,0054	18 x 0,15 x 0,1 x 0,02 = 0,0054
	Total = 0,0154	Total = 0,0154
Total Harga 1m ²	4.301,01 x 22 = Rp. 99.400,34	4.073,01 x 22 = Rp. 89.606,22
Harga Kebutuhan Spesi dengan campuran 1pc : 5 pp	Semen = (1/6 x 0,0154/0,00048) x 1.500 = Rp. 8.020,83	Semen = (1/6 x 0,0154/0,00048) x 1.500 = Rp. 8.020,83
	Pasir = (5/6 x 0,0154 x 1400) x 214,29 = Rp. 3.850,07	Pasir = (5/6 x 0,0154 x 1400) x 214,29 = Rp. 3.850,07
	Pasir + Semen = Rp. 11.870,90	Pasir + Semen = Rp. 11.870,90
Totak Kebutuhan 1m ²	Rp. 99.400,34 + Rp. 11.870,90 = Rp. 111.271,24	Rp. 89.606,22 + Rp. 11.870,90 = Rp. 101.477,12

Tabel 7 menunjukkan anggaran biaya pemasangan 1m² bata beton pejal BSK I juga lebih ekonomis dibandingkan biaya pemasangan 1m² bata beton pejal konvensional, dengan selisih anggaran biaya sebesar Rp. 9.794,12.

4. Kesimpulan

Penelitian pemanfaatan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai substitusi parsial semen berpengaruh dalam meningkatkan kuat tekan bata beton pejal dengan batas maksimal substitusi kedua bahan tersebut sebesar 6%. Namun, untuk menghasilkan kuat tekan maksimal pada bata beton pejal dapat menggunakan persentase substitusi parsial bubuk tulang sapi 4,5% dan kaca bubuk kaca 3%. Selain meningkatkan kuat tekan tinggi, inovasi bata beton pejal ini juga menghasilkan harga yang lebih ekonomis sebesar Rp. 4.073,01/bata beton pejal, dengan biaya pemasangan 1m² sebesar Rp. 101.477,12.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Bapak Drs. Hartono, M.T. dan Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, memberikan saran atau masukan selama proses penelitian. Selain itu, terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang memiliki peranan dalam penelitian ini. Dalam penyusunan penelitian ini, kami menyadari masih jauh dari kata sempurna. Besar harapan kami untuk hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi publik dalam memberikan hal baru dan dampak positif bagi perkembangan material di bidang konstruksi.

Referensi

- A. Hidayat, A. I. (2021). A. Hidayat/ JURMATEKS Vol 4 No 1 Tahun 2021. *Penambahan Abu Jerami Dan Abu Sekam pada Beton Fc' 18,68*, 15-28.
- Anwar, A. (2017). Study of Concrete Properties Using Bone Powder by Parcial Replacement of Cement. *Journal of Ceramic and Concrete Sciences*, 2(2), 1-4.
- Candra, A. I. (2020). KUAT TEKAN BETON Fc' 21,7 MPa MENGGUNAKAN WATER REDUCING . *Jurnal CIVILLA Vol 5 No 1 Maret 2020*, 330-340.
- Hulu, Y. S. (2018). *Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi Pada Pembuatan Batako*. Medan: Universitas Medan Area.
- IKHSAN, M. N. (2016). Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Fiber Optik Terhadap Kuat Tekan Beton Serat. *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, 19, 148-156.
- J. C. (2020, Maret 1). *Jurnal CIVILLA Vol 5 No 1 Maret 2020. Semen Portland di Indonesia untuk Aplikasi Beton Kinerja Tinggi*, p. 11.
- Mukhlis, A. (2014). Makalah Seminar Nasional Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, 2014. *Beton Agregat Tulang Ikan Lele*.
- Mukhlis, A. (2020). PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT . *PORTAL Jurnal Teknik Sipil Vol. 12, No. 1, April 2020*, 40.
- Mutiara, E. (2022). *Inovasi Desain Batako Dalam Bentuk Tetris L Dengan Penambahan Model Interlock*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Paglo, E. A. (2022). PENGARUH KUAT TEKAN BETON AKIBAT PENAMBAHAN AGREGAT HALUS DARI TUMBUKAN LIMBAH KACA. *Teknik Sipil*.
- Pamilih, P. P. (2020). UNS, F. Teknik - Program Studi Diploma Teknik Sipil - I8217023 - 2020. *Pemanfaatan limbah bubuk tulang sapi dan limbah marmer sebagai substituen parsial pada self compacting concrete*.
- PUPR. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI-1982)*. Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Safitri, R. A. (2019). Vol 1 (2019). *LIMBAH TULANG HEWAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI TAMBAHAN CAMPURAN BETON*, 1-7.
- SIPSN. (2022). *Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Retrieved from sipsn.menlhk: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- SNI 03-0349-1989. 1989. "Bata beton untuk pasangan dinding." *Badan Standar Nasional Indonesia*: 1-5.
- WIJAYA, V. D. (2015). *PENGARUH SERBUK KACA SEBAGAI SUBSTITUSI SEBAGIAN AGREGAT HALUS DAN SEBAGAI FILLER TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON*. Yogyakarta.



Perencanaan ulang struktur portal utama gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang integrasi BIM (*Building Information Modelling*)

Nabila Alsa Fernanda^a, Rendi Dwi Pratama^b, Asri Nurdiana^c, Bambang Setiabudi^d

^{a*, b, c, d} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

nabilaalsafm021@gmail.com

Article history:

Received : 11 July 2023

Revised : 11 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Building Information Modelling (BIM), SAP2000, SRPMK, Revit

ABSTRACT

In development construction projects, the digitalization of excellent and mature construction planning is needed to obtain efficient and effective construction results and through the implementation of BIM integrated Structural Planning and Analysis (Building Information Modelling) expected in building planning PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang can minimize the occurrence of errors. The purpose of this final project is to re-design the building of PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang by integrating conventional planning methods into a based planning method BIM (Building Information Modelling) for efficiency structure and project visualization on the project. The process used is quantitative descriptive by conducting a literature study to understand the basics of planning a high-rise building structure, then proceeding with integration based on SAP2000. The result of this paper is an earthquake-resistant structural design with the Sway Frame with modelling 3D that can be applied to tall buildings with high levels of security, reliability and earthquake resistance. The Finding of this re-design is the high efficiency of this structure in reducing earthquake resistance and can be used as a reference for planning earthquake resisitant buildings in the future.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Building Information Modeling (BIM) adalah sistem metode kerja digital yang berhasil membuat informasi dalam proses konstruksi yang dapat digunakan untuk perencanaan, visualisasi desain, pengoperasian fasilitas, hingga pelaksanaan konstruksi untuk mencapai efisiensi tinggi dari segi kualitas dan biaya waktu (Vincent, D., Ojo, S., & Omeje 2020). BIM menyajikan desain bangunan secara digital dan informasi yang lebih efisien dan akurat sebelum membangun bangunan. Ini mempengaruhi deteksi dini bentrokan antara strategi multidisiplin sebelum pekerjaan terjadi dan memfasilitasi komunikasi antara pemangku kepentingan proyek yang relevan selama konstruksi (Abdalla et al. 2023)

Perencanaan Ulang dan Analisis Struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang, yang mengadopsi BIM sebagai metode kerja berdasarkan pemetaan daerah rawan gempa tinggi, dapat dikategorikan sebagai Desain Seismik Kategori D menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Struktur Beton Bertulang. Struktur Beton Bertulang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja yang bekerja sama untuk memikul beban yang ada (Setiawan 2016). SRPMK dipilih dengan mempertimbangkan sistem rangka yang sangat fleksibel dalam menyerap dan mendistribusikan gaya lateral akibat gempa. Selain itu SRPMK memiliki tingkat proteksi yang lebih tinggi terhadap gempa bumi dibandingkan dengan sistem rangka konvensional (Tangahu, Nur, and Gani 2019).

Metode perencanaan menggunakan metode perencanaan deskriptif kuantitatif dengan mempelajari literatur primer perencanaan struktur gedung dan penerapan teknologi digital metode perencanaan integrasi BIM, yang meliputi analisis struktur atas menggunakan SAP2000. Analisis struktural yang dibangun pada SAP2000 mempelajari analisis statis dan dinamis, yang dimodelkan dalam model 2 dimensi dan 3 dimensi, dengan hasil akhir analisis mendapatkan hasil optimasi desain (M Nur Sholeh 2022). Perhitungan perencanaan mengacu pada SNI 2847 : 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya, SNI 1727 : 2020 terkait dengan Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lainnya, SNI 1726 : 2019 terkait Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, Desain Beton Bertulang oleh Chu Kia Wang Salmon.

Hasil akhir dari perencanaan ini adalah hasil desain integrasi BIM dalam perencanaan strukturbangunan SRPMK dengan mempertimbangkan tingkat keamanan dan ketahanan yang tinggi terhadap resiko gempa. Ini dapat digunakan sebagai referensi untuk implementasi BIM di proyek-proyek mendatang. Tujuan perencanaan ini adalah untuk meninjau ulang struktur atas dan bawah Gedung PT. Ferron Par Pharmaceuticals Cikarang. (Ir. Gideon H. Kusuma M. Eng 1993)

2. Data dan metode

2.1. Data dan studi literatur

Data perencanaan keseluruhan untuk perancangan Gedung Produksi PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang meliputi :

- a) As-Built Drawing
- b) Data Umum Proyek
 - 1) Nama Proyek : Gedung Produksi PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang
 - 2) Alamat Proyek : Jl. Jababeka VI, Harja Mekar, Kec. Cikarang Utara, Kab. Bekasi, Jawa Barat 17520
 - 3) Fungsi Bangunan : Gedung Pabrik Farmasi
 - 4) Luas Tanah : $\pm 6.900 \text{ m}^2$
 - 5) Luas Bangunan: : $\pm 2.700 \text{ m}^2$
 - 6) Struktur Bangunan : Beton Bertulang
- c) Pedoman atau peraturan SNI dan buku-buku yang berkaitan dengan perencanaan bangunan sebagai acuan utama teori pendukung untuk membuat perencanaan ulang.

2.2. Modifikasi dan kriteria desain

Modifikasi bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang berdasarkan pedoman SNI 1726-2019 diasumsikan dibangun menggunakan data lahan untuk kawasan Jababeka, Cikarang Utara. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

- a) Tipe Bangunan : Gedung Pabrik (Kategori Risiko II)
- b) Klasifikasi Tanah : SD (Tanah Sedang)
- c) Kategori Desain Seismik : D

Untuk itu, sistem struktur harus dirancang dengan menggunakan penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan perincian khusus atau memiliki fleksibilitas yang lengkap. Jadi perancangan ulang struktur gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang dibuat menggunakan SRPMK dengan tambahan modifikasi jenis atap yang awalnya rangka baja kemudian dimodifikasi menggunakan plat beton.

2.3. Preliminary design

Literatur yang digunakan dalam perhitungan awal adalah SNI 2847:2013 dan 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk dimensi struktur :

- a) Struktur primer: Balok dan balok pengikat (menentukan dimensi $b \times h$), kolom (menentukan dimensi $b \times h$)
- b) Struktur sekunder: Pelat (menentukan jenis pelat, menentukan ketebalan wadah, t)

2.4. Pemodelan struktur dengan SAP2000 V.22

Program SAP2000 V22 memodelkan struktur menggunakan data data perencanaan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan struktur adalah bentuk bangunan dan dimensi elemen struktur dari rancangan awal.

2.5. Pembebanan struktur

Setelah struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang dimodelkan menggunakan SAP2000 V22, kemudian diload konfigurasi berupa:

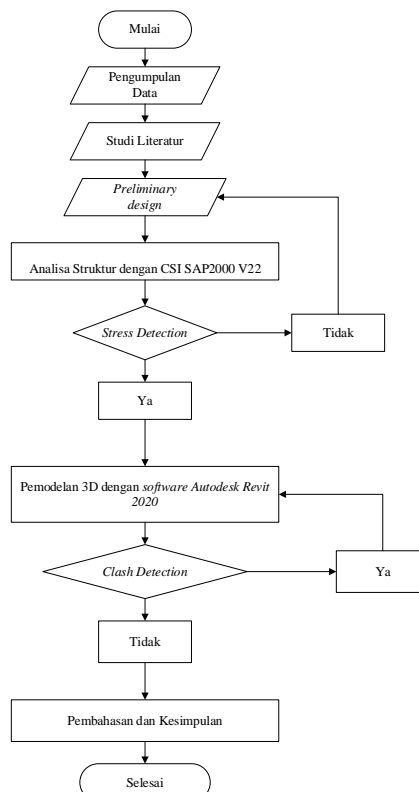
- a) Beban mati dan beban mati tambahan (sesuai SNI 1727-2020 dan persyaratan yang berlaku)
- b) Beban Angin (sesuai SNI 1727-2013 dan persyaratan yang berlaku)
- c) Beban hidup (sesuai SNI 1727-2020), dan
- d) Beban gempa (sesuai SNI 1726-2019)
- e) Beban gempa dihitung menggunakan Respon Spektra

2.6. Perhitungan tulangan struktur

Tulangan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019, dengan memperhatikan standar tulangan untuk Sway Frame System dan menggunakan data berupa nilai gaya dalam yang diperoleh dari keluaran program SAP 2000 V22 dan dibandingkan dengan Asmin pada dimensi penampang dari struktur.

2.7. Pemodelan tulangan struktur

Pada tahap pemodelan dilakukan input data yang telah didapatkan dari proyek, berupa data as built drawing (2D) dan 3D Sketch Up. Data ini digunakan dalam proses pemodelan 3D dengan menggunakan software Autodesk Revit. Alur metode perencanaan dimodelkan dengan menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preliminary design

3.1.1. Perhitungan dimensi balok

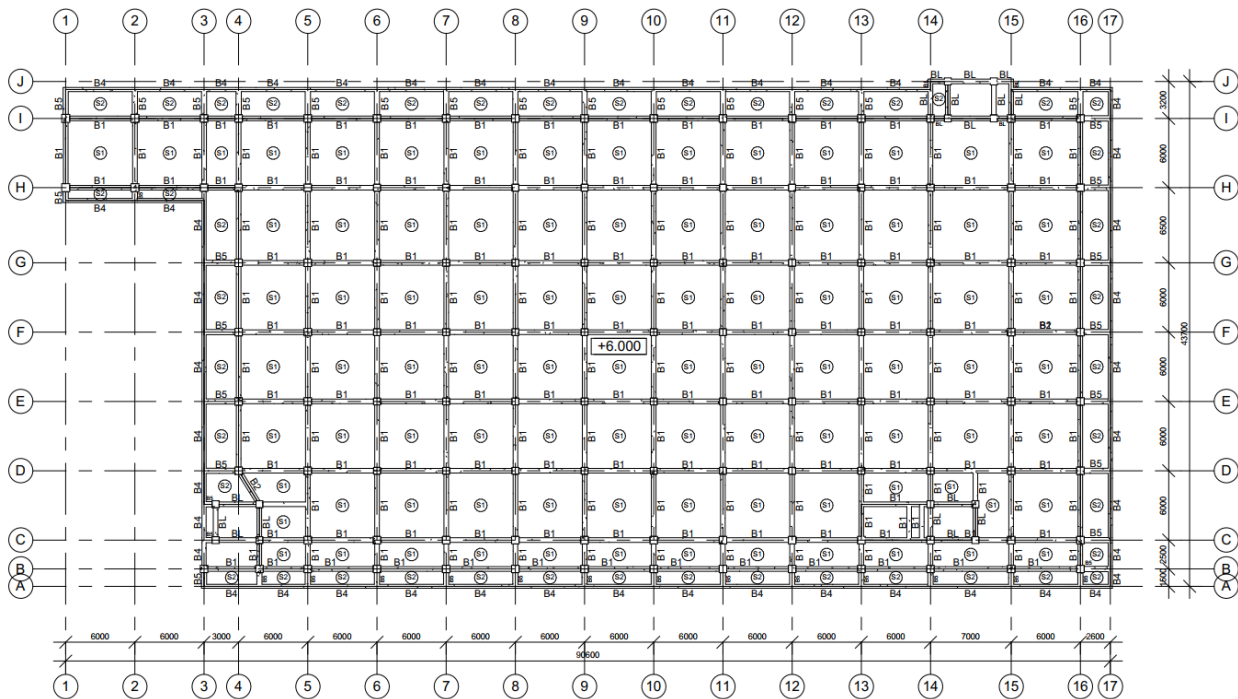
Berikut merupakan contoh perhitungan preliminary balok yang digunakan pada perencanaan kali ini
Data-data perencanaan balok induk 1

Tipe Balok = B1

Bentang Balok = 7000 mm

Mutu Beton ($f'c$) = b30 Mpa

Gambar denah perencanaan untuk perhitungan balok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah Balok

Perhitungan perencanaan

$$h = \frac{l}{16} \rightarrow \text{Balok biasa}$$

(1)

$$h = \frac{7000}{16}$$

$$h = \frac{7000}{16}$$

$$h = 437,5 \cong 600 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 600$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

Maka didapatkan hasil rencana balok induk B1 dengan dimensi 400x600. Berikut merupakan rekap hasil *preliminary* balok induk lantai 1 sampai dengan lantai 8 dalam perencanaan ulang bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi *preliminary* balok

No	Tipe	Panjang	Tinggi min (hmin)	Tinggi (h)	Lebar min (bmin)	Lebar (b)
1	TB1	7000	437,5	700	466,67	500
2	B1	7000	437,5	600	400,00	400
3	B2	7000	437,5	550	366,67	400
4	B3	7000	437,5	500	333,33	350
5	B4	7000	437,5	500	333,33	350
6	B5	3000	375	650	433,33	450
7	BL	4000	250	550	366,67	400

Tabel 1 menunjukkan tinggi minimum (hmin) dan lebar minimum (bmin) balok yang akan digunakan terhadap panjang balok, sehingga tinggi (h) dan lebar (b) balok yang dipakai harus lebih dari tinggi minimum (hmin) dan lebar minimum (bmin) balok. Setelah mendapatkan hasil perhitungan *preliminary* lalu dilanjutkan dengan pengecekan sesuai dengan Syarat Tinggi dan Lebar efektif menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Cek syarat balok

No.	Tipe Balok	Ln	d	Tinggi (h)	Lebar (b)	Syarat Tinggi Efektif SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1	Syarat Lebar Efektif SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1
1	TB1	6350	550	700	500	OK	OK
2	B1	6350	550	600	400	OK	OK
3	B2	5350	500	550	400	OK	OK
4	B3	6350	450	500	350	OK	OK
5	B4	6500	450	500	350	OK	OK
5	B5	2350	600	650	450	OK	OK
6	BL	6400	500	550	400	OK	OK

Berdasarkan tabel di atas balok harus memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif dimana:

Syarat Tinggi Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1) $\rightarrow Ln > 4h - 50$

Syarat Lebar Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1) $\rightarrow h \geq b; h \geq 250$

Maka, dapat disimpulkan untuk seluruh tipe balok yang direncanakan pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang ini telah memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif balok berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1.

3.1.2. Perhitungan dimensi kolom

Berikut merupakan contoh perhitungan preliminary kolom yang digunakan pada perencanaan kali ini:

Data-data perencanaan balok induk 1 :

Tipe Kolom = C1
 Tinggi kolom = 3000 mm
 Bentang baalok = 6000 mm
 Tinggi balok = 600 mm
 Lebar balok = 400 mm
 Pu = 3254741 N
 Mutu Beton (f'_c) = 30 Mpa

Perhitungan perencanaan

$$\frac{I_{column}}{L_{column}} > \frac{I_{beam}}{L_{beam}}$$

$$\frac{\frac{1}{12}bh^3}{H} > \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} \rightarrow \frac{\frac{1}{12}h^4}{3000} > \frac{\frac{1}{12} \times 400 \times 600^3}{6000} \rightarrow h > \sqrt[4]{4320000} \rightarrow h > 45,590 \text{ mm}$$

$$Ag > \frac{Pu}{0,3 \times f'_c} \rightarrow Ag > \frac{Pu}{0,3 \times f'_c} \rightarrow Ag > \frac{P3254741}{0,3 \times 40} \rightarrow Ag > 271228 \text{ mm}^2$$

$$h > \sqrt{271228} \rightarrow h > 521 \cong 650 \text{ mm}$$

Berikut merupakan rekap hasil preliminary kolom lantai 1 sampai dengan lantai 8 dalam perencanaan ulang bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi *preliminary* kolom

Tipe	b	h	Tinggi Kolom, L (mm)	Syarat Sisi Terpendek SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1	Syarat Rasio Dimensi SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1
C1	650	650	3000	OK	OK
C2	600	600	6000	OK	OK
C3	600	650	6000	OK	OK
C4	700	700	3000	OK	OK
C5	550	550	3000	OK	OK
C6	550	500	6000	OK	OK
C7	500	500	6000	OK	OK
CL	600	600	3000	OK	OK

Hasil dari rekapitulasi preliminary design kolom pada tabel 3 kolom harus memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif dimana:

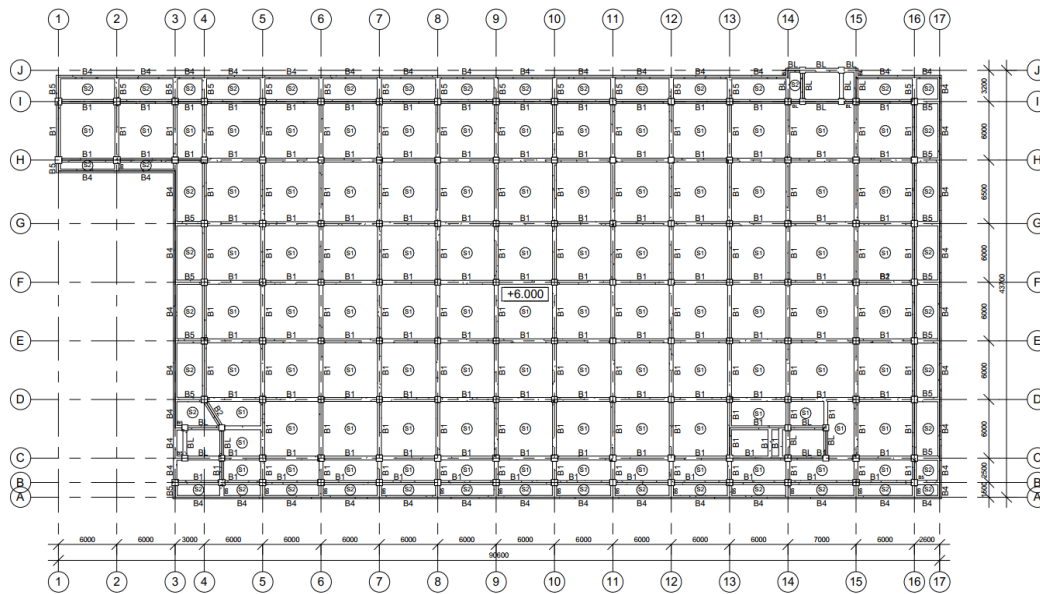
Syarat Sisi Terpendek (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1) $\rightarrow b > 300$

Syarat Rasio Dimensi (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1) $\rightarrow \frac{b}{h} \geq 0,4$

Maka, dapat disimpulkan untuk seluruh tipe kolom yang direncanakan pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang ini telah memenuhi syarat sisi terpendek dan rasio dimensi berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1.

3.1.3. Hasil perhitungan dimensi pelat

Tebal pelat dua arah ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2. Pelat yang akan direncanakan yaitu pelat S1 dengan ukuran 6 m x 6 m seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah Balok untuk pelat dua arah

Pelat S1 didefinisikan sebagai pelat satu arah karena $L_y/L_x < 2$, seperti pada penjabaran di bawah ini :

$$L_y = 6000$$

$$L_x = 6000$$

$$\frac{L_y}{L_x} < 2 \rightarrow \frac{6000}{6000} < 2 \rightarrow 1 < 2 \quad (3)$$

Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya yang di atur pada SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketebalan minimum pelat dua arah

No.	α_{fm}	h minimum, mm
1	$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 diterapkan
2	$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari: $\frac{\ell_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$ tidak boleh < 125 mm
3	$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari: $\frac{\ell_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$ tidak boleh < 90 mm

Berdasarkan tabel 4 tebal minimum plat (t_{min}) didapat berdasarkan masing-masing formula dengan acuan rasio kekakuan (α_{fm}) sehingga tebal minimum plat bisa diperoleh seperti pada tabel 5.

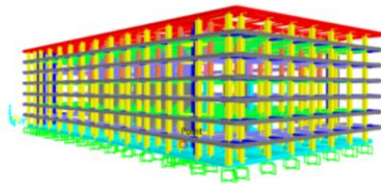
Tabel 5. Rekapitulasi tebal plat

Tipe	t	Ly	Lx	α_{fm}	t min	Check (t min < t)
S1	180	6000	6000	2,675	135,111	OK
S2	150	6000	6000	2,675	135,111	OK

Berdasarkan tabel 5 tebal minimum plat (t_{min}) dihitung menggunakan formula 3 pada tabel 4. dimana rasio kekakuan (α_{fm}) S1 dan S2 sebesar $2,675 > 0,2$ yang mana didapatkan hasil tebal plat yang direncanakan lebih besar atau sama dengan sehingga memenuhi syarat ketebalan minimum pelat dua arah (SNI 2847: 2019 tabel 8.3.1.2, 2019)

3.2. Hasil pemodelan struktur

Berikut merupakan hasil permodelan struktur Gedung pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang menggunakan SAP2000 V22 pada gambar 4.



Gambar 4. Permodelan struktur menggunakan SAP2000

3.3. Analisis struktur

Tahap Analisa Struktur yang dilakukan mengalami beberapa langkah pengeckan, diantaranya:

3.3.1. Kontrol Analisis Beban Gempa

Berikut merupakan Kontrol Analisis Beban Gempa Dinamis yang ditinjau berdasarkan beberapa faktor diantaranya :

1) Analisis Jumlah Ragam atau Partisipasi Massa

Analisis jumlah ragam harus mendapatkan massa ragam x dan y diatas 90% berdasarkan SNI 1726-2019. Tabel 6 merupakan tabel kontrol Analisa jumlah ragam atau partisipasi massa di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah melebihi 90%.

Tabel 6. Modal Participating Mass Ratio

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,391251	0,04924	0,78144
MODAL	Mode	2	1,382064	0,80953	0,83186
MODAL	Mode	3	1,232579	0,8345	0,83188
MODAL	Mode	4	0,450663	0,88566	0,87964
MODAL	Mode	5	0,444827	0,93452	0,93843
MODAL	Mode	6	0,404664	0,94119	0,94137

MODAL	Mode	7	0,265898	0,94325	0,94139
MODAL	Mode	8	0,253596	0,95866	0,9565
MODAL	Mode	9	0,251638	0,9731	0,97449
MODAL	Mode	10	0,237124	0,9731	0,97449
MODAL	Mode	11	0,228962	0,9744	0,97493
MODAL	Mode	12	0,225637	0,97496	0,97493

Tabel 6 menunjukkan massa ragam x (SumUX) dan y (SumUY) lebih dari 0,90 yang artinya jumlah ragam atau partisipasi sudah memenuhi syarat SNI 1726-2019 dimana harus lebih dari 90%.

2) Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis

Analisis perbandingan geser dasar statis dan dinamis harus mendapatkan V Dinamik Geser Dasar $>$ V Statik Geser Dasar maka keadaan dianggap OK atau Memenuhi. Tabel 7 merupakan tabel kontrol Analisa perbandingan geser dasar statis dan dinamis di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi Batasan persyaratan.

Tabel 7. Analisa perbandingan geser statis dan dinamis dari output SAP2000

	Dinamik (VD)	Statik (VS)	Skala Faktor	Kontrol
Gaya Geser Dasar	Gaya Geser Dasar (kN)	Gaya Geser Dasar (kN)	VS / VD	(VD) \geq 100% Vs
Arah X	7033,68	-11374,46	-1,6171422	OK
Arah Y	7154,44	-11474,35	-1,603809	OK

Tabel 7 menunjukkan gaya dinamik geser dasar lebih besar dari gaya statik geser dasar sehingga struktur dinyatakan aman.

3) Simpangan Antar Lantai

Analisis simpangan antar lantai harus menghasilkan simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin. Tabel 8 dan tabel 9 merupakan hasil kontrol Analisa simpangan antar lantai di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi Batasan persyaratan.

Tabel 8. Simpangan lantai arah x dari output SAP2000

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa (ijin) (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta a$ diijinkan
Atap	3000	24,0373	7	75	OK
7	3000	22,7563	14	75	OK
6	3000	20,2288	18	75	OK
5	3000	16,9165	24	75	OK
4	3000	12,6366	26	75	OK
3	3000	7,9537	26	75	OK
2	3000	3,1608	17	75	OK
Dasar	0,0000	0	0	0	

Tabel 8 menunjukkan simpangan antar lantai arah x memenuhi syarat $\Delta x < \Delta a$ dimana Δx hasil dari analisa SAP2000 dan $\Delta a = 0,25 \times$ tinggi tingkat (Hsx) sehingga untuk simpangan antar lantai masih dalam batas yang diizinkan.

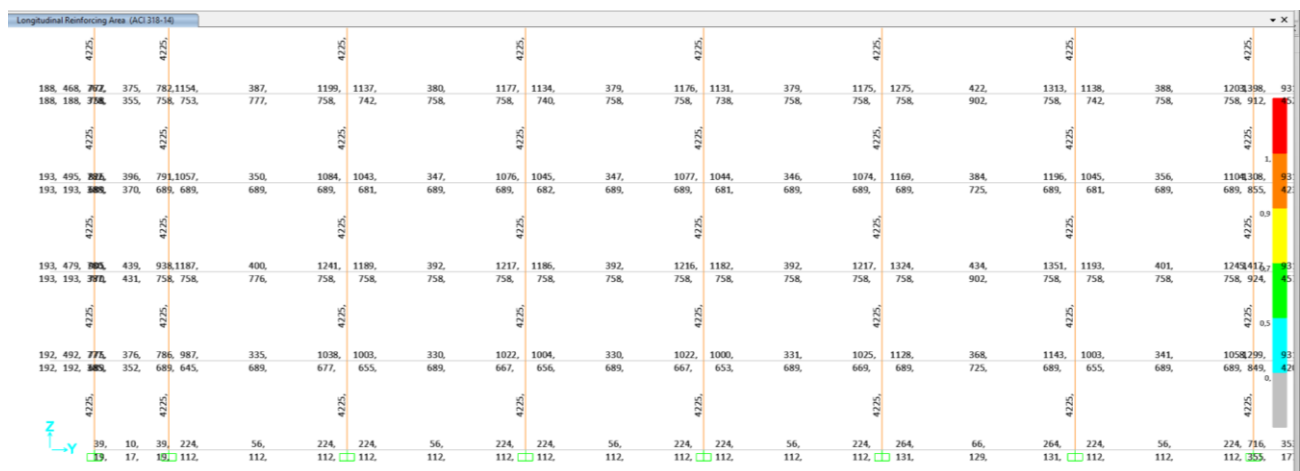
Tabel 9. Simpangan lantai arah y dari output SAP2000

Lantai	Hsx (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	Δa (ijin) (mm)	Kontrol $\Delta y < \Delta a$ diijinkan
Atap	3000	0,5898	0,348	75	OK
7	3000	0,5265	0,427	75	OK
6	3000	0,4488	0,230	75	OK
5	3000	0,4069	0,296	75	OK
4	3000	0,3531	0,485	75	OK
3	3000	0,2649	0,784	75	OK
2	3000	0,1223	0,673	75	OK
Dasar	0	0	0	0	

Tabel 9 menunjukkan simpangan antar lantai arah x memenuhi syarat $\Delta y < \Delta a$ dimana Δy hasil dari analisa SAP2000 dan $\Delta a = 0,25 \times$ tinggi tingkat (Hsx) sehingga untuk simpangan antar lantai masih dalam batas yang diizinkan.

3.3.2. Kontrol analisis ratio batang

Dilakukan pengecekan efisiensi penampang, lalu pengecekan kecocokan penggunaan jenis material dengan penampang, dengan hasil penampang dan material yang direncanakan telah sesuai dan tidak terdapat ketidakcocokan. Selanjutnya dilakukan pengecekan kelayakan struktur guna menghindari penampang balok maupun kolom yang mengalami *overstressed* dan hasilnya yaitu semua penampang rencana baik kolom maupun balok berada dalam keadaan aman dan tidak ada yang mengalami *overstressed*. Dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini hasil pengecekan seluruh *frame*.

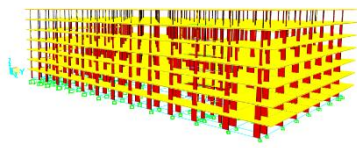


Gambar 5. Hasil kontrol efisiensi penampang

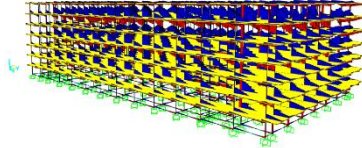
Gambar 5 menunjukkan tidak ada batang yang berwarna merah yang artinya struktur portal utama aman dan tidak ada batang yang mengalami *overstressed* sehingga mampu menahan beban yang ada, bila terjadi *overstressed* maka penampang balok atau kolom harus diperbesar.

3.3.3. Pengecekan gaya geser, momen, dan gaya aksial

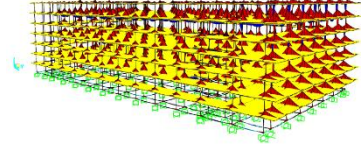
Gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari analisis struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang pada program SAP2000 yang mana akan menjadi acuan dalam perhitungan penulangan pada balok, kolom, plat lantai dan pilecap baik tulangan lentur maupun tulangan geser. Berikut gaya-gaya dalam yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6, gambar 7, gambar 8 di bawah ini antara lain :



Gambar 6. Gaya Aksial



Gambar 7. Gaya Geser



Gambar 8. Momen

3.4. Perhitungan penulangan struktur

3.4.1. Perhitungan penulangan lentur dan geser balok

Berikut merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan utama dan Sengkang seluruh penampang balok yang sudah memenuhi syarat gaya aksial dan tinggi efektif menurut SNI 2847:2019. Langkah perhitungan penulangan utama balok dengan mendapatkan nilai A_s perlu dari output SAP2000 lalu dibandingkan dengan A_s minimum pada komponen struktur lentur berdasarkan SNI 2847:2019 untuk mendapatkan dimensi serta jumlah tulangan utama yang dibutuhkan. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser balok dengan menggunakan nilai A_v atau A_s perlu sengkang dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan. Tabel 10 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan tulangan lentur balok yang akan digunakan pada perencanaan ulang ini.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tipe	b	h	Ln	Daerah	Posisi	As perlu	As min	As terpasang	Dipasang
TB1	450	650	6350	Tumpuan	Atas	243	1112,561	1900,664	5 D 22
					Bawah	121	1112,561	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	60	1112,561	1140,398	3 D 22
					Bawah	121	1112,561	1900,664	5 D 22
B1	400	600	6350	Tumpuan	Atas	1555	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	758	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	496	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah	1266	753,119	1900,664	5 D 22
B2	400	550	5350	Tumpuan	Atas	1200	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	758	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	387	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah	758	753,119	1900,664	5 D 22
B3	350	450	6350	Tumpuan	Atas	705	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	460	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	228	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah				

				Bawah	468	753,119	1900,664	5	D	22
				Atas	381	753,119	1140,398	3	D	22
B4	350	350	6500	Tumpuan Bawah	250	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	124	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	362	753,119	1140,398	3	D	22
				Tumpuan Atas	1682	753,119	1900,664	5	D	22
B5	450	650	2350	Tumpuan Bawah	896	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	997	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	539	753,119	1900,664	5	D	22
				Tumpuan Atas	1257	753,119	1900,664	5	D	22
BL	400	650	6400	Tumpuan Bawah	1036	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	409	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	687	753,119	1900,664	5	D	22

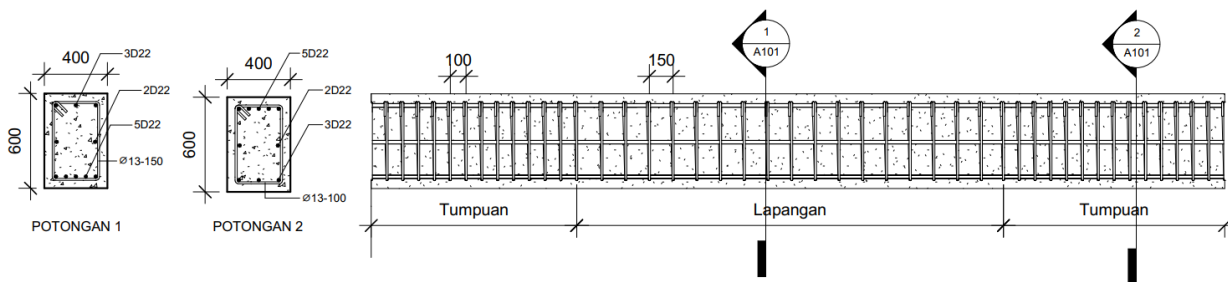
Tabel 10 menunjukkan penulangan lentur pada balok di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_s perlu) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jumlah tulangan agar struktur dinyatakan aman yang mana luas tulangan yang terpasang (A_s terpasang) harus lebih besar dari luas tulangan minimum (A_s min) dan luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu).

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Balok

Tipe	b	h	Ln	Daerah	A_v perlu	\emptyset (mm)	S perlu (mm)	S max (mm)	Dipasang			
TB1	450	700	6350	Tumpuan	2,143	13	123,88	163	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,566	13	169,52	325	2	D	13	- 150
B1	500	650	6350	Tumpuan	2,308	13	115,02	138	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,588	13	167,17	275	2	D	13	- 150
B2	400	600	5350	Tumpuan	1,295	13	204,99	125	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,588	13	167,17	250	2	D	13	- 150
B3	300	500	6350	Tumpuan	0,739	13	359,22	113	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,62	13	428,17	225	2	D	13	- 200
B4	300	400	6500	Tumpuan	0,531	13	499,93	113	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,416	13	638,14	225	2	D	13	- 200
B5	400	700	2350	Tumpuan	2,948	13	101,94	150	2	D	13	- 100
				Lapangan	2,843	13	134,41	300	2	D	13	- 100
BL	500	700	6400	Tumpuan	2,833	13	127,02	125	2	D	13	- 100
				Lapangan	2,322	13	163,36	250	2	D	13	- 150

Tabel 11 menunjukkan dimana penulangan geser pada balok di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_v perlu) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter tulangan agar dinyatakan aman dan

jarak antar tulangan (s) lebih dari 100. Berikut merupakan contoh dari detail dan potongan penampang stuktur balok B1 dimana terdapat detail tumpuan (potongan 2) sebesar $\frac{1}{4}$ panjang balok dan lapangan (potongan 1) sebesar $\frac{1}{2}$ panjang balok pada gambar 9.



Gambar 9. Detail dan Potongan Balok B1

3.4.2. Penulangan lentur dan geser kolom

Tabel 12 merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan utama dan Sengkang seluruh penampang kolom yang ada di perencanaan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847:2019. Langkah perhitungan penulangan utama kolom dengan mendapatkan nilai A_s perlu dari output SAP2000 untuk menghitung dimensi serta jumlah tulangan utama yang dibutuhkan dengan membandingkan A_s perlu dan A_s terpasang. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser kolom juga dengan menggunakan nilai A_v atau A_s perlu sengkang dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Type	B	h	Tinggi	A_s perlu	A_{sp}	A_s perlu < A_{sp}	Dipasang	Cek Rasio
C1	650	650	3000	4225	4562	OK	12 D 22	1,08%
C2	600	600	6000	3600	4562	OK	12 D 22	1,27%
C3	600	650	6000	3900	4562	OK	12 D 22	1,17%
C4	700	700	3000	4900	5890	OK	12 D 25	1,20%
C5	550	550	3000	3025	3041	OK	8 D 22	1,01%
C6	550	500	6000	2750	3041	OK	8 D 22	1,11%
C7	500	500	6000	2500	3041	OK	8 D 22	1,22%
CL	600	600	3000	3600	4562	OK	12 D 22	1,27%

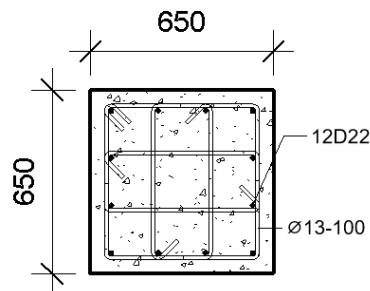
Tabel 12 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan penulangan lentur kolom dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_s perlu) yang didapat dari analisa SAP2000 maka dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jumlah tulangan agar dinyatakan aman yang mana luas tulangan yang terpasang (A_s terpasang) harus lebih besar dari luas tulangan minimum (A_s min) dan luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu). Perbandingan luas tulangan dengan luas penampang (*ratio*) harus lebih dari sama 1% dan kurang dari sama dengan 6%.

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Type	b	h	A_v	\emptyset (mm)	S perlu	S max	Dipasang
C1	650	650	2,851	13	530,929	150	4 D 13 - 100
C2	600	600	1,783	10	235,619	150	3 D 10 - 100
C3	600	650	2,063	10	314,159	150	4 D 10 - 100

C4	700	700	2,097	10	314,159	150	4	D	10	-	100
C5	550	550	1,605	10	235,619	150	3	D	10	-	100
C6	550	500	1,566	10	235,619	150	3	D	10	-	150
C7	500	500	1,244	10	235,619	150	3	D	10	-	150
CL	600	600	2,162	10	235,619	150	3	D	10	-	100

Tabel 13 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan penulangan geser pada kolom terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_v perlu) yang didapat dari analisa SAP2000 maka dilakukan *trial and error* terhadap diameter tulangan agar struktur dinyatakan aman dan jarak antar tulangan (s) lebih dari 100. Berikut merupakan contoh dari detail kolom C1 pada gambar 10.



Gambar 10. Detail Kolom C1

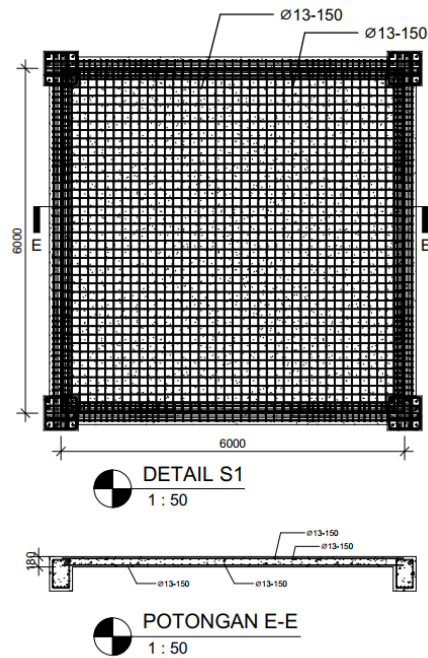
3.4.3. Perhitungan penulangan pelat

Tabel 14 merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan seluruh penampang pelat yang ada di perencanaan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847:2019. Perhitungan penulangan pelat dengan menggunakan nilai M_u dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan.

Tabel 14. Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai

Tipe	t	Area	Posisi	M_u (kNm)	Tebal Efektif (d)	ϕM_n (kNm)	a (mm)	Cek Kapasitas	Dipasang
S1	180	Tulangan Arah X	Tumpuan	6	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
			Lapangan	27	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
		Tulangan Arah Y	Tumpuan	6	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
			Lapangan	28	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
S2	150	Tulangan Arah X	Tumpuan	4	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
			Lapangan	9,2	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
		Tulangan Arah Y	Tumpuan	4,7	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
			Lapangan	9,1	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100

Tabel 14 menunjukkan rekapitulasi penulangan lentur pada plat lantai di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai momen maksimal (M_u) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jarak antar tulangan agar struktur dinyatakan aman yang mana momen maksimal (M_u) harus lebih kecil dari momen nominal (ϕM_n). Berikut merupakan contoh dari detail plat S1 pada gambar 11.



Gambar 11. Detail S1

3.4.4. Perhitungan penulangan pilecap

Nilai momen lentur yang digunakan untuk mendesain penulangan pile cap diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom. Sedangkan untuk pondasi tiang pancang rencana yang dipakai yaitu dimensi 350x350 mm dengan kedalaman 12 m. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan tulangan untuk pile cap.

$$M_u = 159,218 \text{ KN}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{159,218}{0,9 \times 1750 \times 525^2} = 0,367$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{R_n}{0,85 f'_c}} \right]$$

(5)

$$\rho = \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{0,367}{0,85 \times 30}} \right] = 0,00092$$

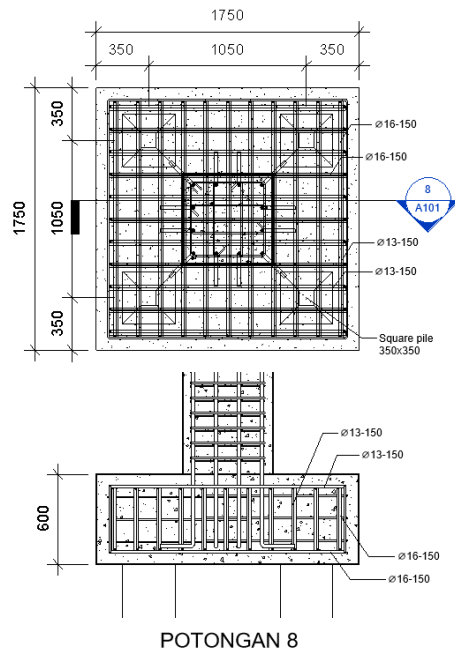
$$A_s \text{ perlu} = \rho b d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,00092 \times 1750 \times 525 = 848,57 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} b d$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times 1750 \times 525 = 1653,75 \text{ mm}^2$$

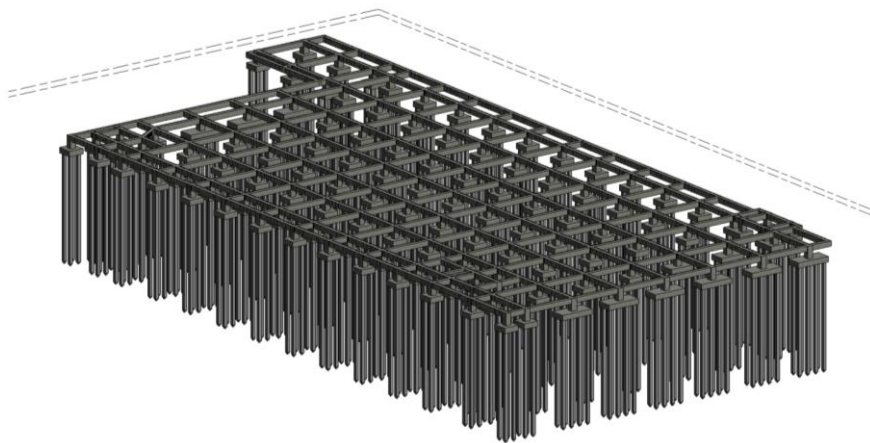
Maka, digunakan tulangan Ø16-150 tulangan atas dan tulangan bawah sebesar 20% tulangan bawah yaitu Ø13-150 di tulangan melintang maupun memanjang. Berikut merupakan contoh dari detail plat S1 pada gambar 11.



Gambar 12. Detail PC4

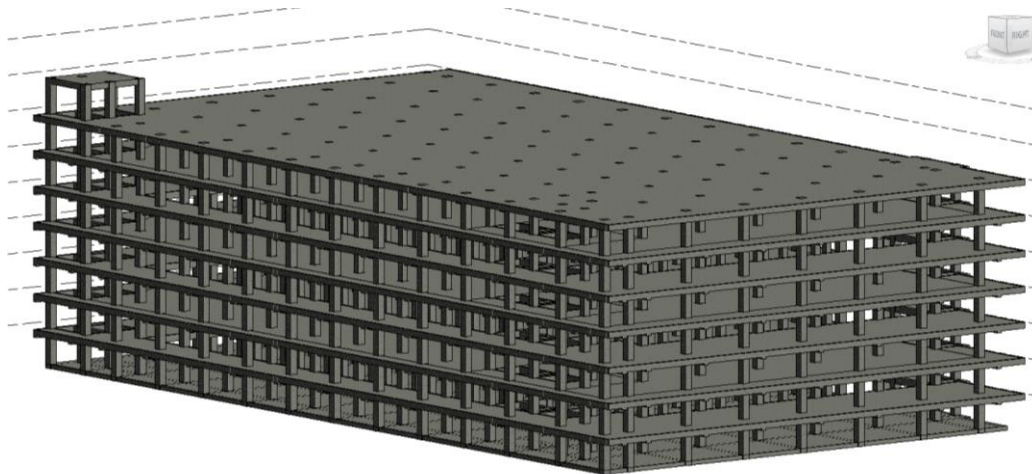
3.4.5. Pemodelan 3D dengan Revit

Berikut merupakan hasil pemodelan menggunakan Revit untuk struktur bawah gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah sesuai dengan perhitungan struktur yang direncanakan terdiri dari pondasi tiang pancang, pile cap, dan tie beam pada gambar 13.



Gambar 13. 3D Struktur bawah Revit

Selanjutnya di bawah ini juga hasil pemodelan menggunakan Revit untuk struktur atas gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah sesuai dengan hasil perhitungan struktur. Pemodelan struktur atas ini terdiri dari kolom, balok, dan pelat lantai pada gambar 14.



Gambar 14. 3D Struktur atas Revit

4. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan rencana ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan ulang struktur Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Ada beberapa perubahan yakni dimensi penampang desain yang berbeda dengan *as built drawing* PT. Ferron Pharmaceuticals. Pada perencanaan ulang ini dimensi penampang struktur dihitung berulang kali dari balok pengikat, balok, kolom dan pelat diubah dimensinya. Perubahan tersebut terjadi karena perbedaan faktor pembebanan dan efisiensi luas penampang.
2. Perencanaan ulang struktur Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang, dengan kategori risiko II dan Kelas Situs SD (Tanah Sedang) yang masuk dalam desain seismik kategori D dapat dirancang menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK).
3. Semua struktur yang direncanakan aman melalui pembebanan dan analisis struktur menggunakan SAP2000 V22 dan memenuhi kriteria aman dan Batasan aturan perencanaan gedung yang berlaku.
4. Pemodelan 3D memvisualisasikan pemodelan struktur secara tiga dimensi yang mencakup struktur bawah, struktur atas, hingga penulangan komponen.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dan mendukung dalam penyusunan, perencanaan dan analisis struktur bangunan Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang khususnya PT. Nusa Raya Cipta Tbk. Yang telah mengizinkan untuk mengambil data perencanaan untuk mendukung perencanaan ulang gedung ini.

Referensi

- Abdalla, Salem Buhashima et al. 2023. "Comparative Analysis of Building Information Modeling (BIM) Patterns and Trends in the United Arab Emirates (UAE) with Developed Countries." *Buildings* 13(3): 695.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.*

- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971." *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan* 7: 130.
- Ir. Gideon H. Kusuma M. Eng, Ir.W.C. Vis. 1993. *Dasar Dasar Perencanaan BEton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-D3*.
- M Nur Sholeh. 2022. "Analisa Struktur SAP2000 V22." : 167.
- Muafandi, Sonif, Arifien Nursandah, and Bambang Kiswono. 2019. "Perencanaan Struktur Gedung Perkantoran Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Berdasarkan Sni 2847-2013 Di Bantul – Yogyakarta." *Agregat* 4(1): 324–30.
- Partama, I Gusti Ngurah Eka. 2017. "Penentuan Tebal Pelat Lantai Gedung Yang Ditumpu Pada Keempat Sisinya Sesuai SNI 2847:2013." *Jurnal Teknik Gradien* 9(1): 1–20.
- Sabrina, Mona Indria, Nevy Sandra, and Fajri Yusmar. 2022. "Rancang Bangun Desain Elemen Struktur Balok Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)." *Cived* 9(3): 405.
- Salmon, Chu Kia Wang and Charles G. 1986. "Desain Beton Bertulang." : 502.
- Saputra, Ardo, Hasti Rikara Husni, Bayzoni, and Amril Maruf Siregar. 2022. "Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Menggunakan Software Autodesk Revit (Studi Kasus: Gedung 5 RSPTN Universitas Lampung)."
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013*.
- Tangahu, Budi Rahmad, Kasmat Saleh Nur, and Mirzan Gani. 2019. "Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respon SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik D." *Jurnal Teknik* 17(1): 57–65.
- Vincent, D., Ojo, S., & Omeje, H. 2020. "Assessing the Utilization of Building Information Modelling Software for Project Planning in Construction Industries in Ondo State."

© PILARS, 2023. All rights reserved

