



PILARS

JURNAL SIPIL
DAN ARSITEKTUR

OPEN ACCESS



E-ISSN 2988-5973

JURNAL SIPIL DAN ARSITEKTUR



PILARS	Volume 1	Nomor 3	Desember 2023	Hal 1-75	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 SIPIIL DAN ARSITEKTUR



Volume 1 Nomor 3 Desember 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 3 Desember 2023

DAFTAR ISI

1. Pemanfaatan limbah kertas semen, serat bambu, dan serat fiber sebagai bahan tambah pembuatan plafon gypsum
(Agam Fauzie Akbar, Khalid Al Rasyid Sentosa, Hartono, Shifa Fauziyah)1-7
2. Pemanfaatan limbah rambut manusia dan limbah karbit sebagai substitusi plafond
(Putri Karisma Ramadhani, Muh. Fauzi Alfani K., Shifa Fauziah, Hartono)8-17
3. Pengaruh penggunaan limbah masker medis dan limbah serabut kelapa sebagai substitusi pasir dalam pembuatan bata ringan
(Dini Arroikhaanunnisa, Nema Oryza Kusumawati, Hartono, Shifa Fauziyah)18-24
4. Identifikasi dan evaluasi pengaruh ventilasi alami pada ruang kelas terhadap fenomena sick building syndrome
(Latifah, Widiastuti)25-30
5. Penerapan building information modeling (BIM) dalam perencanaan rumah susun kementerian sosial BBRSPDF Kota Surakarta 6 lantai
(Aditya Wibowoa, Safia Nur Asha, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi).....31-44
6. Model 5D Gedung dekanat dan perkuliahan fakultas kesehatan masyarakat Universitas Diponegoro
(Muhammad Ar Rayyan F., Rahma Uyun A., Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi).....45-59
7. Perencanaan jembatan beton prategang RSUD Temanggung dengan berbasis building information modeling (BIM) 3D, 4D, dan 5D
(Dianya Puan Anandita, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi).....60-75

Pemanfaatan limbah kertas semen, serat bambu, dan serat fiber sebagai bahan tambah pembuatan plafon gypsum

Agam Fauzie Akbar^{a*}, Khalid Al Rasyid Sentosa^b, Hartono^c, Shifa Fauziyah^d

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

agamfauzieakb@gmail.com

alrasyidkhalid56@gmail.com

Article history:

Received : 31 July 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

Bamboo Fiber, Ceiling, Cement, Gypsum, Pulp

ABSTRACT

The ceiling is a part of building construction that serves as the ceiling of the building. The ceiling industry is an industry that easily keeps up with the times with various innovations produced. Therefore, with the innovation of bamboo fiber, fiber fiber and paper pulp as added materials to the gypsum ceiling, it can be optimized as raw material for making gypsum ceilings. The purpose of this study is to optimize cement paper waste, bamboo fiber waste and fiber fiber to optimize waste around the environment as gypsum ceiling added material to produce gypsum ceiling with better quality. The method used is research and experiments with job mix used is the addition of 0%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% cement pulp waste 0%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% bamboo fiber waste, , 0%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% fiber fiber. The results of the study can be seen that the highest flexural strength of 138.89 kgf / cm² occurs in the percentage composition of 2.5% bamboo fiber, fiber fiber and cement pulp compared to the bending strength of normal variations, in the best water absorption how much in the composition of 1.5% fiber fiber with a value of 9.09% better than the normal ceiling, the best moisture content is in the composition of 2% bamboo fiber-cement pulp and 2.5% bamboo fiber, fiber fiber and cement pulp compared to normal ceiling. However, from the results of the price analysis, it can be seen that the variation in the percentage of 2.5% bamboo fiber, bamboo fiber and cement pulp requires a higher cost than the normal ceiling with a difference of Rp. 38.00.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Plafon merupakan bagian dari struktur bangunan sebagai interior atas yang berhubungan dengan bagian atas sebuah ruangan yang berfungsi sebagai penutup lantai struktur. Salah satu jenis dalam plafon adalah gypsum. Gypsum merupakan mineral yang terbentuk dari hasil endapan air laut yang mengalami proses penguapan. Seiring perkembangan waktu, penggunaan gypsum sebagai plafon sudah menjadi opsi kedua setelah banyak orang yang memilih ke plafon dengan material lain karena memiliki kekuatan yang lebih baik. Maka dari itu terdapat berbagai inovasi yang muncul dalam pembuatan plafon gypsum, salah satunya inovasi bahan campuran dengan memasukkan bahan tambah untuk menambahkan kekuatan pada plafon gypsum.

Di Indonesia permasalahan sampah menjadi permasalahan yang sangat diperhatikan. Tercatat pada data Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK) tahun 2020, setiap tahunnya Indonesia telah menghasilkan sampah sebanyak 34,5 ton dan 12% dari jumlah sampah tersebut adalah kertas. Sementara itu, sebanyak 43% limbah kertas masih belum terkelola. (Mita Defitri, August, 2022) Menurut Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia tahun 2021, terdapat 176 spesies bambu di Indonesia dari total 1620 jenis bambu yang ada di dunia yang berasal dari 80 negara. Hal ini berarti 10% jenis bambu di dunia berada di Indonesia. Walaupun banyaknya bambu di

Indonesia, menurut Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia pada tahun 2009 diperkirakan bambu bisa terancam punah dikarenakan banyaknya eksplorasi besar-besaran tanpa disertai dengan budidaya kembali. (lipi.go.id, June 27, 2009)

Dibalik sisi negatif karena adanya limbah kertas yang menumpuk terpadat sisi positif serta banyak manfaat yang bisa dimanfaatkan dari kedua hal tersebut. Salah satunya dalam pembuatan plafon gypsum. Limbah kertas memiliki kandungan yang sama dengan serat bambu yaitu selulosa yang dimana itu akan mampu untuk meningkatkan kekuatan bambu yang rentan tidak tahan lama.

Bukan hanya pemanfaatan limbah kertas semen dan serat bambu saja yang mampu dimanfaatkan, tetapi dengan mengganbungkan serat organik yaitu serat fiber dapat dimanfaatkan dalam pembuatan plafon gypsum. Dengan memiliki bahan lunak yang terbuat dari serat kaca serta kandungan silika membuat bahan ini memiliki struktur yang kuat dan tahan lama.

Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kertas semen, serat bambu dan serat fiber dapat digunakan dalam pembuatan plafon gypsum sebagai bahan tambah dalam komposisi campuran karena limbah kertas semen, serat bambu, dan serat fiber memiliki kandungan yang sama guna untuk meningkatkan kekuatan gypsum yang akan dihasilkan. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini penggunaan serat dalam gypsum untuk plafon mampu untuk dijadikan inovasi daripada gypsum konvensional yang tidak memiliki serat agar gypsum menjadi kuat dan tahan lama. Selain itu penggunaan limbah kertas semen diharapkan mampu untuk meminimalisir limbah kertas yang menumpuk untuk dijadikan gypsum yang lebih ramah lingkungan daripada gypsum konvensional.

2. Data dan metode

2.1. Pengolahan serat bambu

Serat bambu yang digunakan pada pembuatan plafon gypsum ini menggunakan serat bambu yang halus. Langkah dalam pengolahan serat bambu adalah dengan cara mengeluarkan serat bambu terlebih dahulu dari bambu dan akan dicuci bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari sebelum digunakan dalam pembuatan plafon gypsum. Setelah serat bambu sudah kering dan bersih, serat bambu dapat digunakan dalam campuran dalam pembuatan plafon gypsum. Untuk penggunaan serat bambu yang akan dicampurkan adalah dengan persentase 0%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3% (Trisna & Mahyudin, 2012).

2.2. Pengolahan limbah kertas semen

Kertas semen yang digunakan pada pembuatan plafon gypsum ini menggunakan kertas semen yang sudah diolah menjadi bubur kertas semen. Langkah dalam pengolahan kertas semen adalah dengan cara membersihkan kertas semen terlebih dahulu dan akan dihaluskan menggunakan blender dan selanjutnya dihaluskan kembali menggunakan cara ditumbuk. Setelah sudah halus, bubur kertas semen akan dikeringkan dibawah sinar matahari untuk menghilangkan air yang sudah terserap sebelum digunakan dalam pembuatan plafon gypsum. Untuk penggunaan kertas semen yang akan dicampurkan adalah dengan persentase 0%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3% (Jumiati et al., 2020).

2.3. Merancang *Mix Design*

Mix Design pada pembuatan plafon menjadikan penelitian terdahulu sebagai acuan referensi. Berdasarkan hasil penelitian dari berbagai jurnal yang didapatkan persentase rata-rata serat untuk mencapai nilai kuat lentur optimum sebesar 2,5%, sedangkan untuk persentase rata-rata bubur kertas semen mencapai kuat lentur optimum sebesar 2,5%. Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa kaca yang di beri batasan aluminium dengan ukuran 10 x 15 x 0,9 cm yang menggunakan proporsi bahan campuran 1 (air) : 2 (gypsum, dengan menggunakan serat fiber, serat bambu dan bubur kertas semen sebagai bahan tambah komposisi. Berikut komposisi *job mix design* pada Tabel 1.

Tabel 1. Job Mix Design

Jenis Plafon	Proporsi Bahan	Nama Benda Uji
Plafon Serat Fiber 0% Srat Bambu 0% Bubur Kertas Semen 0%	1 (Air) : 2 (Gypsum)	Variasi A
Plafon Serat Fiber 1,5% Srat Bambu 0% Bubur Kertas Semen 0%	1 (Air) : 2 (98,5% Gypsum, 1,5% Serat Fiber)	Variasi B
Plafon Serat Fiber 0% Serat Bambu 1,5% Bubur Kertas Semen 0%	1 (Air) : 2 (98,5% Gypsum, 1,5% Serat Bambu)	Variasi C
Plafon Serat Fiber 2% Serat Bambu 0% Bubur Kertas Semen 2%	1 (Air) : 2 (96% Gypsum, 2% Serat Fiber, 2% Bubur Kertas Semen)	Variasi D
Plafon Serat Fiber 0% Serat Bambu 2% Bubur Kertas Semen 2%	1 (Air) : 2 (96% Gypsum, 2% Serat Bambu, 2% Bubur Kertas Semen)	Variasi E
Plafon Serat Fiber 2,5% Serat Bambu 2,5% Bubur Kertas Semen 2,5%	1 (Air) : 2 (92,5% Gypsum, 2,5% Serat Fiber, 2,5% Serat Bambu, 2,5% Bubur Kertas Semen)	Variasi F
Plafon Serat Fiber 1,5% Serat Bambu 3% Bubur Kertas Semen 2%	1 (Air) : 2 (91,5% Gypsum, 1,5% Serat Fiber, 3% Serat Bambu, 2% Bubur Kertas Semen)	Variasi G
Plafon Serat Fiber 3% Serat Bambu 1,5% Bubur Kertas Semen 1,5%	1 (Air) : 2 (94% Gypsum, 3% Serat Fiber, 1,5% Serat Bambu, 1,5% Bubur Kertas Semen)	Variasi H

2.4. Pengujian penyerapan air

Pengujian penyerapan air plafon gypsum dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan penyerapan yang terjadi pada plafon normal dengan plafon yang sudah di desain. Uji penyerapan ini menggunakan wadah yang diberi air seinggi 2 cm dengan benda uji diletakkan secara *vertical*. Dalam menghitung penyerapan air, beban sesudah dan sebelum diuji masing-masing ditimbang lalu akan keluar hasil perbandingan beban sebelum dengan sesudah penyerapan.

2.5. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan pada umur plafon mencapai 7 hari. Uji ini bertujuan untuk mengetahui besarnya air yang keluar dari benda uji, semakin besar air yang keluar dari benda uji semakin banyak pori atau rongga pada plafon uji, sehingga ketahanan benda uji akan berkurang. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung selisih antara massa benda uji yang sesudah dioven suhu $103\pm 0^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam dengan massa sebelum dioven.

2.6. Pengujian uji kuat lentur

Pengujian kuat lentur plafon gypsum dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian ini mencari hasil terbaik dari beberapa sampel benda uji yang diberi tekanan pada titik tengah benda uji, benda uji diberi tekanan hingga patah atau terdapat retakan.

2.7. Pengujian visual

Pengujian visual bertujuan untuk mengetahui benda uji sudah sesuai dengan SNI 01-4449-2006 papan serat kerapatan rendah dengan maksimal keteliti panjang dan lebar 1 mm, tebal maksimal 0,9 cm.

2.8. Perencanaan *output* plafon gypsum

Output yang dihasilkan dari penelitian ini adalah papan serat kerapatan rendah berdasarkan SNI 01-4449-2006 dengan dimensi 15 cm (panjang) x 10 cm (lebar) x 0,9 cm (tebal). Papan serat kerapatan

rendah yang dihasilkan akan menggunakan variasi campuran serat fiber, serat bambu dan bubuk kertas semen yang optimal sebagai bahan tambah plafon gypsum.

3. Hasil dan pembahasan

Inovasi plafon gypsum dengan memanfaatkan serat bambu, serat fiber dan bubuk kertas semen sebagai bahan tambah plafon gypsum, memiliki keunggulan dalam menghasilkan kuat lentu yang lebih tinggi, penyerapan air lebih baik, kadar air lebih baik daripada plafon gypsum konvensional meskipun dengan biaya yang lebih mahal. Serat bambu dan serat fiber yang digunakan dapat menahan beban lebih kuat dibandingkan plafon konvensional tanpa serat. Namun penambahan serat membuat biaya yang dikeluarkan bertambah lebih mahal dibandingkan plafon konvensional.

3.1. Pengujian penyerapan air

Pengujian penyerapan air plafon gypsum dilakukan pada umur 7 hari. Dengan jumlah sampel uji 8 buah sampel. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan penyerapan yang terjadi pada plafon normal dengan plafon yang sudah di desain. Berikut hasil uji penyerapan air benda uji plafon gypsum pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji penyerapan

No.	Variasi	Sebelum (g)	Sesudah (g)	Nilai Penyerapan Air (%)
1	A	140	200	42,86
2	B	165	180	9,09
3	C	145	190	31,03
4	D	160	175	9,38
5	E	155	175	12,90
6	F	150	185	23,33
7	G	150	190	26,67
8	H	150	200	33,33

Berdasarkan hasil uji penyerapan pada tabel 2, didapatkan hasil penyerapan air tiap variasi plafon gypsum pada umur 7 hari didapatkan nilai persentase pada variasi plafon normal (variasi A) memiliki nilai penyerapan tinggi di angka 42,86%, sedangkan variasi F dengan 23,33%, variasi G 26,67%, variasi H 33,33%. Hal ini membuktikan seluruh variasi uji sudah memnuhi syarat penyerapan air kurang dari 40% sesuai dengan yang telah ditetapkan FAO 1996 tentang papa serat (Nurrani, 2012).

3.2. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air dilakukan pada umur plafon mencapai 7 hari. Dengan jumlah sampel uji 8 buah sampel. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung selisih antara massa benda uji yang sesudah dioven suhu $103\pm^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam dengan massa sebelum dioven. Berikut hasil uji kadar air benda uji plafon gypsum. Berikut hasil uji kadar air benda uji plafon gypsum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kadar air

No.	Variasi	Sebelum (g)	Sesudah (g)	Nilai Penyerapan Air (%)
1	A	145	135	7,41
2	B	160	145	10,34
3	C	155	145	6,90
4	D	135	120	12,50
5	E	150	145	3,45
6	F	150	145	3,45
7	G	150	140	7,14
8	H	150	135	11,11

Berdasarkan hasil uji kadar air pada tabel 3, didapatkan hasil pengujian kadar air tiap variasi plafon gypsum pada umur 7 hari didapatkan nilai persentase kadar air pada plafon normal berada di

persentase 7,41%, variasi B 10,34%, variasi C 6,90%, variasi D 12,50%, variasi E 3,45%, variasi F 3,45%, variasi G 7,14%, variasi H 11,11%. Hal ini membuktikan bahwa seluruh variasi telah memenuhi syarat kadar air kurang dari 13% seperti yang telah ditetapkan SNI 01-4449-2006.

3.3. Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan saat benda uji mencapai umur 7 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 24 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas serta membandingkan antara plafon gypsum konvensional dengan plafon gypsum dengan bahan tambahan yang sudah didesain. Berikut ini hasil pengujian kuat lentur plafon gypsum umur 7 hari. Berikut hasil uji kuat lentur benda uji plafon gypsum pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji kuat lentur

Variasi <i>Mix Design</i>	No	Berat (gram)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur (Kgf/cm ²)
Variasi A (Konvensional)	1	145	9,26	78.89	64.30 kgf/cm ²
	2	150	9,26	86.02	
	3	145	9,26	87.04	
		Rata-rata	9,26	83.98	
Variasi B (1,5% Serat Fiber)	1	160	9,26	87.22	70.73 kgf/cm ²
	2	155	9,26	86.57	
	3	160	10,19	88.33	
		Rata-rata	9,36	87.37	
Variasi C (1,5% Serat Bambu)	1	155	9,26	87,87	90.02 kgf/cm ²
	2	150	9,26	86,94	
	3	145	12,96	84,57	
		Rata-rata	9,67	87,13	
Variasi D (2% Serat Fiber + 2% Kertas Semen)	1	135	9,26	90,28	83.59 kgf/cm ²
	2	130	12,04	90,09	
	3	125	10,19	88,98	
		Rata-rata	10,60	89,78	
Variasi E (2% Serat Bambu + 2% Kertas Semen)	1	150	9,26	88,15	128.60 kgf/cm ²
	2	145	18,52	88,98	
	3	145	18,52	92,04	
		Rata-rata	14,40	89,72	
Variasi F (2,5% Serat Bambu + 2,5% Serat Fiber + 2,5% Kertas Semen)	1	150	10,00	96,50	138.89 kgf/cm ²
	2	150	20,00	95,10	
	3	145	20,00	98,80	
		Rata-rata	15,56	96,80	

		rata				
Variasi G (3% Serat Bambu + 1,5% Serat Fiber + 2% Kertas Semen)	1	150	9,26	87,04	122,17 kgf/cm ²	
	2	145	17,59	91,57		
	3	145	9,26	88,70		
		Rata-rata	12,96	89,10		
Variasi H (1,5% Serat Bambu + 3% Serat Fiber + 1,5% Kertas Semen)	1	150	13,89	90,83	96,45 kgf/cm ²	
	2	150	13,89	89,07		
	3	145	9,26	88,15		
		Rata-rata	13,37	89,35		

Berdasarkan hasil uji kuat lentur pada tabel 4, didapatkan hasil pengujian kuat lentur bahwa variasi *mix design* memiliki hasil nilai kuat lentur rata-rata maksimum berada di variasi F dengan 138,89 kgf/cm². Sedangkan nilai kuat lentur minimum terjadi pada variasi A sebesar 64,30 kgf/cm², yang berarti variasi F menghasilkan nilai kuat lentur lebih tinggi dari plafon gypsum konvensional sebesar 74,59 kgf/cm².

3.4. Analisis perbandingan anggaran biaya

Berdasarkan hasil pengujian *mix design* yang telah dilakukan diperoleh variasi komposisi campuran terbaik yang dapat diterapkan dalam inovasi plafon gypsum yaitu variasi F (serat bambu + serat fiber + bubur kertas semen). Berikut ini perbandingan biaya produksi plafon gypsum normal dengan plafon gypsum variasi F. Berikut hasil perbandingan analisa biaya pembuatan plafon pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Analisis biaya plafon konvensional

Material	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Jumlah
Gypsum	0,200	Kg	Rp. 5.000,00	Rp. 1.000,00
Air	100	ml	-	-
Alat (10%)				Rp. 170,00
Upah (30%)				Rp. 500,00
Total				Rp. 1.670,00

Tabel 6. Analisis Biaya 2,5% Serat Fiber, 2,5% Serat Bambu, 2,5% Bubur Kertas Semen

Material	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Jumlah
Gypsum	0,185	Kg	Rp. 5.000,00	Rp. 925,00
Serat Fiber	0,005	kg	Rp. 20.000,00	Rp. 100,00
Serat Bambu	0,005	Kg	-	-
Bubur Kertas Semen	0,005	kg	-	-
Air	100	ml	-	-
Alat (10%)				Rp. 171,00
Upah (30%)				Rp. 512,00
Total				Rp. 1.708,00

Berdasarkan hasil analisa biaya pada tabel 5 dan tabel 6, diketahui anggaran biaya produksi plafon gypsum konvensional didapatkan sebesar Rp. 1.670,00 dan biaya produksi variasi F (2,5% serat fiber + 2,5% serat bambu + 2,5% bubur kertas semen) sebesar Rp. 1.708,00. Dengan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa selisih biaya untuk variasi terbaik dibandingkan dengan plafon konvensional memiliki biaya yang lebih tinggi sekitar Rp. 38,00, dalam biaya pembuatan plafon.

4. Kesimpulan

Penelitian pemanfaatan limbah kertas semen, serat fiber, dan serat bambu sebagai bahan tambah dalam pembuatan plafon gypsum berpengaruh untuk meningkatkan kuat lentur plafon gypsum dengan hasil batas maksimal penambahan ketiga bahan tersebut ada di persentase 2,5% dengan hasil kuat lentur 138,89 Kgf/cm² dibandingkan gypsum konvensional dengan angka 64,30 kg/cm². Serta dengan penambahan 2,5% ketiga bahan tersebut juga menghasilkan nilai kadar air terbaik diangka 3,45% dibandingkan plafon gypsum konvensional dengan angka 7,41%. Namun untuk menghasilkan plafon gypsum dengan nilai penyerapan air paling baik ada dengan penambahan 1,5% serat fiber dengan angka 9,09% dibandingkan gypsum konvensional ada diangka 42,86%. Namun dengan memiliki kelebihan dengan menghasilkan plafon gypsum yang lebih kuat dan lebih baik, tetapi tidak menghasilkan harga yang lebih ekonomis dengan biaya Rp.1.708,00 dibandingkan dengan harga plafon gypsum konvensional dengan biaya Rp. 1.670,00.

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

- Jumiati et al., 2020; ANALISIS SIFAT FISIS PAPAN PLAFON BERBAHAN DASAR BUBUR KERTAS SNI 01-4449-2006 PAPAN SERAT
- Jumiati et al., 2020; Karakterisasi Sifat Fisis Dan Mikrostruktur Papan Gypsum Dengan Variasi Komposisi Lateks
- Nurrani, 2012; PEMANFAATAN BATANG PISANG (Musa sp.) SEBAGAI BAHAN BAKU PAPAN SERAT DENGAN PERLAKUAN TERMO-MEKANIS
- Trimurtiningrum, 2018; Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Tekan Beton
- Trisna & Mahyudin, 2012; ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIK PAPAN KOMPOSIT GIPSUM SERAT IJUK DENGAN PENAMBAHAN BORAKS (Dinatrium Tetraborat Decahydrate)
- ekon.go.id. (2021. 4 May). Pengembangan Bambu Berkelanjutan. Diakses 27 Juli 2023, dari <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/2966/pengembangan-bambu-berkelanjutan>
- Mita Defitri (2022. 2 August). Kenali Bahaya Sampah Kertas Bagi Lingkungan. Diakses 27 Juli 2023, dari <https://waste4change.com/blog/kenali-bahaya-sampah-kertas-bagi-lingkungan/#:~:text=Sampah%20Kertas%20di%20Indonesia&text=Menurut%20data%20Kementerian%20Lingkungan%20Hidup,limbah%20kertas%20masih%20belum%20terkelola.>
- lipi.go.id. (2009. 27 June). Pohon Bambu Terancam Punah. Diakses 27 Juli 2023, dari <http://lipi.go.id/berita/pohon-bambu-terancam-punah/3792#:~:text=Diperkirakan%20sekitar%2015%20tahun%20hingga,akan%20berpengaruh%20terhadap%20keseimbangan%20lingkungan.>



Pemanfaatan limbah rambut manusia dan limbah karbit sebagai substitusi plafond

Putri Karisma Ramadhani^{a*}, Muh. Fauzi Alfani Karuniawan^b, Shifa Fauziah^c, Hartono^d

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

putrika.rismara@gmail.com

muhfauzialfanikaruniawan@gmail.com

Article history:

Received : 05 August 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

Ceiling, hair waste, carbide waste, flexible strength

ABSTRACT

Ceiling or what is often called the ceiling is a non-structural component in a building. GRC (Glasfiber Reinforced Cement) ceiling is composed of components of sand, cement, water, fiberglass. It contains the same ingredients as fiberglass and human hair, namely calcium, iron and silica. Similar to human hair waste, there has not been much innovation in utilizing carbide waste. Carbide waste contains CaO which is a basic ingredient in cement manufacture. In this study using the experimental method. The purpose of this study was to determine the flexural strength and compressive strength of the ceiling. In this study, 4 samples were used with a differentiating concentration of 5% each, including: F0: 0 %, F1: 10%, F2: 15%, F3: 20 %. Tests in this study included density, water absorption, and flexural strength tests. The results of the characterization of the ceiling grc produced in the physical properties test: density resulted in values of 1.97 gr/cm³, 2.17 gr/cm³, 2.11 gr/cm³, 1.98 gr/cm³, sample F1 the percentage of hair fiber was 10% the highest density compared to other samples. Based on the results of the density test, it is classified as PSKT (High Density Fiber Board) with a density value of > 0.84 gr/cm³. The results of the water absorption values based on the tests include: F0 of 10.78%, sample F1 of 10.24%, sample F2 of 10.43%, and sample F3 of 10.92%, according to the water absorption test that has been carried out, the formula the best was found in sample F1 with the least water absorption with a 10% hair fiber percentage of 10.24%. The results of the density test with water absorption are inversely proportional. While the mechanical properties test: flexural strength in F0 was 34261.92 kgf/cm², sample F1 was 37321.02 kgf/cm², sample F2 was 38544.66 kgf/cm², and the highest sample was in F3 with a percentage of hair fiber of (20 %) of 39768.3 kgf/cm².

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Plafond ialah komponen nonstruktural dalam suatu bangunan. Plafond juga berperan dalam menambah keestetikan dan kenyamanan di dalam ruangan. Fungsi lain dari plafond juga sebagai pelindung ruangan dari rembesan kebocoran dari atas atap dan perendam suara dari luar. Kualitas dan mutu plafond di tentukan oleh material bahan penyusunnya. Peningkatan pembangunan infrastruktur di Indonesia menyebabkan tingginya permintaan terhadap material suatu bangunan, salah satunya adalah plafond jenis GRC (Glassfiber Reinforced Cement Board). Plafond grc memiliki tekstur sedikit lebih kasar dan lebih besar daripada jenis plafond eternit. Plafond grc merupakan salah

satu jenis plafond yang memiliki harga jual yang relatif lebih mahal dikarenakan bahan penyusunnya yang berasal dari fiberglass. Fiberglass merupakan serat kaca yang menjadi bahan utama dalam pembuatan plafond grc. Saputra (2016) mengatakan bahwa penggunaan fiberglass di Indonesia setiap tahun kian meningkat. Hal ini menyebabkan ketersediaan bahan tersebut semakin menipis dan harus melakukan impor dari luar negeri untuk mendapatkan fiberglass yang harganya relatif mahal.

Di Indonesia pemanfaatan limbah rambut manusia masih belum optimal. Banyaknya limbah rambut manusia yang tidak dimanfaatkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah rambut manusia memiliki potensi sebagai pengganti fiberglass. Hal ini dikarenakan ditemukan beberapa kandungan komponen yang sama antara fiberglass dengan serat rambut manusia. Rambut manusia mengandung asam amino, 3% pigmen melanin, besi, mangan, kalsium, magnesium, seng, tembaga, fosfor, silikon dan lemak (Sudarman et al. 2022). Sedangkan fiberglass memiliki kandungan silika, SiO₂ dan mengandung oksida seperti kalsium, boron, natrium, aluminium dan besi (Annissa, Musfiroh, and Indriati 2019). Berdasarkan pernyataan tersebut dapat ditemukan kandungan yang sama antara fiberglass dan serat rambut manusia adalah kalsium, besi, dan silika.

Sedangkan limbah karbit adalah hasil sisa reaksi karbit dengan air dalam proses pengelasan. Banyaknya limbah karbit akan berdampak buruk terhadap lingkungan khususnya udara, tanah, dan air (Tjahjono et al. 2017) menuturkan bahwa limbah karbit hasil buangan industri pengelasan mengandung CaO yang merupakan bahan dasar dalam pembuatan semen. Penelitian lain juga diperkuat oleh (Makalesi et al. 2020) yang menegaskan bahwa limbah karbit dapat digunakan sebagai pengganti semen. Hal ini dikarenakan semen merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui dan semakin lama bahan utama penyusun semen seperti kalsium Cao semakin sedikit. Penelitian ini memanfaatkan limbah rambut manusia sebagai substitusi fiberglass dan limbah karbit sebagai substitusi semen.

Berdasarkan permasalahan tersebut munculah sebuah gagasan untuk memanfaatkan limbah rambut dan limbah karbit. Gagasan yang diberikan adalah membuat plafond dengan substitusi serat rambut dan limbah karbit. Gagasan ini diharapkan dapat menciptakan plafond yang lebih ringan daripada biasanya, lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan dapat menghasilkan plafond yang berstandar SNI 01-4449-2006. Penelitian ini merupakan suatu bentuk inovasi dalam upaya pengurangan material limbah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah rambut manusia dan limbah karbit terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada plafond. Tujuan dari penelitian ini adalah Menganalisis persentase optimum terhadap substitusi konsentrasi limbah rambut dan limbah karbit dan menganalisis hasil pengujian karakteristik plafond grc.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental yang nantinya metode ini untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh variabel pengganti terhadap produk yang berstandar SNI. Metode ini dilakukan secara langsung dan objektif di laboratorium.

2.2. Pengujian material

Penulis dalam pengujian material ini hanya melakukan pengujian terhadap agregat halus, semen, dan air. Untuk bahan tambah seperti limbah rambut manusia dan limbah karbit diperlukan adanya perlakuan khusus untuk siap digunakan substitusi plafond. Pengujian dilakukan terhadap agregat halus, semen, dan air dikarenakan bahan tersebut adalah bahan dasar pembuatan plafond.

2.3. Persiapan material tambahan

- a. Pada tahap ini material serat limbah rambut manusia dan limbah karbit yang di dapatkan perlu adanya perlakuan khusus sebelum di proses sebagai bahan substitusi dalam pembuatan plafond. Untuk perlakuan limbah rambut manusia hal pertama yang dilakukan adalah pensortiran limbah rambut berukuran panjang 4-6 cm seperti terlihat pada Gambar 1.,

pencucian menggunakan sampo, dan yang terakhir adalah pengeringan dibawah sinar matahari.



Gambar 1. Pensortiran limbah rambut

- b. Sedangkan untuk perlakuan limbah karbit setelah mendapatkan dari industri pengelasan dilakukan penjemuran terlebih dahulu selama 2×24 jam sampai kering, selanjutnya limbah karbit dihaluskan dengan cawan, setelah dilanjutkan dilakukan penyaringan dengan saringan nomor 30 berdiameter 0,600 mm, yang lolos saringan adalah yang digunakan untuk substitusi semen pada pembuatan plafond seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Limbah karbit yang lolos saringan

2.4. Job Mix Design

Penulis melakukan perencanaan mix design yang bertujuan agar mengetahui perbandingan proporsi material yang digunakan dalam pembuatan plafond dengan substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit. Berikut merupakan rincian kebutuhan air, semen, limbah karbit, pasir, *fiberglass*, dan limbah rambut untuk pembuatan satu buah sampel. Pada penelitian ini penulis membuat sampel pada masing-masing sampel membuat 3 buah sampel, jadi keseluruhan sampel adalah 12 sampel. Untuk job mix design bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel formula

Formula	Air (ml)	Semen (gr)	Limbah Karbit (gr)	Pasir (gr)	<i>Fiberglass</i> (gr)	Limbah Rambut (gr)
F0 (0%)	700	1.250	0	1.250	30	0
F1 (10%)	700	1.187,5	62,5	1.250	$30-3=27$	$10\% \times 30=3$
F2 (15%)	700	1.187,5	62,5	1.250	$30-4,5=25,5$	$15\% \times 30=4,5$
F3 (20%)	700	1.187,5	62,5	1.250	$30-6=24$	$20\% \times 30=6$

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil pengujian material

a. Pengujian Agregat Halus

Dari hasil kadar lumpur dengan menggunakan pasir progo didapatkan nilai rata-rata sebesar $1,80 < 5\%$ yang mana menurut SNI 03-6821-2002 tidak boleh $> 5\%$. Untuk gradasi pasir progo memiliki hasil modulus kehalusan sebesar $2,606\%$ dengan hasil tersebut pasir progo memenuhi syarat sesuai SNI 03-1972-1990 yaitu $1,5-3,8\%$

b. Pengujian air

Dalam penelitian ini pengujian air dilakukan melalui pengamatan dengan cara visual melihat secara langsung sesuai dengan PBI-1971. Untuk air yang dipakai tidak berbau, tidak berwarna, air harus jernih, harus bersih tidak memiliki kandungan minyak, lumpur, garam, dan tidak boleh memiliki kandungan yang lain yang bisa menurunkan kualitas plafond

c. Pengujian semen

Keadaan kemasan semen, pengujian ini dilihat dari kondisi semen yang masih bagus tidak ada robekan. Keadaan butiran semen, untuk proses pengujian ini dilihat dari butiran semen yang masih halus tidak memadat atau mengeras

d. Pengujian limbah rambut

Limbah rambut yang digunakan adalah yang memiliki panjang 4-6 cm selebihnya tidak digunakan

e. Pengujian limbah karbit

Limbah karbit yang digunakan adalah yang lolos saringan 30 berdiameter 0,600 mm

3.2. Pengujian plafond

a. Densitas/kerapatan

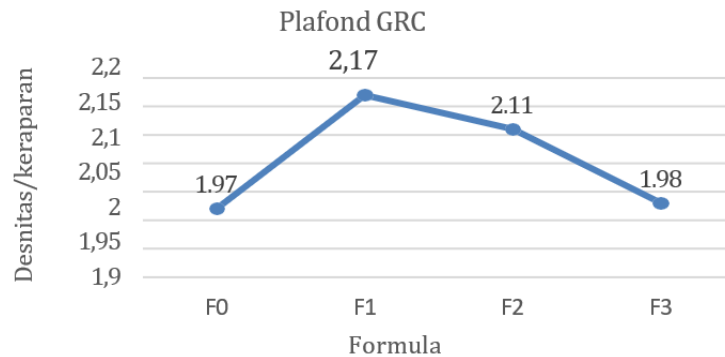
Dari hasil penelitian pembuatan plafond grc dengan campuran substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit mendapatkan nilai densitas yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian densitas/kerapatan

Sampel	Kode Sampel	Densitas (gr/cm ³)	Densitas Rata-rata	SNI 01-4449-2006 (gr/cm ³)
F0	1	2	1,97	> 0,84
	2	2		
	3	1,90		
F1	1	2,20	2,17	
	2	1,83		
	3	2,49		
F2	1	1,96	2,11	
	2	2,05		
	3	2,30		
F3	1	2,18	1,98	
	2	1,71		
	3	2,03		

Pada Tabel 2. di atas menerangkan tentang pengujian densitas pada sampel plafond grc. Hasil pengujian pengaruh persentase serat limbah rambut adalah seperti Tabel 2. nilai densitas menurun seiring penambahan persentase apabila dilihat dari sampel F1(10%) sampai sampel F3(20%). Hal ini dikarenakan adanya rongga udara yang terdapat pada lapisan matriks dengan bertambahnya serat pada komposisi yang diberikan. Hal yang sama terjadi pada penelitian Randa, dkk (2019) pada penelitian tentang papan semen-foam agent, yaitu semakin banyak

serat maka akan mengalami penurunan pada densitas. Sampel F0 memiliki nilai densitas sebesar 1,9 gr/cm³, pada sampel F1 dengan persentase serat rambut sebesar 10% mengalami kenaikan densitas sebesar 2,17 gr/cm³ sedangkan sampel F2 persentase serat rambut 15% mengalami penurunan sebesar 2,11 gr/cm³, hasil dari sampel F3 persentase serat rambut sebesar 20% angka pada grafik mengalami penurunan sebesar 1,98 gr/cm³. Ketidakstabilan densitas dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah pemerataan serat yang tidak merata. Berdasarkan pengujian semua sampel memenuhi SNI 01-4449-2006 dan termasuk kedalam kelas PSKT (Papan Serat Kerapatan Tinggi) dengan nilai densitas > 0,84 gr/cm³. Sampel F1 memiliki densitas paling tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik densitas/kerapatan

b. Penyerapan air

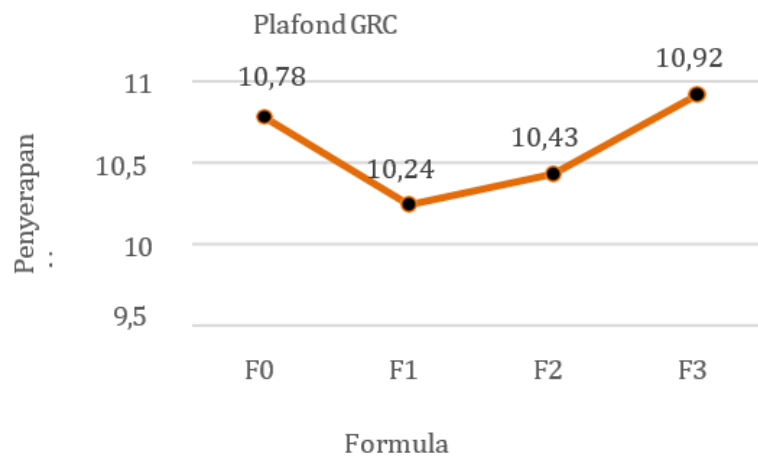
Dari hasil penelitian pembuatan plafond grc dengan campuran substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit mendapatkan nilai daya serap air yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penyerapan air

Sampel	Kode Sampel	Daya Serap (%)	Daya Serap Air Rata-rata	SNI
				01-4449-2006 (%)
F0	1	10,1	10,78	<25%.
	2	11,3		
	3	10,94		
F1	1	12,37	10,24	
	2	12,34		
	3	6,01		
F2	1	11,51	10,43	
	2	10,93		
	3	8,85		
F3	1	12,82	10,92	
	2	10,98		
	3	8,95		

Pengujian penyerapan air pada plafond grc yang menggunakan substitusi serat limbah rambut manusia menunjukkan bahwa semakin banyak serat limbah rambut yang digunakan maka penyerapan air akan semakin tinggi. Penyerapan air yang diperoleh berkisar antara 10,78% sampai 10,92%. Berdasarkan SNI 01-4449-2006 untuk penyerapan air setelah perendaman air selama 24 jam maka plafond grc termasuk kedalam tipe 1 35 dengan tebal $\geq 3,5$ mm yang mensyaratkan penyerapan air < 25%. Jadi semua formula memenuhi standart SNI 01-4449-2006, menurut pengujian penyerapan air yang telah dilakukan formula yang paling baik terdapat pada sampel F1 10% sebesar 10,24%. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian silalahi,dkk(2013) pada jurnal yang memperoleh hasil pengujian daya serap air berkisar antara 1,38% sampai 2,46%. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Eldo jones surbakti, dkk (2013) pada jurnal yang menyebutkan daya serap air tertinggi untuk

komposit terdapat pada komposisi SKJ 5%. Hal ini memperkuat hasil pengujian daya serap air pada limbah serat rambut manusia. Jadi dapat disimpulkan semakin banyak atau semakin besar persentase serat limbah rambut maka daya serap air nya semakin besar. Maka dari itu hubungan pengujian densitas berbanding terbalik dengan pengujian penyerapan air seperti terlihat pada Gambar 4.



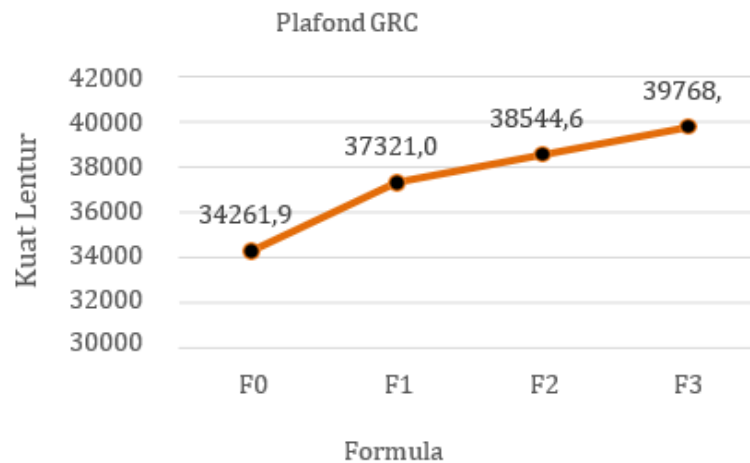
Gambar 4. Grafik penyerapan air

c. Kuat lentur

Dari hasil penelitian pembuatan plafond grc dengan campuran substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit mendapatkan nilai kuat lentur seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian kuat lentur

Sampel	Kode Sampel	Kuat (kgf/cm ²)	Kuat Lentur Rata-rata	SNI 01-4449-2006 (kgf/cm ²)
F0	1	49557,42	34261,92	≥ 35
	2	27531,90		
	3	25696,44		
F1	1	56899,26	37321,02	
	2	22025,52		
	3	33038,28		
F2	1	36709,20	36709,2	
	2	33038,28		
	3	40380,12		
F3	1	7341,84	39768,3	
	2	42215,58		
	3	69747,48		



Gambar 5. Grafik kuat lentur

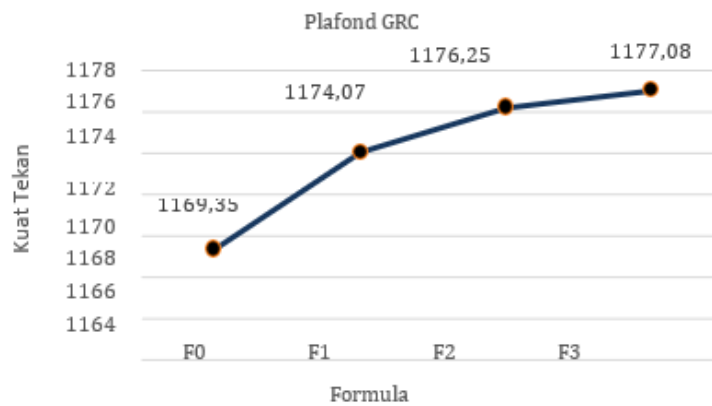
Pada grafik kuat lentur Gambar 5. di atas berdasarkan pengujian menggunakan mesin UTM menerangkan tentang sampel plafond grc memiliki kuat lentur tertinggi sebesar 39.768,3 kgf/cm² pada sampel F3 dengan substitusi serat rambut sebesar 20%. Semua sampel formula memenuhi standart SNI 01-4449-2006 yang termasuk klasifikasi PSKT T1 35 \geq 35,0 kgf/cm². Hal ini didukung oleh penelitian terdahulu yaitu Resdina Silalahi, dkk(2013) pada hasil pengujian kuat lentur pada papan komposit paling tinggi dengan komposisi 2% serat kulit jagung. Selanjutnya Eldo jones surbakti, dkk (2013) pada jurnal yang menyebutkan kuat lentur tertinggi pada komposisi 2%. Nilai kuat lentur yang didapat pada penelitian ini melebihi nilai kuat lentur yang didapat pada penelitian sebelumnya yaitu pada penelitian Eko nur prasetyo, dkk(2020) pengaruh variasi fraksi volume filler terhadap sifat mekanik komposit rambut manusia bermatriks epoxy dengan penguat talc powder mengenai komposisi 20% dengan nilai 4,26 kg/mm³ sedangkan pada penelitian ini dengan substitusi serat rambut pada komposisi 20% mencapai 39768,3 kgf/cm². Serat rambut memiliki ketahanan yang cukup tinggi yang disebabkan oleh faktor kimia maupun fisika. Ketahanan rambut meliputi daya tahan terhadap panas, dan memiliki tekstur yang kasar.

d. Kuat tekan

Dari hasil penelitian pembuatan plafond grc dengan campuran substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit mendapatkan nilai kuat lentur seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian kuat lentur

Sampel	Kode Sampel	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	SNI -03-6861.1-2002 (Mpa)
F0	1	1196,25	1169,35	> 10 Mpa
	2	1156,80		
	3	1155,00		
F1	1	1139,77	1174,07	
	2	1199,45		
	3	1182,99		
F2	1	1156,25	1176,25	
	2	1194,25		
	3	1178,25		
F3	1	1142,50	1177,08	
	2	1185,00		
	3	1203,75		



Gambar 6. Grafik kuat tekan

Berdasarkan grafik kuat tekan Gambar 6. menunjukkan bahwa hasil tertinggi pada kuat tekan plafond pada sampel F3 dengan serat rambut sebesar 20 %. Berdasarkan SNI -03-6861.1-2002 disebutkan bahwa kuat tekan plafond mengalami peningkatan dari F0 persentase 0% limbah karbit sebesar 1169,35 Mpa, F1 dengan substitusi limbah karbit 5% di tiap sampel formula sebesar 1174,07 Mpa, dari F1 ke F2 juga mengalami peningkatan sebesar 1176,25 Mpa, sedangkan sampel F3 juga mengalami peningkatan dengan nilai 1177,08 Mpa. Semua sampel memenuhi SNI-03-6861.1-2002. Grafik yang terus meningkat menandakan substitusi limbah karbit 5% mampu menaikkan kuat tekan. Hal ini berkaikan dengan pengaplikasian plafond yang membutuhkan kuat tekan yang tinggi untuk menahan beban di atasnya yaitu rangka plafond. Hal ini didukung oleh penelitian terdahulu yaitu yang berjudul penggunaan serat ampas tebu sebagai bahan pengganti serat *fiberglass* pada pembuatan campuran plafond grc (jeny Alifianti,2019) pada sampel benda uji berumur 7 hari menunjukkan bahwa kuat lentur terbaik mencapai 10,54 mpa. Sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh (pratikto,dkk,2022) kuat tekan papan semen umur 28 hari sebesar 209,382 kg/cm² . Berdasarkan penelitian terdahulu penelitian kali ini dengan menggunakan substitusi serat rambut manusia dan limbah karbit menghasilkan kuat tekan yang lebih besar daripada penelitian yang sudah ada.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil penelitian dan pembahasan, maka bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Semua sampel formula memenuhi standart minimal SNI 01-4449-2006
- Hasil karakterisasi plafond grc yang dihasilkan pada uji sifat fisis: densitas dihasilkan nilai 1,97 gr/cm³, 2,17 gr/cm³, 2,11 gr/cm³, 1,98 gr/cm³, sampel F1 persentase serat rambut 10% memiliki densitas paling tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya. Hasil nilai penyerapan air berdasarkan pengujian antara lain: F0 persentase serat rambut (0%) sebesar 10,78%, sampel F1 persentase serat rambut sebesar (10%) sebesar 10,24%, sampel F2 persentase serat rambut(15%) sebesar 10,43%, dan sampel F3 dengan persentase serat rambut sebesar (20%) sebesar 10,92%, menurut pengujian penyerapan air yang telah dilakukan formula yang paling baik terdapat pada sampel F1 dengan penyerapan air yang paling sedikit dengan persentase serat rambut 10% sebesar 10,24%. Hasil pengujian densitas dengan resapan air berbanding terbalik.
- Uji sifat mekanik: kuat lentur pada F0 persentase serat rambut (0%) sebesar 34261,92 kgf/cm², sampel F1 persentase serat rambut sebesar (10%) sebesar 37321,02 kgf/cm², sampel F2 persentase serat rambut(15%) sebesar 38544,66 kgf/cm², dan sampel yang tertinggi pada F3 dengan persentase serat rambut sebesar (20%) sebesar 39768,3 kgf/cm²

Saran

- a. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan campuran diatas 20% untuk mendapatkan kuat lentur optimal.
- b. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan selektif dalam memilih alat uji yang lebih baik, agar hasil penelitian yang di peroleh lebih optimal lagi.
- c. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menambah variasi persentase substitusi limbah rambut dan limbah karbit pada plafond grc, agar dapat mengetahui kemampuan yang paling optimal.

Ucapan terima kasih

Rasa terimakasih ditujukan kepada Tuhan Yang Maha Esa, 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

- Annissa, Safira, Ida Musfiroh, and Lina Indriati. 2019. "Perbandingan Metode Analisis Instrumen HPLC Dan UHPLC : Article Review." *Farmaka* 17 (3): 189–97.
- Makalesi, Araştırma, Kocaeli Üniversitesi, İktisadi Ve İdari, Bilimler Fakültesi, and Uluslararası İlişkiler Bölümü. 2020. "Demographic Change Analysis of the European Union and Future Projections." *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi* 10 (1): 187–202.
- Saputra, Riski Dany. 2016. "Penggunaan Potongan Serat Bambu Ori Sebagai Bahan Pengganti Glassfiber Pada Pembuatan Campuran Panel Dinding Grc (Glassfiber Reinforced Cement) Terhadap Uji Kemampuan Mekanis."
- Sudarman, Daman, Dwi Kartini, R. Arief Helmi, and Rita Komala Dewi. 2022. "The Moderating Effect of Social-Media Among Managerial Capabilities and Strategic Innovations on Product Life Cycle Management and Distribution Performance." *AgBioForum* 24 (2): 83–95.
- Tjahjono, Anang, Dimas O. Anggriawan, Alfa K. Faizin, Ardyono Priyadi, Margo Pujiantara, Taufik Taufik, and Mauridhi Hery Purnomo. 2017. "Adaptive Modified Firefly Algorithm for Optimal Coordination of Overcurrent Relays." *IET Generation, Transmission and Distribution* 11 (10): 2575–85. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1563>.
- Alifianti, J., & Wardhono, A. (2019). Penggunaan serat ampas tebu sebagai bahan pengganti serat fiberglass pada pembuatan campuran plafon grc (glassfiber reforced cement) terhadap uji kuat lentur, uji kuat tekan, dan uji resapan air. 1(1)
- Chawla, K. K. (2016). Glass Fibers. *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses*, 2–3, 676–680. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818542-1.02325-0>
- Hermawati, F., Sejati, W., Zaki, M., & Karista, A. J. (2022). Estimasi perbandingan pekerjaan dinding panel GRC dan bata ringan untuk partisi ruangan. *Saintek EJournal STT Pekanbaru*, 10(2). <https://doi.org/10.35583/js.v10i2.161>
- Iqbal, M. (2022). Studi potensi pemanfaatan limbah rambut manusia sebagai serat pada beton. In *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering* (Vol. 2, Issue 1)
- Irianto, S., Pramesti, R., & Yahya, A. S. (2020). Pemanfaatan limbah rambut salon sebagai serat penguat pada roof fiber glass cetak tembus sinar
- Mahyudin, A., & Randa. (2019). Pengaruh persentase serat pelepah pisang terhadap sifat fisik dan mekanik papan semen-foam agent. *Jurnal Fisika Unand*, 8(1)
- Millian, M., & Kusmartono, B. (2022). Pengaruh jenis perekat dan ukuran partikel serat pohon pisang musa acuminate pada pembuatan fiber board untuk aplikasi plafon. *Jurnal Inovasi Proses*, 7(2).
- Nurprasetyo, E., Kardiman, & Anjani, R. D. (2021). Pengaruh variasi fraksi volume filler terhadap sifat mekanik komposit rambut manusia bermatriks epoxy dengan penguat talc powder. In *Jurnal Polimesin* (Vol. 19, Issue 2).
- Syahriadi, Purnamasari, E., & Gazali, A. (2021). Pengaruh pemanfaatan limbah las karbit sebagai pengurangan bahan semen terhadap kualitas kuat tekan mortar dengan variasi proporsi yang berbeda.
- Standar Nasional Indonesia. 2006. "Papan Serat". SNI 01-4449-2006. ICS 79.060.20. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. "Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Pasangan Dinding". SNI 03-6821-2002. ICS 91.080.30.
- Standar Nasional Indonesia. 1989. "Lembaran serat semen , Mutu dan cara uji". SNI 15-0233-1989. ICS 79.060.20.

Taufik, H., Djauhari, Z., Sebayang, M., & Muhandis, M. (2017). Pengaruh Substitusi limbah karbit terhadap karakteristik beton (Vol. 5). Ultann, F. A., Yogie, & Risdianto. (2020). Pemanfaatan limbah karbit sebagai bahan pengganti (substitusi) semen pada pembuatan beton ringan seluler (cellular lightweight concrete).



Pengaruh penggunaan limbah masker medis dan limbah serabut kelapa sebagai substitusi pasir dalam pembuatan bata ringan

Dini Arroikhaanunnisa^{a*}, Nema Oryza Kusumawati^b, Hartono^c, Shifa Fauziyah^d

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

DiniArroikhaanunnisa30@gmail.com
osa100101@gmail.com

Article history:

Received : 01 August 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

Lightweight Brick (CLC), Medical Mask Waste, Coconut Fiber Waste, Content weight and Water absorption, Compressive Strength Test,

ABSTRACT

Lightweight brick is a type of lightweight brick that is superior to the previous one. The purpose of this study was to analyze variations in the optimal composition of lightweight bricks (CLC) innovation by utilizing medical mask waste and coconut fiber waste as a substitute for sand based on bulk density and water absorption, compressive strength test, and soundproof test. The method used is the experimental method. Test object with variations in composition, namely 0%, 5%, 10% and 15%. Each variation has 3 samples with a total of 12. The values for bulk density and water absorption are in accordance with SNI 8640-2018. The compressive strength test was carried out using a cube specimen with a side of 15 cm aged 14 days. Soundproof test using a sound level meter. The results obtained at 10% variation with a mixture of 10% medical mask waste and 10% coconut fiber waste are the optimal composition in the manufacture of innovative lightweight bricks. The bulk density and water absorption were 0.0741%, the compressive strength test was 11.86 MPa, and the soundproof test was 24.3 dB. This lightweight brick innovation of 10% variation can be an alternative to smart, environmentally friendly and economical building materials.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan industri konstruksi di Indonesia semakin meningkat. Bata ringan adalah bahan bangunan yang sedang mode saat ini. Pelaku konstruksi juga lebih memilih untuk menggunakan bata ringan sebagai pilihan utama untuk dijadikan pasangan dinding. Keutamaan penggunaan bata ringan adalah untuk mengurangi beban bata sendiri yang dianggap sebagai beban mati pada perhitungan struktur. Salah satu jenis bata ringan adalah CLC (*Celullar Lightweight Concrete*). Bahan penyusun bata ringan CLC sendiri adalah campuran dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air dan *foaming agent*. Dalam industri pembuatan bata ringan, salah satu persoalan yang dihadapi adalah menemukan mix design yang tepat sehingga menghasilkan bata ringan yang bermutu (Pah, dkk 2022). Namun bata ringan memiliki harga yang relatif lebih mahal dari bata konvensional karena terdapat material penyusun bata ringan yang berfungsi sebagai bahan pengembang (aerasi) sehingga mengurangi beratnya.

Beberapa tahun terakhir, sudah banyak inovasi bata ringan dengan memanfaatkan limbah yang tentunya berdampak baik dengan lingkungan. Masa pasca puncak pandemi *covid-19* seperti ini menghasilkan limbah masker yang tidak sedikit. Sebanyak 129 miliar limbah masker dihasilkan setiap bulannya. Limbah masker yang tidak didaur ulang akan bermuara di lautan. Masker medis memiliki kandungan anorganik yang lambat laun apabila dibiarkan bermuara di laut terlalu lama akan melepaskan zat berbahaya (e. g. bisphenol A dan logam berat) (Saptoyo, 2021). Ririn, dkk (2021) menyebutkan kuat tekan mortar meningkat sebesar 47,27 % dengan adanya penambahan limbah

masker medis. Limbah serabut kelapa memiliki kemampuan meredam suara yang mana pada penelitian Lambok S. (2017) menunjukkan nilai koefisien serap bunyi terbesar adalah 0,9756 dengan frekuensi 4000 Hz dan 3902,4 m/det cepat rambat gelombang bunyinya.

Berdasarkan kondisi di atas, dalam penelitian ini akan memanfaatkan limbah masker medis dan limbah serabut kelapa sebagai substitusi pasir dalam pembuatan bata ringan. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu menemukan komposisi yang optimum dari material penyusun bata ringan, sehingga kualitasnya memenuhi standar yang disyaratkan dalam SNI 8640:2018 tentang bata ringan dan dapat menjadi alternatif bahan bangunan pintar, ramah lingkungan, serta ekonomis.

2. Data dan metode

2.1. Pengolahan limbah masker medis

Mengumpulkan limbah masker sekali pakai yang digunakan sehari-hari. Limbah ini didapatkan dari orang-orang yang kesehariannya memakai masker sekali pakai. Limbah masker disterilkan dengan menggunakan oven. Kemudian limbah masker memotong kecil-kecil.

2.2. Pengolahan limbah serabut kelapa

Mengumpulkan limbah serabut kelapa yang berasal dari penjual kelapa di Pasar Tradisional Banyumanik, Semarang. Memisahkan serabut kelapa dari kulit kelapa. Lalu, mengeringkan serabut kelapa dengan menjemur di bawah sinar matahari selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air.

2.3. Merancang *Mix Design*

Mix Design pada pembuatan plafon menjadikan penelitian terdahulu sebagai acuan referensi. Benda uji dalam penelitian ini berbentuk kubus ukuran 15x15x15 cm. Benda uji memiliki 4 variasi komposisi yaitu 0 %, 5 %, 10 % dan 15 %. Setiap variasi mempunyai 3 sampel dengan total seluruhnya 12 sesuai dengan Tabel 1 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian Penyerapan Air, Uji Kuat Tekan, dan Uji Kedap Suara.

Tabel 1. *Job mix design*

Bahan	Variasi				Satuan
	0%	5%	10%	15%	
Semen <i>portland type1</i>	5,4	5,13	4,86	3,75	Kg
Air suling	2,7	2,565	2,43	2,03	Kg
Pasir	9,3	8,835	8,37	6,975	Kg
<i>Foaming agent</i>	0,9	0,855	0,81	0,765	Kg
Limbah masker medis	0	0,20	0,40	0,40	Kg
Limbah serabut kelapa	0	0,20	0,40	0,54	Kg

2.4. Bobot isi dan penyerapan air

Pengujian bobot isi dan penyerapan air dilakukan pada umur 14 hari. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan penyerapan yang terjadi pada bata ringan konvensional dan bata ringan inovasi. Uji penyerapan ini menggunakan wadah yang diberi air seinggi 50 cm dengan benda uji diletakkan secara *vertical* selama 24 jam. Dalam menghitung penyerapan air, beban sesudah dan sebelum diuji masing-

masing ditimbang lalu akan keluar hasil perbandingan beban sebelum dengan sesudah penyerapan.

2.5. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur bata ringan mencapai 14 hari. Pengujian ini mencari hasil terbaik dari beberapa sampel benda uji yang diberi tekanan pada titik tengah benda uji, benda uji diberi tekanan hingga patah atau terdapat retakan.

2.6. Pengujian kedap suara

Pengujian kedap suara bata ringan dilakukan pada umur 14 hari. Pengujian ini menggunakan *sound level meter* yang bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien serap bunyi yang dihasilkan menggunakan metode *impedance tube*.

3. Hasil dan pembahasan

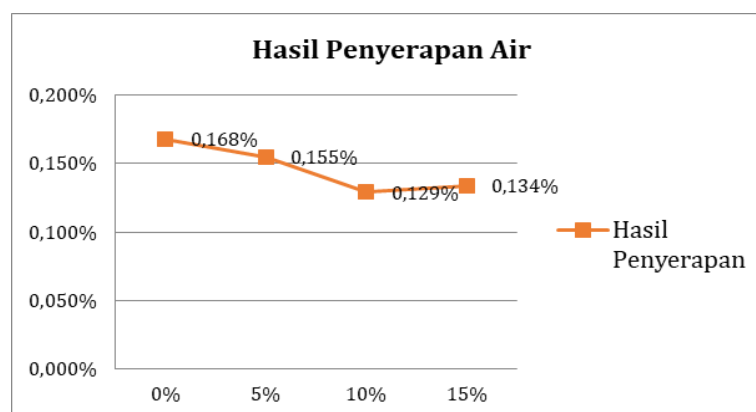
Pengaruh penggunaan limbah masker dan limbah serabut kelapa sebagai substitusi pasir dalam pembuatan bata ringan, memiliki keunggulan dalam menghasilkan penyerapan air lebih baik, kuat tekan yang lebih tinggi, dan mampu menyerap kebisingan daripada bata ringan konvensional. Bata ringan inovasi ini memiliki biaya yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

3.1. Pengujian penyerapan air

Pengujian penyerapan air bata ringan dilakukan pada umur 14 hari. Dengan jumlah sampel uji 4 buah sampel. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan penyerapan yang terjadi pada bata ringan konvensional dengan bata ringan inovasi. Berikut hasil uji penyerapan air benda uji bata ringan pada Gambar 1.

Tabel 2. Data berat bata ringan

Variasi	Berat nominal (kg)	Berat setelah direndam (kg)	Berat oven kering (kg)
0%	4.51	4.96	4.39
5%	5.025	5.235	4.910
10%	5.445	5.68	5.245
15%	5.83	6.01	5.557



Gambar 1. Grafik hasil uji penyerapan air

Berdasarkan hasil uji penyerapan pada tabel 2, didapatkan hasil penyerapan air terkecil pada variasi 10% sebesar 0,129% sedangkan penyerapan air terbesar pada variasi 0% sebesar 0,168%. Dalam uji penyerapan air bata ringan, hasil uji terbaik adalah benda uji dengan persentase penyerapan paling

kecil (variasi 10%). Benda uji yang memiliki persentase penyerapan paling kecil memiliki daya serap air lebih rendah dari benda uji lain, sehingga benda uji variasi 10% merupakan hasil terbaik. Daya serap air rendah menjadikan bata ringan tidak mudah lapuk akibat dari penyerapan air berlebih yang akan berimbas pada performa bangunan.

3.2. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur bata ringan mencapai 14 hari. Dengan jumlah sampel uji 4 buah sampel. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung beban (P) dibagi dengan luas penampang (A). Berikut hasil uji kuat tekan benda uji bata ringan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan

No.	Variasi	Beban Tekan (N)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	0 %	11000	22500	1,06
2	5 %	54000	22500	2,73
3	10 %	235000	22500	11,86
4	15%	114000	22500	5,76

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kondisi bata ringan memiliki nilai kuat tekan paling tinggi pada variasi 10% sebesar 11,86 MPa penambahan 10% limbah serabut kelapa dan 10% limbah masker medis. Nilai kuat tekan paling rendah ada pada variasi 0% sebesar 1,06 MPa. Maka, dapat disimpulkan bata ringan inovasi memiliki nilai uji kuat tekan paling tinggi sebesar 11,86 MPa pada variasi 10 %. Bata ringan dengan kuat tekan terbaik ada pada variasi 10%. Kuat tekan pada variasi tersebut lebih tinggi dari variasi lainnya. Kuat tekan yang tinggi pada bata ringan menjadikan bata ringan lebih kokoh dan kuat dalam menerima beban.

3.3. Pengujian kedap suara

Pengujian kedap suara dilakukan saat benda uji mencapai umur 14 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 4 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien serap suara serta membandingkan antara bata ringan konvensional dengan bata ringan inovasi. Berikut hasil uji kedap suara benda uji bata ringan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji kedap suara

No.	Variasi	Durasi Uji Sampel (menit)	Suara Sumber Bising (dB)	Suara Yang Tercatat (dB)	Suara Yang Tersedap (dB)	Rata-rata Suara tersedap (dB)
1	0 %	1	100	81,3	18,7	18,7
		1	100	80,7	19,3	
		1	100	81,1	18,9	
2	5 %	1	100	80,5	19,5	20,7
		1	100	79,9	20,1	
		1	100	77,3	22,7	
3	10 %	1	100	74	26	24,3
		1	100	75,7	24,3	
		1	100	77,3	22,7	
4	15%	1	100	75,7	24,3	23,4
		1	100	76,3	23,7	
		1	100	77,8	22,2	

Berdasarkan dari hasil uji kedap suara dari tiap variasi sampel bata ringan berbeda pada tiap-tiap sampel, nilai penyerapan suara tertinggi diperoleh pada variasi 10 % yaitu sebesar 24,3 dB, sedangkan nilai penyerapan suara terendah diperoleh 0 % sebesar 18,7 dB. Nilai serap suara yang tinggi memiliki arti bahwa bata ringan memiliki kemampuan penyerapan suara yang baik. Bata ringan yang memiliki nilai penyerapan suara paling tinggi memiliki kemampuan yang baik dalam meredam suara sehingga bisa mengurangi kebisingan.

3.4. Analisis mutu dan biaya pembuatan bata ringan

Mutu dari suatu bahan bangunan sangat diperlukan guna menunjang kualitas dari bahan tersebut. Sama halnya dengan mutu dari bata ringan yang sesuai SNI 8640-2018. Analisis mutu pada bata ringan konvensional variasi 0% sebagai berikut :

Merujuk pada **Tabel 2.1 Sifat Fisik Bata Ringan** dan **Tabel 2.2 Sifat Mekanik Bata Ringan** bahwa bata ringan konvensional variasi 0% merupakan jenis bata nonstruktural dengan bobot isi dengan berat isi kering oven 1.307 Kg/m³. Kuat tekan bata ringan konvensional variasi 0% tidak memenuhi kuat tekan individu minimal yaitu sebesar 1.06 MPa. Untuk tebal bata ringan konvensional ini sebesar 75 mm. Hasil penyerapan air sebesar 0.168%. Berikut analisis mutu pada bata ringan inovasi variasi 10% sebagai berikut :

Merujuk pada **Tabel 2.1 Sifat Fisik Bata Ringan** dan **Tabel 2.2 Sifat Mekanik Bata Ringan** bahwa bata ringan inovasi variasi 10% merupakan jenis bata structural dan nonstructural dengan bobot isi dengan berat isi kering oven 1.554 Kg/m³. Kuat tekan bata ringan inovasi variasi 10% sangat memenuhi kuat tekan individu minimal yaitu sebesar 11.86 MPa. Untuk tebal bata ringan inovasi ini sebesar 75 mm. Hasil penyerapan air sebesar 0.129%.

Berdasarkan hasil pengujian *mix design* yang telah dilakukan diperoleh variasi komposisi campuran optimum yang dapat diterapkan dalam bata ringan inovasi yaitu variasi 10%. Berikut ini perbandingan biaya produksi bata ringan konvensional dengan bata ringan variasi 10%. Berikut hasil perbandingan analisa biaya pembuatan bata ringan pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5 Analisis Biaya Bata Ringan Konvensional Variasi 0%

		Volume	Harga Satuan	Harga
Material	Semen <i>Porttland</i>	5.4 kg	Rp 1.054,00	Rp 5.800, 00
	Pasir	2.7 kg	Rp 2.500,00	Rp 6.800,00
	<i>Foam agent</i>	1 L	Rp 30.000,00	Rp 30.000,00
	Limbah masker medis	0 kg	Rp 0,00	Rp 0,00
	Limbah serabut kelapa	0 kg	Rp 0,00	Rp 0,00
Alat	30% material		Rp 42.600,00	Rp 12.800,00
Tenaga	10% material		Rp 42.600,00	Rp 4.300,00
	Total			Rp 59.700,00

Tabel 6 Analisis Biaya Bata Ringan Inovasi Variasi 10%

		Volume	Harga Satuan	Harga
Material	Semen <i>Porttland</i>	4.86 kg	Rp 1.054,00	Rp 5.100, 00
	Pasir	2.43 kg	Rp 2.500,00	Rp 6.100,00
	<i>Foam agent</i>	1 L	Rp 30.000,00	Rp 30.000,00
	Limbah masker medis	0.4 kg	Rp 0,00	Rp 0,00
	Limbah serabut kelapa	0.4 kg	Rp 0,00	Rp 0,00
Alat	30% material		Rp 41.200,00	Rp 12.400,00
Tenaga	10% material		Rp 41.200,00	Rp 4.200,00
	Total			Rp 57.800,00

Berdasarkan analisis biaya diatas pembuatan bata ringan konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 59.700,00. Sedangkan bata ringan inovasi membutuhkan biaya sebesar Rp Rp 57.800,00. Maka dapat disimpulkan bahwa pembuatan bata ringan inovasi sangat efisien biaya dibandingkan bata ringan konvensional yaitu pada variasi 0%.

4. Kesimpulan

Pengaruh penggunaan limbah masker dan limbah serabut kelapa sebagai substitusi pasir dalam pembuatan bata ringan memiliki campuran optimum pada variasi 10%. Hasil penyerapan air terkecil pada variasi 10% sebesar 0,129% sedangkan penyerapan air terbesar pada variasi 0% sebesar 0,168%. Didapatkan hasil kuat tekan paling rendah ada pada variasi 0% sebesar 1,06 MPa. Maka, Bata ringan inovasi memiliki nilai uji kuat tekan paling tinggi sebesar 11,86 MPa pada variasi 10 %. Dari hasil uji kedap suara, nilai penyerapan suara tertinggi diperoleh pada variasi 10 % yaitu sebesar 24,3 dB, sedangkan nilai penyerapan suara terendah diperoleh 0 % sebesar 18,7 dB. Pada analisis mutu sesuai SNI 8640-2018 bata ringan konvensional merupakan jenis bata nonstruktural, sedangkan bata ringan inovasi merupakan jenis bata struktural dan nonstruktural. Pembuatan bata ringan inovasi sangat ekonomis dibandingkan bata ringan konvensional yaitu pada variasi 0% karena analisis biaya pembuatan bata ringan konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 59.700,-. Sedangkan bata ringan inovasi membutuhkan biaya sebesar Rp 57.800,-.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T. dan Bapak Drs. Hartono, 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

- Badan Standarisasi Nasional (2018) "SNI 8640-2018 Spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding,"
 Watthanaphon, C. dan Memon, A. (2021) "Properties of Reinforced Polymer Composite Produced from Coconut Fiber," *Wood and Fiber Science*, 53(2), hal. 147-156. doi: 10.22382/wfs-2021-15.
 Saptoyo, R. D. A. (2021) *Tiap Semenit Terdapat 2,8 Juta Limbah Masker Sekali Pakai di Bumi*, *Kompas.com*. Tersedia pada: <https://www.kompas.com/tren/read/2021/05/11/120500265/tiap-semenit-terdapat-2-8-juta-limbah-masker-sekali-pakai-di-bumi?page=all#page2> (Diakses: 20 Maret 2022).
 Ramdani, I. B. (2020) "PEMBUATAN SMART -PARTISI YANG KEDAP SUARA DENGAN PEMANFAATAN

CANGKANG Pila ampullacea DAN AMPAS TEBU TUGAS AKHIR.”

- Siahaan, M. Y. R. dan Darianto, D. (2020) “Karakteristik Koefisien Serap Suara Material Concrete Foam Dicampur Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Metode Impedance Tube,” *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), hal. 85–93. doi: 10.31289/jmemme.v4i1.3823.
- Syauqie, M. (2020) “Pengaruh Emisi Debu Semen Terhadap Permukaan Okular Pada Masyarakat Di Sekitar Pabrik Pt. Semen Padang,” *Majalah Kedokteran Andalas*, 43(2), hal. 112. doi: 10.25077/mka.v43.i2.p112-123.2020.
- Qin, Y. *et al.* (2019) “Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete,” *Construction and Building Materials*, 194, hal. 216–225. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.042.
- Taban, E. *et al.* (2019) “Acoustic Absorption Characterization and Prediction of Natural Coir Fibers,” *Acoustics Australia*, 47(1), hal. 67–77. doi: 10.1007/s40857-019-00151-8.



Identifikasi dan evaluasi pengaruh ventilasi alami pada ruang kelas terhadap fenomena *sick building syndrome*

Latifah^{a*}, Ratih Widiastuti^{a*}

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

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

ratihwidiastuti@lecturer.undip.ac.id
latifahifah@students.undip.ac.id

Article history:

Received : 27 August 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

Air quality, Air temperature, Humidity,
Natural ventilation, Sick building
syndrome

ABSTRACT

Natural ventilation is closely related to the indoor air quality and will affect the occupant activities. The unhealthy air conditioning will create discomfort for the occupants. One of the phenomena that is caused by indoor air quality is Sick Building Syndrome (SBS). Bad air circulation systems in the classroom can lead to Sick Building Syndrome (SBS) among students. This study was conducted to identify and evaluate the influence of natural ventilation in the classroom on the Sick Building Syndrome phenomenon. The object of the study was classrooms in the Department of Architecture, Faculty of Engineering, Diponegoro University. Data of temperature, relative humidity, and air velocity were collected to identify the indoor air quality of the classrooms. Based on the analysis, either with closed or open natural ventilation, the indoor air quality inside the classroom still did not meet the requirement of healthy air. Therefore, further actions such as improving the quality of natural ventilation are needed.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Kualitas udara erat kaitannya dengan kenyamanan penghuni ruangan (Rahmawati et al., 2020). National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) menyatakan bahwa 52% masalah kualitas udara di dalam ruangan dikarenakan terbatasnya bukaan dinding yang menyebabkan kurangnya sirkulasi udara. Hal ini kemudian memicu *Sick Building Syndrome* (SBS), yaitu kondisi dimana penghuni bangunan merasakan beberapa gejala diantaranya yaitu sakit kepala, gangguan pernapasan, iritasi, dan hilang konsentrasi yang mana akan hilang begitu meninggalkan bangunan tersebut (*World Health Organization*, 2005) (Savanti et al., 2019). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Fitria L et al., 2008). dinyatakan faktor yang mempengaruhi kualitas udara yaitu suhu pada ruang, kecepatan angin, kelembaban, dan volume udara. Adanya sistem ventilasi alami dapat membantu pergantian udara dalam ruangan yang mana akan mempengaruhi kondisi suhu udara, pergerakan udara, kelembaban, dan volume udara di dalam ruangan (Hamzah et al., 2017). Pendapat ini juga diperkuat oleh studi yang dilakukan oleh (Fisa et al., 2019). yang menyatakan bahwa tipe bukaan dinding dan optimalisasi ventilasi silang akan mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, untuk dapat menghasilkan kualitas udara yang baik di dalam ruangan, minimal luas bukaan dinding alami adalah 15% dari luasan lantai. Sedangkan tinggi plafond dari lantai minimal adalah 2.5 m (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2002). Panduan untuk melakukan pengelolaan sistem ventilasi gedung agar mengurangi konsentrasi polutan serta mencegah terjadinya *Sick Building Syndrome* (SBS) juga dikeluarkan oleh *World Health Organization* (WHO) pada tahun 1983 (Aditama et al., 2002).

Lebih lanjut, Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 juga menyebutkan bahwa temperatur ruangan yang sehat yaitu berkisar antara 18°C – 28°C dengan kelembaban udara

berada pada angka 40% - 60%. Pengkondisian udara (AC) hanya akan mendinginkan udara. Tidak ada pergantian udara sehingga memberikan dampak pertumbuhan bakteri dan virus. Idealnya, pertukaran udara sebaiknya dilakukan setiap $0.283 \text{ m}^3/\text{menit/orang}$ dengan kecepatan udara rata-rata berkisar antara $0.15 - 0.25 \text{ m/detik}$ agar setiap orang dapat menghirup udara minimal $10 \text{ m}^3/\text{orang}$ (Kualitas Udara et al., 2021).

Salah satu objek yang rentan terhadap fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS) adalah ruang kelas. Intensitas ruangan yang selalu digunakan dengan kondisi jendela yang selalu tertutup untuk menjaga suhu ruangan menjadikan *Sick Building Syndrome* (SBS) sangat rentan untuk terjadi. Namun, terbatasnya kajian terhadap keberadaan ventilasi alami pada ruang kelas dan fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS) masih sangat terbatas. Oleh karena itu, dilakukanlah studi terhadap keberadaan bukaan dinding pada ruang kelas dalam kaitannya dengan fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS). Sebagai objek studi adalah ruang kelas di Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif dan deskriptif. Data ukur yang meliputi suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan udara didapatkan dari hasil pengukuran dua ruangan yang *identik*, yaitu ruang kelas D.301 dan D.302 di Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro (**Gambar 1**). Kedua ruangan memiliki posisi bukaan dinding pada orientasi yang sama (**Gambar 2**). Karakteristik fisik ruangan juga sama yaitu menggunakan dinding bata, *plafond gypsum*, dan lantai keramik.



Gambar 1. Lokasi objek studi (a) Lokasi Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro (b) Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Pengambilan data dilakukan selama satu hari yaitu dari pukul 08:00 - 13:00 WIB. Laser distance meter (model 424D, Fluke, Everett, Washington, U.S.) digunakan untuk mengukur luas bukaan dinding. Data kelembaban dan suhu udara didapatkan dengan menggunakan alat *digital clock thermo-hygrometer* (model HTC-2, Constant, Swiss). Sedangkan untuk kecepatan udara di dalam ruangan diukur dengan *digital anemometer* (model AR-186, Unbranded, Italia). **Gambar 3** menunjukkan jenis-jenis alat ukur yang digunakan pada saat pengambilan data. Sedangkan **Tabel 1** menunjukkan detail dari alat ukur. Terdapat tiga titik untuk pengambilan data yaitu titik A, titik B, dan titik C (**Gambar 4**). Kemudian, kondisi jendela pada saat pengukuran yaitu tertutup untuk pengambilan data pertama dan terbuka sebagian untuk pengambilan data ke dua (**Gambar 5**). Interval pengambilan data adalah 5 jam yaitu di pagi hari dilakukan pengukuran pada pukul 08:00 WIB dan di siang hari dilakukan pengukuran pada pukul 13:00 WIB.



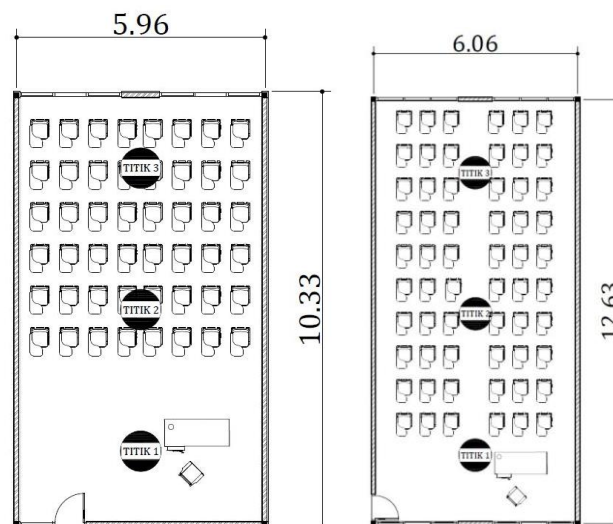
Gambar 2. Detail objek pengukuran (a) Ruang kelas D.301 (b) Ruang kelas D.302

Tabel 1. Spesifikasi dan detail instrument pengambilan data

Alat	Pabrik	Model	Asal	Parameter	Akurasi	Rentang
<i>Laser distance meter</i>	Fluke	424D	Everett, Washington, U.S.	Jarak	± 1 mm (0,04 in)	0 – 100 m
<i>Digital clock thermo-hygrometer</i>	Constant	HTC-2	Swiss	Suhu dan kelembaban dalam dan luar ruang	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	50°C – 70°C
<i>Digital anemometer</i>	Unbranded	AR-816	Italia	Kecepatan angin	$\pm (3\%+0,1)$	0,3 s.d. 45 m/detik



Gambar 3. Alat ukur (a) *Laser distance meter*; (b) *Digital clock thermo-hygrometer*; dan (c) *digital anemometer*



Gambar 4. Posisi penempatan alat ukur pada saat pengambilan data (a) Denah dan titik ukur Ruang Kelas D.301 (b) Denah dan titik ukur Ruang Kelas D.302



Gambar 5. Kondisi jendela pada saat pengambilan data **(a)** Kondisi saat jendela tertutup semua **(b)** Kondisi saat sebagian jendela terbuka

3. Hasil dan pembahasan

Data hasil ukur menunjukkan jumlah luas bukaan dinding pada ruang kelas D.301 adalah sebesar 5% dari luas lantai. Sedangkan pada ruang kelas D.302 luas bukaan dinding adalah 12%. Sesuai dengan standard yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, kedua ruang kelas masih belum memenuhi luas minimal bukaan dinding untuk dapat menghasilkan kualitas udara yang baik. Kemudian berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan untuk ruang kelas D.301 dengan kapasitas 48 orang, rata-rata volume udara yang dihirup adalah $4.48 \text{ m}^3/\text{orang}$. Sedangkan untuk ruang kelas D.302 dengan kapasitas 60 orang, rata-rata volume udara yang dihirup adalah $4.45 \text{ m}^3/\text{orang}$. Angka tersebut berada dibawah standard ideal jumlah udara yang harus dihirup oleh manusia (Syamsiyah Nur. R, 1995). Menurut Anam et al. (Anam et al., 2014), hal tersebut dapat disebabkan karena kepadatan ruang yang tinggi.

Tabel 2 menunjukkan rata-rata kondisi suhu, kelembaban, dan kecepatan udara di dalam ruang kelas D.301 pada saat pagi dan siang hari dengan kondisi jendela terbuka. Range suhu udara pada pagi hari di setiap titik ukur adalah 28.0°C - 28.9°C dengan nilai rata-rata suhunya berada pada 28.4°C . Sedangkan untuk kelembabannya berkisar antara 62.0% - 64.0% dengan nilai rata-ratanya adalah 63.0%. Tidak tercatat adanya pergerakan udara selama pengambilan data. Saat siang hari rata-rata suhu udara naik menjadi 29.0°C dan kelembaban turun menjadi 62.0%. Sama seperti saat pagi hari, tidak tercatat adanya pergerakan udara saat siang hari.

Tabel 2. Data pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin ruang kelas D.301 pada kondisi jendela terbuka

Titik ukur	Pagi			Siang		
	T [$^\circ\text{C}$]	RH [%]	v [m/s]	T [$^\circ\text{C}$]	RH [%]	v [m/s]
A	28.4	62.0	0.0	29.1	61.0	0.0
B	28.9	62.0	0.0	29.2	61.0	0.0
C	28.0	64.0	0.0	28.7	64.0	0.0
Rata-rata	28.4	63.0	0.0	29.0	62.0	0.0

Keterangan: T : Suhu udara; RH : Kelembaban udara; v : Kecepatan udara

Sebagai perbandingan, **Tabel 3** menunjukkan rata-rata kondisi suhu, kelembaban, dan kecepatan udara di dalam ruang kelas D.302 pada saat pagi hari dan siang hari dengan kondisi jendela juga terbuka. Dipagi hari, range suhu udara berkisar antara 28.3°C - 28.7°C dengan nilai rata-ratanya adalah 28.4°C . Untuk kelembaban udara adalah 61.0%. Pada saat siang hari, suhu udara mengalami kenaikan berkisar antara 29.2°C - 29.5°C dengan nilai rata-rata 29.3°C . Sedangkan kelembaban udara tetap 61.0%. Dapat dilihat bahwa baik dipagi maupun siang hari, tidak tercatat adanya pergerakan udara di dalam ruangan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/XI/2002, dengan kondisi jendela yang terbuka, udara di dalam kedua ruang kelas masih belum memenuhi syarat sebagai udara sehat.

Tabel 3. Data pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin ruang kelas D.302 pada kondisi jendela terbuka

Titik ukur	Pagi			Siang		
	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]
A	28.3	61.0	0.0	29.5	62.0	0.0
B	28.7	60.0	0.0	29.2	61.0	0.0
C	28.4	61.0	0.0	29.3	61.0	0.0
Rata-rata	28.4	61.0	0.0	29.3	61.0	0.0

Keterangan: *T*: Suhu udara; *RH*: Kelembaban udara; *v*: Kecepatan udara

Pada kondisi jendela tertutup, **Tabel 4** menunjukkan di pagi hari ruang kelas D.301 memiliki profil suhu udara berkisar antara 27.8°C-28.1°C dengan nilai rata-ratanya adalah 28.0°C. Kelembaban udara pada saat pengukuran berada pada nilai rata-rata 64.0% dan tidak tercatat adanya pergerakan udara pada saat itu. Sedangkan saat siang hari, suhu mengalami kenaikan antara 29.0°C-29.7°C dengan nilai rata-ratanya adalah 29.3°C dan kelembabannya adalah 66.0%. Dengan kondisi jendela yang juga tertutup, dipagi hari ruang kelas D.302 menunjukkan profile suhu udara yang lebih tinggi, hampir mencapai 1.0°C bila dibandingkan dengan D301, yaitu berkisar antara 28.7°C-29.0°C dengan nilai rata-ratanya adalah 28.8°C (**Tabel 5**). Kelembaban udara menunjukkan kenaikan sampai dengan 69.0% dengan rata-rata 67.0%. Kemudian di siang hari, suhu udara menjadi sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi di ruang kelas D. 301, yaitu berkisar antara 28.9°C-29.5°C dengan rata-rata 29.2°C. Kelembaban udara juga menunjukkan penurunan yaitu sampai dengan 65.0%. Sedangkan untuk kecepatan udara di dalam ruangan, baik ruang kelas D.301 maupun D.302 menunjukkan tidak adanya pergerakan udara. Dengan demikian, pada kondisi jendela tertutup, profil udara pada ruang kelas D.301 dan D.302 belum memenuhi syarat udara sehat.

Tabel 4. Data pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin ruang kelas D.301 pada kondisi jendela tertutup

Titik ukur	Pagi			Siang		
	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]
A	27.9	64.0	0.0	29.7	67.0	0.0
B	28.1	66.0	0.0	29.3	66.0	0.0
C	27.8	62.0	0.0	29.0	66.0	0.0
Rata-rata	28.0	64.0	0.0	29.3	66.0	0.0

Keterangan: *T*: Suhu udara; *RH*: Kelembaban udara; *v*: Kecepatan udara

Tabel 5. Data pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin ruang kelas D.302 pada kondisi jendela tertutup

Titik ukur	Pagi			Siang		
	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]	<i>T</i> [°C]	<i>RH</i> [%]	<i>v</i> [m/s]
A	29.0	65.0	0.0	29.2	65.0	0.0
B	28.9	66.0	0.0	29.5	65.0	0.0
C	28.7	69.0	0.0	28.9	67.0	0.0
Rata-rata	28.8	67.0	0.0	29.2	65.0	0.0

Keterangan: *T*: Suhu udara; *RH*: Kelembaban udara; *v*: Kecepatan udara

4. Kesimpulan

Kualitas udara erat kaitannya dengan kenyamanan penghuni ruangan. Terbatasnya bukaan dinding di dalam suatu ruang akan mempengaruhi sirkulasi dan kualitas udara di dalamnya, serta dapat memicu fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS). Salah satu objek yang rentan terhadap fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS) adalah ruang kelas. Intensitas ruangan yang selalu digunakan dengan kondisi jendela yang selalu tertutup untuk menjaga suhu ruangan menjadikan *Sick Building Syndrome* (SBS) sangat rentan untuk terjadi. Oleh karena itu, dilakukanlah studi terhadap keberadaan bukaan dinding pada ruang kelas dalam kaitannya dengan fenomena *Sick Building Syndrome* (SBS). Sebagai objek studi adalah ruang kelas di Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa luas bukaan dinding pada ruang kelas D.301 dan D.302 adalah sebesar 5% dan 12% dari luas lantai. Sesuai dengan standard yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, kedua ruang kelas masih belum memenuhi luas minimal bukaan dinding untuk dapat menghasilkan kualitas udara yang baik. Kemudian dari hasil pengambilan data juga didapatkan bahwa pada kondisi jendela terbuka di pagi hari, suhu udara rata-rata pada ruang kelas D.301 dan D.302 pada saat pagi hari adalah 28.4°C dan 28.4°C dengan rata-rata kelembaban udaranya adalah 63.0% dan 61.0%. Di siang hari rata-rata suhu udara di masing-masing ruang kelas adalah 29.0°C (D.301) dan 29.3°C (D.302). Rata-rata kelembaban udara pada saat itu adalah 62.0% (D.301) dan 61.0% (D.302). Baik di waktu pagi maupun siang hari, pengukuran mencatat tidak ada udara yang bergerak di dalam ruangan.

Sedangkan pada kondisi jendela tertutup, di pagi hari suhu udara rata-rata di masing-masing ruang kelas adalah 28.0°C (D.301) dan 28.8°C (D.302). Kelembaban udara pada saat pengukuran berada pada nilai rata-rata 64.0% (D.301) dan 67.0% (D.302). Di siang hari, rata-rata suhu udara adalah 29.3°C (D.301) dan 29.2°C (D.302). Kemudian rata-rata kelembaban udara di siang hari untuk kedua ruang kelas adalah 65.0% (D.301) dan 66.0% (D.302). Tidak tercatat adanya pergerakan udara untuk kedua pengukuran di siang hari.

Berdasarkan data hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa dengan kondisi jendela terbuka maupun tertutup, pada saat pagi dan siang hari, kualitas udara di dalam kedua ruang kelas masih belum memenuhi syarat sebagai udara sehat seperti yang tercantum di dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/XI/2002. Agar mendapatkkn kualitas udara yang baik dan menguraingi resiko Sick Building Syndrome, maka perbaikan pada system sirkulasi udara yang ada harus dilakukan, seperti memperbaiki kualitas bukaan dinding.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah memberikan izin untuk menggunakan ruang kelas D.301 sebagai objek penelitian.

Referensi

- Fitria, L., Arminsih Wulandari, R., Hermawati, E., Susanna Departemen Kesehatan Lingkungan, D., & Kesehatan Masyarakat, F. (2008). *Kualitas Udara Dalam Ruang Perpustakaan Universitas "X" Ditinjau Dari Kualitas Biologi, Fisik, Dan Kimiawi* (Vol. 12, Issue 2).
- Hamzah, B., Rahim, M. R., Ishak, M. Taufik, & Sahabuddin, S. (2017). Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(1), 51–58. <https://doi.org/10.32315/jlbi.6.1.51>
- Ilmu, J., Masyarakat, K., Camelia, A., K3, B., Kl, /, Kesehatan, F., & Universitas Sriwijaya, M. (N.D.). *Sick Building Syndrome Dan Indoor Air Quality Sick Building Syndrome And Indoor Air Quality*.
- Kualitas Udara, A., Termal Dan Ventilasi Sebagai Acuan Adaptasi Hunian Pada Masa Pandemi, K., Ratnasari, A., Sofia Asharhani, I., Business Park, S., Gading Serpong Boulevard No, J., Sangereng, C., & Dua, K. (2021). *Indoor Air Quality, Thermal Comfort And Ventilation Aspects As Reference On Housing Adaptation During Pandemic*.
- Savanti, F., Hardiman, G., & Setyowati, E. (2019). Pengaruh Ventilasi Alami Terhadap Sick Building Syndrome. *Arsitektura*, 17(2), 211. <https://doi.org/10.20961/Arst.V17i2.30440>
- Rahmawati, D. S., Laili, R., Program, K., Keselamatan, S., Kerja, K., & Masyarakat, K. (N.D.). *Pengaruh Kualitas Udara Dalam Ruangan Bagi Performa Akademik Pelajar: Sebuah Tinjauan Literatur*.
- Yoga Aditama, T., & Laksmi Andarini Abstrak, S. (N.D.). *.24 Aditama And Andannt Med J Indones Sick Building Syndrome*.
- Kementrian Kesehatan, *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesianomor 1405/Menkes/Sk/Xi/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri*.
- Anonim. Sick Buliding Syndrom, Penyakitmanusia Modern.17 Mei 2011. www.bea-indonesia.org
- Epa. *A Standardized Epa Protocol For Characterizing Indoor Air Quality In Large Office Building*. Us-Epa. Washington Dc, 2003.



Penerapan building information modeling (BIM) dalam perencanaan rumah susun kementerian sosial BBRSPDF Kota Surakarta 6 lantai

Aditya Wibowo^{a*}, Safia Nur Asha^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:

1.adityawibowo@gmail.com

safianurasha@gmail.com

Article history:

Received : 17 July 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

BIM, Construction, Building

ABSTRACT

Construction planning and management is carried out as an attempts to find out various aspects that will be use in facilitating the construction, so it is following the applicable requirements, building functions, and economy. In construction projects, problems are often found at the planning stage or during construction, such as clashes between design elements or between schedules which can cause delays in project construction, large amounts of waste generated after construction, cost overruns during construction, and other problems caused by a lack of accuracy and poor coordination that can disrupt the productivity of construction projects. As technology develops, Building Information Modeling (BIM) is use as a solution to overcome various problems in the construction sector with a system that can collect and manage important data in the construction planning process that is integrated into accurate 3D modeling. In this final project, Building Information Modeling (BIM) will be used to plan the 6-floor Flats of the Ministry of Social Affairs BBRSPDF Surakarta City. Outputs be generated in the form of superstructure and substructure plans, namely the design of foundation structures, columns, beams, and plates, 2D Detail Engineering Design (DED), 3D modeling, and construction management plans in the form of Budget Plans, and scheduling.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Perencanaan pembangunan merupakan langkah awal yang penting sebelum pelaksanaan konstruksi. Pada proyek konstruksi kerap ditemukan permasalahan pada tahap perencanaan ataupun saat pelaksanaannya. Kesalahan desain, keterlambatan peralatan dan bahan, serta estimasi biaya yang tidak akurat menjadi faktor yang sering menimbulkan konflik dalam pelaksanaan proyek (Susila dkk, 2015). Perencanaan dan koordinasi dalam pelaksanaan pembangunan harus dilakukan dengan baik untuk mencegah atau meminimalisir permasalahan yang dapat mengganggu produktivitas dan kesuksesan proyek konstruksi.

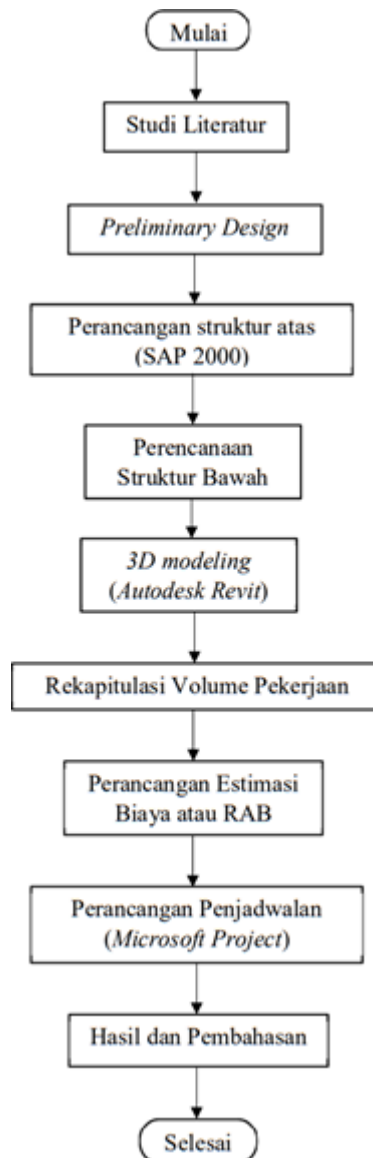
Perkembangan teknologi konstruksi berinovasi menghadirkan sistem bernama *Building Information Modeling* (BIM) yang dapat membantu mempermudah proses pra-konstruksi sampai dengan pasca- konstruksi. Penggunaan BIM jika dibandingkan dengan metode konvensional dapat mempercepat waktu perencanaan proyek sebesar $\pm 50\%$, mengurangi kebutuhan SDM sebesar 26,66% dan menghemat pengeluaran biaya untuk personel sebesar 52,25% (Adhi, 2016). BIM juga dapat mempermudah komunikasi, kolaborasi dan koordinasi para pemangku jabatan yang terlibat dalam tim proyek konstruksi (Rafli, 2018). *Building Information Modeling* (BIM) dapat digunakan sebagai solusi terkini dalam mengatasi berbagai potensi permasalahan di bidang konstruksi dengan cara mengelola data-data penting dalam proses perencanaan konstruksi yang terintegrasi pada pemodelan 3D dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Pada jurnal ini akan dijelaskan perencanaan bangunan gedung dengan penerapan Building Information Modeling (BIM) menggunakan *software* Autodesk Revit 2019 untuk membuat model 3D, dengan analisis struktur atas menggunakan *software* SAP2000 yang mengacu pada SNI terkait. Perencanaan bangunan ini mengimplementasikan *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta setinggi 6 lantai. Sebagaimana yang tertera dalam Permen PUPR No. 22 Tahun 2018, "*Penerapan Building Information Modeling* (BIM) di lingkungan Kementerian PUPR mulai dilakukan pada Bangunan Gedung Negara (BGN) dengan luas diatas 200 m² dan diatas dua lantai". Tujuan perencanaan bangunan gedung ini akan dihasilkan rencana struktur atas dan struktur bawah yakni desain struktur pondasi, *pile cap* kolom, balok dan plat, pemodelan 3D, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan penjadwalan.

2. Data dan metode

Fungsi bangunan pada perencanaan ini yaitu sebagai rumah susun dengan lokasi bangunan terletak di Kota Surakarta. Jenis struktur portal beton bertulang dengan tipe Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Jumlah lantai yang direncanakan yaitu 6 lantai dengan ketinggian setiap lantai 3,6 meter. Pedoman yang dipakai dalam perencanaan ini yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, SNI 03-2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 03-2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 03-1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 03-1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

Tahapan perencanaan dimulai dari perancangan struktur atas, analisis struktur menggunakan SAP2000, perencanaan struktur bawah, kemudian dilanjutkan dengan membuat model 3D menggunakan Autodesk Revit, melakukan rekapitulasi volume pekerjaan, perancangan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan penjadwalan. Metode dalam perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perencanaan

Berdasarkan Tabel 19.2.1.1 SNI 2847:2019, batasan nilai f'_c untuk struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan jenis beton berat normal diizinkan menggunakan nilai f'_c minimum sebesar 21 MPa dengan nilai f'_c maksimum tidak ada batasan, sehingga pada perencanaan ini menggunakan beton $f'_c = 25$ MPa dengan besi beton ulir $f_y = 420$ MPa.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil preliminary design

1) Hasil perencanaan dimensi balok

Desain tinggi minimum balok (h) didasarkan pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tinggi minimum balok (SNI 2847:2019)

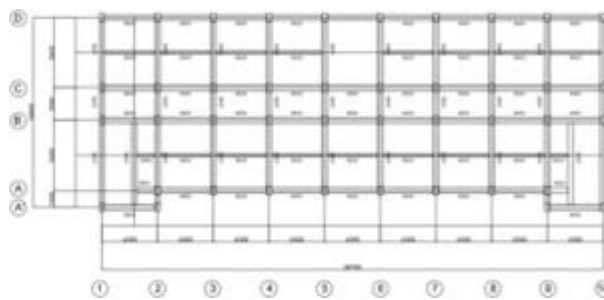
Kondisi Perletakan	h minimum
Perletakan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

Lebar penampang balok minimum (b) berdasarkan Pasal 18.6.2 SNI 2847:2019 yaitu $0,3h$ atau 250 mm, yang kemudian digunakan dengan perhitungan $b = 2/3h$. Sehingga rekapitulasi rencana dimensi balok berdasarkan perhitungan *preliminary design* balok untuk lantai 1 sampai dengan lantai atap pada Perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta seperti Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Rencana Dimensi Balok

No.	As Balok	Lantai	Bentang (cm)	h _{min} (cm)	h _{pakai} (cm)	b _{min} (cm)	b _{pakai} (cm)	Tipe Balok (b x h)
1	1,2,9,10 A'-D 3,4,5,6,7,8 A-D	2-6	540	33,75	50	33,33	40	B45Y (40x50 cm)
	1,2,9,10 A'-B 5,6 C-D	Atap Kanopi						
2	A' 1-2, 9-10 A 2-9 B,C,D 1-10	2-6	430	26,9	50	33,33	40	B45X (40x50 cm)
	A',B 1-2, 9-10 C,D 5-6 B' 1-2, 9-10	Atap Kanopi						
3	D' 1-5, 6-10 B' 2-9	2-6	430	20,5	30	20	25	BA23 (25x30 cm)
4	A' 2-9 2,3,4,5,6,7,8,9 A'-A	Atap	430	53,75	55	36,67	40	B45K (40x55 cm)
5	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 A'-D A', A, B, C, D 1-10	1	540	33,75	50	33,33	50	TB55 (50x50 cm)

Tabel 2 menunjukkan hasil rencana dimensi balok yang kemudian ditunjukkan pada denah dan detail balok pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah Rencana Balok

2) Hasil perencanaan dimensi plat

Berdasarkan Pasal 8.3.1.1 SNI 2847:2019, jika $\frac{L_n}{S_n} > 2$ maka termasuk plat satu arah, sedangkan jika $\frac{L_n}{S_n} < 2$ maka termasuk plat dua arah, dengan L_n merupakan jarak bersih bentang terpanjang dan S_n merupakan jarak bersih bentang terpendek. Tebal minimum plat dengan menggunakan rumus : $\frac{L_n}{33}$ (Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019). Dihitung $L_n/S_n = 5,1/4 = 1,275 < 2$ sehingga plat termasuk plat dua arah. Sedangkan berdasarkan perhitungan tebal plat dipakai plat setebal 15 cm.

3) Hasil perencanaan dimensi kolom

Berdasarkan perhitungan didapatkan beban mati untuk 1 lantai yaitu sebesar 18578,205 kg, maka untuk beban mati 6 lantai yaitu sebesar 111469,23 kg. Untuk beban hidup 1 lantai yaitu sebesar 3261,12 kg, maka untuk beban mati 6 lantai sebesar 19566,72 kg. Beban mati atap didapatkan sebesar 11850,715 kg dan beban hidup atap yaitu sebesar 1698,5 kg. Jadi, beban mati total (DL) didapatkan sebesar 123319,945 kg dan Beban hidup total (LL) sebesar 21265,22 kg. Kombinasi beban yang dipakai pada perencanaan kolom ini yaitu 1,2 DL + 1,6 LL, sehingga diperoleh beban (W_u) yaitu sebesar 182008,286 kg. Kemudian perhitungan luas

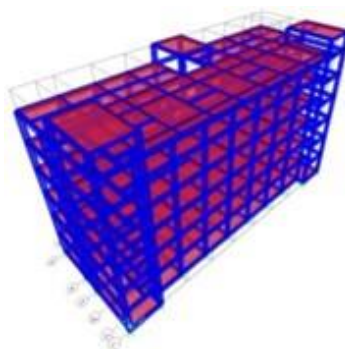
kolom ditentukan dengan Persamaan 1.

$$A = \frac{W_u}{0,3 \times f'c} \dots\dots\dots (1)$$

dengan nilai $f'c = 25$ Mpa, sehingga didapatkan hasil luas kolom yaitu sebesar $2426,777 \text{ cm}^2$. Jika luas kolom diakarkan maka didapatkan tinggi penampang kolom yang dipakai yaitu 60 cm, dan lebar $2/3$ yaitu dipakai 40 cm. Jadi dimensi kolom yang direncanakan yaitu $40 \times 60 \text{ cm}$.

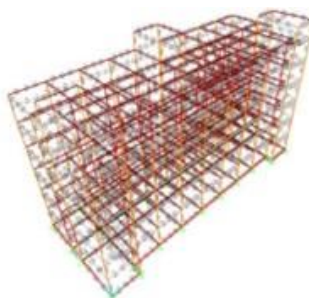
3.2. Analisis struktur

Pemodelan struktur menggunakan SAP2000 V20 Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta 6 lantai ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pemodelan struktur menggunakan SAP2000 V20

Untuk menghindari terjadinya *overstressed* pada rencana struktur maka dilakukan pengecekan kelayakan pada model. Pada pemodelan perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta menggunakan SAP2000 V20 didapatkan hasil pengecekan struktur dinyatakan aman dan tidak mengalami *overstressed* sehingga perencanaan struktur yang telah dimodelkan layak untuk digunakan. Kemudian didapatkan as tulangan kolom dan balok untuk bagian tumpuan dan lapangan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. As tulangan hasil analisis SAP2000

Gaya - Gaya dalam yang dihasilkan dari analisis struktur Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta menggunakan SAP2000 V20 yaitu gaya aksial, gaya lintang, dan momen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Hasil 3D Gaya Aksial



Gambar 6. Hasil 3D Gaya Geser



Gambar 7. Hasil 3D Momen

3.3. Perhitungan tulangan struktur atas

1) Perhitungan tulangan balok

Perhitungan tulangan utama balok didasarkan pada hasil As tulangan *output* SAP2000 (Gambar 4) yang kemudian tulangan perlu bagian lentur balok akan dibandingkan dengan perhitungan As minimum berdasarkan aturan SNI 2847:2019 untuk menentukan jumlah dan dimensi tulangan yang dipakai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi tulangan utama balok

Nama	Ukuran Balok (b x h) mm	Daerah	Letak Tul.	As Perlu (mm ²)	As min 1 (mm ²)	As min 2 (mm ²)	As	
							Terpasang (mm ²)	Dipakai
B45Y	400 x 500	Tump.	Atas	1304,602	559,524	626,667	1407,434	7D16
			Bawah	627,176			804,248	4D16
		Lap.	Atas	410,664			804,248	4D16
			Bawah	684,907	559,524	626,667	804,248	4D16
B45X	400 x 500	Tump.	Atas	1920,16	559,524	626,667	2010,619	10D16
			Bawah	903,705			1005,310	5D16
		Lap.	Atas	386,754			402,124	2D16
			Bawah	1524,01	559,524	626,667	1608,495	8D16
BA23	250 x 300	Tump.	Atas	221,935	200,893	225	402,124	2D16
			Bawah	0,987			402,124	2D16
		Lap.	Atas	0,658			402,124	2D16
			Bawah	299,535	200,893	225	402,124	2D16
B45K	400 x 550	Tump.	Atas	562,923	619,048	693,333	804,248	4D16
			Bawah	278,463			402,124	2D16
		Lap.	Atas	138,506			402,124	2D16
			Bawah	138,506	619,048	693,333	804,248	4D16
TB55	500 x 500	Tump.	Atas	3003,37	699,405	783,333	3421,194	9D22
			Bawah	1808,97			1900,664	5D22
		Lap.	Atas	1513,35			1900,664	5D22
			Bawah	3029,68	699,405	783,333	3421,194	9D22

Untuk perhitungan tulangan sengkang balok didasarkan pada *ouput* SAP 2000 luas tulangan geser per satuan mm (A_v/s) untuk menentukan dimensi dan jarak tulangan sengkang. Penentuan tulangan sengkang untuk daerah lapangan dan tumpuan balok harus mempertimbangkan jarak sengkang atau spasi (S) maksimum yang diijinkan yaitu $\frac{1}{2} d$, $\frac{1}{4} d$, dan 150 mm, dimana d merupakan tinggi efektif balok. Rekapitulasi rencana tulangan sengkang balok seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi tulangan sengkang balok

Nama	Ukuran Balok (b x h) mm	Daerah	Av/s Perlu (mm ² /mm)	Ø mm	S max 1 (mm)	S max 2 (mm)	S max 3 (mm)	S pakai (mm)	Dipakai
	Lap.	0,255	10	225			150	D10 - 150	
B45X	400 x 500	Tump.	1,338	10	113	128	150	100	D10 - 100
		Lap.	0,827	10	225			150	D10 - 150
BA23	250 x 300	Tump.	0,963	10	113	128	150	100	D10 - 100
		Lap.	0,718	10	225			150	D10 - 150
B45K	400 x 550	Tump.	0,123	10	113	128	150	100	D10 - 100
		Lap.	0,333	10	225			150	D10 - 150
TB55	500 x 500	Tump.	0,2	10	113	128	150	100	D10 - 100
		Lap.	0,216	10	225			150	D10 - 150

Hasil perhitungan tulangan utama dan sengkang balok Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta pada Tabel 3 dan Tabel 4 kemudian ditampilkan detail balok seperti pada Gambar 8.

BALOK B4EY			BALOK B4EX			BALOK B4Z3			BALOK B4K			TIEBEAM T855		
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN			POTONGAN			POTONGAN			POTONGAN			POTONGAN		
TUL ATAS	7 D16	4 D16	TUL ATAS	10 D16	2 D16	TUL ATAS	2 D16	2 D16	TUL ATAS	4 D16	2 D16	TUL ATAS	9 D22	5 D22
TUL BAWAH	4 D16	4 D16	TUL BAWAH	5 D16	8 D16	TUL BAWAH	2 D16	2 D16	TUL BAWAH	2 D16	4 D16	TUL BAWAH	5 D22	9 D22
SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150

Gambar 8. Rencana tulangan balok

2) Perhitungan tulangan pelat

Pada hasil analisis SAP2000 didapatkan momen ultimit (M_u) pada arah X dan Y untuk menentukan dimensi dan jarak antar tulangan pelat pada perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta. Yang kemudian dilakukan pengecekan perhitungan sesuai dengan SNI 2847:2019 dan sudah memenuhi syarat. Rekapitulasi hasil perhitungan tulangan pelat perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta ditunjukkan pada Tabel 5.

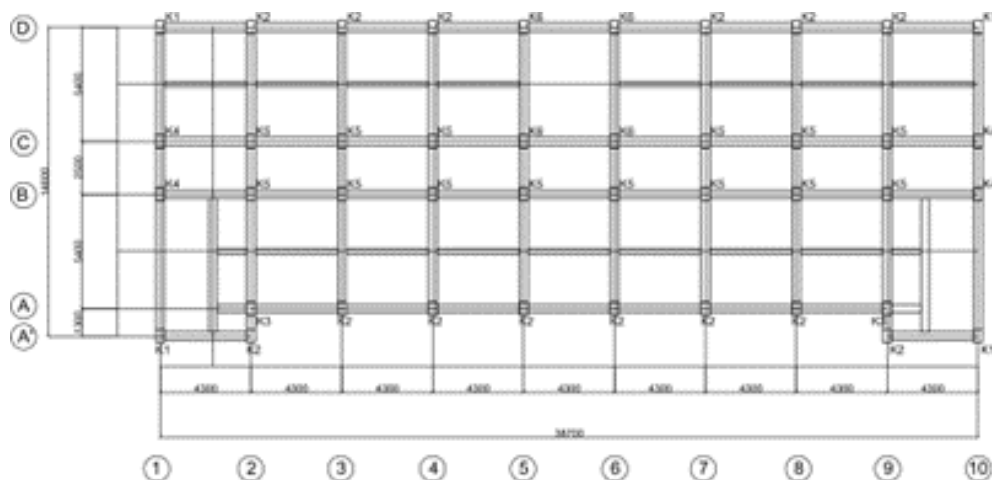
Tabel 5. Perhitungan tulangan pelat

Tipe	Tebal Pelat (mm)	Tul.	M_u (kNm)	ϕ mm	Jarak (mm)	Tebal Efektif, d (mm)	ϕM_n (kNm)	a (mm)	Dipakai
Plat A	150	Arah X	5,9258	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
		Arah Y	1,2165	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
Plat B	150	Arah X	6,8768	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
		Arah Y	1,9206	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
Plat C	150	Arah X	9,1382	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
		Arah Y	0,6154	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
Plat D	150	Arah X	25,6912	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
		Arah Y	6,8549	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
Plat E	150	Arah X	4,5476	10	150	130	21,96	10,35	D10-150
		Arah Y	5,6256	10	150	130	21,96	10,35	D10-150

Berdasarkan Tabel 5 tersebut untuk plat tipe A, B, C, D dan E, semua menggunakan tulangan D10 dengan jarak 15 cm baik arah X maupun arah Y.

3) Perhitungan tulangan kolom

Perhitungan tulangan utama kolom didasarkan pada hasil A_s tulangan dari *output* SAP2000 (Gambar 4) yang kemudian tulangan perlu bagian lentur balok akan dibandingkan dengan perhitungan A_s minimum berdasarkan aturan SNI 2847:2019 untuk menentukan jumlah dan dimensi tulangan yang dipakai. Kemudian dilakukan pengecekan terhadap beberapa syarat yaitu syarat pertama mengenai syarat gaya aksial untuk struktur rangka momen khusus pada SNI 2847-2013 (Pasal 21.6.1) yaitu $P_u > \frac{A_g \cdot f_c}{10}$, Syarat kedua mengenai syarat sisi terpendek dan rasio dimensi penampang pada SNI 2847-2019 (Pasal 18.7.2.1) yaitu $b \geq 300$ mm dan $\frac{b}{h} \geq 0,4$, syarat ketiga mengenai syarat rasio tulangan pada SNI 2847-2019 (pasal 18.7.4.1) yaitu $0,01A_g \leq A_s$ terpasang $\leq 0,06A_g$. Gambar rencana denah kolom lantai 1 sampai dengan lantai atap ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Denah Kolom

Rekapitulasi hasil perhitungan dan pengecekan tulangan utama kolom ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi tulangan utama kolom

Nama Kolom	Dimensi (mm)	As Perlu (mm ²)	Ø mm	Luas (mm ²)	Jumlah	As Terpasang (mm ²)	Cek Persyaratan SNI			Dipakai
							Syarat1	Syarat2	Syarat3	
K1	400 x 600	2400	19	283,53	10	2835	OK	OK	OK	10 D19
K2	400 x 600	4277	19	283,53	16	4536	OK	OK	OK	16 D19
K3	400 x 600	5519	19	283,53	20	5671	OK	OK	OK	20 D19
K4	400 x 600	3877	19	283,53	14	3969	OK	OK	OK	14 D19
K5	400 x 600	7945	22	283,53	22	8363	OK	OK	OK	22 D22
K6	400 x 600	3743	19	283,53	14	3969	OK	OK	OK	14 D19

Hasil pengecekan rencana tulangan utama kolom sudah memenuhi syarat. Selanjutnya untuk perhitungan tulangan sengkang kolom didasarkan pada *ouput* SAP2000 luas tulangan geser per satuan mm (A_v/s) untuk menentukan dimensi dan jarak tulangan sengkang kolom seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Penentuan tulangan sengkang kolom

Tipe	Dimensib x h (mm)	Tul.	A_v/s Perlu (mm ² /mm)	Ø (mm)	Luas (mm ²)	S Perlu (mm)	Syarat Spasi Tulangan Geser Max (SNI 2847:2019)			Dipakai
							8 x Dutama	24 x Dsengkan g	½ b kolom	
K1	400 x 600	Tump.	0,451	10	157,08	348,3	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,333	10	157,08	471,7	152	240	200	D10 - 150
K2	400 x 600	Tump.	0,34	10	157,08	462	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,34	10	157,08	462	152	240	200	D10 - 150
K3	400 x 600	Tump.	0,625	10	157,08	251,3	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,625	10	157,08	251,3	152	240	200	D10 - 150
K4	400 x 600	Tump.	0,463	10	157,08	339,3	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,463	10	157,08	339,3	152	240	200	D10 - 150
K5	400 x 600	Tump.	0,333	10	157,08	471,7	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,333	10	157,08	471,7	152	240	200	D10 - 150
K6	400 x 600	Tump.	0,333	10	157,08	471,7	152	240	200	D10 - 100
		Lap.	0,333	10	157,08	471,7	152	240	200	D10 - 150

Hasil perhitungan tulangan utama dan sengkang kolom Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta pada Tabel 6 dan Tabel 7 kemudian ditampilkan dalam gambar detail kolom pada Gambar 10.



Gambar 10. Rencana tulangan kolom

3.4. Perhitungan struktur bawah

1) Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pada perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta digunakan diameter pancang yaitu 35 cm dengan luas penampang (A) sebesar 962,113 cm² dan keliling penampang (K) sebesar 109,956 cm. Berdasarkan hasil tes sondir didapat kedalaman tanah keras yaitu 6 m dengan nilai *total friction* (Tf) yaitu 332 dan *conus resistance* (q) sebesar 250 kg/cm². Daya dukung ultimit per satu pancang dihitung menggunakan rumus :

$$Q_u = \frac{qc \cdot A}{3} + \frac{Tf \cdot K}{5} \dots\dots\dots (2)$$

Sehingga didapatkan daya dukung ultimit satu tiang pancang yaitu sebesar 87,477 ton. Selanjutnya perhitungan jumlah tiang pancang (n) menggunakan rumus :
 $n = F/Q_{net} \dots\dots\dots (3)$

dengan Q_{net} merupakan berat bersih tiang yang didapatkan dari pengurangan Q_u dengan berat tiang ($W=Volume \cdot B_j$ Beton) sehingga didapatkan Q_{net} sebesar 86091,68 kg. berikut merupakan hasil perhitungan rencana jumlah tiang (n) dengan mempertimbangkan beban maksimum (F) pada tiap titik yang didapat dari hasil analisis struktur pada SAP2000. Rekapitulasi perhitungan jumlah tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Tiang Pancang

F (Kgf)	Q Tiang (Kgf)	n (F/Q)	Dipakai
132014,08	86091,68	1,53	2 tiang
212012,88	86091,68	2,46	4 tiang
346523,01	86091,68	4,03	6 tiang

2) Perencanaan Dimensi *Pile cap*

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S) direncanakan dengan perhitungan $2,5D \leq S \leq 3D$, dimana D merupakan dimensi tiang pancang yaitu 35 cm sehingga dipakai S sebesar 105 cm. Kemudian direncanakan jarak tiang pancang ke tepi *pile cap* (S') dengan perhitungan $1,25D$. sehingga direncanakan S' yang dipakai yaitu 50 cm. Penentuan tebal *pile cap* disesuaikan dengan SNI 2487-2019 Pasal 13.4.2.1 yaitu tebal *pile cap* > 300 mm. Rekapitulasi hasil perhitungan dimensi *pile cap* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Dimensi *Pile cap*

Tipe <i>Pile cap</i>	n Tiang	S (cm)	S' (cm)	Dimensi <i>Pile cap</i>		Tebal <i>Pile cap</i> (cm)
				Lebar (cm)	Panjang (cm)	
PC1	2	105	50	100	205	800
PC2	4	105	50	205	205	800
PC3	6	105	50	205	310	800

Kemudian melakukan pengecekan kelayakan rencana kelompok tiang (*pile group*) dengan membandingkan hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang (P_g) dengan daya dukung (P) yang didapat dari *output* analisis SAP2000. Perhitungan daya dukung kelompok tiang dipengaruhi oleh efisiensi kelompok tiang (E_g) yang dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 m \cdot n} \dots\dots\dots (4)$$

dengan θ didapatkan dari perhitungan $\text{Arc tan} \cdot D/S$, sedangkab m merupakan jumlah baris, n merupakan jumlah kolom, D merupakan diameter tiang pancang dan S merupakan jarak antar tiang pancang. Sehingga didapatkan rekapitulasi efisiensi kelompok tiang (E_g) seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

Tipe <i>Pile cap</i>	D (cm)	S (cm)	Arc tan. d/s	m	n	Nilai Efisiensi, E_g
PC1	35	105	18,435	2	1	0,898
PC2	35	105	18,435	2	2	0,795
PC3	35	105	18,435	3	2	0,761

Setelah efisiensi kelompok tiang (E_g) didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan dan pengecekan daya dukung maksimal kelompok tiang (P_g) dengan menggunakan rumus :

$$P_g = n \cdot Q_{\text{nett}} \cdot E_g \quad (5)$$

Sehingga didapatkan daya dukung maksimal kelompok tiang (P_g) pada PC1 sebesar 154,55 ton, PC2 sebesar 273,77 ton dan PC3 sebesar 393,09 ton. Pengecekan daya dukung tiang dengan nilai $P_g > \text{Total}P$ (*output* SAP2000) pada Tabel 11 sudah sesuai dengan syarat sehingga aman dan dapat digunakan.

Tabel 11. Pengecekan daya dukung kelompok tiang

Tipe <i>Pile cap</i>	E_g	Q Tiang Ton	n	P_g Ton	Total P (<i>output</i> SAP2000)Ton	Cek
PC1	0,898	86,092	1	154,55	132,01	OK
PC2	0,795	86,092	2	273,77	266,44	OK
PC3	0,761	86,092	2	393,09	346,53	OK

3) Perhitungan Tulangan *Pile cap*

Penentuan Tulangan pile cap harus memenuhi syarat $R_n > R_{n_{\text{max}}}$ dan $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$.

$R_{n_{\text{max}}}$ dihitung dengan menggunakan $\rho_{\text{max}} \cdot f_y \cdot 1 - \left(\frac{\rho_{\text{max}}}{2} \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \right)$ dan R_n merupakan $\frac{M_n}{b \cdot d^2}$ dengan M_n merupakan momen nominal dengan perhitungan $M_u/0,8$, kemudian untuk b yaitu sebesar 1000 dan d merupakan tebal efektif *pile cap*. Untuk menghitung luas tulangan yang dipakai ($A_s \text{ pakai}$) menggunakan perhitungan $\frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot \frac{1000}{s}$, sedangkan $A_s \text{ perlu}$ didapatkan dari perhitungan $\rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d$ dengan ρ_{pakai} ditentukan dari perhitungan ρ_{perlu} yang dibandingkan dengan hasil perhitungan ρ_{min} dan ρ_{max} . ρ_{perlu} didapatkan berdasarkan perhitungan $0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$, ρ_{min} didapatkan menggunakan perhitungan $\frac{1,4}{f_y}$ dan ρ_{max} dengan perhitungan $0,75 \rho_b$, dimana ρ_b dari

perhitungan $0,85 \cdot 0,85 \frac{f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right)$. Direncanakan *pile cap* dengan menggunakan mutu beton, $f'c$ 25 MPa dengan kuat leleh baja tulangan (f_y) sebesar 420 MPa. Sehingga didapatkan rekapitulasi perhitungan seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan ρ_{pakai} Tulangan *Pile cap*

Tipe	Tebal	Letak	Mu (output SAP2000)	Mn	ρ_{min}	ρ_{max}	Rnmax	Rn	Cek Rn > Rnmax	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}
PC1	800	Mux (bawah)	56,40	70,50	0,0035	0,019	6,47	1,22	OK	0,0030	0,0030
		Muy (bawah)	30,82	38,52	0,0035	0,019	6,47	0,67	OK	0,0016	0,0016
PC2	800	Mux (bawah)	49,78	62,22	0,0035	0,019	6,47	1,07	OK	0,0026	0,0026
		Muy (bawah)	42,90	53,62	0,0035	0,019	6,47	0,93	OK	0,0023	0,0023
PC3	800	Mux (bawah)	68,28	85,35	0,0035	0,019	6,47	1,47	OK	0,0036	0,0036
		Muy (bawah)	1,07	1,34	0,0035	0,019	6,47	0,02	OK	0,0001	0,0035

Setelah ρ_{pakai} didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan A_s Tulangan yang dibutuhkan untuk menentukan diameter dan jarak tulangan *pile cap* yang dipakai. Berdasarkan perhitungan, tulangan *pile cap* yang direncanakan sudah memenuhi persyaratan dan dapat digunakan pada struktur bawah Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi dan pengecekan Tulangan *Pile cap*

Nama	Tebal mm	Letak Tul.	A_{sperlu} mm ²	\emptyset mm	Jarak mm	A_{spakai} mm ²	Cek $A_{spakai} > A_{sperlu}$	Dipakai
PC1	800	Mux (bawah)	2273	19	120	2362,7	OK	19-120
		Mux (atas)	472,55	16	300	670,21	OK	16-300
		Muy (bawah)	1224,8	19	120	2362,7	OK	19-120
		Muy (atas)	472,55	16	100	2010,6	OK	16-100
PC2	800	Mux (bawah)	1998,6	19	125	2268,2	OK	19-125
		Mux (atas)	453,65	16	300	670,21	OK	16-300
		Muy (bawah)	1715,9	19	125	2268,2	OK	19-125
		Muy (atas)	453,65	16	300	670,21	OK	16-300
PC3	800	Mux (bawah)	2769,9	19	100	2835,3	OK	19-100
		Mux (atas)	567,06	16	300	670,21	OK	16-300
		Muy (bawah)	2663,5	19	100	2835,3	OK	19-100
		Muy (atas)	567,06	16	300	670,21	OK	16-300

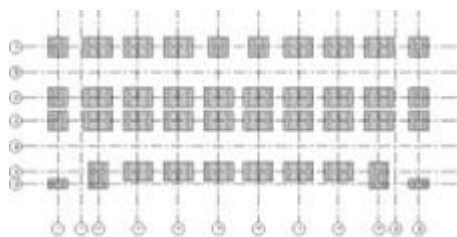
3.5. Hasil pemodelan menggunakan Autodesk Revit 2019

Hasil pemodelan 3D pada perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta untuk struktur atas berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dihitung sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Pemodelan Struktur Atas menggunakan Revit 2019

Sedangkan untuk pemodelan struktur bawah pada perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta menggunakan Revit 2019 berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dihitung sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Denah Struktur Bawah



Gambar 13. Hasil Pemodelan 3D Struktur Bawah

3.6. Pehitungan Rencanan Anggaran Biaya (RAB)

Cakupan jenis pekerjaan yang dilampirkan dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) perencanaan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta ini ini adalah pekerjaan persiapan yang meliputi pekerjaan pembersihan dan perataan, pengukuran dan pemasangan bouwplank, pengadaan direksi keet, papan nama proyek, pagar proyek, air kerja dan listrik kerja. Kemudian pekerjaan struktur bawah meliputi pekerjaan pondasi tiang pancang, pekerjaan *pile cap*, dan pekerjaan *tie beam* serta pekerjaan struktur atas meliputi pekerjaan balok, pekerjaan kolom, dan pekerjaan pelat. Hasil Perhitungan estimasi biaya atau RAB didasarkan pada volume yang didapatkan dari *output* pemodelan pada Revit dan Harga Satuan Pekerjaan didapatkan dengan merujuk pada Analisa Harga Satuan pekerjaan (AHSP) yang sudah dihitung dengan mempertimbangkan harga setiap sumber daya daerah Kota Surakata. Rekapitulasi perhitungan RAB dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi RAB

No.	Uraian Pekerjaan	Rekap Biaya
I	Pekerjaan Persiapan	Rp 202.741.270
II	Pekerjaan Struktur Bawah	Rp 873.922.121
III	Pekerjaan Struktur Atas	Rp 4.743.326.455
	Jumlah	Rp 5.819.989.846
	PPN 11%	Rp 640.198.883
	Total	Rp 6.460.188.729
	Dibulatkan	Rp 6.460.188.000

3.7. Penjadwalan menggunakan Microsoft Project 2013

Perencanaan jadwal pelaksanaan pekerjaan struktur pada Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta didasarkan pada volume yang didapatkan dari *output* pemodelan pada Revit sehingga didapatkan bobot setiap pekerjaan yang kemudian digunakan untuk menentukan durasi setiap item pekerjaan. Hasil perencanaan penjadwalan dengan menggunakan *Microsoft Project 2013* didapatkan estimasi waktu pengerjaan 36 minggu (8 bulan) seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Penjadwalan menggunakan *Microsoft Project 2013*

4. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur pada Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan dimensi dan tulangan yang dipakai untuk struktur bawah (pondasi tiang pancang, *pile cap*, *tie beam*) dan struktur atas (balok, kolom, pelat) pada perencanaan ini telah dilakukan pengecekan dan dinyatakan layak dan aman juga berdasarkan hasil analisis SAP2000.
2. Perhitungan estimasi biaya atau Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan ini didapatkan hasil total biaya yaitu sebesar Rp 6.460.188.000,-
3. Penjadwalan pelaksanaan pekerjaan yang dibuat dengan menggunakan *Microsoft project* direncanakan dilaksanakan dalam kurun waktu 36 minggu atau 8 bulan masa pengerjaan.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada pihak proyek pembangunan Rumah Susun Kementerian Sosial BBRSPDF Kota Surakarta yang telah memberikan sumber data yang dibutuhkan dan kepada seluruh pihak yang turut mendukung, memberi masukan dan membantu selama penyusunan perencanaan ini.

Referensi

- Adhi, R. P., Hidayat, A., & Nugroho, H. (2016). Perbandingan efisiensi waktu, biaya, dan sumber daya manusia antara metode Building Information Modelling (BIM) dan konvensional (studi kasus: perencanaan gedung 20 lantai). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 220-229.
- Apriansyah, R. (2021). Implementasi Konsep Building Information Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural.
- Arifah, A. G., Akbar, M. R., & AFFANDHIE, R. B. A. (2017). Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Teknik di Malang dengan Metode Sistem rangka Pemikul Momen Menengah. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.

- Hwang, B. G., Zhao, X., & Yang, K. W. (2019). Effect of BIM on rework in construction projects in Singapore: Status quo, magnitude, impact, and strategies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2), 04018125.
- Marizan, Y. (2019). Studi Literatur Tentang Penggunaan Software Autodesk Revit Studi Kasus Perencanaan Puskesmas Sukajadi Kota Prabumulih. *Jurnal Ilmiah Bering's*, 6(01), 15-26.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 22 Tahun 2019. Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung Negara
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.
- Rafli, R. (2018). Manfaat penggunaan Building Information Modelling (BIM) pada proyek konstruksi sebagai media komunikasi stakeholders. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 1(2), 62-66.
- SNI 03-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-1726-2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- SNI 03-1727-2020, Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- Setiawan, E. B., & Abma, V. (2021). Penerapan Konsep BIM dari Studi Kasus dan Perspektif Pengguna. *Civil Engineering, Environmental, Disaster & Risk Management Symposium (CEEDRiMS) Proceeding 2021*.
- Susila, H., & Handoyo, S. (2015). Analisis Pengaruh Konflik dalam Pelaksanaan Konstruksi terhadap Kesuksesan Proyek. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 16(20).



Model 5D Gedung dekanat dan perkuliahan fakultas kesehatan masyarakat Universitas Diponegoro

Muhammad Ar Rayyan Firdaus^{a*}, Rahma Uyun Asalina^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:

muhammadarrayyanfirdaus@gmail.com
rahmauyunasalina@gmail.com

Article history:

Received : 31 July 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

BIM, Cost Estimation, Scheduling, Load Analysis, Structural Planning

ABSTRACT

Redesign is the critical point of the construction process which aims to provide technical specification requirements that will be used at the project later. In project planning, more time and accuracy are needed to obtain the required output. Therefore, it is necessary to use BIM or Building Information Modeling software to simplify, speed up and minimize errors due to human error. This Project was made a redesign the Dean's Building and Lecture project of the Faculty of Public Health, Diponegoro University using the BIM or Building Information Modeling application which aims to streamline structural, planning work, financing estimation, and scheduling processes. The method used is a literature study with the main data of design drawing and others data from the construction project of the Dean Building and Lectures of the Faculty of Public Health, Diponegoro University. The preparation of this Project goes through 3 stages. The first stage is to redesign the FKM Building project using Autodesk Revit, the second stage is analyzing the structure with SAP 2000 and Ms Excel applications then the third stage is replanning cost estimation and scheduling using Ms Excel and Ms Project. The result of this Final Project is to obtain new best drawings, material specifications, cost estimation and scheduling.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya pembangunan infrastruktur, penyedia jasa konstruksi dituntut untuk meningkatkan mutu proyek secara efektif dan efisien. Selain itu, saat ini juga sudah memasuki kondisi dimana persaingan dalam dunia konstruksi juga sangat kompetitif. Hal ini juga menuntut para penyedia jasa konstruksi untuk melaksanakan proyek dengan kualitas yang baik, biaya yang optimal dan waktu yang singkat (Indra dkk, 2022). Untuk merealisasikannya, diperlukan suatu metode yang dapat menunjang proses pelaksanaan kegiatan konstruksi. BIM (*Building Information Modelling*) merupakan suatu metode yang berbasis teknologi yang dapat membantu dalam proses perencanaan konstruksi. Karena *software* BIM dapat melakukan perhitungan analisis struktur dan mengelola informasi pendukung secara efektif dan efisien (Kusmantoro dkk, 2018).

Perencanaan menggunakan *software* BIM dinilai memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional. Dengan penggunaan BIM, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perencanaan akan lebih singkat. Selain itu *output* yang dikeluarkan akan jauh lebih informatif seperti gambar rencana dengan sistem 3 dimensi serta memberikan data kuantitatif atau volume terhadap material yang digunakan dengan akurat. Penggunaan BIM juga dapat meminimalisasi terjadinya kesalahan yang diakibatkan oleh *human error* (Kelvin, 2022).

Perencanaan ini dilakukan dengan pengaplikasian sistem *Building Information Modeling (BIM)* yaitu merencanakan ulang sebuah struktur yang sudah/sedang dalam proses pembangunan dengan data lapangan seperti yang digunakan pada proyek tersebut. Sedangkan metode penelitian yang

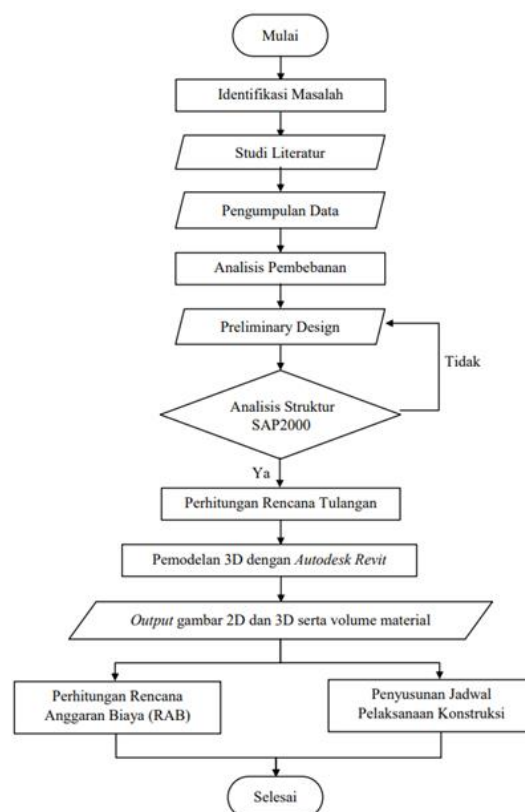
digunakan yaitu metode kuantitatif, hal ini dikarenakan penelitian ini memiliki proses menganalisa suatu data yang memiliki prosedur sistematis dengan informasi berupa angka dan grafik (Azhari dkk, 2023). Pada jurnal ini akan menjelaskan perencanaan struktur dengan metode analisa struktur menggunakan SAP2000, dilanjutkan dengan pemodelan 3D dan perhitungan volume material menggunakan *Autodes Revit*, lalu yang terakhir perencanaan anggaran biaya dan penjadwalan menggunakan *Microsoft Project*.

2. Data dan metode

Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro merupakan bangunan yang direncanakan memiliki 6 lantai yang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah. Gedung ini dirancang menggunakan sistem SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang mengacu pada SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Berdasarkan pedoman tersebut, gedung Dekanat dan Perkuliahan FKM Undip berada pada kategori resiko IV karena merupakan gedung perkuliahan. Gedung ini memiliki keadaan tanah yang berada pada klasifikasi SD (tanah sedang) dan kategori desain seismic pada level D.

Perencanaan gedung dengan struktur bangunan beton bertulang juga mengacu pada SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 tentang syarat beton struktural untuk bangunan gedung. Pedoman ini dapat digunakan ketika proses analisa struktur serta perhitungan kebutuhan tulangan. Selain itu perencanaan gedung juga harus memperhatikan beban yang diterima. Untuk itu, dalam penentuan dan perhitungan beban gedung bertingkat dapat mengacu pada SNI 1727-2013 dan SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan.

Untuk tahapan perencanaan dimulai dari *preliminary design* dilanjutkan dengan analisis struktur menggunakan SAP2000. Jika analisis struktur sudah memenuhi, maka dilanjutkan perhitungan tulangan. Kemudian pemodelan 3D dengan menggunakan *Autodes Revit* dengan *output* berupa gambar 2D, 3D dan volume material. Lalu dilanjutkan dengan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan penyusunan jadwal pekerjaan menggunakan *Ms Project*. Untuk tahapan lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preliminary design

3.1.1. Preliminary design balok

Berdasarkan SNI 2847-2019 pada tabel 9.3.1.1 disebutkan bahwa balok nonprategang memiliki tinggi atau ketebalan minimum.

Tabel 1. Tinggi minimum balok nonprategang (SNI 2847:2019 tabel 9.3.1.1, 2019)

Kondisi Perletakan	h minimum
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Serta mengacu pada SNI 2847-2019 pada 18.6.2.1 bahwa lebar penampang balok minimal $0,3h$ ($0,3$ dari tinggi balok rencana). Namun pada perhitungan rencana digunakan $0,5h$ ($0,5$ dari tinggi balok rencana). Tabel 2 menjelaskan perhitungan *preliminary design* pada balok.

Tabel 2. Perhitungan *Preliminary* Balok

JENIS	Dimensi		
	h x b		
B1	700	x	350
B2	500	x	250
B4	400	x	200
TB	500	x	300
BA	600	x	400

Tabel 3. Rekapitulasi *Preliminary* Balok

NO	L	h min	h pakai	b min	b pakai	Dimensi yang digunakan			JENIS
						h x b			
1	8000	500,00	700,00	350,00	350,00	700	x	350	B1
2	7000	437,50	700,00	350,00	350,00	700	x	350	B1
3	5000	312,50	500,00	250,00	250,00	500	x	250	B2
4	3500	218,75	500,00	250,00	250,00	500	x	250	B2
5	6000	285,71	400,00	200,00	200,00	400	x	200	B3
6	5000	238,10	400,00	200,00	200,00	400	x	200	B3
7	8000	500,00	500,00	250,00	300,00	500	x	300	TB
8	7000	437,50	500,00	250,00	300,00	500	x	300	TB
9	8000	500,00	600,00	300,00	400,00	600	x	400	B Atap
10	7000	437,50	600,00	300,00	400,00	600	x	400	B Atap

Setelah mendapatkan hasil *preliminary design* untuk balok, lalu diperlukan adanya pengecekan terhadap syarat-syarat yang telah ditentukan oleh SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 yaitu syarat (1) bentang bersih balok minimal $4d$ ($4 \times$ tinggi efektif balok); syarat (2) lebar penampang minimal $0,3h$ ($0,3 \times$ tinggi balok); syarat (3) lebar balok tidak boleh melebihi sisi terpendek kolom yang menumpu dan $0,75 \times$ sisi terpanjang kolom yang menumpu. Syarat-syarat balok ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Cek syarat balok menurut SNI 2847-2019

JENIS	Dimensi			Syarat (1)	Syarat (2)	Syarat (3)
	h x b					
B1	700	x	350	OK	OK	OK
B2	500	x	250	OK	OK	OK
B4	400	x	200	OK	OK	OK
TB	500	x	300	OK	OK	OK
BA	600	x	400	OK	OK	OK

3.1.2. Preliminary design plat lantai dan plat atap

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.1, dapat ditentukan tipe plat satu arah maupun dua arah. Dapat dikatakan plat 1 arah (*one way slab*) jika rasio antara sisi panjang dan sisi pendek plat memiliki nilai lebih besar atau sama dengan 2 ($L_y/L_x \geq 2$). Sedangkan untuk plat 2 arah (*two way slab*) jika rasio antara sisi panjang dan sisi pendek plat memiliki nilai lebih kecil daripada 2 ($L_y/L_x < 2$).

Tabel 5. Perencanaan tipe plat gedung dekanat dan perkuliahan FKM, Undip

Dimensi		Dimensi efektif		Ly/Lx	Tipe
Ly	Lx	Ly e	Lx e		
400	400	352,5	340	1,03676	2 arah
700	400	665	370	1,7973	2 arah

Tipe plat 2 arah memiliki cara untuk menentukan nilai tebal minimum yang digunakan. Mengacu pada SNI 2847-2019 tabel 8.3.1.2.

Tabel 6. Tebal minimum plat dua arah (SNI 2847-2019 tabel 8.3.1.2, 2019)

α_{fm}	h minimum, mm
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Tanpa drop panel = 125 mm Dengan drop panel = 100 mm
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} > 125$
$\alpha_{fm} > 0,2$	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} > 90$

Berdasarkan syarat dan aturan tabel 5 dan tabel 6 diperoleh nilai-nilai yang diperlukan untuk menentukan tebal plat yang digunakan. Tabel 7 dibawah merupakan rencana tebal plat yang digunakan.

Tabel 7. Rencana tebal plat

Tipe	Ly	Lx	α_{im}	t min	t pakai	Check (t min < t)	Lokasi guna
S1	4000	4000	7,968	86	150	OK	Plat lantai
S1	7000	4000	9,439	131	150	OK	Plat lantai
S2	4000	4000	7,968	86	100	OK	Plat atap

3.1.3. Preliminary design kolom

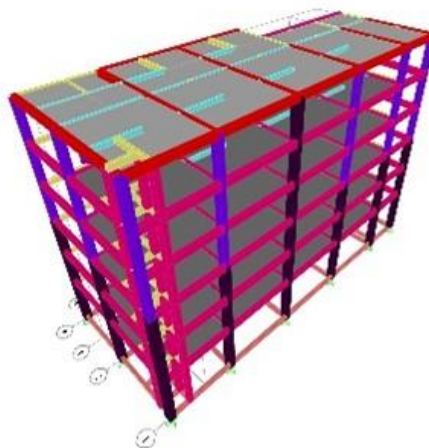
Penentuan awal dimensi kolom dapat dihitung berdasarkan beban dari atas yang diterima oleh kolom itu sendiri. Beban tersebut berasal dari beban mati dan beban hidup dikali koefisien masing-masing. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1,2 DL + 1,6 LL sehingga diperoleh beban total (W_u). Setelah diperoleh nilai W_u maka dapat mencari nilai A (luas penampang kolom minimum) dengan rumus $A = W_u / (0,3 \times f'_c)$. Dengan nilai $f'_c = 25$ Mpa, maka dimensi kolom dapat direncanakan seperti Tabel 8.

Tabel 8. Rencana dimensi kolom

Tipe	W_u	f'_c	A	b dan h min	b	h
K1	362811	25	4837,48	69,55	70	70
K2	268572	25	3580,96	59,84	60	60
K3	174728	25	2329,71	48,28	50	50

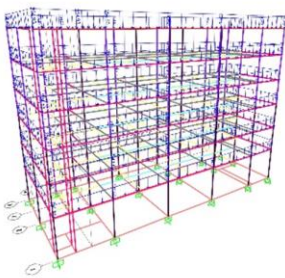
3.2. Analisis struktur

Analisa struktur menggunakan aplikasi pembantu yaitu SAP2000. Langkah pertama dalam mengerjakan analisa struktur di SAP2000 yaitu mendesain struktur sesuai dengan rencana. Lalu dilanjutkan dengan menginput dan menetapkan penampang dan material yang digunakan. Model struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro ditunjukkan pada Gambar 2.

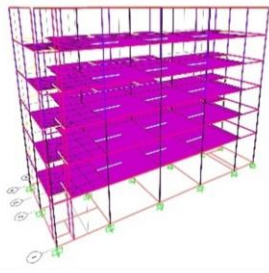


Gambar 2. Model struktur SAP200

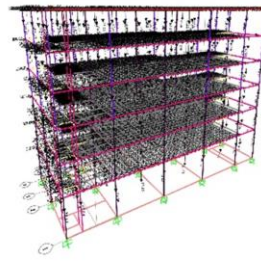
Analisa struktur dilakukan untuk memastikan apakah dimensi struktur yang direncanakan saat *preliminary design* sudah mampu menahan beban yang diterima oleh struktur bangunan atau tidak. Beban yang di *input* seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



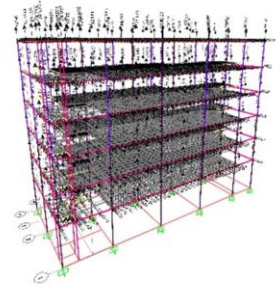
Gambar 3. *Input* beban mati



Gambar 4. *Input* beban hidup

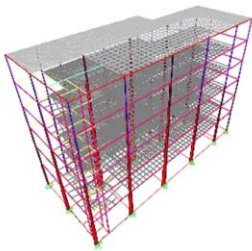


Gambar 5. *Input* beban gempa arah X

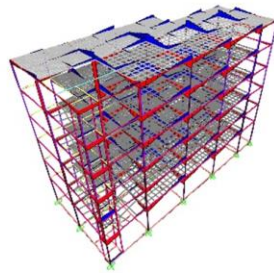


Gambar 6. *Input* beban gempa arah Y

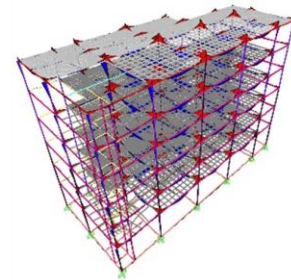
Setelah meng-*input* pembebanan, lalu dilanjutkan dengan pengecekan kelayakan pada model yang berfungsi untuk menghindari struktur mengalami *overstressed*. Didapatkan hasil bahwa model struktur yang dirancang sudah aman dan tidak mengalami *overstressed* maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya menggunakan penampang dan material yang direncanakan. Analisa struktur menggunakan SAP2000 juga menghasilkan *output* berupa gaya. Gaya-gaya yang dihasilkan yaitu seperti gaya aksial, gaya lintang dan juga momen seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9.



Gambar 7. Gaya Aksial

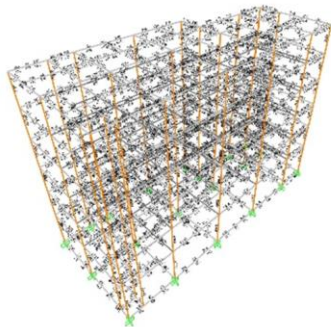


Gambar 8. Gaya Geser

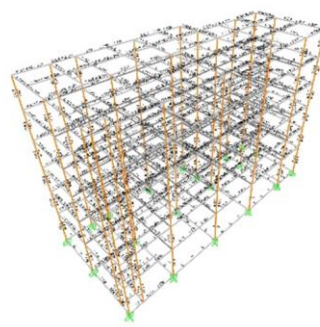


Gambar 9. Momen

Selain itu, *output* yang dihasilkan oleh SAP2000 yaitu nilai A_s perlu yang dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan pokok kolom dan balok. Dan juga menghasilkan nilai A_v perlu yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan sengkang pada kolom dan balok. A_s dan A_v yang dihasilkan oleh analisa struktur ditunjukkan oleh Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. A_s perlu tulangan



Gambar 11. A_v perlu tulangan

3.3. Perhitungan tulangan

3.3.1. Perhitungan tulangan balok

Tulangan balok terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Pada tulangan utama balok dapat dihitung berdasarkan nilai A_s perlu yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 10). Ketika sudah mendapatkan nilai A_s perlu, maka nilai tersebut dibandingkan dengan A_s min. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai A_s min dapat diperoleh menggunakan rumus ρ min $\times b \times d$, dan juga $\sqrt{f_c'} \times b \times d / (4 \times f_y)$. Setelah memperoleh nilai A_s perlu dan A_s min, selanjutnya menetapkan jumlah dan diameter tulangan yang memiliki nilai A_s pasang lebih besar dari pada A_s perlu dan A_s min.

Tabel 9. Perhitungan Tulangan Utama pada Balok

Tipe	b	h	Area	Letak	As perlu (mm ²)	As min 1 (mm ²)	As min 2 (mm ²)	As terpasang (mm ²)	Tulangan dipakai
B1	350	700	Tump	Atas	2283	1230,47	1378,1	2454,37	5D25
				Bawah	1072	1230,47	1378,1	1472,62	3D25
			Lap	Atas	698	1230,47	1378,1	1472,62	3D25
				Bawah	1651	1230,47	1378,1	2454,37	5D25
B2	250	500	Tump	Atas	1272	618,49	692,71	1472,62	3D25
				Bawah	584	618,49	692,71	981,75	2D25
			Lap	Atas	279	618,49	692,71	981,75	2D25
				Bawah	1177	618,49	692,71	1472,62	3D25
B3	200	400	Tump	Atas	838	390,625	437,5	850,59	3D19
				Bawah	392	390,625	437,5	567,06	2D19
			Lap	Atas	236	390,625	437,5	567,06	2D19
				Bawah	275	390,625	437,5	850,59	3D19
B atap	400	600	Tump	Atas	1510	742,19	831,25	1984,70	7D19
				Bawah	710	742,19	831,25	1417,64	5D19
			Lap	Atas	453	742,19	831,25	1417,64	5D19
				Bawah	521	742,19	831,25	1984,70	7D19
TB1	300	500	Tump	Atas	1510	742,19	831,25	1984,70	7D19
				Bawah	710	742,19	831,25	850,59	3D19
			Lap	Atas	453	742,19	831,25	850,59	3D19
				Bawah	521	742,19	831,25	1417,64	5D19

Untuk tulangan sengkang balok dapat dihitung berdasarkan nilai A_v yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 11). Ketika nilai A_v sudah diperoleh, maka dapat diperoleh juga nilai S perlu dengan satuan mm. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai S perlu harus dibandingkan dengan nilai S maks yang memiliki rumus yaitu $0,25 d$, $6 \times$ diameter tulangan utama, dan min 150 mm (untuk tumpuan), $0,5 d$ (untuk lapangan), dimana d merupakan nilai tinggi efektif balok.

Tabel 10. Perhitungan Tulangan Sengkang pada Balok

Type	b	h	Daerah	Av/s Perlu (mm ² /mm)	Ø mm	Kaki	S perlu (mm)	Smax 1 (mm)	Smax 2 (mm)	Smax 3 (mm)	S pakai (mm)	Dipakai
B1	350	700	Tump	2,565	13	3	155,24	169	176	150	125	3D13 - 125
			Lap	2,447	13	3	162,73	338			150	3D13 - 150
B2	250	500	Tump	2,198	10	3	107,2	119	150	150	100	3D10 - 100
			Lap	2,173	10	3	108,43	238			100	3D10 - 100
B3	200	400	Tump	1,138	10	2	138,03	119	114	150	100	2D10 - 100
			Lap	1,084	10	2	144,91	238			125	2D10 - 125
B atap	400	600	Tump	1,943	10	3	121,27	144	114	150	100	3D10 - 100
			Lap	1,829	10	3	128,82	288			125	3D10 - 125
TB	300	500	Tump	2,257	10	3	104,39	119	114	150	100	3D10 - 100
			Lap	1,048	10	3	224,83	238			200	3D10 - 200

3.3.2. Perhitungan tulangan plat lantai dan plat atap

Salah satu output dari SAP2000 adalah Momen Ultimate (M_u). M_u yang diperoleh nantinya akan digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada plat. Perhitungan kebutuhan tulangan plat mengacu pada SNI 2847-2019 untuk mendapatkan jarak tulangan dan dimensi yang sesuai dengan M_u yang diterima.

Tabel 11. Perhitungan tulangan pada plat

Tebal	Arah Tul	Daerah	M_u (kNm)	Ø mm	Jarak mm	Tebal Efektif (d)	Ø Mn kNm	a mm	Cek	Di Pasang
150	X	Tump	8,42	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	3,4	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
	Y	Tump	8,42	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	3,4	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
150	X	Tump	13,2	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	6,31	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
	Y	Tump	9,23	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	2,19	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
100	X	Tump	8,42	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	3,4	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
	Y	Tump	8,42	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100
		Lap	3,4	10	100	130	21,30	8,87	OK	D 10 - 100

3.3.3. Perhitungan tulangan kolom

Tulangan kolom terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Pada tulangan utama kolom dapat dihitung berdasarkan nilai A_s perlu yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 10). Syaratnya A_s tulangan yang terpasang harus lebih besar daripada syarat A_s perlu. Selain itu mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1, tulangan kolom memiliki range rasio antara 1% sampai dengan 6% terhadap Luas penampang.

Tabel 12. Perhitungan Tulangan Utama pada Kolom

Type	b	h	A_s perlu	A_s pasang	A_s perlu < A_s pasang	Dipasang	Cek Rasio	Syarat Rasio
K1	700	700	4900	4909	OK	10 D 25	1,00%	OK
K2	600	600	3600	3927	OK	8 D 25	1,09%	OK
K3	500	500	3900	3927	OK	8 D 25	1,57%	OK

Untuk tulangan sengkang kolom dapat dihitung berdasarkan nilai A_v yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 11). Ketika nilai A_v sudah diperoleh, maka dapat diperoleh juga nilai S perlu dengan satuan mm. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai S perlu harus dibandingkan dengan nilai S maks yang memiliki rumus yaitu $6 \times$ diameter tulangan utama dan jarak maksimum 150 mm.

Tabel 13. Perhitungan Tulangan Sengkang pada Kolom

Type	b	h	A_v/s Perlu (mm^2/mm)	\emptyset mm	Kaki	S perlu (mm)	S max 1 (mm)	S max 2 (mm)	S pakai (mm)	Dipakai
K1	700	700	1,158	10	3	203,47	150	150	150	3D10 - 150
K2	600	600	1,27	10	3	185,53	150	150	150	3D10 - 150
K3	500	500	1,679	10	3	140,33	150	150	100	3D10 - 100

3.4. Perencanaan struktur bawah

3.4.1. Perencanaan pondasi *borepile*

Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro direncanakan menggunakan pondasi dalam jenis *borepile*. Berdasarkan uji sondir atau uji CPT (*Cone Penetration Test*) diperoleh hasil posisi tanah keras pada kedalaman -4,00m dengan nilai *conus resistance* (q_c) sebesar 300 kg/cm^2 . Penentuan daya dukung pondasi menggunakan metode Aoki dan De Alencar, dikarenakan pada hasil uji sondir hanya terdapat nilai q_c .

Rumus mencari daya dukung pondasi metode Aoki dan De Alencar yaitu $Q_u = q_b \times A$. Dimana nilai A merupakan luas penampang tiang, sedangkan nilai q_b yaitu Q_{ca}/F_b . Nilai Q_{ca} diperoleh dari rata-rata *Conus Resistance* sebanyak 1,5 diameter diatas tanah keras. Dan untuk nilai F_b merupakan faktor empirik dari pondasi (faktor empirik *borepile* = 3,5). Setelah mendapatkan nilai Q_u , dilanjutkan dengan menghitung nilai Q_a dengan rumus Q_u/SF . Kemudian mencari Q netto menggunakan rumus $Q_a - W$, dimana nilai W merupakan berat pondasi *borepile*. Rekapitulasi perhitungan daya dukung pondasi tiap diameter yang direncanakan ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi nilai daya dukung pondasi *borepile*

Diameter (cm)	A (cm^2)	Q_u (KN)	Q_{izin} (KN)	W (KN)	Q netto (KN)
90	6358,5	3652,256	1826,128	48,637	1777,490
120	11304	5511,046	2755,523	87,797	2667,726
140	15386	7171,942	3585,971	119,501	3466,470
180	25434	10536,821	5268,411	197,542	5070.868

Untuk mengetahui jumlah pondasi yang ada pada satu *pile cap* dapat menggunakan rumus $n = P/Q_{netto}$, dimana P merupakan tekanan vertikal. Rekapitulasi perhitungan jumlah pondasi *borepile* dalam satu *pile cap* ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi jumlah pondasi *borepile* dalam 1 *pile cap*

P (KN)	d (cm)	Q netto	n (P/Qnetto)	Dipakai
2304,59	120	2667,726	0,8639	1
3101,47	140	3466,470	0,8947	1
1257,33	90	1777,490	0,7074	1
4080,04	120	2667.726	1,5294	2
5053,97	180	5070.868	0,9967	1

3.4.2. Perencanaan *pile cap*

Berpedoman dari SNI 2847-2019 pasal 13.4.2.1, bahwa ketebalan *pile cap* harus lebih dari 300 mm. Untuk dimensi *pile cap* dapat direncanakan sesuai dengan jarak antar tiang dan jarak tiang ke tepi *pile cap*. Aturan penentuan jarak antar tiang (s) yaitu menggunakan $2,5d \leq s \leq 4d$. Dan untuk jarak tiang ke tepi *pile cap* (s') sebesar $1,5d \leq s' \leq 2d$, dimana nilai d merupakan diameter penampang tiang. Untuk rekapitulasi perhitungan dimensi *pile cap* ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Rekapitulasi perhitungan dimensi *pile cap*

d (cm)	Jumlah dalam 1 pile	s min (cm)	s maks (cm)	s' min (cm)	s' maks (cm)	s diambil (cm)	s' diambil (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)
120	1	300	480	180	240	-	-	200	200	70
140	1	350	560	210	280	-	-	200	200	70
90	1	225	360	135	180	-	-	180	180	60
120	2	300	480	180	240	300	180	360	660	70
180	1	450	720	270	360	-	-	300	300	75

Namun dalam syarat pondasi khususnya kelompok tiang (dalam 1 pile terdapat lebih dari 1 tiang) memiliki nilai efisiensi yang dapat mengurangi jumlah Q netto awal. Untuk menentukan nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) dapat menggunakan rumus $E_g = 1 - (\theta ((n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n) / (90 \cdot m \cdot n))$. Dimana nilai θ merupakan hasil dari $\arctan(D/s)$, m adalah jumlah tiang dalam 1 baris (arah x), dan n adalah jumlah tiang dalam 1 kolom (arah y).

Jika sudah memperoleh nilai efisiensi kelompok tiang (E_g), maka dapat menghitung nilai Q izin untuk pondasi dengan rumus $Q \text{ izin} = n \cdot Q \text{ netto} \cdot E_g$. Dimana $Q \text{ izin}$ merupakan daya dukung maksimal kelompok tiang. Untuk perhitungan nilai Efisiensi dan daya dukung maksimal kelompok pondasi terdapat pada Tabel 17.

Tabel 17. Rekapitulasi nilai E_g dan Q izin kelompok tiang

Tipe	n	d (cm)	S (cm)	m	n	θ	E_g	Q netto (KN)	Q izin (KN)	P (KN)	Cek
P1	1	120	200	1	1	30,96	100%	1777,490	2667,726	2304,59	OK
P2	1	140	200	1	1	34,99	100%	2667,726	3466,470	3101,47	OK
P3	1	90	180	1	1	26,56	100%	3466,470	1777,490	1257,33	OK
P4	2	120	300	2	1	30,96	87,89%	1777,490	4689,228	4080,04	OK
P5	1	180	300	1	1	30,96	100%	5070,868	5070,868	5053,97	OK

3.4.3. Penulangan pondasi *borepile*

Tulangan *borepile* terdiri dari tulangan utama dan tulangan spiral. Untuk menentukan tulangan utama pada *borepile* diperlukan nilai A_s perlu dengan rumus $A_s \text{ perlu} = \rho b d$. Pada rumus tersebut, ρ yang diperlukan merupakan ρ yang memenuhi syarat $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ maks}$. Jika ρ yang diperoleh lebih kecil daripada $\rho \text{ min}$, maka yang digunakan yaitu $\rho \text{ min}$. Untuk menghitung ρ maka dapat menggunakan rumus $\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$. Dengan rumus menghitung R_n yaitu $R_n = M_u / (b \cdot d^2)$. Lalu untuk menghitung nilai $\rho \text{ min}$ dapat menggunakan rumus $1,4 / f_y$, sedangkan $\rho \text{ maks}$ dapat menggunakan rumus $0,75 \cdot \rho_b$, dimana ρ_b merupakan hasil dari rumus $0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$. Setelah memperoleh semua angka, maka sudah dapat

menentukan nilai As perlu. Dan untuk As terpasang harus memiliki nilai lebih besar daripada As perlu. Untuk perhitungan tulangan pokok *borepile* ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Rekapitulasi perhitungan tulangan pokok *borepile*

D (cm)	Mu (KNm)	ρ min	ρ maks	ρ	As perlu	As terpasang	Dipilih tulangan	CEK
90	622,12	0,0035	0,0244	0,0038	2517,02	3041,062	8D22	OK
120	933,70	0,0035	0,0244	0,0023	4317,6	4561,592	12D22	OK
140	1085,51	0,0035	0,0244	0,0016	6017,2	6082,123	16D22	OK
180	1774,80	0,0035	0,0244	0,0012	10256,4	10643,72	28D22	OK

Tulangan spiral pada *borepile* juga memiliki konsep yang sama dengan tulangan sengkang yang memiliki syarat nilai Av perlu < Av terpasang. Nilai Av perlu dapat dihitung menggunakan tiga rumus yaitu $Av = (Vs \cdot S)/(fy \cdot d)$; $Av = (0,35 \cdot bw \cdot S/fy)$; dan $(0,062 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot S/fy)$. Dari ketiga rumus tersebut dicari nilai Av perlu yang terbesar untuk mewakili kebutuhan jumlah tulangan. Sedangkan untuk jarak tulangan spiral memiliki 4 syarat yang harus terpenuhi yaitu $s \leq 16 \times$ diameter tulangan utama; $s \leq 48 \times$ diameter tulangan spiral; $s \leq$ diameter efektif/2; dan $s \leq 600$ mm. Untuk perhitungan tulangan spiral *borepile* ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 19. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan spiral *pile cap*

D (cm)	Av terbesar	S maks (1) (mm)	S maks (2) (mm)	S maks (3) (mm)	S maks (4) (mm)	As terpasang	Dipilih tulangan	CEK
90	773,126	352	480	402	600	1204,27	D10-150	OK
120	1030,835	352	480	552	600	1204,27	D10-150	OK
140	1202,641	352	480	652	600	1204,27	D10-150	OK
180	1546,253	352	480	852	600	1727,88	D10-100	OK

Tulangan *pile cap* terdiri dari tulangan bawah arah X, tulangan bawah arah Y, tulangan atas arah X, dan tulangan atas arah Y. Untuk menentukan kebutuhan tulangan bawah arah X dan Y dibutuhkan nilai As perlu. Untuk mencari As perlu, dapat menggunakan 3 rumus yaitu $(\frac{0,85 \cdot f'c}{fy} (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f'c}}) \cdot b \cdot d)$; $(\frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{fy} \cdot b \cdot d)$; dan $((1,4/fy) \cdot b \cdot d)$. Dari ketiga rumus tersebut dicari nilai As perlu yang terbesar untuk mewakili kebutuhan tulangan. Setelah diperoleh As perlu, maka dapat menentukan nilai As terpasang dengan syarat As terpasang > As perlu. Untuk perhitungan kebutuhan tulangan bawah ditunjukkan pada Tabel 20.

Tabel 20. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan bawah *pile cap*

Tipe	Arah	Mu (KNm)	As perlu (1)	As perlu (2)	As perlu (3)	As Terpasang	Dipilih Tulangan	Cek
P1	X	933,704	4428,76	4128,46	4221	4724,51	D22-175	OK
	Y	933,704	4428,76	4128,46	4221	4724,51	D22-175	OK
P2	X	1085,51	5174,67	4128,46	4221	5448,57	D22-150	OK
	Y	1085,51	5174,67	4128,46	4221	5448,57	D22-150	OK
P3	X	622,12	3544,45	3099,43	3168,9	3801,33	D22-200	OK
	Y	622,12	3544,45	3099,43	3168,9	3801,33	D22-200	OK
P4	X	2696,31	12740,7	13623,9	13929,3	14716,6	D22-175	OK
	Y	1641,23	7779,12	7431,23	7597,8	8200,01	D22-175	OK
P5	X	1774,80	8488,18	6192,69	6331,5	9503,32	D22-125	OK
	Y	1774,80	8488,18	6192,69	6331,5	9503,32	D22-125	OK

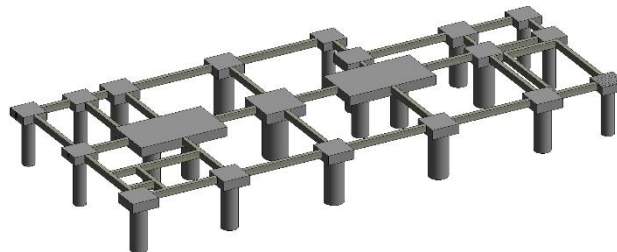
Tulangan atas *pile cap* terdiri dari tulangan arah X dan tulangan arah Y. Untuk kebutuhan tulangan atas *pile cap* hanya 20% dari total kebutuhan tulangan bawah *pile cap*. Jadi untuk rumusnya yaitu As perlu tulangan atas = 20% x As perlu tulangan bawah *pile cap*.

Tabel 21. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan atas *pile cap*

Type	Arah	As perlu tulangan bawah	As perlu tulangan atas	As Terpasang	Dipilih Tulangan	Cek
P1	X	4428,76	885,751	1649,67	D13-175	OK
	Y	4428,76	885,751	1649,67	D13-175	OK
P2	X	5174,67	1034,93	1902,5	D13-150	OK
	Y	5174,67	1034,93	1902,5	D13-150	OK
P3	X	3544,45	708,889	1327,32	D13-200	OK
	Y	3544,45	708,889	1327,32	D13-200	OK
P4	X	13929,3	2785,86	5006,9	D13-175	OK
	Y	7779,12	1555,82	2731,49	D13-175	OK
P5	X	8488,18	1697,64	3318,31	D13-125	OK
	Y	8488,18	1697,64	3318,31	D13-125	OK

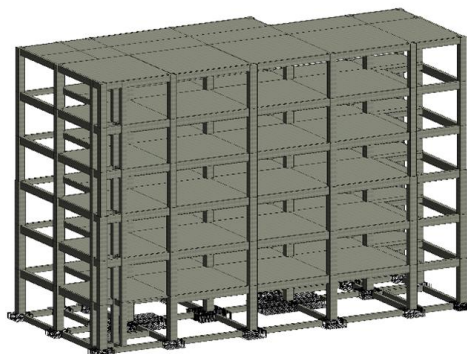
3.5. Pemodelan 3D dengan Autodesk Revit

Bagian struktur bawah gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro terdiri atas pondasi *borepile*, *pile cap*, dan *tie beam* yang sudah sesuai dengan perhitungan struktur dan penulangan sebelumnya. Hasil dari pemodelan 3D untuk struktur bawah dengan menggunakan Revit yang ditunjukkan pada Gambar 12.



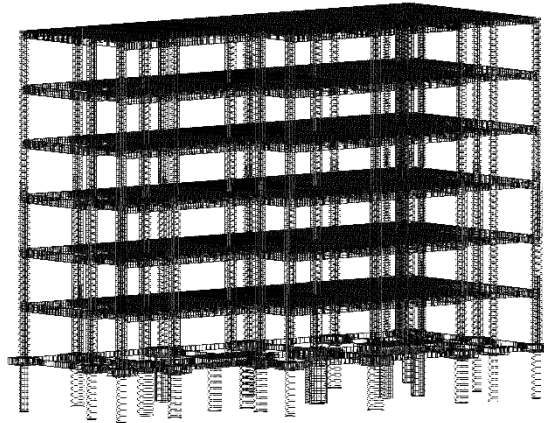
Gambar 12. Hasil pemodelan 3D struktur bawah

Hasil model 3D struktur atas dari gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro yang sudah melalui tahapan perhitungan analisis struktur dan rencana kebutuhan tulangan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil pemodelan 3D struktur bawah

Dan berikut Gambar 14. merupakan hasil pemodelan 3D tulangan struktur atas dan struktur bawah yang sudah melalui perhitungan kebutuhan tulangan pada setiap komponen struktur dimulai dari struktur atas yaitu kolom, balok, dan plat, serta struktur bawah yang terdiri dari pondasi *borepile*, *pile cap* dan *tie beam*.



Gambar 14. Hasil pemodelan 3D penulangan struktur bawah dan struktur atas

3.6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro mengacu pada nilai Harga Satuan Pekerjaan yang diperoleh berdasarkan AHSP (Analisa Harga Satuan Pekerjaan). Selain itu, perhitungan RAB juga mengacu kepada kuantitas volume material yang diperoleh dari hasil pemodelan pada *Autodes Revit*. Untuk harga material, upah pekerja, dan sewa alat dipilih harga yang paling sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi. Untuk penyusunan RAB hanya meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur bawah, dan pekerjaan struktur atas. Adapun perhitungan biaya disajikan pada Tabel 22.

Tabel 22. Rekapitulasi RAB

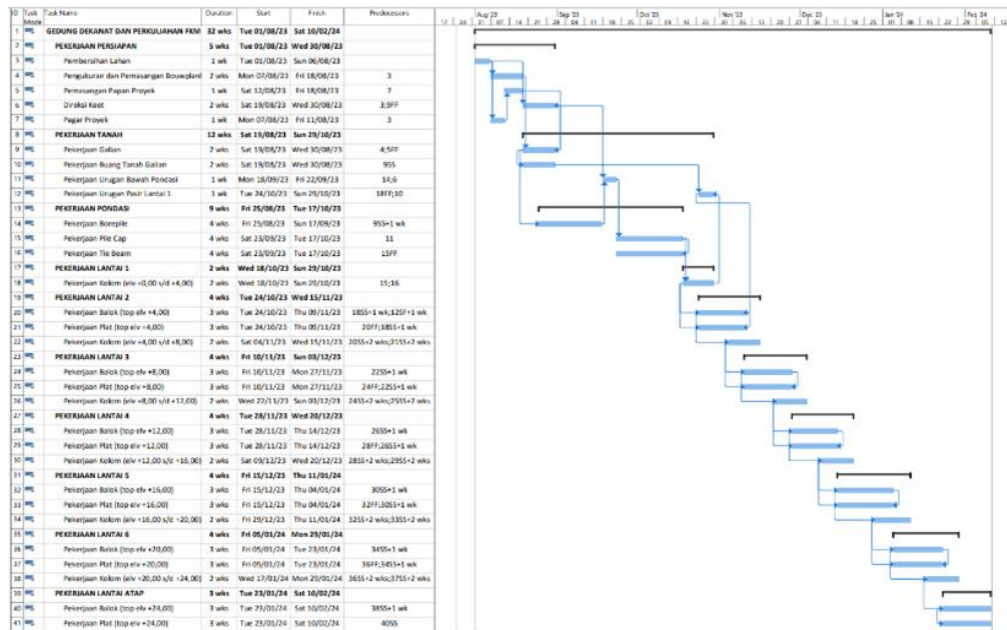
No	Jenis Kegiatan	Rekap Biaya
1	Pekerjaan Persiapan	Rp 113.584.202,60
2	Pekerjaan Struktur Bawah	Rp 594.289.097,54
3	Pekerjaan Struktur Atas	Rp 5.913.309.166,31
	Jumlah	Rp 6.621.182.466,45
	PPN 11%	Rp 728.330.071,31
	Total	Rp 7.349.512.537,76
	Dibulatkan	Rp 7.349.513.000,00

Terbilang : Tujuh miliar tiga ratus empat puluh sembilan juta lima ratus tiga belas ribu rupiah

3.7. Penjadwalan

Penjadwalan dalam perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro menggunakan aplikasi pembantu yaitu *Microsoft Project*. Dalam penyusunan penjadwalan mengacu pada urutan pekerjaan dari masing-masing pekerjaan. Serta mengacu pada volume pekerjaan juga. Semakin besar volume pekerjaan, maka semakin lama juga durasi pekerjaan. Dari hasil penyusunan penjadwalan diperoleh estimasi waktu pengerjaan selama 32 minggu atau selama 8 bulan. Untuk pekerjaan persiapan mampu

diselesaikan selama 5 minggu, untuk pekerjaan struktur bawah dapat diselesaikan dalam waktu 12 minggu, dan untuk pekerjaan struktur atas mampu diselesaikan dalam kurun waktu 19 minggu. Hasil penyusunan penjadwalan ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil Penjadwalan

4. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Hasil perencanaan dimensi setiap penampang struktur bawah dan struktur atas telah dilakukan pengecekan dan dapat dinyatakan aman berdasarkan analisis struktur menggunakan SAP2000.
- 2) Nilai Rencana Anggaran Biaya pada perencanaan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro diperoleh hasil sebesar Rp7.349.513.000,00.
- 3) Penjadwalan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro direncanakan selesai dalam kurun waktu 32 minggu atau 8 bulan.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro khususnya kontraktor utama yaitu PT. Artadinata Azzahra Sejahtera, konsultan perencana yaitu PT. Elcentro Engineering Consultant, dan pemilik proyek yaitu Universitas Diponegoro karena telah mendukung, memberikan masukan, serta mengizinkan untuk mengambil data perencanaan yang dibutuhkan dalam penyusunan perencanaan ulang gedung ini.

Referensi

Azhari, Muhammad Taufiq dkk. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
 Badan Standar Nasional. (2019). *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2013). *SNI 1727-2013 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2020). *SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.

- Badan Standar Nasional. (2020). *SNI 2847-2020 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
- Hooper, M. (2015). BIM standardisation efforts-the case of Sweden. *J. Inf. Technol. Constr.*, 20(21), 332-346.
- Isikdag, U., Zlatanova, S., & Underwood, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112-123.
- Kusmantoro, Hermawan dkk. (2018). *Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi*. Jakarta Selatan: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi.
- Laorent, D., Nugraha, P., & Budiman, J. (2019). Analisa Quantity Take-Off Dengan Menggunakan Autodesk Revit. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 6(1), 1-8.
- Li, X., Xu, J., & Zhang, Q. (2017). Research on construction schedule management based on BIM technology. *Procedia engineering*, 174, 657-667.
- Ramdani, Indra dkk. (2022). Implementasi Building Information Modeling (BIM) pada Proyek Perumahan. *JURNAL TESLINK Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(1), 1-15.
- Ramadhan, Kelvin. (2022). Perencanaan dan Perancangan (3D, 4D, 5D) Jembatan Rangka Baja dengan Penerapan Konsep Building Information Modeling (BIM). [Universitas Andalas]. <http://scholar.unand.ac.id/108905/>
- Sangadji, S., & Kristiawan, S. A. (2019). Saputra. Inton Kurniawan. *Pengaplikasian Building Information Modeling (BIM) Dalam Desain Bangunan Gedung*. E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL.
- Zotkin, S. P., Ignatova, E. V., & Zotkina, I. A. (2016). The organization of autodesk revit software interaction with applications for structural analysis. *Procedia Engineering*, 153, 915-919.



Perencanaan jembatan beton prategang RSUD Temanggung dengan berbasis building information modeling (BIM) 3D, 4D, dan 5D

Dianya Puan Anandita^{a*}, Asri Nurdiana^b, Bambang Setiabudi^c

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

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Corresponding author:

Email:

puananditad12@gmail.com

Article history:

Received : 20 July 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

BIM, Bridge, Revit

Building Information Modeling (BIM) technological innovations can assist in designing construction designs to be integrated with each other, so that the process can be more effective and efficient. This Building Information Modeling (BIM) technology can be applied to various construction works, including road and bridge construction work. In this study the authors will plan the construction work of a prestressed concrete bridge at Temanggung Hospital which includes bridge geometric planning, structural loading and reinforcement calculations, 3D modeling and calculation of concrete volume and reinforcement using Autodesk Revit, as well as designing a cost budget and time schedule using Microsoft Project. From the analysis. Based on the results of the analysis, obtained a 17,453-meter-long Full Circle bend plan with a 4% incline, the elevation of the bridge is 14,470 meters from the riverbed, the design of the bridge at the Temanggung Hospital is safe against work loads, the total cost needed in the construction of the Temanggung Hospital Bridge is Rp. 7,875,323,851, with a duration of work of 5 months starting from 1 August 2023 to 9 December 2023.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Pembangunan jalan jembatan merupakan sarana vital untuk meningkatkan produktifitas perindustrian dan perekonomian suatu daerah (Suprayitno, 2012). Pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan menjadi tumpuan utama dalam mobilisasi transportasi darat di Indonesia yang cenderung memiliki kondisi geografi daratan yang panjang (Suprayitno, 2012). Dalam manajemen proyek, perencanaan merupakan langkah awal untuk menentukan prosedur, metode kerja, anggaran, penjadwalan, dan hasil akhir proyek (Mahapatni, 2019). Menurut Santosa (2008) lingkup perencanaan proyek meliputi permodelan, perhitungan struktur, penentuan jadwal pekerjaan, anggaran, *work breakdown structure*, rencana pengendalian risiko, sumber daya, pengujian hasil proyek, dokumentasi, peninjauan pekerjaan, dan hasil proyek (Kelvin, 2022; Mahapatni, 2019).

Building Information Modeling (BIM) menjadi salah satu inovasi teknologi yang membantu dalam proses perencanaan konstruksi. *Building Information Modeling (BIM)* merupakan suatu sistem yang saling terintegrasi dalam perencanaan proyek yang nantinya proses pengambilan data-data pendukung dalam perencanaan proyek tersebut diperoleh melalui permodelan tiga dimensinya (Kelvin, 2022).

Autodesk Revit merupakan salah satu *software* berbasis BIM yang dapat digunakan sebagai media dalam pembuatan desain, dokumentasi, penjadwalan, operasional, dan perawatan bangunan atau infrastruktur (Autodesk Revit, n.d.). Kelebihan dari penggunaan *Autodesk Revit* dengan *software* lainnya, yakni *Revit* dapat menyimpan banyak informasi dari suatu struktur bangunan dalam satu *file*

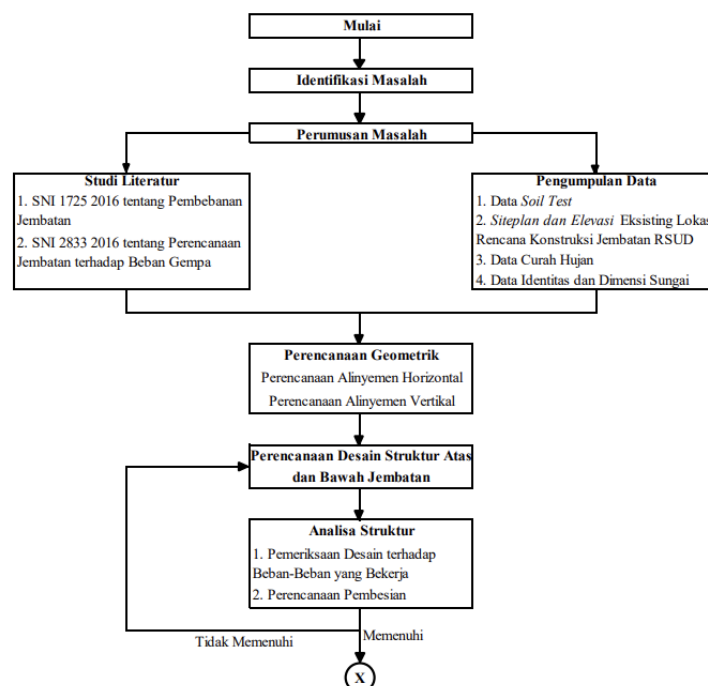
(Kelvin, 2022). Hal tersebut dapat dilihat ketika sedang mendesain model 3D di *Revit* dan salah satu bagian struktural atau arsitektural tersebut diklik, maka akan muncul data identitas dari struktur tersebut seperti tingkat konstruksi (*level*), tebal selimut beton (*rebar cover*), elevasi, produsen (*manufacturer*), biaya (*cost*), deskripsi (*description*) dan material. Adanya fitur-fitur tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam manajemen proyek konstruksi, terutama ketika terjadi perubahan desain hingga pada perhitungan volume material yang lebih akurat untuk merencanakan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) (Kelvin, 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Huzaini (2021), diperoleh hasil bahwasannya perancangan RAB yang dibantu menggunakan *Autodesk Revit* menghasilkan total biaya 5,75% lebih murah dibandingkan dengan perhitungan RAB dengan metode konvensional. Hal tersebut dikarenakan perhitungan volume material dengan *Autodesk Revit* dapat dilakukan secara akurat, sehingga dapat menekan *waste material* yang dapat meningkatkan total biaya konstruksi (Huzaini, 2021).

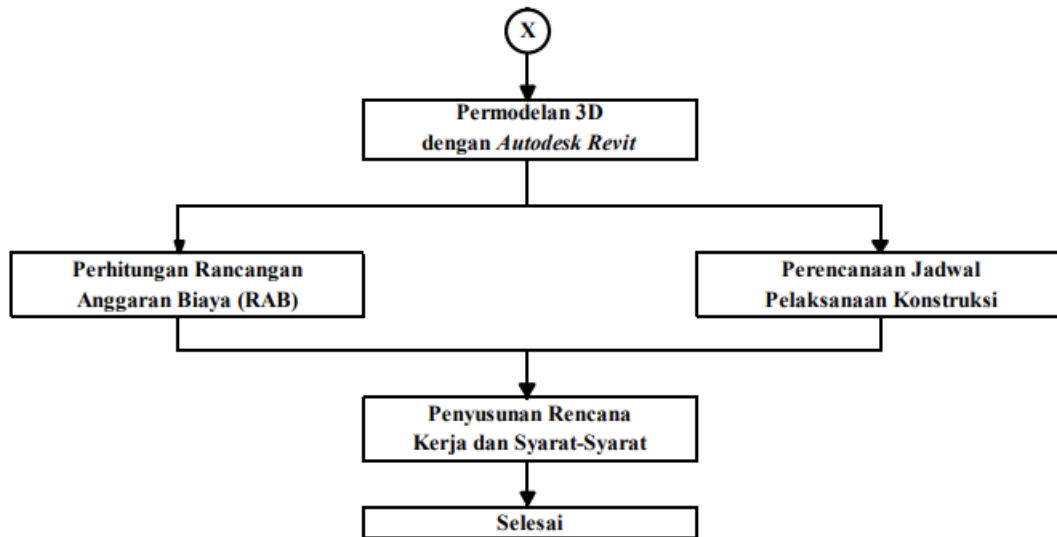
Sayangnya *Revit Autodesk* hingga kini belum mampu menghitung upah dan kebutuhan pekerja sesuai dengan durasi pekerjaan konstruksi, namun untuk menyempurnakannya terdapat *software Microsoft Project* yang mampu menghitung total biaya konstruksi berdasarkan akumulasi biaya materil, upah pekerja, dan penyewaan alat sesuai dengan jadwal pekerjaan konstruksi yang telah direncanakan (Negara et al., 2015). Dengan *Microsoft Project* maka perencanaan biaya dan waktu dapat dilakukan pada satu *software* yang mana antara perencanaan biaya dan waktu tersebut nantinya dapat saling terintegrasi satu sama lain dan menghasilkan perencanaan yang lebih akurat

Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan melakukan perencanaan pekerjaan konstruksi jembatan beton prategang RSUD Temanggung yang meliputi perencanaan geometrik jembatan, analisa struktur, permodelan 3D serta perhitungan volume beton dan pembesian menggunakan *Autodesk Revit*, serta perancangan anggaran biaya dan *time schedule* menggunakan *Microsoft Project*.

2. Data dan metode

Metode yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini yakni dimulai dari pengidentifikasian masalah, perumusan masalah, pengumpulan studi literatur meliputi SNI 1725 2016 dan SNI 2833 2016, pengumpulan data meliputi data hasil pengujian tanah, *siteplan* lokasi rencana konstruksi, dan elevasi eksisting lokasi rencana konstruksi, perencanaan geometrik meliputi perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal, perencanaan desain struktur atas dan bawah jembatan, analisa struktur, apermodelan 3D, perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), perencanaan jadwal konstruksi, dan penyusunan rencana kerja dan syarat-syarat (RKS). Adapun bagan alir ditunjukkan pada Gambar 1.





Gambar 1. Diagram Alir Metode Perencanaan Jembatan RSUD Temanggung

3. Hasil dan pembahasan

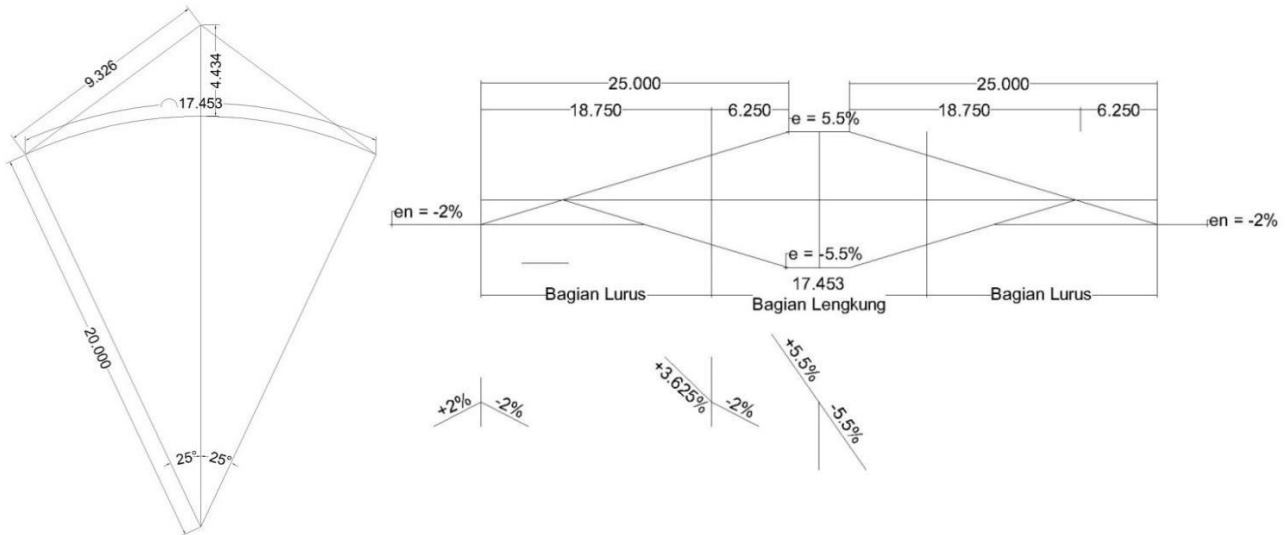
3.1. Perencanaan alinyemen horizontal jalan

Perencanaan alinyemen horizontal jalan meliputi perencanaan tikungan jalan sesuai dengan kaidah-kaidah perhitungannya. Tipe tikungan yang direncanakan pada penelitian ini ialah tikungan dengan tipe *Full Circle (FC)*. Adapun parameter perencanaan tikungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Perencanaan Tikungan Tipe *Full Circle*

Parameter perencanaan tikungan	Nilai
Klasifikasi jalan	Lingkungan Sekunder
Sudut Tikungan (θ)	50^0
Kecepatan Rencana (V_r)	20 km/jam
Superelevasi Maksimum (e_{maks})	6%
Superelevasi Minimum (e_{min})	2%
Superelevasi Rencana (e)	5.5%
Koefisien Gesek Maksimum (f_{maks})	0.179
Jari-Jari Minimum Tikungan (R_{min})	13.18 meter
Jari-Jari Tikungan Rencana (R_c)	20 meter
Panjang Minimum Lengkung Peralihan Fiktif (L_{smin})	25 meter
Koefisien Gesek (f)	0.102 ($f < f_{maks}$, maka OK)
Sudut pada Lengkung Lingkaran (θ_c)	25^0
Panjang Busur Lingkaran (L_c)	17.453 meter
Jarak Lengkung Lingkaran ke <i>Point Intersection</i> (E_c)	4.434 meter
<i>Tangent Circle</i> (T_c)	9.326 meter

Setelah merencanakan dan menghitung keseluruhan parameter perencanaan tikungan, selanjutnya dilakukan penggambaran tikungan dan diagram superelevasi. Adapun lengkung horizontal ditunjukkan pada Gambar 2.

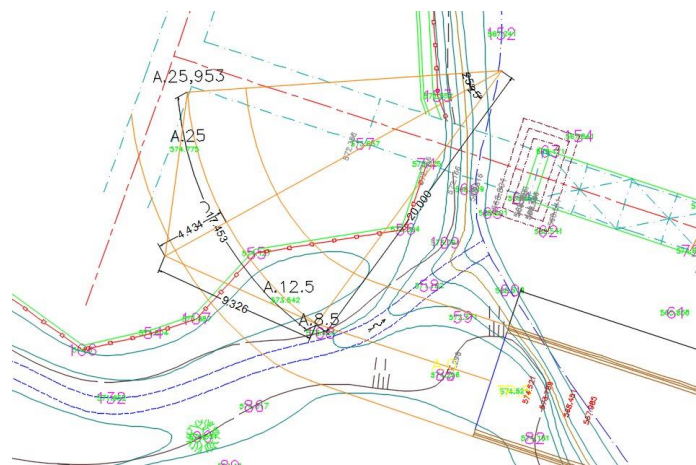


Gambar 2. Lengkung Horizontal Tikungan (Kiri) dan Diagram Superelevasi Tikungan (Kanan)

Gambar 2 hasil perencanaan tikungan tersebut, selanjutnya dapat ditentukan titik *stationing* tikungan dan *plot* hasil gambar tikungan ke dalam *siteplan* lokasi konstruksi Jembatan RSUD Temanggung sesuai dengan titik STA yang telah direncanakan. Adapun hasil analisis penentuan titik koordinat STA ditunjukkan pada Tabel 2 dan ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 2. Hasil Analisa Penentuan Titik Koordinat STA Tikungan

Titik STA	Koordinat STA
STA A	STA 0+8.5
STA TC	STA 0+8.5
STA CT	STA 0+25.953
STA B	STA 0+25.953



Gambar 3. Siteplan Titik Koordinat Tikungan

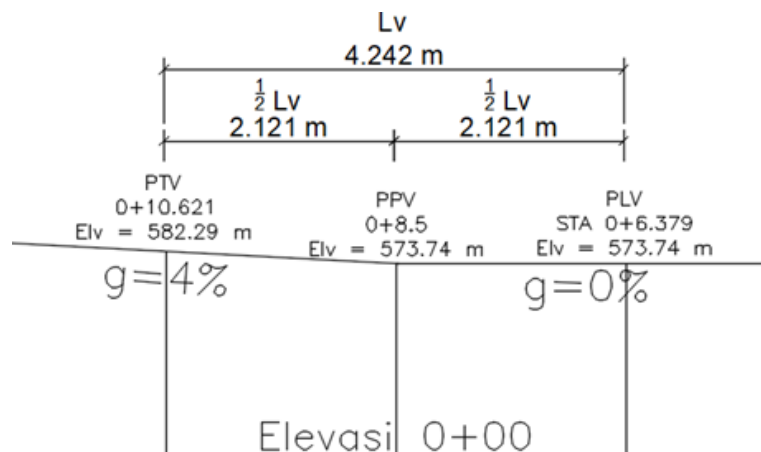
3.2. Perencanaan alinyemen vertikal jalan

Perencanaan alinyemen vertikal jalan meliputi perencanaan potongan melintang tikungan jalan, yakni meliputi perencanaan elevasi tikungan jalan yang telah direncanakan pada perencanaan alinyemen

horizontal sesuai dengan kaidah-kaidah perencanaannya. Adapun parameter alinyemen vertikal tikungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter perencanaan alinyemen vertikal tikungan jalan

Parameter Perencanaan	Nilai
Kemiringan Jalan 1 (g1)	0%
Kemiringan Jalan 2 (g2)	4%
Selisih Kemiringan Jalan (A)	4%
Kecepatan Rencana (Vr)	20 km/jam
Jarak Pandang Henti Minimum (Jhmin)	16 meter
Jarak Pandang Mendahului (Jd)	100 meter
Panjang Lengkung Vertikal (Lv)	4.242 meter
Elevasi (Ev)	0.021 meter
STA PPV	0+8.5
Elevasi PPV	573.74 meter
STA PLV	0+6.379
Elevasi PLV	573.74 meter
STA PTV	0+10.621
Elevasi PTV	582.29 meter



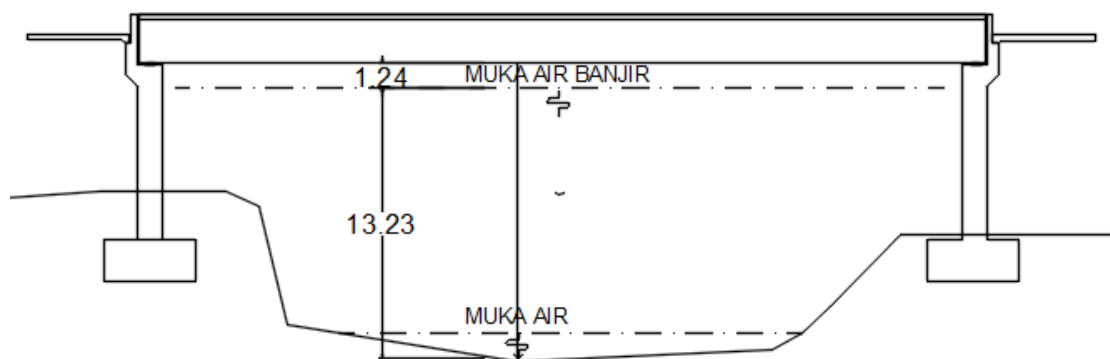
Gambar 4. Alinyemen Vertikal Tikungan

3.3. Perencanaan alinyemen vertikal jembatan

Perencanaan alinyemen vertikal dapat dilakukan dengan memprediksikan curah hujan di lokasi konstruksi jembatan, debit air banjir, dan tinggi muka air banjir pada sungai yang berada dibawah jembatan. Setelah keseluruhan aspek tersebut diperhitungkan, selanjutnya dapat direncanakan elevasi jembatan dengan syarat minimum freeway satu meter diatas tinggi muka air banjir. Adapun hasil perencanaan alinyemen vertikal jembatan ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 5.

Tabel 4. Hasil perencanaan alinyemen vertikal jembatan

Parameter perencanaan	Nilai
Curah Hujan pada Periode 50 Tahun (R50)	716.406 mm
Debit Banjir Periode 50 Tahun (Q50)	3878.487 m ³ /detik
Tinggi Muka Air Banjir Periode 50 Tahun (h50)	13.229 meter
Tinggi Freeway Rencana (hf)	1.241 meter
Elevasi Jembatan dari Dasar Sungai (hf + h50)	14.470 meter



Gambar 5. Topografi alinyemen vertikal jembatan

3.4. Analisis struktur

Struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian, yakni struktur atas yang terdiri dari parapet, plat lantai, plat kantilever, plat dek, diafragma, PCI Girder, *bearing pad*, dan plat injak, serta struktur bawah yang terdiri dari abutment atau kepala jembatan.

1) Parapet

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi parapet yang dijelaskan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Rencana desain dan spesifikasi mutu parapet

Parameter	Nilai
Mutu Beton (f_c')	25 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tinggi Parapet (h)	150 mm
Tinggi Efektif Parapet (h_{ef})	120 mm
Lebar Parapet (b)	1000 mm
Berat Jenis Beton	25 kN/m ³

Setelah itu dapat diperhitungkan beban ultimit yang bekerja pada parapet sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Beban dan momen yang bekerja pada parapet

No	Jenis Beban	Beban(kN)	Faktor beban ultimit (SNI 1725-2016)	Beban ultimit (kN)	Momen ultimit (kNm)
1	Parapet	10.527	1.3	13.685	4.432
2	Tumbukan	15	1	15	8.25
Jumlah				26.685	12.682

Selanjutnya dapat direncanakan tulangan parapet sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Perencanaan tulangan parapet

No	Parameter	Nilai	
		Tulangan Lentur	Tulangan Bagi
1	Mn	15.853 kNm	15.853 kNm
2	Rn	1.101 N/mm ²	1.101 N/mm ²
3	ρ_b	0.027	0.027
4	ρ_{min}	0.004	0.004
5	ρ_{max}	0.020	0.020
6	m	18.824	18.824
7	ρ	0.003	0.003
8	As MinimumTulangan	420 mm ²	210 mm ²
9	Tulangan Rencana	D12-200	2D12
10	As TulanganRencana	565 mm ²	226 mm ²

2) Plat Lantai

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi plat lantai yang dijelaskan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Rencana Desain dan Spesifikasi Mutu Plat Lantai

Parameter	Nilai
Mutu Beton (f_c')	25 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tebal Plat (h)	250 mm
Tebal Efektif Plat (h_{ef})	220 mm
Lebar Plat (b)	5550 mm
Tebal Aspal (haspal)	50 mm
Tebal Air Hujan (h_{hujan})	50 mm

Setelah itu dapat diperhitungkan beban mati ultimit yang bekerja pada plat lantai sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Beban Mati dan Momen yang Bekerja pada Plat Lantai

No	Jenis Beban	Tebal (m)	Berat Jenis	Faktor beban ultimit	Beban Ultimit (Kn)
1	Plat Lantai	0.25	25	1.3	8.125
2	Aspal	0.05	22	2	2.200
3	Air Hujan	0.05	0.99	2	0.099
Jumlah					10.424
$M_{qx} = 1/10 \times q_u \times L^2$					32.109 kNm
$M_{qx} = 1/30 \times q_u \times L^2$					10.703 kNm

Selain beban mati perlu diperhitungkan juga beban hidup yang bekerja, yakni beban truk sebagaimana dijelaskan pada Tabel 10.

Tabel 10. Analisis Beban Hidup Akibat Beban Truk

No	Parameter	Rumus
1	Beban Kritis Roda Truk (PTT)	112.5 kN
2	Faktor beban untuk jenis struktur gelagar beton	1.8
3	Faktor beban dinamis untuk jembatan bentang 40 m	40%
4	Beban Truk (PuTRUCK)	283.5 kN

Selanjutnya dapat dihitung momen ultimit plat lantai menggunakan tabel bittner sebagaimana dijelaskan pada Tabel 11.

Tabel 11. Analisis Beban Hidup Akibat Beban Truk

No	Parameter	Rumus	Nilai
1	ty	$250 + (2 \times \text{haspal}) + \text{hplat}$	600 mm
2	tx	$750 + (2 \times \text{haspal}) + \text{hplat}$	1100 mm
3	Lx		5550 mm
4	Ly		∞
5	tx/Lx		0.2
6	ty/Ly		0.1
7	fxm	Berdasarkan Tabel Bittner	0.2237
8	Mhx	$\text{fxm} \times \text{Pu} \times \text{tx} \times \text{ty}$	41.857 kNm
9	fym	Berdasarkan Tabel Bittner	0.1739
10	Mhy	$\text{fxm} \times \text{Pu} \times \text{tx} \times \text{ty}$	32.538 kNm
11	Mux	$\text{Mqx} + \text{Mhx}$	73.965 kNm
12	Muy	$\text{Mqy} + \text{Mhy}$	43.241 kNm

Selanjutnya dapat direncanakan tulangan pada plat lantai sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 12.

Tabel 12. Perencanaan Tulangan Plat Lantai

No	Parameter	Nilai	
		Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
1	Mn	92.456 kNm	54.052 kNm
2	Rn	1.910 N/mm ²	1.117 N/mm ²
3	ρ_b	0.027	0.027
4	ρ_{\min}	0.004	0.004 (dipakai)
5	ρ_{\max}	0.020	0.020
6	m	18.824	18.824
7	ρ	0.005 (dipakai)	0.003
8	As Minimum Tulangan	1102.655 mm ²	770mm ²
9	Tulangan Rencana	D19-200	D16-200
10	As Tulangan Rencana	1418 mm ²	1005 mm ²

3) Plat Kantilever

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi plat kantilever yang dijelaskan dalam Tabel 13.

Tabel 13. Rencana Desain dan Spesifikasi Mutu Plat Kantilever

Parameter	Nilai
Mutu Beton (f_c')	25 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Parameter	Nilai
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tebal Plat (h)	250 mm
Tebal Efektif Plat (h_{ef})	220 mm
Lebar Plat (b)	925 mm
Tebal Aspal (haspal)	50 mm
Tebal Air Hujan (hhujan)	50 mm

Setelah itu dapat diperhitungkan beban mati ultimit yang bekerja pada plat kantilever sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 14.

Tabel 14. Beban dan Momen yang Bekerja pada Plat Kantilever

Beban (kN)	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m^3)	Faktor Beban (SNI 1725 2016)	Beban Ultimit (kN/m)
Beban Mati Merata				
Plat Lantai	0.25	25	1.3	8.125
Aspal	1.418	22	2	2.2
Air Hujan	0.05	0.99	2	0.099
			qu total =	10.424
			Mu =	4.460 kNm
Beban Mati Terpusat				
Parapet			1.3	17.791
			qu total =	17.791
			Mu =	16.457 kNm
			$\Sigma Mu =$	20.916 kNm

Selanjutnya dapat direncanakan tulangan pada plat kantilever sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 15

Tabel 15. Perencanaan Tulangan Plat Kantilever

No	Parameter	Nilai	
		Tulangan Lentur	Tulangan Bagi
1	Mn	26.145 kNm	26.145 kNm
2	Rn	0.54 N/mm^2	0.54 N/mm^2
3	ρ_b	0.027	0.027
4	ρ_{min}	0.004 (dipakai)	0.004 (dipakai)
5	ρ_{max}	0.020	0.020
6	m	18.824	18.824
7	ρ	0.001	0.001
8	As Minimum Tulangan	770 mm^2	385 mm^2
9	Tulangan Rencana	D19-200	D16-200
10	As Tulangan Rencana	1418 mm^2	1005 mm^2

4) Plat Dek

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi plat dek yang dijelaskan dalam Tabel 16.

Tabel 16. Rencana Desain dan Spesifikasi Mutu Plat Dek

Parameter	Nilai
Mutu Beton (f_c')	25 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tebal Plat Dek (h)	70 mm
Tinggi Plat Dek Efektif (h_{ef})	40 mm
Lebar Plat Dek (b)	1200 mm

Setelah itu dapat diperhitungkan beban mati ultimit yang bekerja pada plat dek sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 17.

Tabel 17. Beban dan Momen yang Bekerja pada Plat Dek

Beban (kN)	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m^3)	Faktor Beban (SNI 1725 2016)	Beban Ultimit (kN)
Orang				1
Plat Lantai	0.25	25	1.3	8.125
Air Hujan	0.05	0.99	2	0.485
Plat Deck	0.07	25	1.3	2.275
			q_u total	11.885
			M_u (kNm)	1.486

Selanjutnya dapat direncanakan tulangan pada plat dek sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 18.

Tabel 18. Perencanaan Tulangan Plat Dek

No	Parameter	Nilai	
		Tulangan Lentur	Tulangan Bagi
1	M_n	1.857 kNm	3.014
2	R_n	1.161 N/mm^2	0.006
3	ρ_b	0.027	0.027
4	ρ_{min}	0.0035 (dipakai)	0.004
5	ρ_{max}	0.0203	0.020
6	m	18.824	18.824
7	ρ	0.0030	0.00001
8	As Minimum Tulangan	140 mm^2	70 mm^2
9	Tulangan Rencana	D8-300	D6-300
10	As Tulangan Rencana	168 mm^2	94 mm^2

5) Diafragma

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi plat kantilever yang dijelaskan dalam Tabel 19.

Tabel 19. Rencana Desain dan Spesifikasi Mutu Diafragma

Parameter	Nilai
Mutu Beton (f_c')	25 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tinggi Diafragma (h)	1645 mm
Tinggi Efektif Diafragma (h_{ef})	1615 mm
Tebal Diafragma (t)	200 mm

Pada diafragma yang bekerja hanyalah beban diafragma itu sendiri, hal ini dikarenakan diafragma tidak memangku beban apapun selain beban struktur diafragma itu sendiri. Perhitungan beban struktur diafragma dijelaskan sebagai berikut

$$Q_{\text{DIAFRAGMA}} = 1.2 \times h \times t \times B_{\text{BETON}} = 1.2 \times 1.645 \times 0.2 \times 25 = 10.724 \text{ kN/m}$$

$$Mu = 1/12 \times Q_{\text{Diafragma}} \times l^2 = 1/12 \times 9.87 \times 1.650^2 = 2.433 \text{ kN/m}$$

Selanjutnya dapat direncanakan tulangan pada diafragma sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 20.

Tabel 20. Perencanaan Tulangan Diafragma

No	Parameter	Nilai	
		Tulangan Lentur	Tulangan Bagi
1	Mn	3.014 kNm	3.014 kNm
2	Rn	0.006 N/mm ²	0.006 N/mm ²
3	ρ_b	0.027	0.027
4	ρ_{\min}	0.004 (dipakai)	0.004
5	ρ_{\max}	0.020	0.020
6	m	18.824	18.824
7	ρ	0.00001	0.00001
8	As Minimum Tulangan	1130.5 mm ²	5565.25 mm ²
9	Tulangan Rencana	8D16	4D13
10	As Tulangan Rencana	1608 mm ²	679 mm ²

Tabel 6. Analisis Biaya 2,5% Serat Fiber, 2,5% Serat Bambu, 2,5% Bubur Kertas Semen

Material	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Jumlah
Gypsum	0,185	Kg	Rp. 5.000,00	Rp. 925,00
Serat Fiber	0,005	kg	Rp. 20.000,00	Rp. 100,00
Serat Bambu	0,005	Kg	-	-
Bubur Kertas Semen	0,005	kg	-	-
Air	100	ml	-	-
Alat (10%)				Rp. 171,00
Upah (30%)				Rp. 512,00
Total				Rp. 1.708,00

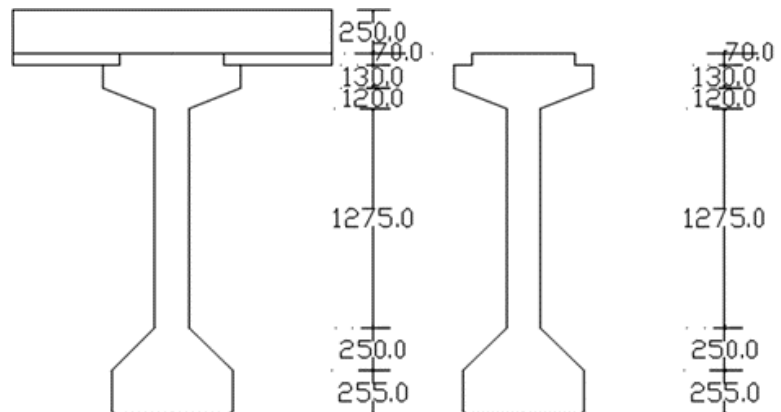
6) PCI Girder

Dalam melakukan analisa struktural, terlebih dahulu direncanakan spesifikasi mutu dan dimensi plat kantilever yang dijelaskan dalam Tabel 21.

Tabel 21. Rencana Desain dan Spesifikasi Mutu PCI Girder

Parameter	Nilai
Mutu Beton Gelagar 28 Hari (f_c')	50 MPa
Mutu Beton Gelagar <i>Stressing</i> (f_c')	40 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	400 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	30 mm
Tinggi Girder (h)	2100 mm
Jarak Antar Girder (hef)	1850 mm
Lebar Girder (b)	700 mm

Spesifikasi gelagar prategang yang digunakan mengacu pada spesifikasi gelagar hasil produksi PT. Wijaya Karya Beton. Penampang balok prategang harus dianalisis dalam dua kondisi, yakni dalam kondisi non-komposit (tanpa plat) dan kondisi komposit (dengan plat). Hasil analisa penampang balok prategang non-komposit, yakni dijelaskan pada Gambar 6 dan Tabel 22.



Gambar 6. Gambar PCI Girder dalam Keadaan Komposit (Kanan) dan Non-Komposit (Kiri)

Tabel 22. Properties Gelagar Komposit dan Non-Komposit

No	Parameter	Nilai	
		Komposit	Non-Komposit
1	Luas Penampang Gelagar (A_g)	0.752 m ²	1.215 m ²
2	Momen Inersia (I_x)	0.411 m ⁴	0.413 m ⁴
3	Jarat titik berat dari sisi bawah gelagar (y_b)	1.014 m	1.014 m
4	Jarat titik berat dari sisi atas gelagar (y_a)	1.086 m	1.336 m
5	Modulus penampang gelagar sisi atas (S_a)	0.37840 m ³	0.504 m ³
6	Modulus penampang gelagar sisi bawah (S_b)	0.40512 m ³	0.664 m ³

Setelah melakukan analisa pada masing-masing kondisi gelagar, selanjutnya identifikasi beban-beban yang bekerja pada gelagar dan perhitungkan beban, momen, dan gaya geser pada masing-masing beban tersebut. beban-beban yang bekerja pada gelagar dibagi menjadi beban mati akibat struktur, beban mati tambahan, dan beban hidup yang dijelaskan dalam Tabel 23, Tabel 24, dan Tabel 25.

Tabel 23. Beban Mati Akibat Struktur yang Bekerja pada Gelagar

No	Jenis Beban	Berat Jenis	Qs (kN)	Ms (kNm)	vs (Kn)
1	Plat Lantai	25	11.563	2489.189	239.922
2	Plat Deck	25	2.100	452.091	43.575
3	Diafragma	25	21.999	4736.058	456.488
4	Gelagar	25	18.808	4048.902	390.256
	Jumlah		54.469	11726.240	1130.240

Tabel 24. Beban Mati Tambahan yang Bekerja pada Gelagar

No	Jenis Beban	Berat Jenis	qA (kN)	MA (kNm)	vu (Kn)
1	Aspal	22	2.035	438.097	42.226
2	Air Hujan	9.8	0.907	195.152	18.810
	Jumlah		2.942	633.250	61.036

Tabel 25. Beban hidup yang bekerja pada gelagar

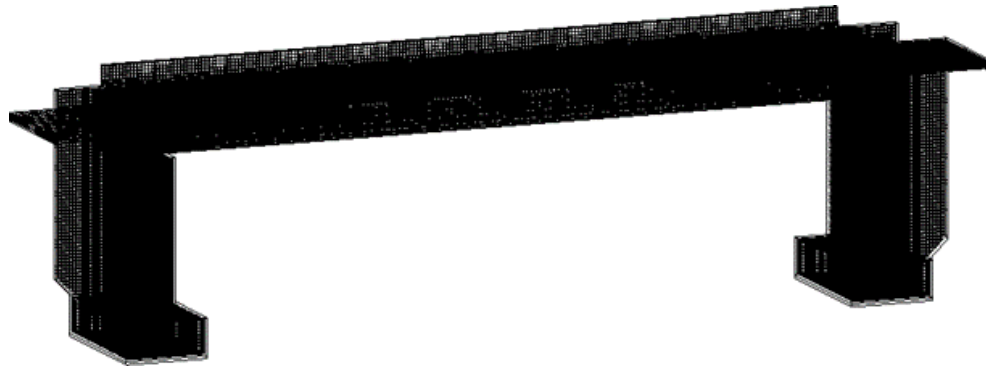
No	Jenis Beban	Q (kN)	Mu (kNm)	vu (Kn)
1	BTR	14.343	3087.79	297.62
2	BGT	37.26	386.57	26.08
3	Truk "T"		73.965	
4	Rem		44.58	
	Total	0.926	199.29	19.21

3.5. Pemodelan 3D

Item struktural yang dimodelkan secara tiga dimensi pada *Revit Autodesk*, meliputi struktur beton pada jembatan dan pembesannya. Berikut hasil permodelan 3D struktur beton dan pembesian Jembatan RSUD Temanggung ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Permodelan 3D Struktur Beton Jembatan RSUD Temanggung



Gambar 8. Permodelan 3D Pembesian Jembatan RSUD Temanggung

Dari hasil permodelan, diperoleh *Material Take Off* berupa volume beton dan tulangan secara otomatis oleh *Autodesk Revit* berdasarkan permodelan 3D tersebut. Nantinya hasil perhitungan *Material Take Off* tersebut akan digunakan untuk menghitung Rancangan Anggaran Biaya. Berikut hasil *Material Take Off* yang dihasilkan oleh *Revit Autodesk* ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10

<Material Takeoff>						
A	B	C	D	E	F	G
Family	Material Name	Material Volume	Qty	Total Volume	Material Area	Total Material Area
Floor	Asphalt Concrete	13.484 m ³	1	13.484 m ³	269.68	269.68 m ²
Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC): 1			1	13.484 m ³		269.68 m ²
Floor	Beton fc' 10 MPa	5.400 m ³	2	10.800 m ³	36.00	72.00 m ²
Beton fc' 10 MPa: 2			2	10.800 m ³		72.00 m ²
Revit Family Structure_Abutment	Beton fc' 25 MPa	183.969 m ³	2	367.938 m ³	481.64	963.27 m ²
Revit Family Structure_Diafragma	Beton fc' 25 MPa	0.410 m ³	6	2.458 m ³	5.23	31.38 m ²
Revit Family Structure_Diafragma Mid	Beton fc' 25 MPa	0.523 m ³	21	10.986 m ³	6.45	135.50 m ²
Revit Family Structure_Parapet	Beton fc' 25 MPa	0.284 m ³	81	22.971 m ³		278.60 m ²
Revit Family Structure_Plat Dek Tepi	Beton fc' 25 MPa	3.486 m ³	3	10.458 m ³	105.58	316.73 m ²
Revit Family Structure_Plat Injak	Beton fc' 25 MPa	11.817 m ³	2	23.633 m ³	75.11	150.22 m ²
Revit Family Structure_Plat Lantai	Beton fc' 25 MPa	78.809 m ³	1	78.809 m ³	644.93	644.93 m ²
Beton fc' 25 MPa: 116			116	517.252 m ³		2520.62 m ²
Revit Family Structure_PCI Girder	Beton fc' 50 MPa		4	137.034 m ³		1085.72 m ²
Beton fc' 50 MPa: 4			4	137.034 m ³		1085.72 m ²
Revit Family Structure_Bearing Pad	Concrete - Cast-in-		12	0.128 m ³		6.01 m ²
Concrete - Cast-in-Place Concrete: 12			12	0.128 m ³		6.01 m ²
Revit Family Structure_Bearing Pad	Rubber		12	0.099 m ³		3.85 m ²
Rubber: 12			12	0.099 m ³		3.85 m ²
Revit Family Structure_Bearing Pad	Steel Plate		12	0.026 m ³		10.86 m ²
Steel Plate: 12			12	0.026 m ³		10.86 m ²

Gambar 9. *Material Teke Off* Struktur Beton, Aspal, dan Mortar Pad pada *Revit Autodesk*

<Material Takeoff (Rebar)>					
A	B	C	D	E	F
Family and Type	Bar Diameter	Bar Length	Quantity	Count	Total Bar Length
Rebar Bar: D8-300	8.00 mm	0.89	1	74	65.85
Rebar Bar: D8-300	8.00 mm	41.55	5	3	623.22
Rebar Bar: D8-300: 77					689.08
Rebar Bar: 2x4D10	10.00 mm	1.37	4	6	32.96
Rebar Bar: 2x4D10	10.00 mm	1.61	4	42	270.11
Rebar Bar: 2x4D10: 48					303.07
Rebar Bar: D10-100	10.00 mm	0.89	7	12	74.88
Rebar Bar: D10-100	10.00 mm	0.93	6	12	67.06
Rebar Bar: D10-100: 24					141.94
Rebar Bar: D10-200	10.00 mm	1.31	209	3	824.34
Rebar Bar: D10-200: 3					824.34
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.16	2	1	2.32
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.17	2	1	2.33
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.18	1	2	2.37
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.27	2	6	15.18
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.27	2	12	30.50
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.28	2	3	7.65
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.28	4	6	30.61
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.29	2	3	7.71
Rebar Bar: 4D13	13.00 mm	1.61	1	2	3.21
Rebar Bar: 4D13: 36					101.88
Rebar Bar: 10D13	13.00 mm	0.97	1	648	628.56
Rebar Bar: 10D13	13.00 mm	0.97	4	81	314.28
Rebar Bar: 10D13: 729					942.84

Gambar 10. *Material Take Off* Pembesian pada *Revit Autodesk*

3.6. Rencana anggaran biaya

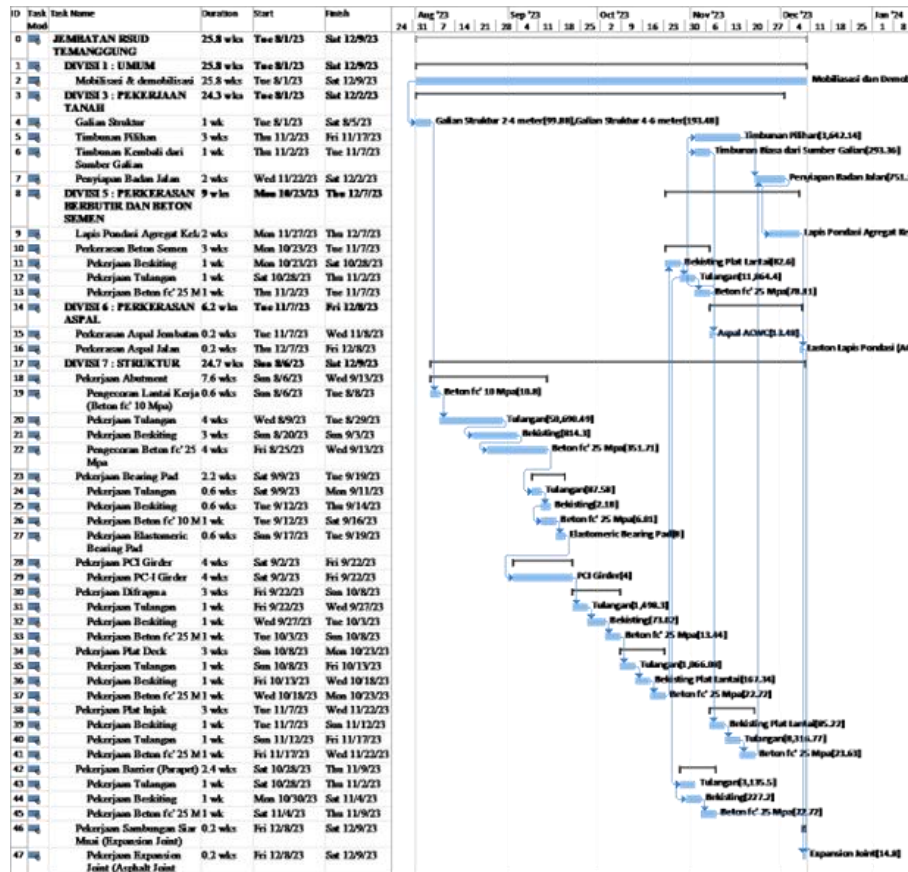
Perhitungan dan penyusunan rancangan anggaran biaya dilakukan secara parallel dengan penyusunan jadwal pelaksanaan konstruksi di *Microsoft Project*. Dari hasil perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) diperoleh nilai keseluruhan biaya yang dibutuhkan untuk membangun Jembatan RSUD Temanggung yakni sebesar Rp7,875,323,851. Berikut rincian hasil perhitungan Rancangan Anggaran Biaya yang telah dihitung berdasarkan masing-masing divisi pekerjaan yang tercantum di dalam Spesifikasi Umum 2018 ditunjukkan pada Gambar 11.

ID	Task Name	Total Cost
0	JEMBATAN RSUD TEMANGGUNG	Rp7,875,323,851
1	DIVISI 1 : UMUM	Rp33,300,000
3	DIVISI 3 : PEKERJAAN TANAH	Rp1,470,912,445
8	DIVISI 5 : PERKERASAN BERBUTIR DAN BETON SEMEN	Rp462,334,839
14	DIVISI 6 : PERKERASAN ASPAL	Rp399,174,829
17	DIVISI 7 : STRUKTUR	Rp5,509,601,739

Gambar 11. Hasil Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya pada *Microsoft Project*

3.7. Perencanaan jadwal pelaksanaan konstruksi

Pada perencanaan jadwal pelaksanaan konstruksi diperoleh total durasi pekerjaan konstruksi Jembatan RSUD Temanggung yakni selama 5 bulan mulai dari tanggal 1 Agustus 2023 hingga 9 Desember 2023 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Perencanaan Jadwal Pelaksanaan pada *Microsoft Project*

4. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan beberapa poin-poin penting terkait perencanaan jembatan RSUD Temanggung sebagai berikut:

- 1) Dari hasil perencanaan alinyemen horizontal, direncanakan tikungan jenis *Full Circle* dengan panjang lengkung tikungan sepanjang 17.453 meter yang terletak mulai dari STA 0+8.5 hingga STA0+25.953.
- 2) Dari hasil perencanaan alinyemen vertikal pada tikungan tersebut, direncanakan sebuah tanjakan mulai dari STA 0+8.5 hingga STA 0+10.621 dengan persentase kemiringan sebesar 4%.
- 3) Dari hasil perencanaan alinyemen vertikal jembatan diperoleh tinggi elevasi jembatan setinggi 4.470 meter dari dasar sungai
- 4) Dari keseluruhan hasil analisa struktur dapat disimpulkan bahwasannya desain jembatan RSUD Temanggung sudah aman terhadap beban-beban yang bekerja
- 5) Dari hasil permodelan menggunakan *Revit Autodesk* dapat disimpulkan bahwasannya penggunaan *Revit Autodesk* terbukti dapat meningkatkan efisiensi dalam perencanaan konstruksi, terutama dalam proses perhitungan volume
- 6) Dari hasil perhitungan Rancangan Anggaran Biaya menggunakan *Microsoft Project* diperoleh jumlah keseluruhan biaya yang dibutuhkan dalam konstruksi Jembatan RSUD Temanggung yakni sebesar Rp7,875,323,851.
- 7) Dari hasil perencanaan jadwal konstruksi menggunakan *Microsoft Project* diperoleh keseluruhan pekerjaan konstruksi Jembatan RSUD Temanggung yang direncanakan yakni selama 5 bulan mulai dari tanggal 1 Agustus 2023 hingga 9 Desember 2023.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T., selaku konsultan perencana dari Proyek Jembatan RSUD Temanggung yang senantiasa telah memberikan Data Pengujian Tanah dan data-data teknis lainnya yang mendukung dalam perencanaan Jembatan RSUD Temanggung.

Referensi

- Autodesk Revit. (n.d.). *What is Revit?* Retrieved April 27, 2023, from <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT>
- Huzaini, S. (2021). *TUGAS AKHIR PENERAPAN KONSEP BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) 3D DALAM MENDUKUNG PENGESTIMASIAN BIAYA PEKERJAAN STRUKTUR APPLICATION THE CONCEP OF BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) 3D IN SUPPORTING STRUCTURAL WORK COST* Syahrul Huzaini PENERAPAN. Universitas Islam Indonesia.
- Kelvin, R. (2022). *PERENCANAAN DAN PERANCANGAN (3D,4D,5D) JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN PENERAPAN KONSEP BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)* [Universitas Andalas]. <http://scholar.unand.ac.id/108905/>
- Mahapatni, I. A. P. S. (2019). Metode Perencanaan dan Pengendalian Proyek Konstruksi. In *UNHI Press*. UNHI Press. Negara, K. P., Unas, S. El, Hasyim, M. H., & Aditha, M. (2015). Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding Bata Ringan Dengan Metode Sni & Ms. Project Pada Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium
- Enterpreneurship Terpadu Universitas Brawijaya Malang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(2), 159–167.
- Suprayitno, B. (2012). Privatisasi Jalan Tol Sebagai Solusi Dalam Mempercepat Terwujudnya. *Jurnal Economia*, 8(1), 65–77.

© PILARS, 2023. All rights reserved

