

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis data terhadap hasil data yang sudah dikumpulkan sesuai pembahasan pada bab sebelumnya. Pengumpulan data tahap pertama diawali dengan melakukan pengumpulan data gambar, daftar harga satuan, data BOQ, daftar Analisa harga satuan.

4.2 Data Analisa

Data-data yang akan digunakan untuk analisa Penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer yang digunakan merupakan data pengumpulan langsung berdasarkan pengamatan dan penelitian di lapangan

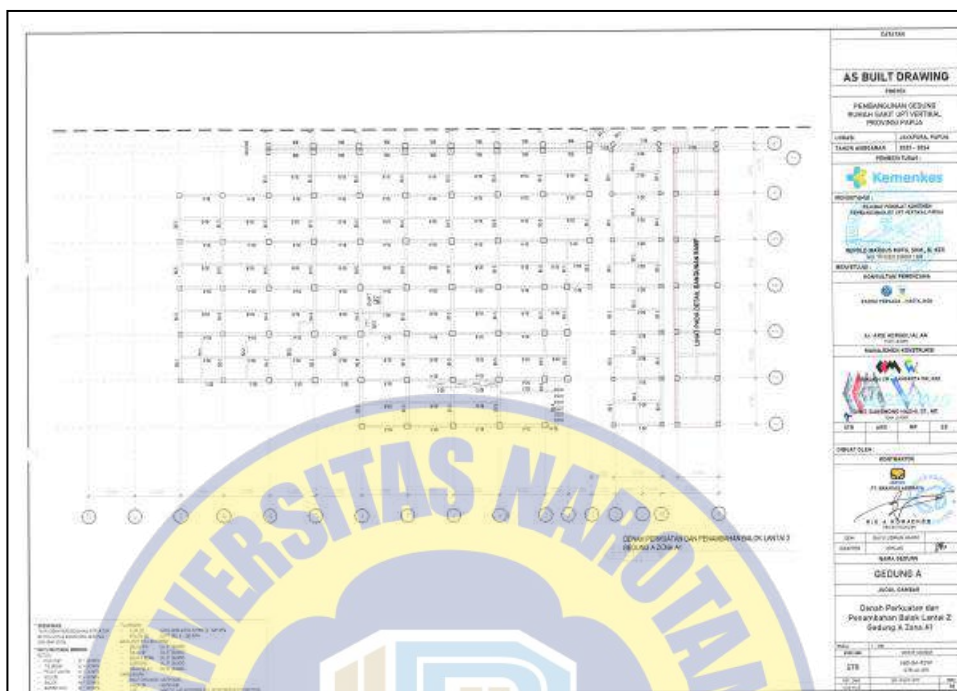
2. Data Sekunder

a. Data Siteplan

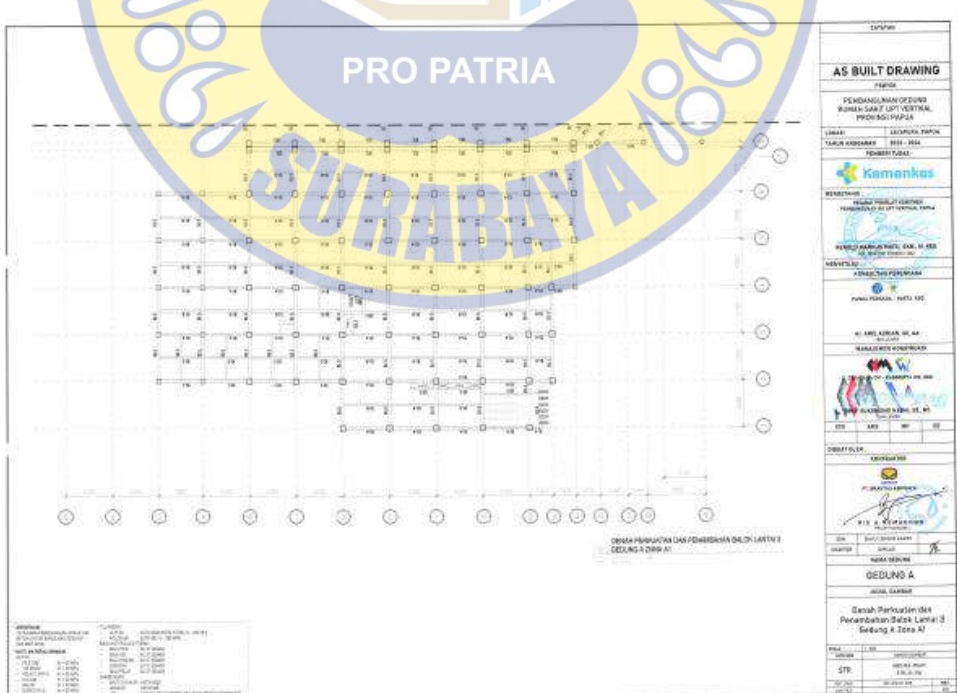
Siteplan dibutuhkan untuk menunjukan dan menentukan lokasi kerja, storage material. Karena Grotuting merupakan pekerjaan yang memerlukan area kerja yang luas maka dari siteplan ini juga akan terlihat pekerjaan apa saja yang dapat terganggu.

b. Data Gambar Detil

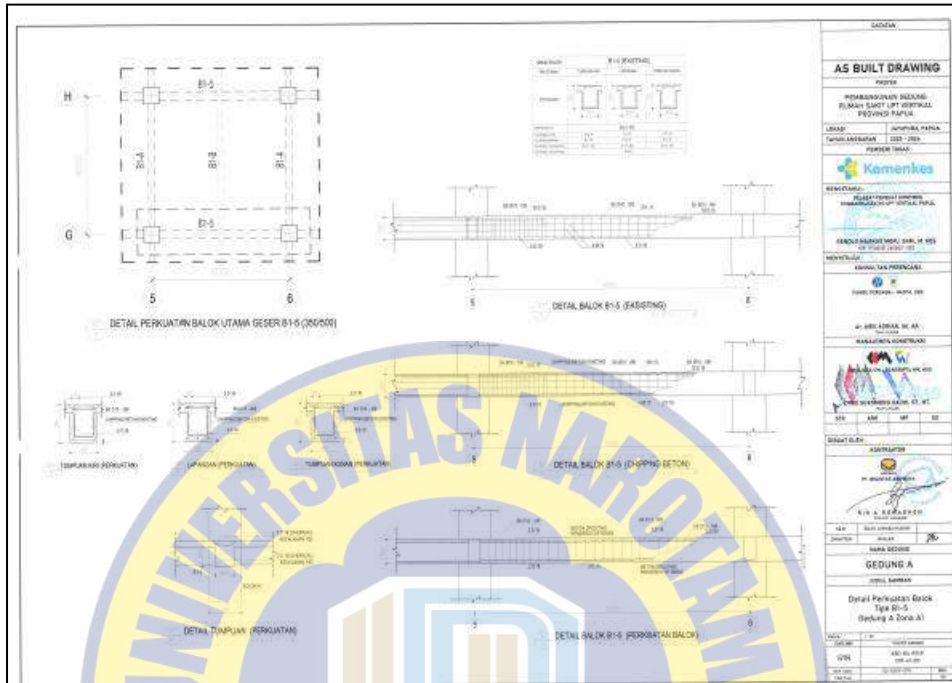
Data gambar merupakan acuan yang sangat penting pada suatu pekerjaan konstruksi. Data gambar yang digunakan adalah data gambar yang sudah mendapat *approval* dari owner. Data gambar akan menjadi panduan pelaksanaan pekerjaan di lapangan baik ukuran, jarak dan bentuk. Data gambar juga digunakan untuk perhitungan volume pekerjaan.



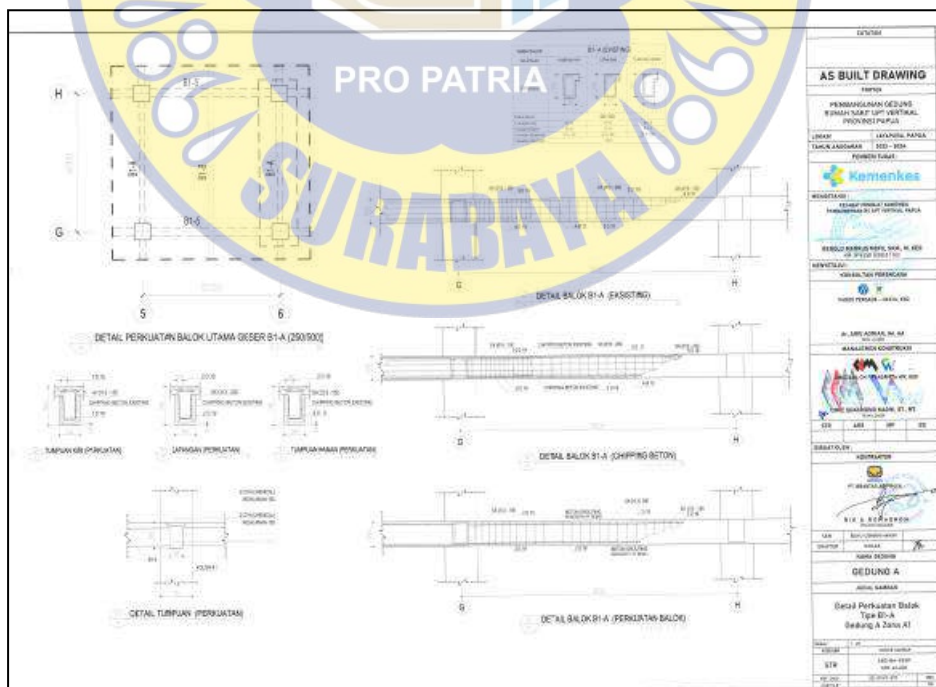
Gambar 4. 1 Denah Lantai 2 Zona A1



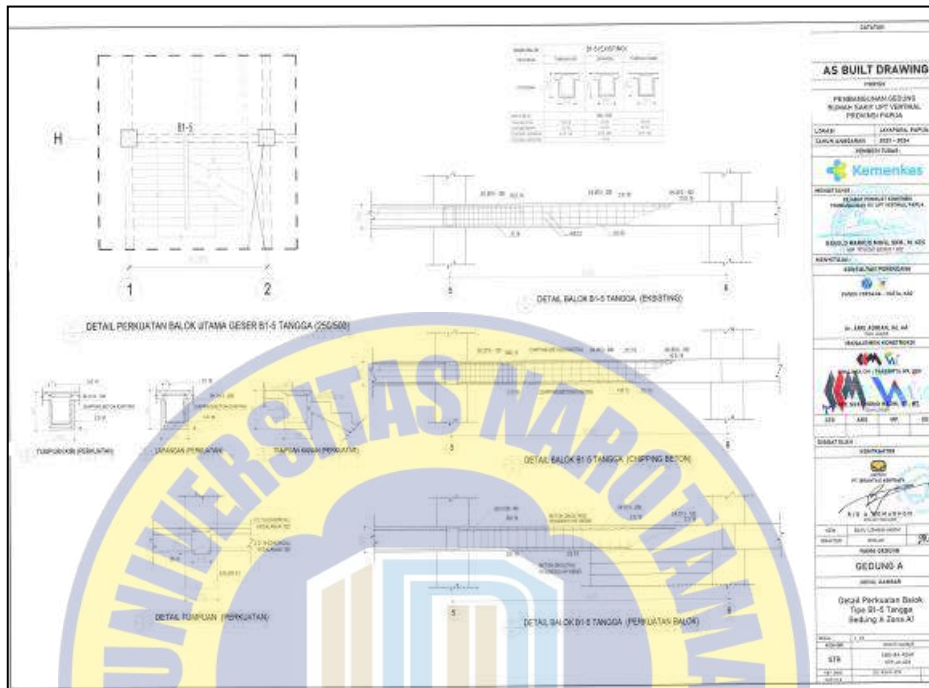
Gambar 4. 2 Denah Lantai 3 Zona A1



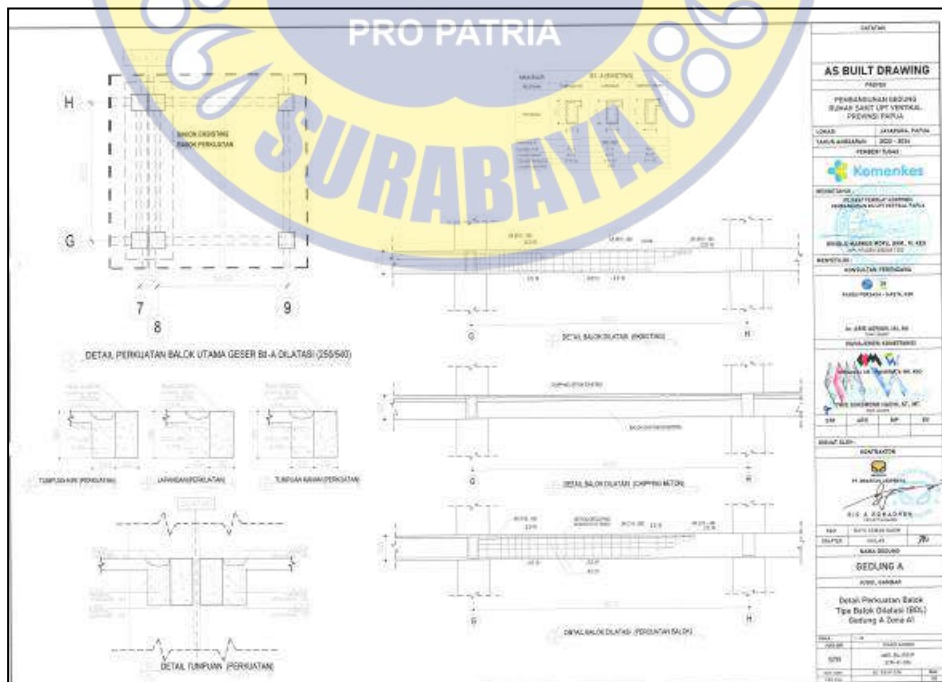
Gambar 4. 7 Detil Balok A1



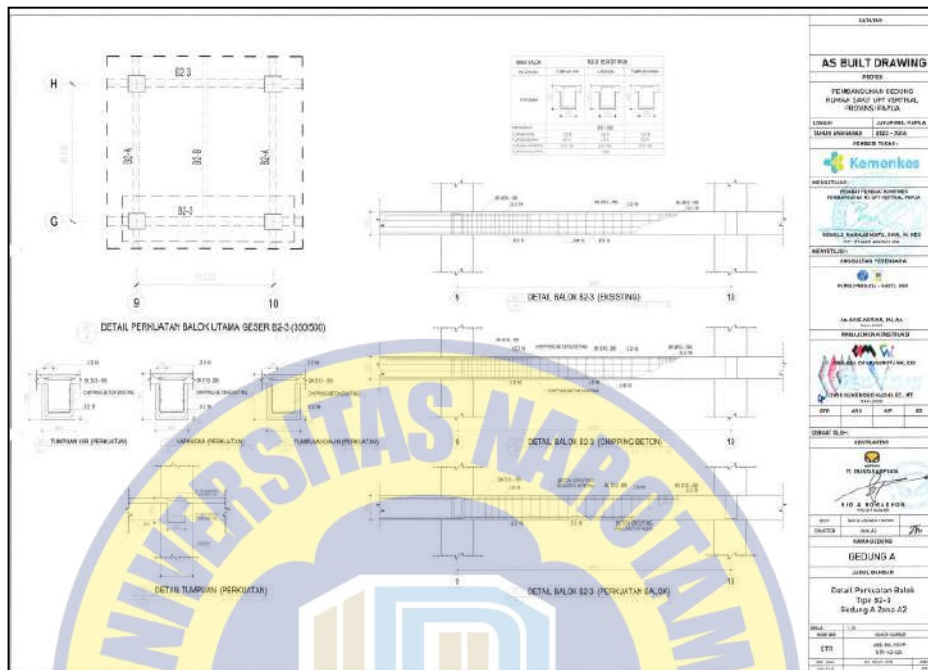
Gambar 4. 8 Detil Balok A1



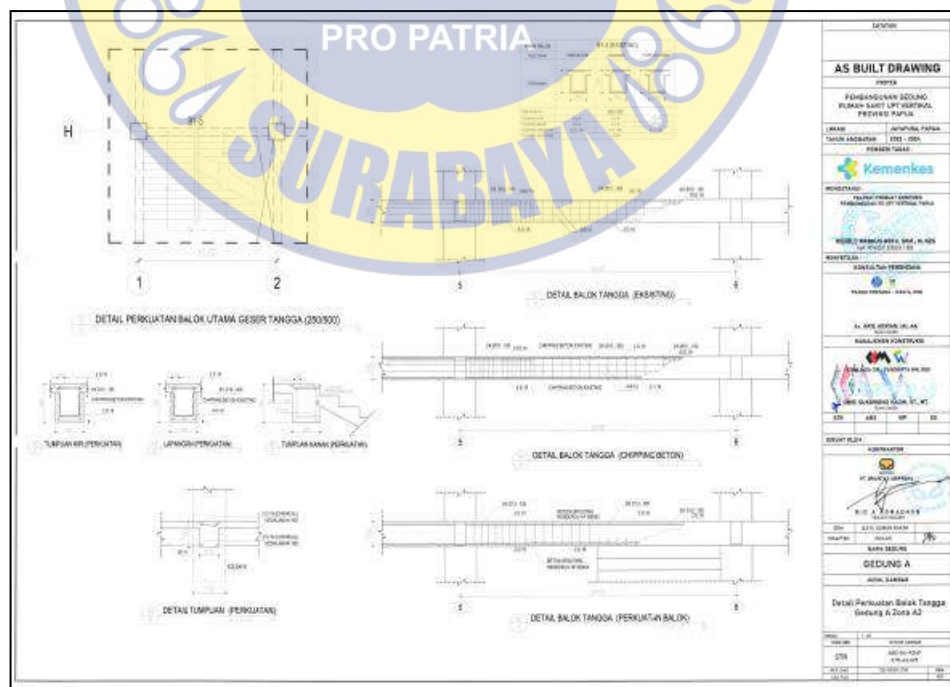
Gambar 4. 11 Detil Balok A1



Gambar 4. 12 Detil Balok A1



Gambar 4. 15 Balok A2



Gambar 4. 16 Balok A2

c. Data Alat yang di gunakan

Data alat digunakan sebagai pendukung analisa metode. Perkuatan untuk Balok. alay yang di gunakan adalah kompresor untuk tekan atau inject dr groutig ktu sendiri agar tidak kropos, dan jam kerja mengikuti jam kerja dr pekerja

d. Perhitungan Volume

Volume pekerjaan didapat dari perhitungan dengan acuan ukuran pada gambar serta dikalikan dengan Dimensi masing-masing item pekerjaan. Untuk menghitung volume balok maka dibutuhkan ukuran panjangnya, untuk menghitung volume FRP perlu dihitung luas dan volume kubik masing-masing item. Sedangkan volume baut dihitung dalam satuan m²

4.3 Metode pelaksanaan

4.3.1 Metode Pelaksanaan Perkuatan Dengan Concrete Jacketing

1. Material yang di gunakan
 - a. RENDEROC HF PREMIX
 - b. Besi Tulangan D13
 - c. Besi Tulangan D19
 - d. Bekisting
2. Alat yang di ginakan
 - a. Tabung pumping grouting
 - b. Air Compressor
 - c. Mixer
 - d. Mixing Pail
 - e. Gelas Ukur
 - f. Scaffolding
 - g. Gerinda
 - h. Palu
 - i. Kawat bendrat
 - j. Mesin Bor
 - k. Jack Hammer

3. Metode pelaksanaan

Dalam pelaksanaan perkuatan struktur dengan metode *concrete jacketing* terdapat tahapan sebagai berikut :

Survey kondisi lokasi dan tandai area yang memerlukan perkuatan struktur.

3.1. Persiapan

- a. Dirikan Perancah
- b. Chipping permukaan beton dengan mesin gerinda.
- c. Beton yang rata dan halus agar di buat kasar .
- d. Bersihkan permukaan beton dari bekas plesteran, debu, kotoran, lumut, bekas cat, minyak, dan sampah lainnya.
- e. Pasang support berupa perancah untuk melakukan pekerjaan perkuatan balok.

3.2. Pembesian

- a. Bor plat beton untuk memasukan besi Sengkang
- b. Bor kolom untuk chemset tulangan perkuatan
- c. Lakukan chemset besi tulangan dengan menggunakan material ex. Hilti RE-500.
- d. Lakukan chemset tulangan utama menggunakan besi diameter sesuai gambar, dan lakukan juga chemset pada area bawah sesuai dengan gambar. Untuk chemset ke beton lama kolom minimal dengan ukuran kedalaman 150 mm.
- e. Pasang besi tulangan sesuai dengan desain perubahan dari konsultan perencana struktur dan metode pelaksanaan.
- f. Besi Sengkang di produksi tekuk awal berbentuk “ U “ dan besi sesuai dengan perencanaan
- g. Masukan besi sengkang yang sudah di produksi ke lubang-lubang hasil pengeboran dengan menyisakan bagian atas untuk di tekuk agar mengelilingi balok existing
- h. Pasangan tulangan utama di atas balok
- i. Ikat tulangan utama dengan Sengkang dengan kawat bendrat

3.3. Bekisting

- a. Pemasangan Balok untuk dudukan Bodeman
- b. Produksi bekisting
- c. Pasang bekisting untuk persiapan pengecoran.
- d. pasang juga beton decking sesuai dengan kebutuhan lapangan.
- e. Bidang balok yang akan di *jacketing* diberikan *bonding agent* sebagai perekat antara beton baru dengan beton lama (material ex. Fosroc).
- f. Cek kekuatan bekisting dan pastikan benar-benar kuat.

3.4. Pelaksanaan Pemompaan Grouting (Pengecoran dengan Grouting

- a. Pemeriksaan kondisi FORMWORK dan pemasangan pipa-pipa inlet/outlet pada jarak tertentu
- b. Pembasahan seluruh permukaan balok yang akan di *jacketing* hingga SSD (Saturated Surface Dry)
- c. Penuangan material grouting, Renderoc HF Premix yang sudah dimixing HOMOGEN ke dalam tabung pumping grout
- d. Lakukan pumping material grouting Renderoc HF Premix yang sudah dipersiapkan melalui pipa inlet hingga material grouting Renderoc HF Premix akan keluar melalui pipa outlet
- e. Lakukan prosedur pumping secara terus menerus hingga mencapai pipa terakhir
- f. Lakukan pumping terakhir melalui pipa inlet hingga material grouting Renderoc HF Premix keluar melalui pipa outlet paling atas dan DIAL GAUGE pada manometer konstan, hal ini menunjukkan ruangan JACKETING sudah terisi penuh / FULL

3.5. Tenaga kerja yang di gunakan

Penggunaan tenaga kerja dalam proyek konstruksi memegang peran krusial terhadap keberhasilan pelaksanaan pekerjaan, termasuk pada pekerjaan perkuatan struktur beton dengan metode jacketing. Jacketing merupakan metode perkuatan yang melibatkan beberapa tahapan pekerjaan konstruksi, seperti pekerjaan bekisting, pembesian, dan pengecoran. Oleh karena itu, keterlibatan beberapa jenis tukang dengan keahlian spesifik diperlukan untuk menjamin mutu, efisiensi waktu, dan keselamatan kerja di lapangan.

Secara umum, tenaga kerja yang digunakan dalam pekerjaan jacketing terdiri atas tiga jenis utama, yaitu **tukang batu, tukang kayu, dan tukang besi**, yang masing-masing memiliki porsi pekerjaan yang berbeda. Berdasarkan analisa distribusi pekerjaan, tukang batu memiliki peran dominan dalam pelaksanaan pekerjaan pengecoran, pemadatan beton, dan pekerjaan akhir (finishing), dengan estimasi porsi sebesar **50% dari total jam kerja**. Tukang kayu bertanggung jawab dalam pemasangan dan pembongkaran bekisting, yang diperkirakan memakan waktu sekitar **30% dari total jam kerja**, sedangkan tukang besi bertugas dalam pemasangan tulangan yang merupakan bagian penting dalam peningkatan kapasitas struktur, dengan estimasi porsi **20%** dari total pekerjaan.

Berikut Rincian tenaga yang di butuhkan untuk melakukan pekerjaan Jacketing

Tukang batu + helper	:	2 orang + 2 Orang
Tukang kayu + helper	:	1 orang + 2 Orang
Tukang besi	:	1 orang + 2 Orang
TOTAL	:	10 Orang

Sehingga Pelaksanaan Jacketing yang ada di proyek RS Vertika Papua sejumlah 10 tenaga

4.3.2 Metode Pelaksanaan Perkuatan Dengan CFRP (Carbon Fiber reinforcement Polimer)

1. Material yang di gunakan
 - a. Carbon Fiber Sheet (lembaran serat karbon)
 - b. Epoxy Resin (perekat dua komponen)
2. Alat yang di ginakan
 - a. Mesin Grinding
 - b. Hand Mixer
 - c. Timbanga
 - d. Kabel
 - e. Ember Pengaduk
 - f. Gunting / Cutter
 - g. Roll / Kuas
 - h. Kapi / Raskam/ Spatula
 - i. APD
3. Metode pelaksanaan
 - a) Pengecekan kondisi beton
 - 1) Bersihkan/ Chipping rongga beton yang keropos.
 - 2) Oleskan coating anti karat pada besi-besi yang terlihat kasat mata
 - 3) Isi retak/keropos dengan epoxy resin atau grouting
 - 4) Check bagian bidang yang mungkin ada kebocoran
 - 5) Jika ditemukan crack wajib diperbaiki atau repair terlebih dahulu (Metode Injeksi dan atau Metode Patching)
 - 6) Marking Lokasi
 - b) Persiapan permukaan
 - 1) Permukaan beton harus bersih, padat dan bebas dari material penghambat lekatan seperti Minyak/ Oli dan sejenisnya
 - 2) Lakukan grinding permukaan beton
 - 3) Permukaan yang mengalami kerusakan atau terdapat lubang – lubang besar, harus diperbaiki dengan mengisi/menutup

kerusakan tersebut dengan material grouting atau Epoxy Pasta seperti Nitobond EC / Nitomortar TC/ Conbextra GP atau sejenisnya

- 4) Untuk sudut kolom/ balok yg runcing wajib digerinda sehingga membentuk sudut yang tumpul / smoth
 - 5) Bersihkan permukaan dari debu dengan menggunakan kompresor udara/ Hand Blower dan atau vacuum cleaner atau dengan kuas
 - 6) Ukur dan potong Nitowrap sesuai kebutuhan dilapangan
- c) Aplikasi Nitriwrap Primer
- 1) Kocok / Aduk terlebih dahulu tiap komponen.
 - 2) Ukur bagian dua komponen A terhadap satu bagian komponen B ke dalam wadah pengaduk yang bersih dan kering.(perbandingan komponen A:B = 2:1)
 - 3) Aduk secara merata sekitar 2-3 menit dengan hand mixer dengan putaran rendah (400 – 600 putaran per menit).
 - 4) Kwantitas bahan yang di campurkan harus dipertimbangkan agar dapat diaplikasikan sebelum terlampauinya waktu pot – life (30 – 40 menit pada 30° C).
 - 5) Aplikasikan campuran bahan Nitowrap Primer pada permukaan yang telah dipersiapkan dengan menggunakan spatula/ Kapi / Roll / Kuas untuk membentuk suatu lapisan. Estimasi dosis +- 0,30 Kg / m2 tergantung kondisi beton dan tunggu kering sekitar +- 12 Jam.
 - 6) Jika setelah di aplikasikan Nitowrap Primer masih ada lubang /pin hole , maka lakukan patching kembali dengan material Nitobond EC/ Nitowrap Primer+cement
- d) Aplikasi Nitowrap Encapsulation & Nitowrap CWS 300
- 1) Kocok / Aduk terlebih dahulu tiap komponen.
 - 2) Ukur bagian dua komponen A terhadap satu bagian komponen B ke dalam wadah pengaduk yang bersih dan kering.(perbandingan komponen A:B = 2:1)

- 3) Aduk secara merata sekitar 2-3 menit dengan hand mixer dengan putaran rendah (400 – 600 putaran per menit).
- 4) Kwantitas bahan yang di campurkan harus di pertimbangkan agar dapat diaplikasikan sebelum terlampauinya waktu pot – life (30 – 40 menit pada 30° C).
- 5) Aplikasikan kembali Nitowrap Encapsulation layer-1 dengan menggunakan Spatula/ Kapi / Roll/ Kuas dengan estimasi dosis +- 0,5-0,6 Kg/m² dan dalam kondisi basah pasang Nitowrap CWS 300 dan tekan dengan menggunakan Spatula/ Kapi sampai material Nitowrap Encapsulation keluar dari celah-celah Nitowrap CWS 300 dan rapikan dengan Kapi/ Spatula. Dan tunggu kering sekitar +- 24 Jam.
- 6) Ulangi Tahapan Point 1-4 untuk pencampuran
- 7) Aplikasikan kembali Nitowrap Encapsulation layer-2 dengan menggunakan Spatula/ Kapi / Roll/ Kuas dengan estimasi dosis +-0,2- 0,3 Kg/m² dan dalam kondisi basah pasang Nitowrap CWS 300 dan tekan dengan menggunakan Spatula/ Kapi sampai material Nitowrap Encapsulation keluar dari celah-celah Nitowrap CWS 300 dan rapikan dengan Kapi/ Spatula. Dan tunggu kering sekitar +- 24 Jam.
- 8) Ulangi Tahapan Point 1-4 untuk pencampuran
- 9) Aplikasikan kembali Nitowrap Encapsulation layer-3 dengan menggunakan Spatula/ Kapi / Roll/ Kuas dengan estimasi dosis +-0,2- 0,3 Kg/m² dan dalam kondisi basah pasang Nitowrap CWS 300 dan tekan dengan menggunakan Spatula/ Kapi sampai material Nitowrap Encapsulation keluar dari celah-celah Nitowrap CWS 300 dan rapikan dengan Kapi/ Spatula. Dan tunggu kering sekitar +- 24 Jam.
- 10) Taburkan pasir pada permukaan Nitowrap CWS 300 selagi Nitowrap Encapsulation dalam kondisi basah. untuk lapisan ke 3. Hal ini berfungsi sebagai bonding jika nantinya akan di Plester/ Screed sehingga permukaan monolit.

- 11) Bersihkan kelebihan bahan perekat epoxy dan bahan perekat epoxy yang melekat pada Nitowrap CWS 300 untuk mendapatkan penampilan yang baik.
 - 12) Biarkan kering min 1x 24 Jam dan sebaiknya jika akan difungsikan menunggu 7 x 24 Jam
 - 13) Sebelum memasang Nitowrap CWS 300, sebaiknya dipotong/ dimal sesuai dengan kebutuhan dilapangan dan dengan over lap 50mm pada bagian atas /bawah wrap dan dibagian akhir /sambungan
 - 14) Nitowrap CWS 300 harus terlindungi dari benda tajam dan sinar UV dan lain-lain.
 - 15) Finish
- e) Tenaga yang di butuhkan untuk Aplikasi CFRP

Dalam pelaksanaan pekerjaan perkuatan struktur menggunakan metode Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), kebutuhan tenaga kerja menjadi salah satu komponen penting yang mempengaruhi efektivitas pelaksanaan proyek, baik dari segi waktu, biaya, maupun mutu pekerjaan. Berbeda dengan metode konvensional seperti concrete jacketing, pekerjaan CFRP bersifat lebih presisi dan membutuhkan keahlian khusus, terutama dalam proses pemasangan serat karbon dan pengaplikasian resin epoxy.

Secara umum, tenaga kerja yang terlibat dalam metode CFRP terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu tukang batu dan tukang ahli CFRP. Tukang batu berperan dalam persiapan permukaan beton, termasuk pekerjaan grinding, pembersihan, dan dempul (filler), yang merupakan tahap awal krusial untuk memastikan ikatan antara serat karbon dan substrat beton dapat optimal. Pekerjaan ini diperkirakan memakan waktu sekitar 40% dari total jam kerja dalam proyek perkuatan CFRP.

Sementara itu, tukang ahli CFRP bertanggung jawab atas pekerjaan teknis yang memerlukan keahlian tinggi, seperti

pencampuran resin, pengaplikasian epoxy, pemasangan serat karbon secara presisi, hingga proses curing. Proses ini sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan dan teknik aplikasinya, sehingga hanya dapat dikerjakan oleh tenaga kerja yang telah memiliki pelatihan atau pengalaman dalam bidang ini. Estimasi kebutuhan waktu kerja untuk jenis tukang ini mencapai 60% dari total jam kerja. maka kebutuhan tenaga kerja dapat dirinci sebagai berikut:

Tukang Batu : 40 % atau 4 Orang

Tukang Ahli CFRP : 60 % Atau 6 orang

Jumlah ini merupakan estimasi ideal untuk menjamin pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu dengan mutu yang terjaga. Dalam praktiknya, jumlah tukang dapat disesuaikan dengan strategi rotasi, ketersediaan sumber daya, dan kondisi lapangan.

Distribusi tugas dan alokasi tenaga kerja yang tepat menjadi salah satu indikator keberhasilan proyek. Pekerjaan CFRP yang dilakukan oleh tenaga tidak kompeten dapat menyebabkan delaminasi, kerusakan dini, atau kegagalan fungsi struktural. Oleh karena itu, selain jumlah, kualifikasi dan keterampilan tukang ahli menjadi aspek yang sangat penting untuk diperhatikan dalam perencanaan pelaksanaan pekerjaan perkuatan menggunakan CFRP.

4.4 Analisa Biaya Pekerjaan Balok

4.4.1 Analisa Biaya Jacketing

Perkuatan struktur dengan metode Concrete Jacketing adalah menambah dimensi beton eksisting dengan menggunakan material beton memadat sendiri (self compacting concrete) atau non-shrink grouting semen dan penambahan tulangan longitudinal maupun transversal kembali.

Berdasarkan keputusan konsultan perencana struktur bahwa perkuatan struktur balok direncanakan dengan metode jacketing.

Sehingga harus dihitung volume dan biaya yang akan dikeluarkan untuk metode perkuatan struktur Gedung existing menggunakan jacketing tersebut.

Tabel 4. 1 Daftar Harga Material dan Alat

No	Material	Sat	Harga Sat
A			
Pembesian			
1	Besi	Kg	11.800,00
2	Bendrat	Kg	24.000,00
3	Barbending	/day	300.000,00
4	Barcutter ex montoya	/day	300.000,00
5	Gegep kak tua	Unit	65.000,00
6	Chemical Anchor	titik	180.000,00
B			
Bekisting			
1	Multiplek 12 mm	Lembar	270.750,00
2	Kayu Kaso 5 x7	m3	2.802.500,00
3	Kayu Balok 6 x 12	m3	2.802.500,00
4	Paku	Kg	32.000,00
5	Palu	Pcs	55.000,00
6	Linggis	Pcs	110.000,00
7	Minyak Bekisting	Liter	26.500,00
8	Leader Frame	Set/Bln	55.000,00
9	Main Frame	set/Bln	65.000,00
C			
Pengecoran			
1	Grouting Ex Fosroc	Zak	232.918,16
2	Bonding Agent Ex Fosroc	kg	61.000,00
3	Mesin Bor ex bosch	Unit	13.000.000,00
4	Mata Bor 16	Pcs	450.000,00
5	Mara Bor 22	Pcs	650.000,00
6	Pompa Grouting	Unit	6.500.000,00
7	Kompresor	Unit	3.200.000,00

(Sumber : data olahan peneliti, 2025)

Dalam proses pelaksanaan pekerjaan perkuatan struktur, baik dengan metode jacketing maupun metode lainnya, komponen biaya material dan peralatan menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi total biaya proyek. Tabel 4.1 menyajikan rincian harga

satuan material dan alat berdasarkan kategori pekerjaan, yakni pembesian, bekisting, dan pengecoran. Informasi harga ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

a. Material dan Alat Pembesian

Pekerjaan pembesian memerlukan sejumlah material dan alat bantu untuk menunjang pemasangan tulangan serta sistem angkur kimia. Harga satuan besi tulangan ditetapkan sebesar Rp11.800,00 per kilogram, sementara bendrat, sebagai pengikat tulangan, dihargai Rp24.000,00 per kilogram.

Untuk mempermudah pemotongan dan pembengkokan besi, digunakan alat bantu berupa bar bender dan bar cutter, masing-masing disewakan dengan tarif Rp300.000,00 per hari. Peralatan manual seperti gegap kak tua untuk pemotongan atau pengikatan dijual seharga Rp65.000,00 per unit. Adapun untuk sistem pengangkur, digunakan chemical anchor dengan harga Rp180.000,00 per titik, yang berfungsi sebagai media sambungan antara struktur eksisting dan tulangan baru.

b. Material dan Alat Bekisting

Pekerjaan bekisting mencakup penggunaan berbagai bahan berbasis kayu dan logam, serta alat bantu lainnya. Material utama berupa multipleks 12 mm dihargai Rp270.750,00 per lembar, dan kayu berupa kaso 5x7 cm serta balok 6x12 cm dihargai Rp2.802.500,00 per m³.

Alat penunjang seperti paku (Rp32.000,00/kg), palu (Rp55.000,00/pcs), linggis (Rp110.000,00/pcs), dan minyak bekisting (Rp26.500,00/liter) digunakan untuk pemasangan dan pembongkaran bekisting serta pelumasan permukaan. Untuk pekerjaan vertikal atau ketinggian, digunakan scaffolding system seperti leader frame dan main frame, masing-masing disewakan dengan harga Rp55.000,00 dan Rp65.000,00 per set per bulan.

c. Material dan Alat Pengecoran

Dalam pekerjaan pengecoran, material utama yang digunakan adalah grouting eks. Fosroc, yang merupakan mortar non-shrink khusus dengan harga Rp232.918,16 per zak, dan bonding agent sebagai perekat antara beton lama dan baru seharga Rp61.000,00 per kilogram.

Untuk keperluan persiapan dan pelaksanaan pengecoran, digunakan peralatan seperti mesin bor eks. Bosch dengan harga Rp13.000.000,00 per unit, dan mata bor berdiameter 16 mm (Rp450.000,00) serta 22 mm (Rp650.000,00). Selain itu, peralatan pendukung seperti pompa grouting (Rp6.500.000,00) dan kompresor (Rp3.200.000,00) diperlukan untuk memasukkan grouting ke dalam rongga struktur dengan tekanan tertentu.

Tabel 4. 2 Daftar Harga Material dan Alat Pengecoran

No	Upah	Sat	Harga Sat
A	Pembesian		
1	Besi	Kg	1.500,00
2	Bor Chemset	titik	20.000,00
3	Pemasang besi chemset	titik	5.000,00
B	Bekisting		
1	Pasang Bekisting	m3	65.000,00
2	Pasang Perancah	m2	15.000,00
3	bongkar perancah	m2	15.000,00
C	Pengecoran		
1	Pengecoran Grouting	m3	125.500,00
2	Langsir semen manual	kg	500,00
3	Upah Chipping	m2	50.000,00

(Sumber : data olahan peneliti, 2025)

Menentukan harga satuan upah tenaga kerja merupakan aspek penting dalam proses estimasi biaya pekerjaan konstruksi, khususnya pada pekerjaan perkuatan struktur seperti pembesian, bekisting, dan pengecoran. Tabel 4.2 menyajikan rincian harga satuan upah berdasarkan jenis pekerjaan dan satuan

pelaksanaannya, yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan analisis harga satuan pekerjaan (AHS) dalam proyek perkuatan struktur.

Pada bagian A – Pembesian, pekerjaan utama mencakup pemasangan tulangan, bor chemset, dan pemasangan besi dengan sistem ankur kimia (chemical anchoring). Harga satuan untuk besi ditetapkan sebesar Rp1.500,00 per kilogram, sedangkan pekerjaan pengeboran lubang chemset dikenakan biaya sebesar Rp20.000,00 per titik. Selanjutnya, pemasangan besi chemset dikenakan biaya Rp5.000,00 per titik, mencerminkan kompleksitas dan ketelitian yang dibutuhkan dalam proses ini untuk menjamin kekuatan penyaluran beban dari elemen lama ke elemen perkuatan baru.

Bagian B – Bekisting mencakup pemasangan dan pembongkaran bekisting serta perancah kerja. Harga satuan untuk pemasangan bekisting sebesar Rp65.000,00 per meter kubik, yang mencakup biaya tenaga kerja dan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk cetakan beton. Pekerjaan pemasangan dan pembongkaran perancah dihargai masing-masing Rp15.000,00 per meter persegi, yang menggambarkan proses pendukung untuk menunjang pekerjaan struktur vertikal maupun horizontal.

Selanjutnya, pada bagian C – Pengecoran, pekerjaan pengecoran grouting dihargai Rp125.500,00 per meter kubik, menunjukkan biaya tenaga kerja untuk pengadukan dan pengecoran material grouting secara manual atau semi-manual. Pekerjaan langsir semen secara manual dikenakan upah sebesar Rp500,00 per kilogram, sementara pekerjaan chipping beton eksisting, sebagai bagian dari persiapan permukaan sebelum perkuatan, dihargai Rp50.000,00 per meter persegi.

Data dalam tabel ini mencerminkan kondisi upah lokal yang disesuaikan dengan standar produktivitas pekerja di lapangan. Informasi ini penting tidak hanya dalam penyusunan anggaran biaya proyek, tetapi juga dalam penilaian efisiensi metode

pelaksanaan dan perencanaan sumber daya manusia. Dengan menggunakan pendekatan sistematis dalam penghitungan upah dan produktivitas, perencana dan pelaksana proyek dapat mengidentifikasi komponen biaya dominan, menyusun jadwal kerja realistis, serta mengendalikan anggaran secara efektif selama pelaksanaan proyek perkuatan struktur.

Tabel 4. 3 Design Rencana Perkuatan

Jenis Balok	Awal(Existing)			Rencana		
	P	L	T	P	L	T
	m'	m'	m'	m'	m'	m'
Lantai 2 Zona A1						
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	0,45	0,60
	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	0,30	0,50
	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Lantai 2 Zona A2						
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	6,63	0,30	0,50
	1,63	0,20	0,40	1,63	0,30	0,50
	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
Lantai 2 Zona A3						
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
Lantai 3 Zona A1						
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	0,45	0,60
	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
	1,42	0,35	0,50	1,42	0,45	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	0,30	0,50
	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
	7,42	0,20	0,40	7,42	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60

Lantai 3 Zona A2						
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
	4,16	0,25	0,50	4,16	0,35	0,60
	5,60	0,25	0,50	5,60	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
	6,68	0,20	0,40	6,68	0,30	0,50
	1,87	0,20	0,40	1,87	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60
Lantai 3 Zona A3						
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	6,00	0,30	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	6,00	0,35	0,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	6,00	0,45	0,60

(Sumber : data olahan peneliti, 2025)

Data table di atas adalah list balok existing yang akan di rubah sesuai perencanaan terbaru jika di lakukan jacketing pada balok lantai 2 dan 3.

Tabel 4. 4 Perhitungan Chipping Balok

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume pekerjaan
	P	L	T		Chipping Balok
	m'	m'	m'		m2
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	9,99
	6,00	0,35	0,50	49,00	326,34
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	6,84
	6,00	0,20	0,40	38,00	173,28
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	30,30
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	254,52
	3,73	0,35	0,50	2,00	7,53
	5,32	0,35	0,50	2,00	10,75
	5,96	0,35	0,50	2,00	12,04
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	5,04
	1,63	0,20	0,40	2,00	2,48
	6,00	0,20	0,40	33,00	150,48
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	266,40

Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	254,52
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	150,48
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	18,18
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	253,08
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	9,99
	6,00	0,35	0,50	56,00	372,96
	1,42	0,35	0,50	1,00	1,58
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	6,84
	6,00	0,20	0,40	38,00	173,28
	7,42	0,20	0,40	1,00	5,64
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	30,30
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	293,04
Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	242,40
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	4,16	0,25	0,50	2,00	8,40
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	5,60	0,25	0,50	2,00	11,31
	6,40	0,25	0,50	2,00	12,93
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	136,80
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,68	0,20	0,40	1,00	5,08
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	1,87	0,20	0,40	2,00	2,84
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	246,42
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	254,52
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	150,48
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	18,18
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	253,08
Jumlah					4.168,32

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan chipping balok 4.168,32, Adapun volume tersebut dari perhitungan permukaan balok lantai 2 dan 3.



Gambar 4. 23 Permukaan Balok Chipping

Tabel 4. 5 Perhitungan Chipping Plat

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume pekerjaan Chipping Plat
	P	L	T		m2
	m'	m'	m'		
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	3,15
	6,00	0,35	0,50	49,00	102,90
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	1,80
	6,00	0,20	0,40	38,00	45,60
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	7,50
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	63,00
	3,73	0,35	0,50	2,00	1,87
	5,32	0,35	0,50	2,00	2,66
	5,96	0,35	0,50	2,00	2,98
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	1,33
	1,63	0,20	0,40	2,00	0,65
	6,00	0,20	0,40	33,00	39,60
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	84,00
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	63,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	39,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	4,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	79,80

Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	3,15
	6,00	0,35	0,50	56,00	117,60
	1,42	0,35	0,50	1,00	0,50
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	1,80
	6,00	0,20	0,40	38,00	45,60
	7,42	0,20	0,40	1,00	1,48
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	7,50
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	92,40
Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	60,00
	4,16	0,25	0,50	2,00	2,08
	5,60	0,25	0,50	2,00	2,80
	6,40	0,25	0,50	2,00	3,20
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	36,00
	6,68	0,20	0,40	1,00	1,34
	1,87	0,20	0,40	2,00	0,75
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	77,70
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	63,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	39,60
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	4,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	79,80
Jumlah					1.184,73

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan chipping Plat 1.184,73 , Adapun volume tersebut dari perhitungan Chipping permukaan Plat lantai 2 dan 3.



Gambar 4. 24 Permukaan Plat Chipping

Tabel 4. 6 Perhitungan Volume Grouting

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume pekerjaan
	P	L	T		Grouting
	m'	m'	m'		M3
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	22,12
	6,00	0,35	0,50	49,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	11,38
	6,00	0,20	0,40	38,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	1,89
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	17,77
	3,73	0,35	0,50	2,00	
	5,32	0,35	0,50	2,00	
	5,96	0,35	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	9,98
	1,63	0,20	0,40	2,00	
	6,00	0,20	0,40	33,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	17,52
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	15,88
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	9,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	1,13
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	16,64
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	25,29
	6,00	0,35	0,50	56,00	
	1,42	0,35	0,50	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	11,73
	6,00	0,20	0,40	38,00	
	7,42	0,20	0,40	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	1,89
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	19,27

Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	17,16
	4,16	0,25	0,50	2,00	
	5,60	0,25	0,50	2,00	
	6,40	0,25	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	9,14
	6,68	0,20	0,40	1,00	
	1,87	0,20	0,40	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	16,21
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	15,88
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	9,50
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	1,13
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	16,64
Jumlah					267,65

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan Grouting Balok adalah 267,65 m³ , Adapun volume tersebut dari perhitungan permukaan balok lantai 2 dan 3.



Gambar 4. 25 Balok Grouting

Tabel 4. 7 Perhitungan Volume Pembesian Tulangan Utama

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume pekerjaan
	P	L	T		Tul. Utama
	m'	m'	m'		Kg
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	3.463,99
	6,00	0,35	0,50	49,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	3.392,77
	6,00	0,20	0,40	38,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	340,81
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	3.218,32
	3,73	0,35	0,50	2,00	
	5,32	0,35	0,50	2,00	
	5,96	0,35	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	3.018,14
	1,63	0,20	0,40	2,00	
	6,00	0,20	0,40	33,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	2.726,45
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	2.862,78
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	2.249,32
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	204,48
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	2.590,13
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	4.584,79
	6,00	0,35	0,50	56,00	
	1,42	0,35	0,50	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	2.686,19
	6,00	0,20	0,40	38,00	
	7,42	0,20	0,40	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	340,81
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	3.454,07

Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	3.102,55
	4,16	0,25	0,50	2,00	
	5,60	0,25	0,50	2,00	
	6,40	0,25	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	2.089,10
	6,68	0,20	0,40	1,00	
	1,87	0,20	0,40	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	4.391,96
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	2.862,78
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	2.811,66
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	204,48
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	2.983,06
Jumlah					53.578,64

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan Pembesian Tulangan utama Balok adalah 53.578,64 kg , Adapun volume tersebut dari perhitungan permukaan balok lantai 2 dan 3. Dibawah adalah contoh gambar pembesian Balok yang akan di perkuat.



Gambar 4. 26 Potongan Tulangan Utama

Tabel 4. 8 Perhitungan Tulangan Sengkang

Jenis Balok	Awal			QTY	Volum pekerjaan
	P	L	T		Sengkang
	m'	m'	m'		Kg
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	3.999,64
	6,00	0,35	0,50	49,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	2.366,98
	6,00	0,20	0,40	38,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	356,51
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	3.353,13
	3,73	0,35	0,50	2,00	
	5,32	0,35	0,50	2,00	
	5,96	0,35	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	2.073,13
	1,63	0,20	0,40	2,00	
	6,00	0,20	0,40	33,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	3.160,42
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	2.994,69
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	1.971,41
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	213,91
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	3.002,40
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	4.576,20
	6,00	0,35	0,50	56,00	
	1,42	0,35	0,50	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	2.441,25
	6,00	0,20	0,40	38,00	
	7,42	0,20	0,40	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	356,51
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	3.476,46

Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	3.427,08
	4,16	0,25	0,50	2,00	
	5,60	0,25	0,50	2,00	
	6,40	0,25	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	2.320,36
	6,68	0,20	0,40	1,00	
	1,87	0,20	0,40	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	2.923,39
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	2.994,69
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	1.971,41
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	213,91
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	3.002,40
Jumlah					51.195,83

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan Pembesian Tulangan Sengkang Balok adalah 51.195,83 kg , Adapun volume tersebut dari perhitungan pembesian balok lantai 2 dan 3. Dibawah adalah contoh gambar pembesian Balok yang akan di perkuat



Gambar 4. 27 Tulangan Sengkang (Pembesian Balok)

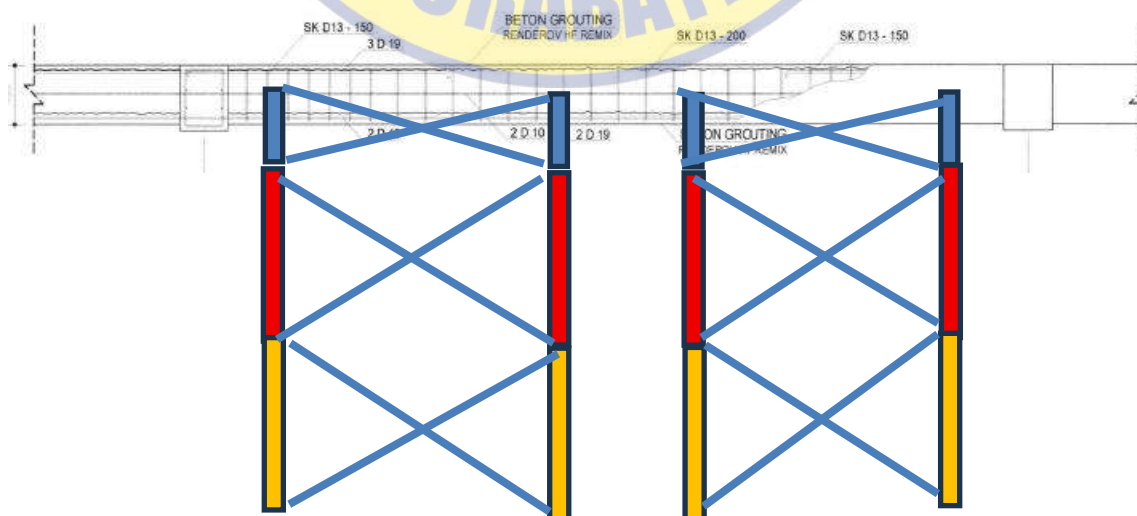
Tabel 4. 9 Perhitungan Volume Perancah

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume pekerjaan
	P	L	T		Perancah
	m'	m'	m'		m2
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	36,00
	6,00	0,35	0,50	49,00	1.176,00
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	36,00
	6,00	0,20	0,40	38,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	120,00
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	1.008,00
	3,73	0,35	0,50	2,00	
	5,32	0,35	0,50	2,00	
	5,96	0,35	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	26,52
	1,63	0,20	0,40	2,00	
	6,00	0,20	0,40	33,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	960,00
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	1.008,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	792,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	72,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	912,00
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	36,00
	6,00	0,35	0,50	56,00	
	1,42	0,35	0,50	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	36,00
	6,00	0,20	0,40	38,00	
	7,42	0,20	0,40	1,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	120,00

Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	1.056,00
Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	960,00
	4,16	0,25	0,50	2,00	
	5,60	0,25	0,50	2,00	
	6,40	0,25	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	720,00
	6,68	0,20	0,40	1,00	
	1,87	0,20	0,40	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	888,00
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	1.008,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	792,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	72,00
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	912,00
Jumlah					12.746,52

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan Perancah Balok adalah 12.746,52 m² , Adapun volume tersebut dari perhitungan perancah balok lantai 2 dan 3. Dibawah adalah contoh gambar pembesian Balok yang akan di perkuat.



Gambar 4. 28 Perancah Pada Balok

Tabel 4. 10 Perhitungan Volume Bekisting

Jenis Balok	Awal			QTY	Volume Pekerjaan
	P	L	T		Bekisting
	m'	m'	m'		M2
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	381,78
	6,00	0,35	0,50	49,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	215,67
	6,00	0,20	0,40	38,00	
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	34,80
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	292,32
	3,73	0,35	0,50	2,00	
	5,32	0,35	0,50	2,00	
	5,96	0,35	0,50	2,00	
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	189,19
	1,63	0,20	0,40	2,00	189,19
	6,00	0,20	0,40	33,00	189,19
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	266,40
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	292,32
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	180,18
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	20,88
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	287,28
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	436,49
	6,00	0,35	0,50	56,00	436,49
	1,42	0,35	0,50	1,00	436,49
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	222,42
	6,00	0,20	0,40	38,00	222,42
	7,42	0,20	0,40	1,00	222,42
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	34,80
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	332,64

Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	315,89
	4,16	0,25	0,50	2,00	315,89
	5,60	0,25	0,50	2,00	315,89
	6,40	0,25	0,50	2,00	315,89
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	173,28
	6,68	0,20	0,40	1,00	173,28
	1,87	0,20	0,40	2,00	173,28
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	246,42
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	292,32
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	180,18
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	20,88
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	287,28
Jumlah					7.693,85

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Dari data di atas terdapat volume pekerjaan Bekisting Balok adalah **7.693,85 m²** , Adapun volume tersebut dari perhitungan bekisting balok lantai 2 dan 3. Dibawah adalah permukaan yang di bekisting.



Gambar 4. 29 Permukaan Bekisting Balok Perkuatan

Tabel 4. 11 Perhitungan Volume Chemset

Pekerjaan Chemset - Perkuatan Balok							
Area Chemset	Peruntukan Chemset	Jenis Balok	Bidang	Chem set	Q		
Lantai 2 Zona A1							
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B1-A	2	4	8	64	
		B1-A, B1-1, B1-5	3	4	20	240	
		B1-A, B1-6	4	4	31	496	
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Anak	B1-B	1	4	13	52	
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B1-B	1	4	13	52	
			2	4	35	280	
Lantai 2 Zona A2							
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B2-A	1	4	4	16	
		B2-A	2	4	4	32	
		B2-A	3	4	16	192	
		B2-A	4	4	28	448	
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B2-B	1	4	12	48	
			2	4	32	256	
Lantai 2 Zona A3							
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B3-A	1	4	0	-	
		B3-A, B3-1, B3-2	2	4	6	48	
		B3-A, B3-3	3	4	18	216	
		B3-A, B3-4	4	4	25	400	
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B3-B	1	4	12	48	
		B3-B	2	4	28	224	
Lantai 3 Zona A1							
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B1-A	2	4	8	64	
		B1-A, B1-1, B1-5	3	4	20	240	
		B1-A, B1-6	4	4	31	496	
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Anak	B1-B	1	4	13	52	
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B1-B	1	4	13	52	
			2	4	35	280	
Lantai 3 Zona A2							
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B2-A	1	4	0	-	

		B2-A	2	4	6	48
		B2-A	3	4	18	216
		B2-A	4	4	22	352
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B2-B	1	4	12	48
			2	4	25	200
Lantai 3 Zona A3						
Kolom Struktur	Perkuatan Balok Struktur	B3-A	1	4	0	-
		B3-A, B3-1, B3-2	2	4	6	48
		B3-A, B3-3	3	4	18	216
		B3-A, B3-4	4	4	25	400
Balok Struktur	Perkuatan Balok Anak	B3-B	1	4	12	48
		B3-B	2	4	28	224
Jumlah						6.096,00

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan Chemset merupakan salah satu metode perkuatan struktural yang diterapkan pada proyek ini, dengan fokus pada perkuatan balok struktur dan balok anak pada lantai 2 dan lantai 3 di zona A1, A2, dan A3. Pekerjaan ini mencakup berbagai elemen struktural, baik yang terhubung langsung ke kolom struktur maupun balok struktur.

1. Lantai 2

Pada lantai 2 zona A1, pekerjaan Chemset difokuskan pada elemen balok utama B1-A dan balok anak B1-B. Jumlah total titik Chemset yang diaplikasikan mencapai 1.184 titik, dengan rincian utama sebagai berikut:

- B1-A memiliki varian jumlah berdasarkan kombinasi balok (seperti B1-1, B1-5, dan B1-6), dengan total akumulasi $64 + 240 + 496 = 800$ titik.
- Untuk balok anak B1-B, total Chemset yang diaplikasikan adalah $52 + 52 + 280 = 384$ titik.

Di zona A2 lantai 2, balok struktur B2-A dan balok anak B2-B menjadi target utama perkuatan. Jumlah titik Chemset yang digunakan adalah 944 titik, yang tersebar pada:

- B2-A: $16 + 32 + 192 + 448 = 688$ titik.
- B2-B: $48 + 256 = 304$ titik.

Sementara itu, pada zona A3 lantai 2, pekerjaan Chemset menyasar balok utama B3-A dan balok anak B3-B. Dengan total 936 titik, pekerjaan tersebar sebagai berikut:

- B3-A: $0 + 48 + 216 + 400 = 664$ titik.
- B3-B: $48 + 224 = 272$ titik.

2. Lantai 3

Pola yang hampir serupa diterapkan pada lantai 3 zona A1, di mana balok B1-A dan B1-B kembali diperkuat dengan metode Chemset. Total Chemset yang diaplikasikan di zona ini adalah 1.184 titik, dengan distribusi identik dengan lantai 2:

- B1-A (800 titik) dan B1-B (384 titik).

Di zona A2 lantai 3, Chemset diterapkan dengan total 864 titik, dengan distribusi sebagai berikut:

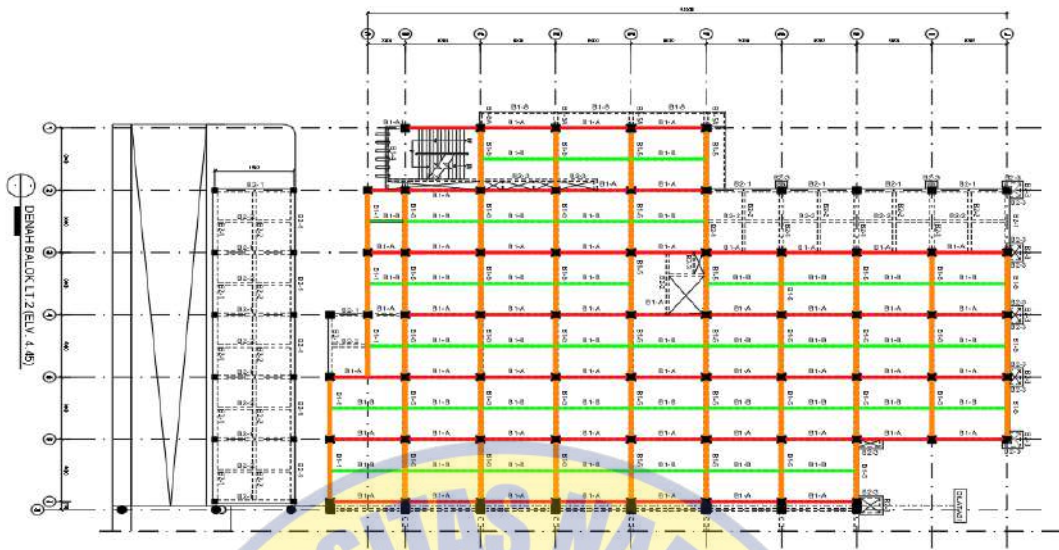
- B2-A: $0 + 48 + 216 + 352 = 616$ titik.
- B2-B: $48 + 200 = 248$ titik.

Untuk zona A3 lantai 3, jumlah titik Chemset yang diaplikasikan juga identik dengan lantai sebelumnya, yakni 936 titik, terbagi atas:

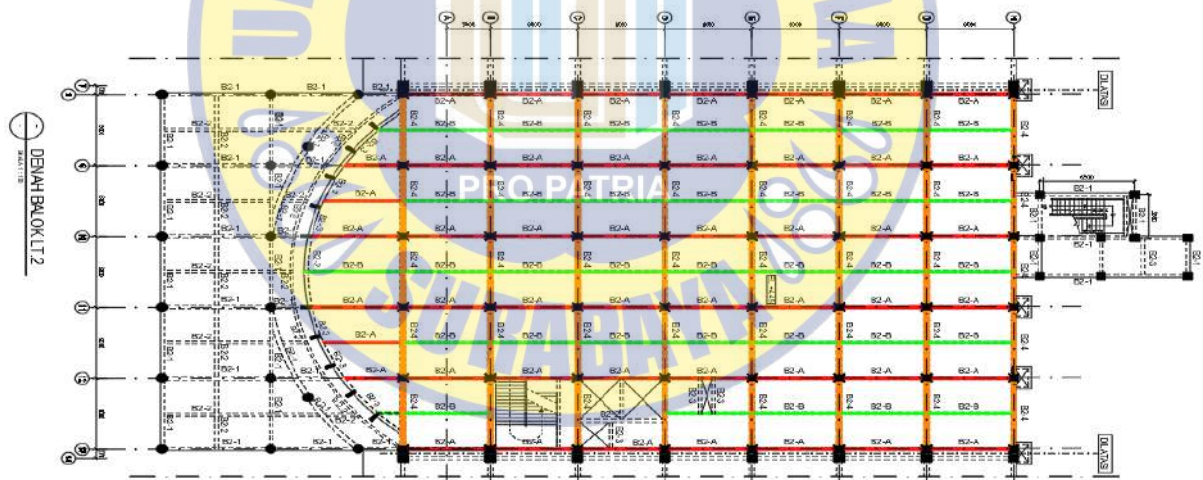
- B3-A: $0 + 48 + 216 + 400 = 664$ titik.
- B3-B: $48 + 224 = 272$ titik.

3. Total Pekerjaan Chemset

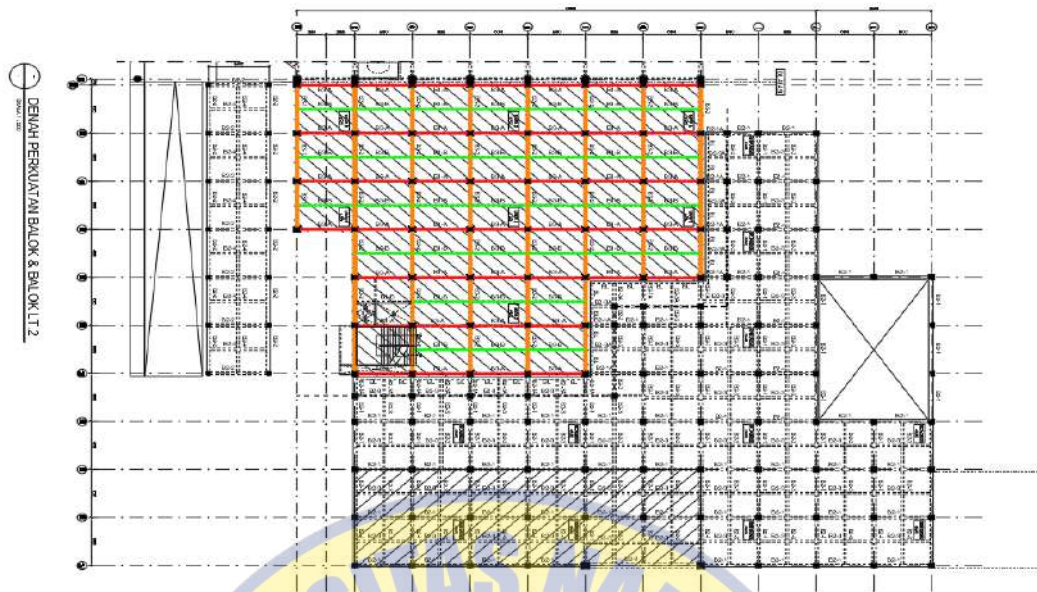
Secara keseluruhan, jumlah total titik Chemset yang digunakan untuk perkuatan balok pada proyek ini mencapai 6.096 titik. Jumlah tersebut tersebar merata pada berbagai zona dan lantai, dengan proporsi terbesar berada pada balok utama (struktur) dan sisanya pada balok anak. Hal ini menunjukkan pendekatan menyeluruh dalam memperkuat elemen struktural bangunan, guna memastikan kestabilan dan kekuatan struktural yang optimal.



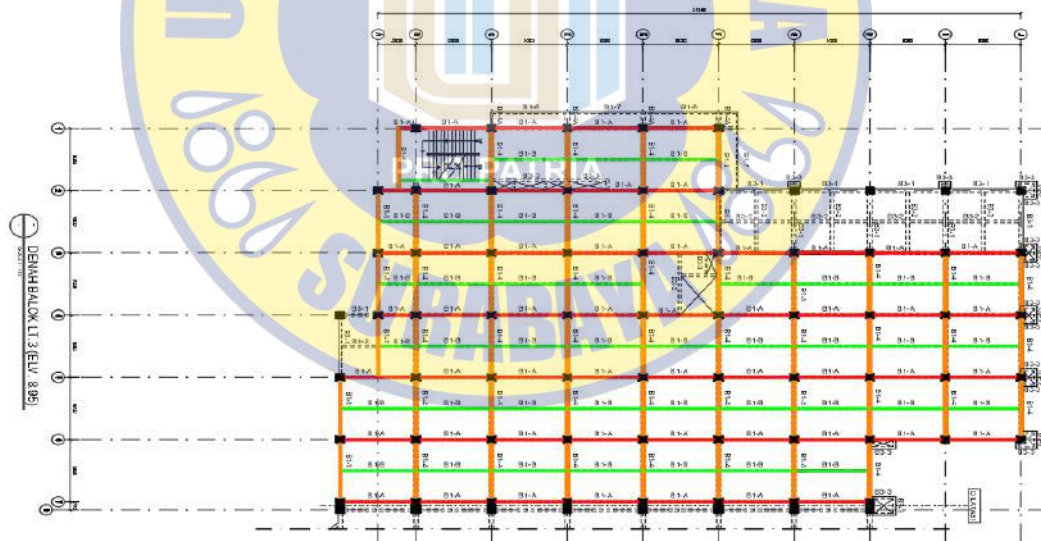
Gambar 4. 30 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 2 A1



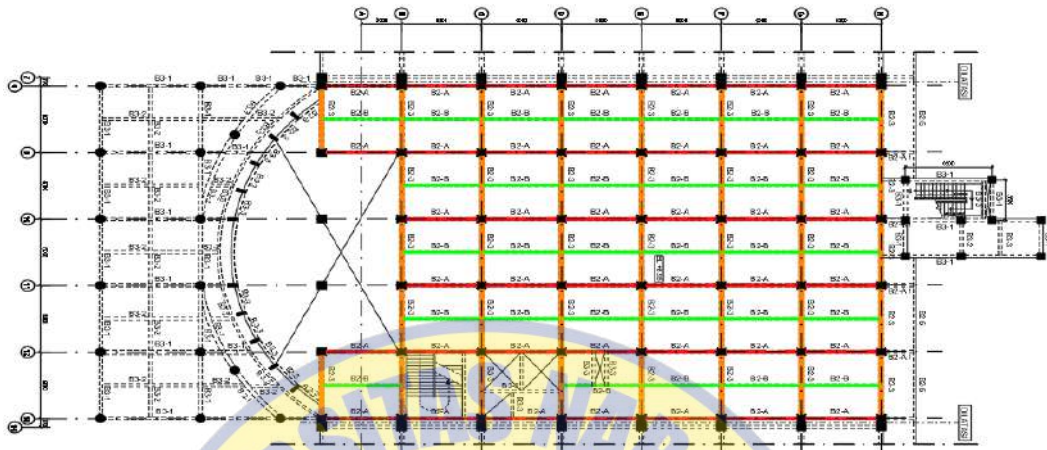
Gambar 4. 31 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 2 A1



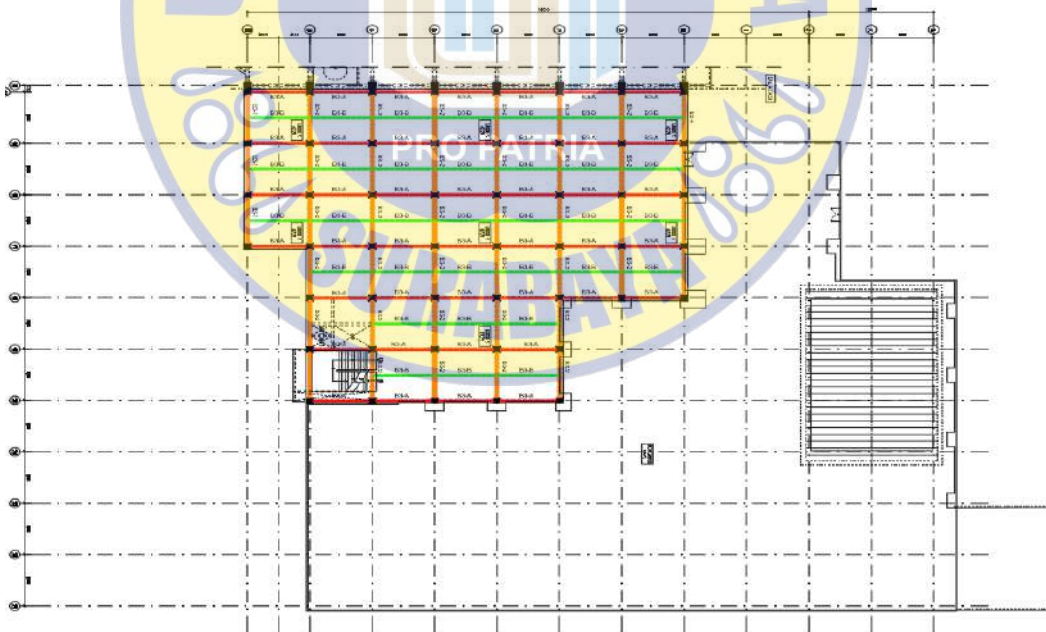
Gambar 4. 32 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 2 A3



Gambar 4. 33 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 3 A1



Gambar 4. 34 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 3 A2



Gambar 4. 35 Mapping Denah Titik Chemset Lantai 3 A3

4.4.2 Analisa harga Satuan

Tabel 4. 12 AHS Bekisting

Bekisting multiplek 12mm , pada Balok (2 x pakai)					213.200
Upah					
Bekisting kayu	M2	1,00	65.000	65.000	
					65.000
Material					
- Pas bekisting tripleks (2x pakai)					
Multipleks 12 mm	Lbr	0,15	270.750	40.613	
Kayu rangka	M3	0,02	2.802.500	56.050	
Paku	Kg	0,30	12.000	3.600	
Minyak moulding	Ltr	0,10	28.500	2.850	
Sudut kayu champerd	m1	1,17	5.000	5.829	
- Pas Ring					
Kayu rangka 5/7 cm	M3	0,01	2.802.500	15.488	
- Pas support / pengaku					
Main Frame	Pcs	0,98	5.000	4.900	
Cross brace	Pcs	0,98	3.400	3.332	
Jack Base	Pcs	0,98	3.250	3.185	
U head	Pcs	0,98	3.250	3.185	
Join Pin	Pcs	0,98	1.150	1.127	
Kayu rangka	M3	0,00	2.802.500	2.581	
Besi begel	Kg	0,50	10.900	5.450	
					148.189

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pada pekerjaan perkuatan struktur beton, khususnya pada elemen balok, bekisting menjadi bagian penting dalam membentuk dan menahan beton segar hingga proses pengerasan tercapai. Tabel di atas merupakan analisis harga satuan pekerjaan bekisting balok dengan menggunakan multipleks 12 mm, yang diasumsikan dapat digunakan dua kali pakai untuk efisiensi material.

a. Biaya Upah Pekerjaan Bekisting

Biaya upah yang dibutuhkan untuk memasang bekisting kayu ditetapkan sebesar Rp. 65.000,00 per meter persegi, yang mencerminkan aktivitas tenaga kerja dalam menyusun dan merakit bekisting secara manual. Ini termasuk pekerjaan penyesuaian,

penyambungan, dan pemasangan pada lokasi kerja. Total biaya upah untuk satuan pekerjaan ini adalah Rp. 65.000,00 per m².

b. Biaya Material Pekerjaan Bekisting

Komponen material disusun secara rinci sesuai dengan elemen penyusun bekisting, sebagai berikut:

- Multipleks 12 mm: Digunakan sebesar 0,15 lembar per m² (dua kali pakai), dengan harga satuan Rp. 270.750,00, menghasilkan biaya Rp. 40.613,00.
- Kayu rangka: Dibutuhkan sebanyak 0,02 m³ untuk membentuk struktur rangka bekisting, dengan harga Rp. 2.802.500,00/m³, sehingga total biayanya adalah Rp. 56.050,00.
- Paku: Digunakan sebanyak 0,30 kg, dengan harga Rp.12.000,00/kg, menghasilkan biaya Rp. 3.600,00.
- Minyak moulding: Digunakan untuk melapisi permukaan multipleks agar beton tidak lengket saat pembongkaran. Diperlukan 0,10 liter per m², dengan harga Rp. 28.500,00/liter, sehingga biayanya Rp. 2.850,00.
- Sudut kayu chamfered: Digunakan pada sudut pertemuan bekisting agar hasil beton tidak tajam dan lebih aman. Biayanya adalah Rp. 5.829,00 untuk kebutuhan 1,17 meter.

c. Komponen Tambahan: Ring dan Support

Untuk memperkuat struktur bekisting, digunakan beberapa elemen tambahan:

- Ring atau penjepit: Menggunakan tambahan kayu rangka 5/7 cm sebesar 0,01 m³, dengan biaya Rp. 15.488,00.
- Support/Pengaku: Terdiri dari komponen utama scaffolding seperti Main Frame, Cross Brace, Jack Base, U Head, dan Join Pin—masing-masing sebanyak 0,98 unit, dengan biaya total gabungan sekitar Rp. 15.729,00.
- Tambahan pengaku kayu rangka sebesar 0,00 m³ (dibulatkan untuk pembulatan perhitungan) dan besi begel 0,50 kg sebagai elemen pengaku sudut dengan biaya Rp. 5.450,00.

d. Total Biaya

Total keseluruhan biaya material yang dibutuhkan untuk pekerjaan bekisting per m² balok adalah sebesar Rp. 148.189,00, ditambah biaya upah sebesar Rp. 65.000,00, sehingga jumlah totalnya menjadi ± Rp. 213.200,00 per m².

Tabel 4. 13 AHS Pembesian

PEKERJAAN BESI					
Pembesian pada :					16.710
Upah					
Pas besi	Kg	1,00	2.000	2.000	
Transport	kg	1,00	1.040	1.036	
					3.036
Material					
-. Pembesian					
Besi beton	Kg	1,05	11.800	12.390	
Kawat beton	Kg	0,02	24.000	480	
Bar Bending	Hr	0,00	300.000	150	
Bar Cutter	Hr	0,00	300.000	150	
Alat bantu	ls	1,00	500	500	
					13.670

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan pembesian merupakan salah satu bagian penting dalam pelaksanaan struktur beton bertulang, baik pada proyek baru maupun dalam pekerjaan perkuatan seperti metode jacketing. Analisis harga satuan pembesian di atas menggambarkan total kebutuhan biaya untuk memasang tulangan baja lengkap dengan komponen pendukungnya per kilogram besi terpasang.

a. Biaya Upah Pekerjaan Pembesian

Pekerjaan pemasangan besi beton mencakup pemotongan, pembengkokan, perakitan di lapangan, dan penempatan sesuai gambar kerja. Berdasarkan analisis, biaya upah pemasangan besi ditetapkan sebesar Rp. 2.000,00 per kilogram, yang mencerminkan

tingkat keahlian dan ketelitian yang dibutuhkan dalam memastikan penempatan tulangan yang benar.

Selain itu, terdapat komponen transportasi material besi dalam area proyek, seperti pemindahan dari lokasi penyimpanan ke area kerja, yang dihitung sebesar Rp. 1.036,00 per kilogram, menghasilkan total biaya upah dan transportasi sebesar Rp. 3.036,00 per kilogram besi terpasang.

b. Biaya Material Pekerjaan Pembesian

Material utama dan pendukung dalam pekerjaan pembesian meliputi :

- Kawat beton (bendrat): Digunakan sebagai pengikat antar batang besi, dengan kebutuhan 0,02 kg per kg besi, seharga Rp. 24.000,00/kg, menghasilkan Rp. 480,00.
- Bar bending dan bar cutter: Merupakan alat bantu pemotongan dan pembengkokan tulangan. Walaupun dihitung dalam jumlah kecil (proporsional berdasarkan waktu pemakaian harian), masing-masing dikenakan biaya Rp. 150,00, sebagai bagian dari distribusi biaya sewa alat per kg besi yang dikerjakan.
- Alat bantu lainnya (seperti tang, palu besi, kawat pengikat cadangan, dan alat ukur): Dibebankan sebesar Rp. 500,00 per kilogram, sebagai biaya lump sum kebutuhan harian operasional tukang besi.

Dengan demikian, total biaya material yang diperlukan untuk pekerjaan pembesian per kilogram adalah sebesar Rp. 13.670,00

c. Total Biaya Pembesian

Gabungan antara biaya upah dan material menghasilkan total biaya pekerjaan pembesian sebesar:

Upah dan transport	= Rp.3.036,00
Material dan alat bantu	= Rp.13.670,00
Total	= Rp.16.710,00 perkg besi terpasang

Tabel 4. 14 AHS Grouting

Grouting					
Grouting pada :					16.231.360
Upah					
Aplikasi	m3	1,00	125.500	125.500	
Langsir	zak	69,00	500	34.500	
			-	-	
					160.000
Material					
-. Grouting					
Fosroc	Zak	69,00	232.918	16.071.353	
					16.071.353

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan grouting merupakan proses penting dalam sistem perkuatan struktur beton, yang bertujuan mengisi celah atau rongga antara struktur lama dan elemen perkuatan baru. Grouting juga berfungsi untuk meningkatkan kapasitas ikatan serta memastikan tidak adanya rongga yang dapat melemahkan sistem struktural. Tabel di atas menyajikan analisis harga satuan pekerjaan grouting berdasarkan satuan volume dan kebutuhan bahan, baik dari aspek tenaga kerja maupun material.

a. Biaya Upah Pekerjaan Grouting

Pekerjaan grouting dilakukan dengan tenaga kerja terampil yang mampu mengaplikasikan material grouting secara merata dan sesuai prosedur. Berdasarkan analisis, upah tenaga kerja untuk aplikasi grouting ditetapkan sebesar Rp. 125.500,00 per meter kubik. Selain itu, terdapat biaya langsir (pemindahan manual) material grouting (fosroc) dari tempat penyimpanan ke area kerja, yang dihitung Rp. 500,00 per zak untuk total 69 zak, menghasilkan biaya Rp. 34.500,00. Dengan demikian, total upah untuk pekerjaan grouting ini adalah sebesar Rp. 160.000,00.

b. Biaya Material Pekerjaan Grouting

Material utama yang digunakan adalah grout eks. Fosroc, yang merupakan produk grouting siap pakai berbasis non-shrink, diformulasikan untuk aplikasi struktural. Berdasarkan perhitungan kebutuhan volume, diperlukan 69 zak grouting, masing-masing seharga Rp. 232.918,00, sehingga total biaya material mencapai Rp. 16.071.353,00. Penggunaan produk bermerek seperti Fosroc menunjukkan upaya menjamin kualitas mutu produk grouting, terutama dalam hal kerapatan, kekuatan awal dan akhir, serta ketahanan terhadap retak dan perubahan volume.

c. Total Biaya Pekerjaan Grouting

Dengan mempertimbangkan biaya upah dan material, total keseluruhan biaya pekerjaan grouting adalah:

Upah Grouting (Aplikasi + Langsir) = Rp. 160.000,00

Material Grouting (Fosroc) = Rp. 16.071.353,0

Total Biaya = Rp. 16.231.360,00

Tabel 4. 15 AHS Chipping

Chipping					
Chipping pada :					195.500
Upah					
Chipping	M2	1,00	50.000	50.000	
Perancah Pasang	m2	0,85	15.000	12.750	
Perancah Bongkar	m2	0,85	15.000	12.750	
					75.500
Material					
- Chipping					
Gerinda	m2	0,72	50.000	36.000	
Jackdrill	m2	0,70	120.000	84.000	
					120.000

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan chipping merupakan tahap awal yang penting dalam proses perkuatan struktur beton, terutama untuk metode seperti jacketing, penggantian beton rusak, atau penambalan area retak. Chipping

bertujuan untuk mengupas permukaan beton lama hingga mencapai bagian yang padat dan bersih, sehingga ikatan antara beton lama dan tambahan struktur baru dapat terjadi secara optimal.

Tabel 4.15 menyajikan rincian analisis harga satuan pekerjaan chipping, yang terdiri dari komponen upah dan material/peralatan, dengan satuan per meter persegi pekerjaan (m^2).

a. Biaya Upah Pekerjaan Chipping

Upah tenaga kerja untuk pelaksanaan chipping dihitung sebesar Rp. 50.000,00 per meter persegi, yang mencerminkan biaya untuk tenaga kerja yang melakukan pemotongan, pengupasan, dan pembersihan permukaan beton secara manual maupun dengan alat bantu.

Selain itu, karena pekerjaan chipping biasanya dilakukan pada ketinggian atau di area yang sulit dijangkau, diperlukan perancah kerja (scaffolding). Biaya pemasangan dan pembongkaran perancah masing-masing dihitung sebesar Rp. 12.750,00 (berdasarkan kebutuhan 0,85 m^2 per m^2 pekerjaan chipping).

Dengan demikian, total biaya upah mencapai Rp. 75.500,00 per m^2 .

b. Biaya Material dan Peralatan

Meskipun tidak menggunakan material konsumtif, pekerjaan chipping memerlukan penggunaan alat berat dan alat bantu yang dihitung sebagai komponen biaya peralatan per m^2 pekerjaan:

- Gerinda (angle grinder): Digunakan untuk menghaluskan dan membuka permukaan beton. Kebutuhan alat diasumsikan sebesar 0,72 unit per m^2 , dengan biaya Rp. 50.000,00, menghasilkan total Rp. 36.000,00.
- Jackdrill (pneumatic hammer): Digunakan untuk memecah beton keras secara efisien. Dengan kebutuhan 0,70 unit per m^2 , dan biaya Rp. 120.000,00 per unit, maka total biaya per m^2 adalah Rp. 84.000,00.

- Total biaya penggunaan peralatan untuk pekerjaan chipping adalah Rp. 120.000,00 per m².
- c. Total Biaya Pekerjaan Chipping
- Gabungan antara upah dan penggunaan alat menghasilkan total biaya pekerjaan chipping sebagai berikut:
- Upah Total = Rp. 75.500,00
- Material/Peralatan = Rp. 120.000,00
- Total Biaya Chipping = Rp. 195.500,00perm2

Tabel 4. 16 AHS Chipping

Chemset M19					
Chemset pada :					203.720
Upah					
Bor	M2	1,00	20.000	20.000	
Pemasangan besi dan Chemical	m2	1,00	3.719	3.719	
					23.719
Material					
- Cchemset					
Chemical anchor B7 M16x400 Thread rod+FIS VT M16 – 320 mm	titik	1,00	180.000	180.000	
					180.000

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan chemical anchoring atau yang sering disebut sebagai chemset merupakan metode penyambungan tulangan baru dengan struktur beton eksisting menggunakan sistem perekat berbasis kimia. Metode ini umumnya digunakan dalam pekerjaan perkuatan struktural, seperti jacketing, atau penambahan elemen struktural seperti balok dan kolom pada gedung eksisting.

Tabel 4.16 menyajikan analisis harga satuan pekerjaan chemset menggunakan sistem anchor B7 M16x400 dan resin FIS VT M16 –

320 mm, yang menggabungkan komponen upah tenaga kerja dan material per titik pemasangan.

a. Biaya Upah Pekerjaan Chemset

Pekerjaan chemset membutuhkan keahlian khusus karena prosesnya melibatkan pengeboran struktur beton eksisting, pembersihan lubang bor, pencampuran resin kimia, dan pemasangan anchor thread rod secara presisi.

Berdasarkan table :

Upah pengeboran beton ditetapkan sebesar Rp. 20.000,00 per titik.

Biaya pemasangan tulangan dan injeksi resin kimia menggunakan threaded rod M16 dihitung sebesar Rp. 3.719,00 per titik.

Total biaya upah pekerjaan chemset adalah sebesar Rp. 23.719,00 per titik.

b. Biaya Material Chemset

Material utama yang digunakan adalah paket sistem chemical anchor yang terdiri dari:

- Thread rod B7 M16x400: batang baja berulir yang ditanamkan dalam struktur.
- Resin kimia FIS VT M16 – 320 mm: adhesive berbasis vinilester atau epoxy yang berfungsi sebagai perekat kuat antara beton dan baja.

Satu titik chemset memerlukan kombinasi paket di atas dengan harga sebesar Rp180.000,00 per titik.

a. Total Biaya Pekerjaan Chemset

Berdasarkan komponen upah dan material, total biaya pekerjaan chemset per titik adalah sebagai berikut:

Upah Total	=	Rp. 23.719,00
Material Chemset	=	Rp. 180.000,00
Total Biaya per Titik	=	Rp. 203.720,00

4.4.3 Menghitung Biaya pelaksanaan Jacketing

Tabel 4. 17 Perhitungan Biaya Pelaksanaan Jacketing

Biaya Keseluruhan Jacketing					
No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Perancah	12.746,52	m2	Rp 30.000,00	Rp 382.395.600,00
2	Chipping Balok	4.168,32	m2	Rp 195.500,00	Rp 814.906.356,68
3	Chipping Plat	1.184,73	m2	Rp 195.500,00	Rp 231.614.558,60
4	Chemset	6.096,00	titik	Rp 203.720,00	Rp 1.241.877.120,00
5	Pembesian Tulangan Utama	53.578,64	kg	Rp 16.710,00	Rp 895.299.081,08
6	Pembesian Tulangan Sengkang	51.195,83	kg	Rp 16.710,00	Rp 855.482.375,00
7	Bekisting	7.693,85	m2	Rp 213.200,00	Rp 1.640.329.178,18
8	Bonding Agent Nitrobond	5.353,05	m2	Rp 36.370,00	Rp 194.690.361,58
10	Grouting	267,65	m3	Rp 16.231.360,00	Rp 4.344.362.589,11
Jumlah Harga					Rp10.600.957.220,23

(Sumber : Olahan peneliti, 2025)

Pekerjaan jacketing beton merupakan salah satu metode paling umum dan efektif dalam memperkuat elemen struktur eksisting seperti kolom, balok, dan pelat. Proses ini dilakukan dengan melapisi elemen lama dengan selimut beton baru yang dilengkapi tulangan tambahan dan dikombinasikan dengan sistem pengikat seperti chemical anchor dan bonding agent. Tabel berikut menyajikan analisis menyeluruh mengenai biaya keseluruhan dari pekerjaan jacketing pada sebuah proyek struktur beton. Sedangkan untuk rincian item pekerjaan adalah sebagai berikut :

1. Perancah (Scaffolding) – Rp382.395.600,00

Pekerjaan perancah dibutuhkan untuk akses kerja vertikal pada seluruh area struktur yang diperkuat. Dengan total area 12.746,52 m², biaya dihitung berdasarkan harga satuan Rp30.000,00/m².

2. Chipping Balok – Rp814.906.356,68

Chipping permukaan balok diperlukan untuk menghilangkan beton lama yang tidak layak dan membuka permukaan agar bonding

lebih baik. Volume pekerjaan sebesar 4.168,32 m² dengan harga satuan Rp195.500,00/m².

3. Chipping Plat – Rp231.614.558,60
Sama seperti pada balok, chipping pada pelat dilakukan untuk memastikan permukaan siap menerima bahan bonding dan beton baru. Volume pekerjaan sebesar 1.184,73 m².
4. Chemical Anchor (Chemset) – Rp1.241.877.120,00
Chemical anchor atau chemset sebanyak 6.096 titik dipasang untuk mengikat tulangan baru ke beton lama. Setiap titik dihargai Rp203.720,00 mencakup bor, pemasangan, dan bahan resin.
5. Pembesian Tulangan Utama – Rp895.299.081,08
Tulangan utama (longitudinal) sebesar 53.578,64 kg dipasang dengan harga satuan Rp16.710,00/kg, mencakup upah, transportasi, dan material.
6. Pembesian Tulangan Sengkang – Rp855.482.375,00
Tulangan sengkang (hoop ties) atau pengikat transversal sebesar 51.195,83 kg, dihitung dengan harga satuan yang sama dengan tulangan utama.
7. Bekisting – Rp1.640.329.178,18
Bekisting dibutuhkan untuk membentuk elemen beton baru selama pengecoran. Volume pekerjaan mencapai 7.693,85 m², dengan asumsi penggunaan multiplek dua kali pakai dan biaya satuan Rp213.200,00/m².
8. Bonding Agent – Rp194.690.361,58
Bonding agent (seperti Nitrobond) digunakan untuk memastikan adhesi antara beton lama dan beton baru. Pengaplikasian dilakukan pada 5.353,05 m² permukaan, dengan harga satuan Rp36.370,00/m².
9. Grouting – Rp4.344.362.589,11
Pekerjaan grouting dilakukan pada rongga antara selimut beton baru dan struktur lama untuk mengisi kekosongan dan meningkatkan integritas struktural. Dengan volume 267,65 m³, dan

harga satuan Rp16.231.360,00/m³, grouting merupakan komponen biaya terbesar dari seluruh item pekerjaan.

10. Total Biaya Pekerjaan Jacketing Rp10.600.957.220,23

Nilai ini mencakup seluruh pekerjaan utama yang dibutuhkan untuk pelaksanaan metode jacketing struktural, mulai dari pekerjaan persiapan (scaffolding dan chipping), sistem pengikat (chemset dan bonding), hingga elemen struktural utama (pembesian, bekisting, dan grouting).

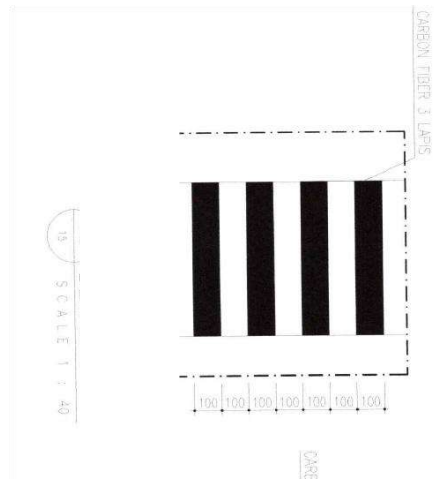
4.4.4 Analisa Biaya Carbon Fiber Reinforced Polimer

Pada proyek ini penggunaan FRP dirasa akan sangat mahal dan bahan material harus import maka di lakukan Value Engineering (VE) dalam konteks penggunaan FRP (Fiber Reinforced Polymer) pada perkuatan struktur dapat dilakukan dengan pendekatan segmentasi area (10 cm FRP dan 10 cm kosong secara berselang-seling), yang tujuannya adalah mengoptimalkan kinerja struktural sambil menekan biaya. Pendekatan ini umum disebut juga dengan istilah intermittent wrapping atau strip wrapping.

Metode ini menggunakan pola pemasangan FRP secara tidak kontinu (diskrit), misalnya:

- a. 10 cm lebar FRP
- b. 10 cm kosong (tanpa FRP)
- c. Diulang sepanjang elemen struktur (misalnya pada balok)
- d. Mengurangi volume material FRP hingga 50% tanpa mengorbankan signifikan kekuatan struktur.
- e. Mengurangi biaya total pemasangan FRP (material + tenaga kerja).
- f. Menghemat waktu pemasangan.

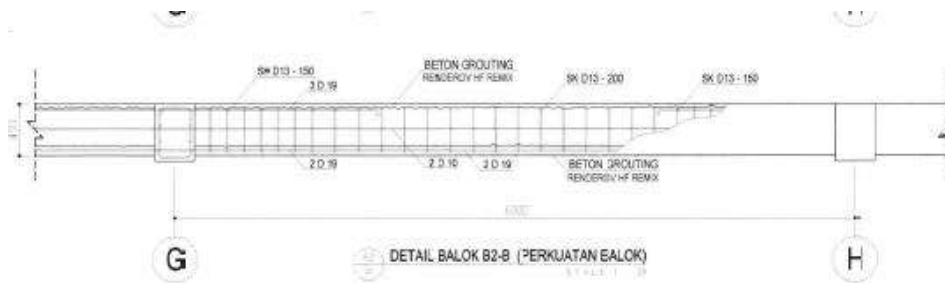
Berikut adalah contoh pelaksanaan pada Proyek RSUPT Papua.



Gambar 4. 36 Detil Rencana Perkuatan Balok Dengan CFRP



Gambar 4. 37 Rencana Perkuatan Balok dengan CFRP setelah Proses VE



Gambar 4. 38 Rencana Perkuatan Balok dengan CFRP setelah Proses VE

1. Rincian Harga Material

Tabel 4. 18 Daftar Harga Material

No	Material	Sat	Harga Sat
A	CFRP		
1	Carbon Fiber	m ²	1.500.915,00
2	Nitowrap Primer ex. Fosroc	Kg	55.456,29
3	Nitowrap Encapsulation Resin	Kg	521.896,38

Sumber : Data olahan Penulis, 2025

Penggunaan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) sebagai metode perkuatan struktur beton telah menjadi alternatif modern yang banyak diterapkan karena keunggulannya dalam hal kekuatan tinggi, ringan, ketahanan terhadap korosi, dan kemudahan instalasi. Tabel berikut menyajikan daftar harga satuan material utama yang digunakan dalam sistem perkuatan CFRP berbasis produk dari Fosroc.

1. Carbon Fiber – Rp1.500.915,00/m²

Material utama yang digunakan adalah lembaran atau kain serat karbon (carbon fiber) yang diaplikasikan langsung ke permukaan beton struktur eksisting. Serat karbon ini memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, ringan, dan tahan terhadap korosi, menjadikannya ideal untuk perkuatan lentur dan geser pada elemen seperti balok dan kolom. Harga yang tercantum adalah per meter persegi material.

2. Nitowrap Primer ex. Fosroc – Rp55.456,29/kg

Sebelum pemasangan lembaran CFRP, permukaan beton harus dipersiapkan dan dilapisi dengan primer untuk meningkatkan daya rekat resin terhadap beton. Produk Nitowrap Primer dari Fosroc digunakan sebagai lapisan dasar untuk menciptakan ikatan yang kuat antara substrat beton dan sistem resin. Harga satuan dihitung per kilogram material.

3. Nitowrap Encapsulation Resin – Rp521.896,38/kg

Resin ini berfungsi sebagai bahan pengikat antara lapisan serat karbon dan substrat beton, serta sebagai pelindung akhir (encapsulation) agar sistem CFRP tahan terhadap pengaruh

lingkungan. Produk Nitowrap Resin memiliki viskositas, waktu kerja, dan daya rekat yang tinggi. Harga satuan yang tinggi menunjukkan sifat spesialis dari resin berbasis epoxy ini, yang dirancang khusus untuk aplikasi struktural.

Tabel 4. 19 Daftar Harga Upah

No	Upah	Sat	Harga Sat
A	CFRP		
1	Carbon Fiber	m ²	388.572,19
2	Nitowrap Primer ex. Fosroc	Kg	129.524,06
3	Nitowrap Encapsulation Resin	Kg	518.096,25

Sumber : Data olahan Penulis, 2025

Metode **CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)** merupakan teknik perkuatan struktural yang memerlukan keahlian khusus dalam pemasangan karena sifat materialnya yang sensitif terhadap kondisi lingkungan, tahapan aplikasi yang presisi, dan pentingnya kontrol kualitas selama proses pelaksanaan. Tabel berikut menyajikan daftar biaya upah tenaga kerja untuk setiap tahapan penting dalam sistem CFRP, berdasarkan satuan volume material yang digunakan.

2. Rincian Harga Upah Tenaga Kerja Pemasangan CFRP

a. Carbon Fiber – Rp388.572,19/m²

Biaya ini mencakup seluruh proses pelaksanaan utama pemasangan lembaran CFRP, seperti persiapan permukaan (grinding dan pembersihan), aplikasi resin, penekanan lembaran secara manual, finishing, serta pengawasan mutu pemasangan. Upah ini diberikan per meter persegi serat karbon yang terpasang dan mencerminkan tingginya keterampilan teknis yang dibutuhkan.

b. Nitowrap Primer ex. Fosroc – Rp129.524,06/kg

Upah ini mencerminkan biaya kerja teknis untuk pengaplikasian primer berbasis epoxy ke permukaan beton sebelum pemasangan CFRP. Tahap ini penting karena kualitas daya lekat sistem CFRP sangat bergantung pada penyiapan substrat dan keseragaman lapisan

primer. Harga per kilogram mencerminkan waktu kerja, peralatan khusus, dan pengendalian kondisi aplikasi (kelembapan, suhu).

c. Nitowrap Encapsulation Resin – Rp518.096,25/kg

Biaya ini merupakan upah untuk aplikasi resin sebagai media perekat utama antara lapisan serat karbon dan permukaan beton, serta sebagai lapisan pelindung akhir (encapsulation). Proses ini membutuhkan ketelitian tinggi dalam pengadukan dua komponen resin, pengontrolan waktu kerja terbatas (pot life), dan perataan resin agar tidak terjadi kegagalan ikatan. Harga upah per kilogram ini menunjukkan sifat kerja yang spesialis dan memerlukan pekerja berpengalaman.

Tabel 4. 20 Perhitungan Volume Pekerjaan

Jenis Balok	Existing			QTY	Vol FRP
	P	L	T		M2
	m'	m'	m'		
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	6,57
	6,00	0,35	0,50	49,00	214,62
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	4,32
	6,00	0,20	0,40	38,00	109,44
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	18,90
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	0,35	0,50	42,00	158,76
				2,00	4,70
				2,00	6,70
				2,00	7,51
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	0,20	0,40	1,00	3,18
	1,63	0,20	0,40	2,00	1,57
	6,00	0,20	0,40	33,00	95,04
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	40,00	175,20
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	158,76
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	95,04
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	11,34
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	166,44

Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	0,35	0,50	3,00	6,57
	6,00	0,35	0,50	56,00	245,28
	1,42	0,35	0,50	1,00	1,04
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	0,20	0,40	3,00	4,32
	6,00	0,20	0,40	38,00	109,44
	7,42	0,20	0,40	1,00	3,56
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	0,25	0,50	5,00	18,90
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	0,35	0,50	44,00	192,72
Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	0,25	0,50	40,00	151,20
	4,16	0,25	0,50	2,00	5,24
	5,60	0,25	0,50	2,00	7,06
				2,00	8,06
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	0,20	0,40	30,00	86,40
	6,68	0,20	0,40	1,00	3,21
	1,87	0,20	0,40	2,00	1,80
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	0,35	0,50	37,00	162,06
Lantai 3 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	0,25	0,50	42,00	158,76
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	0,20	0,40	33,00	95,04
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	0,25	0,50	3,00	11,34
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	0,35	0,50	38,00	166,44
Jumlah					2.676,52

Sumber : Data olahan Penulis, 2025

Dari table diatas maka dapat disimpulkan bawag volume pekerjaan CRFP 2.676,52. Akan tetapi Dengan adanya VE sehingga Volume di setiap jenis balok akan berkurang setengah atau 50 %, sehingga akan menghemat biaya dan waktu pelaksanaan semakin cepat

Dalam pola 10 FRP–10 kosong maka simulasi perhitungan adalah sebagai berikut :

1. PERHITUNGAN FRP SEBELUM VE (PEMASANGAN PENUH)
 - a. Misalkan Panjang balok: 6 m = 600 cm
 - b. Panjang FRP yang dibutuhkan (full wrapping) :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas FRP} &= 600 \text{ cm (panjang)} \times 10 \text{ cm (lebar)} \\
 &= 6000 \text{ cm}^2 \\
 &= 0,6 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. PERHITUNGAN SETELAH VE (10 cm FRP – 10 cm kosong)

a. Pola: Setiap 20 cm, hanya 10 cm yang memakai FRP → berarti hanya 50% coverage

b. Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas FRP setelah VE} &= 6000 \text{ cm}^2 \times 50\% \\
 &= 3000 \text{ cm}^2 \\
 &= 0,30 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 21 Voleme Item FRP

No	Item	Vol	Sat
1	Carbon Fiber	2.676,52	m2
2	Nitowrap Primer ex. Fosroc	2.676,52	m2
3	Nitowrap Encapsulation Resin	2.676,52	m2
4	Perancah	1.274,65	m2

Sumber : Data olahan Penulis, 2025

Data di atas di dapat dr hasil olah penulis yang di ambil dr data-data proyek sehingga harga tersebut sesuai dengan pelaksanaan .

3. Analisa Harga Satuan

Tabel 4. 22 Analisa Harga Carbon Fiber

CFRP					
CFRP					3.716.150
Upah					
Carbon Fiber	oh	1,00	388.572,19	388.572	
Nitowrap Primer ex. Fosroc	oh	1,00	129.524,06	129.524	
Nitowrap Encapsulation Resin	oh	1,00	518.096,25	518.096	
					1.036.193
Material					
-. CFRP					
Carbon Fiber	m ²	1,00	1.500.915	1.500.915	
Nitowrap Primer ex. Fosroc	Kg	0,30	55.456	16.637	
Nitowrap Encapsulation Resin	Kg	0,75	521.896	391.422	
Gerinda	hrs	2,00	161.250	322.500	
Mixer drill	hrs	1,50	241.875	362.813	
peralatan bantu lainnya	ls	1,00	85.664	85.664	
					2.679.951

Pemasangan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) sebagai metode perkuatan struktur beton memerlukan kombinasi antara material berteknologi tinggi dan tenaga kerja ahli. Tabel 4.21 menyajikan analisa harga satuan pekerjaan CFRP secara rinci, yang mencakup biaya upah tenaga kerja, material utama, serta alat bantu yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan.

4. Biaya Upah Tenaga Kerja – Rp1.036.193,00

Biaya tenaga kerja dihitung berdasarkan output harian (oh) dari setiap tahapan penting dalam aplikasi sistem CFRP:

1. Pemasangan Carbon Fiber – Rp388.572,19/oh

Mencakup pekerjaan pengukuran, pemotongan, penempelan lembaran carbon fiber, dan penghalusan permukaan.

2. Aplikasi Nitowrap Primer – Rp129.524,06/oh

Meliputi proses pelapisan awal untuk meningkatkan adhesi resin terhadap substrat beton.

3. Aplikasi Resin Nitowrap Encapsulation – Rp518.096,25/oh

Melibatkan pencampuran, penyebaran resin secara merata di atas fiber, dan finishing permukaan.

Total upah pekerja untuk keseluruhan proses adalah sebesar Rp1.036.193,00 per meter persegi pekerjaan CFRP.

5. Biaya Material – Rp2.679.951,00

Komponen material terdiri dari:

1. Carbon Fiber Sheet – Rp1.500.915,00/m²

Sebagai elemen utama sistem CFRP yang memberikan kekuatan tarik tinggi terhadap struktur.

2. Nitowrap Primer – Rp16.637,00 (0,30 kg x Rp55.456/kg)

Digunakan untuk pelapisan awal beton.

3. Nitowrap Encapsulation Resin – Rp391.422,00 (0,75 kg x Rp521.896/kg)

Sebagai resin pengikat utama dan pelapis akhir.

4. Gerinda – Rp322.500,00 (2 jam x Rp161.250/jam)

Digunakan untuk penghalusan permukaan beton sebelum aplikasi.

5. Mixer Drill – Rp362.813,00 (1,5 jam x Rp241.875/jam)

Untuk pencampuran komponen resin agar homogen dan reaktif secara optimal.

6. Peralatan Bantu – Rp85.664,00

Merupakan perkakas tambahan seperti kuas, rol, pelindung pekerja, dan alat ukur.

6. Total Biaya Satuan Pekerjaan CFRP – Rp3.716.150,00/m²

Dengan total biaya upah dan material sebesar:

Upah : Rp1.036.193,00

Material & Alat : Rp2.679.951,00

Total : Rp3.716.150,00/m²

Nilai ini merepresentasikan total biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan 1 meter persegi pekerjaan CFRP dengan kualitas material dan standar kerja tinggi.

4.4.5 Menghitung Biaya pelaksanaan

Tabel 4. 23 Rincian Item Pekerjaan

FRP					
No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Perancah	1.274,65	m ²	Rp 30.000,00	Rp 38.239.560,00
2	Carbon Fiber	2.676,52	m ²	Rp 2.146.480,00	Rp 5.745.105.407,24
3	Nitowrap Primer ex. Fosroc	2.676,52	m ²	Rp 441.980,00	Rp 1.182.970.112,88
4	Nitowrap Encapsulation Resin	2.676,52	titik	Rp 1.296.990,00	Rp 3.471.424.966,52
Jumlah Harga					Rp10.437.740.046,64

Penggunaan metode **FRP (Fiber Reinforced Polymer)** dalam pekerjaan perkuatan struktur beton merupakan pendekatan modern yang menawarkan kecepatan pelaksanaan, efisiensi struktur, dan keunggulan teknis dalam peningkatan kekuatan tarik serta durabilitas. Tabel ini menyajikan perincian biaya pelaksanaan pekerjaan FRP berdasarkan volume pekerjaan aktual dengan rincian harga satuan dan total biaya.

a. Rincian Item Pekerjaan

1. **Perancah – Rp38.239.560,00 (1.274,65 m² x Rp30.000,00/m²)**

Biaya perancah digunakan untuk mendukung pekerjaan instalasi FRP, termasuk akses vertikal dan keamanan kerja pada elemen struktur yang ditingkatkan. Meskipun biayanya relatif kecil dalam total keseluruhan, item ini tetap vital sebagai prasyarat pelaksanaan lapangan.

2. **Carbon Fiber – Rp5.745.105.407,24 (2.676,52 m² x Rp2.146.480,00/m²)**

Ini merupakan komponen utama pekerjaan FRP, terdiri atas biaya material dan tenaga kerja dalam satuan harga. Nilai ini mendominasi total anggaran (sekitar 55% dari total biaya), menegaskan bahwa **pengadaan dan pemasangan carbon fiber adalah komponen paling signifikan** dalam metode FRP.

3. **Nitowrap Primer ex. Fosroc – Rp1.182.970.112,88 (2.676,52 m² x Rp441.980,00/m²)**

Primer digunakan untuk meningkatkan daya lekat resin terhadap beton. Harga ini mencakup biaya material primer serta tenaga kerja aplikator. Kualitas aplikasi primer sangat memengaruhi keberhasilan sistem FRP secara keseluruhan.

4. **Nitowrap Encapsulation Resin – Rp3.471.424.966,52 (2.676,52 titik x Rp1.296.990,00/titik)**

Resin encapsulation merupakan bagian integral dari sistem CFRP yang berfungsi sebagai perekat dan pelindung akhir. Biaya ini meliputi resin dua komponen, alat bantu pencampur, serta tenaga kerja. Komponen ini menyumbang sekitar 33% dari total biaya, menunjukkan kompleksitas dan keakuratan yang dibutuhkan dalam tahap ini.

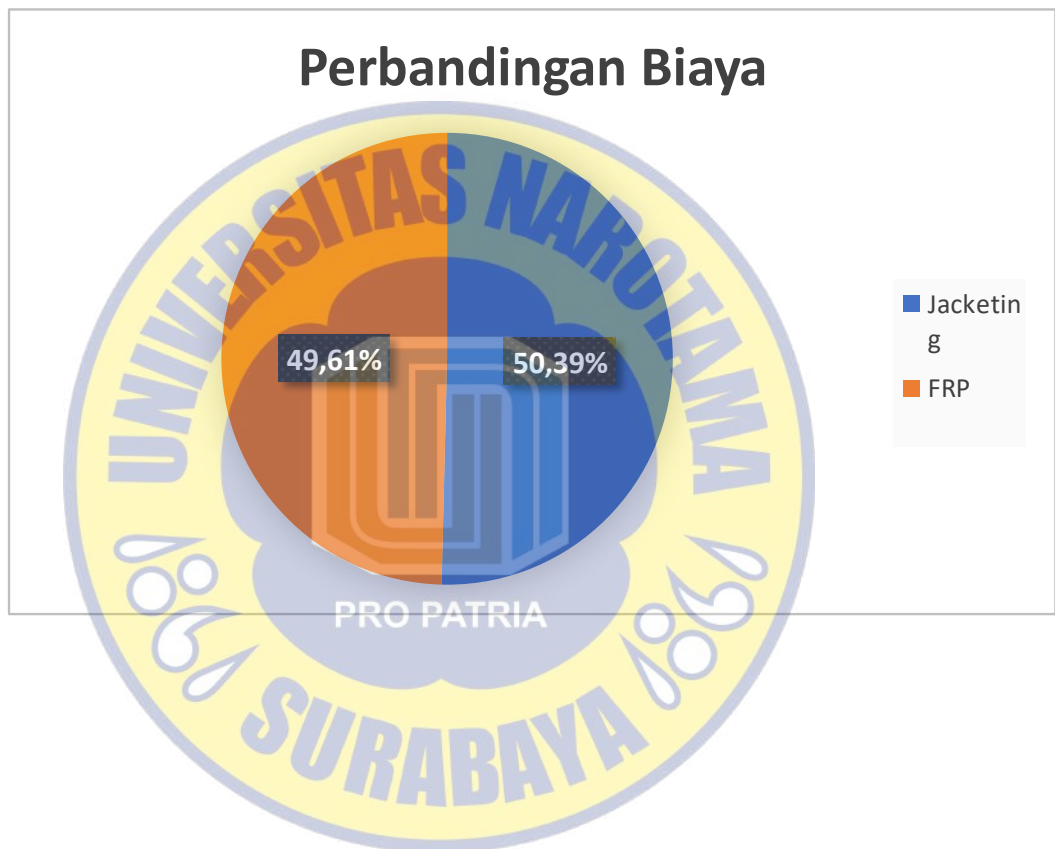
b. **Total Biaya Pelaksanaan – Rp10.437.740.046,64**

Total ini merupakan gabungan dari seluruh elemen pekerjaan FRP, baik dari sisi **material berkualitas tinggi** maupun **tenaga kerja teknis berkeahlian khusus**. Rincian biaya menunjukkan bahwa:

- **Carbon Fiber + Resin** = $\pm 87\%$ dari total biaya
- **Perancah dan Primer** = $\pm 13\%$ dari total biaya

Distribusi ini menggambarkan karakteristik metode FRP yang **berorientasi pada material berperforma tinggi**, bukan volume beton atau pekerjaan fisik besar sebagaimana metode konvensional seperti jacketing.

4.5 Perbandingan Biaya FRP dan Jacketing



4.6 Analisa Perbandingan Waktu Perkuatan Balok

4.6.1 Analisa Waktu FRP

a) Produktivitas Pelaksanaan

Tabel di bawah berisi data perhitungan jam kerja untuk perkuatan berbagai tipe balok beton pada:

- a. Lantai 2 dan Lantai 3
 - b. Zona A1, A2, dan A3
- b) Kolom-Kolom Penjelasan
 - a. Jenis Balok: Menyebutkan jenis perkuatan balok berdasarkan dimensi dan tipe kode (misal B1-A 500/350).
 - b. Rencana (P dan m'): Panjang perkuatan dalam meter (m').
 - c. QTY: Jumlah unit balok yang dikerjakan.
 - d. Jam Kerja:
 1. Menit kerja: Estimasi menit kerja untuk unit tersebut.
 2. Jam kerja: Hasil konversi dari menit kerja ke jam kerja.
 3. Jam/Zona: Total jam kerja yang dijumlahkan untuk zona tertentu.
 4. Minggu: Perkiraan lama pengerjaan dalam minggu (asumsi 112 jam/minggu jika 7 hari \times 8 jam kerja \times 2 (Jika Lembur)).

Tabel 4. 24 Perhitungan Jumlah Jam Kerja dr Pengamatan di Lapangan

Jenis Balok	Rencana		Jam Kerja			
	P	QTY	Menit kerja	Jam kerja	Jam / Zona	Minggu
	m'					
Lantai 2 Zona A1						
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	3,00	221	11,05		
	6,00	49,00	371	302,98		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	3,00	221	11,05		
	6,00	38,00	371	234,97		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	5,00	371	30,92	590,97	5,28
Lantai 2 Zona A2				-		
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	42,00	371	259,70		
	3,73	2,00	256	8,53		
	5,32	2,00	341	11,37		

	5,96	2,00	371	12,37		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	1,00	221	3,68		
	1,63	2,00	221	7,37		
	6,00	33,00	221	121,55		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	40,00	221	147,33	571,90	5,11
Lantai 2 Zona A3				-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	42,00	371	259,70		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	33,00	371	204,05		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	3,00	371	18,55		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	38,00	371	234,97	717,27	6,40
Lantai 3 Zona A1				-		
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	3,00	221	11,05		
	6,00	56,00	371	346,27		
	1,42	1,00	106	1,77		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	3,00	221	11,05		
	6,00	38,00	371	234,97		
	7,42	1,00	441	7,35		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	5,00	371	30,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	44,00	371	272,07	915,43	8,17
Lantai 3 Zona A2						
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	40,00	371	247,33		
	4,16	2,00	276	9,20		
	5,60	2,00	362	12,07		
	6,40	2,00	383	12,77		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	30,00	371	185,50		
	6,68	1,00	406	6,77		
	1,87	2,00	181	6,03		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	37,00	371	228,78	708,45	6,33
Lantai 3 Zona A3				-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	42,00	371	259,70		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	33,00	371	204,05		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	3,00	371	18,55		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	38,00	371	234,97	717,27	6,40
Jumlah			11.940,00	4.221,28	4.221,28	37,69

Berikut di bawah penjelasan dari table di atas :

1. Lantai 2 Zona A1

- a. Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350
 1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 221 tiap balok atau 11,05 jam
 2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 49 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 302,98 jam
- b. Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200
 1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 221 tiap balok atau 11,05 jam
 2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 234,97 jam
- c. Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 5 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 30,92 jam
- d. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A1 adalah **590,97 jam atau 5,28 Minggu**

2. Lantai 2 Zona A2

- a. Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350
 1. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 259,7 jam
 2. Panjang balok 3,73 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 256 tiap balok atau 8,53 jam
 3. Panjang balok 5,32 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 341 tiap balok atau 11,37 jam
 4. Panjang balok 5,96 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 12,37 jam
- b. Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200
 1. Panjang balok 6,63 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 381 tiap balok atau 6,35 jam
 2. Panjang balok 1,63 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 212 tiap balok atau 7,07 jam

3. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 204,5 jam

c. Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 40 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 247,33 jam

d. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A2 adalah **756,77 jam atau 6,76 Minggu**

3. Lantai 2 Zona A3

a. Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 259,7 jam

b. Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 204,05 jam

c. Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 18,55 jam

d. Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 234,97 jam

e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A3 adalah **717,27 jam atau 6,40 Minggu**

4. Lantai 3 Zona A1

a. Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350

1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 221 tiap balok atau 11,05 jam

2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 56 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 346,27 jam

3. Panjang balok 1,42 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 106 tiap balok atau 1,77 jam

- b. Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200
 - 1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 221 tiap balok atau 11,05 jam
 - 2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 234,97 jam
 - 3. Panjang balok 7,42 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 441 tiap balok atau 7,35 jam
- c. Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 5 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 30,92 jam
- d. Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 44 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 272,07 jam
- e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A3 adalah 915,4 **jam atau 8,17 Minggu**

5. Lantai 3 Zona A2

- a. Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250
 - 1. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 40 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 247,33 jam secara keseluruhan
 - 2. Panjang balok 4,16 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 276 Menit tiap balok atau 9,20 jam secara keseluruhan
 - 3. Panjang balok 5,6 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 362 menit tiap balok atau 12,07 jam secara keseluruhan
 - 4. Panjang balok 6,4 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 383 menit tiap balok atau 12,77 jam secara keseluruhan

- b. Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200
 1. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 30 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 185,5 jam secara keseluruhan
 2. Panjang balok 6,68 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 406 Menit tiap balok atau 6,77jam secara keseluruhan
 3. Panjang balok 1,87 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 181 Menit tiap balok atau 6,03 jam secara keseluruhan
- c. Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 37 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 228,78 jam secara keseluruhan
- d. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A3 adalah **708,45 jam atau 6,33 Minggu**

6. Lantai 3 Zona A3

- a. Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 259,7 jam secara keseluruhan
- b. Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 204,05 jam secara keseluruhan
- c. Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 18,5 jam secara keseluruhan
- d. Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 371 Menit tiap balok atau 234,97 jam secara keseluruhan
- e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A3 adalah **717,27 jam atau 6,4 Minggu**

Analisa data di atas sebagai berikut

- a. Zona terberat: **Lantai 3 Zona A1 → 915,43 jam (perlu perhatian khusus pada manajemen waktu dan tenaga kerja).**
- b. **Durasi proyek: 37,69 minggu jika dikerjakan linier oleh satu tim kerja.**
- c. **Efisiensi tim: Bisa ditingkatkan jika menggunakan sistem paralel di zona berbeda.**

7. Contoh Form Pengawasan waktu di salah satu balok

Tabel 4. 25 Form Pengawasan Waktu Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350

Panjang 6			
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350 (Balok Panjang 6 meter)			
- Persiapan			Jumlah
	Aktivitas	Menit	
1	Dirikan Perancah Temporer	10	
2	pembersihan lumut dll	15	
	Perbaiki Beton Existing	10	
3	Marking	20	55
- Primer			62
No.	Aktivitas	Menit	
1	Mix Komponen	2,00	
2	Aplikasikan Nitro Wrap Primer	60,00	
- Nitowrap Encapsulation & Nitowrap CWS 300			254
No.	Aktivitas	Menit	
1	Mixing Nitowrap Encapsulation layer 1	3,00	
2	Aplikasi Nitowrap Encapsulation (Resin) Layer 1	40,00	
3	Aplikasikan Nitowrap CWS 300 (Carbon) Layer 1	40,00	
4	Mixing Nitowrap Encapsulation layer 2	3,00	
5	Aplikasi Nitowrap Encapsulation (Resin) Layer 2	40,00	
6	Aplikasikan Nitowrap CWS 300 (Carbon) Layer 2	40,00	
4	Mixing Nitowrap Encapsulation Layer 3	3,00	
5	Aplikasi Nitowrap Encapsulation (Resin) Layer 3	40,00	
6	Aplikasikan Nitowrap CWS 300 (Carbon) Layer 2	40,00	
7	Tabur pasir	5,00	
Jumlah Menit kerja			371

c) Waktu Pelaksanaan

Tabel 4. 26 Waktu Pelaksanaan FRP

Jenis Balok	QTY	Jam Kerja			
		Menit kerja	Jam kerja	Jam / Zona	Minggu
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	221	11,05		
	49,00	371	302,98		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	221	11,05		
	38,00	371	234,97		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	5,00	371	30,92	590,97	5,28
Lantai 2 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	42,00	371	259,70		
	2,00	256	8,53		
	2,00	341	11,37		
	2,00	371	12,37		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	1,00	381	6,35		
	2,00	212	7,07		
	33,00	371	204,05		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	40,00	371	247,33	756,77	6,76
Lantai 2 Zona A3					
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	42,00	371	259,70		
	33,00	371	204,05		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	3,00	371	18,55		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	38,00	371	234,97	717,27	6,40
Lantai 3 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	221	11,05		
	56,00	371	346,27		
	1,00	106	1,77		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	221	11,05		
	38,00	371	234,97		
	1,00	441	7,35		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	5,00	371	30,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	44,00	371	272,07	915,43	8,17

Lantai 3 Zona A2			-		
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	40,00	371	247,33		
	2,00	276	9,20		
	2,00	362	12,07		
	2,00	383	12,77		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	30,00	371	185,50		
	1,00	406	6,77		
	2,00	181	6,03		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	37,00	371	228,78	708,45	6,33
Lantai 3 Zona A3			-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	42,00	371	259,70		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	33,00	371	204,05		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	3,00	371	18,55		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	38,00	371	234,97	717,27	6,40
Jumlah		12.391,00	4.406,15	4.406,15	39,34

Sumber : Data Olahan Peneliti, 2025

Dari table di atas maka pengerjaan Balok balok diatas maka di dapatkan waktu pelaksanaan 11.499 menit atau 4.006,58 jam kerja. Dalam pelaksanaan pekerja perkuatan selama satu bulan kerja 28 Hari, kerja dr jam 8.00 sampai jam 22.00 sehingga di hitung 2 hari kerja .

Waktu pelaksanaan di tiap zona sebagai berikut :

1. Lantai 2 Zona A1 membutuhkan waktu 590,97 menit atau 5,28 minggu
2. Lantai 2 Zona A2 membutuhkan waktu 756,77 menit atau 6,76 minggu
3. Lantai 2 Zona A3 membutuhkan waktu 717,27 menit atau 6,40 minggu
4. Lantai 3 Zona A1 membutuhkan waktu 915,43 menit atau 8,17 minggu
5. Lantai 3 Zona A2 membutuhkan waktu 708,45 menit atau 6,33 minggu
6. Lantai 3 Zona A3 membutuhkan waktu 712,27 menit atau 6,40 minggu

4.6.2 Analisa Waktu Jacketing

a. Produktivitas Pelaksanaan

Tabel di bawah berisi data perhitungan jam kerja untuk perkuatan berbagai tipe balok beton pada :

- Lantai 2 dan Lantai 3
 - Zona A1, A2, dan A3
- b. Kolom-Kolom Penjelasan

Jenis Balok : Menyebutkan jenis perkuatan balok berdasarkan dimensi dan tipe kode (misal B1-A 500/350).

Rencana (P dan m') : Panjang perkuatan dalam meter (m').

QTY : Jumlah unit balok yang dikerjakan.

Jam Kerja : Menit kerja: Estimasi menit kerja untuk unit tersebut.

1. Jam kerja : Hasil konversi dari menit kerja ke jam kerja.
2. Zona : Total jam kerja yang dijumlahkan untuk zona tertentu.
3. Minggu: Perkiraan lama pengerjaan dalam minggu (asumsi 112 jam/minggu jika 7 hari \times 8 jam kerja \times 2 (Jika Lembur)).

Tabel 4. 27 Perhitungan Jumlah Jam Kerja dari Pengamatan di Lapangan

Jenis Balok	Rencana	Jam Kerja		Jam/Zona	Minggu
	P	Menit kerja	Jumlah Jam Kerja		
	m'				
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	825	41,25		
	6,00	1255	1.024,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	6,00	1255	62,75		
	3,00	825	522,50		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	1255	104,58	1.756,00	15,68
Lantai 2 Zona A2			-		
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	6,00	1255	878,50		
	3,73	900	30,00		
	5,32	1205	40,17		
	5,96	1240	41,33		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,63	1285	21,42		
	1,63	655	21,83		
	6,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	1255	836,67	2.560,17	22,86
Lantai 2 Zona A3			-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	1255	878,50		

Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	1255	62,75		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	1255	794,83	2.426,33	21,66
Lantai 3 Zona A1			-		
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	825	41,25		
	6,00	1255	1.171,33		
	1,42	655	10,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	825	41,25		
	6,00	1255	794,83		
	7,42	1435	23,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	6,00	1255	104,58		
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	6,00	1255	920,33	3.108,42	27,75
Lantai 3 Zona A2					
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	6,00	1255	836,67		
	4,16	1170	39,00		
	5,60	1240	41,33		
	6,40	1435	47,83		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	6,00	1255	627,50		
	6,68	1435	23,92		
	1,87	655	21,83		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	6,00	1255	773,92	2.412,00	21,54
Lantai 3 Zona A3			-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	6,00	1255	878,50		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	6,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	6,00	1255	62,75		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	6,00	1255	794,83	2.426,33	21,66
Jumlah		42.965,00	14.689,25	14.689,25	131,15

Berikut penjelasan dr table di atas :

1. Lantai 2 Zona A1

- a) Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350
 - Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 825 tiap balok atau 41,25 jam
 - Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 49 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 1.024,92 jam
- b) Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200
 - Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 825 tiap balok atau 522,5jam
 - Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 371 tiap balok atau 62,75 jam
- c) Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250
 - Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 5 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 104,58 jam
 - Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A1 adalah **1.756 jam atau 15,68 Minggu**

2. Lantai 2 Zona A2

- a. Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350
 - Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 12 tiap balok atau 878,5 jam
 - Panjang balok 3,73 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 900 tiap balok atau 30 jam
 - Panjang balok 5,32 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 1205 tiap balok atau 40,17 jam
 - Panjang balok 5,96 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 1240 tiap balok atau 31,33 jam
- b. Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200
 - Panjang balok 6,63 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 1285 tiap balok atau 21,42 jam
 - Panjang balok 1,63 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 655 tiap balok atau 21,83 jam

- Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 690,25 jam
- c. Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 40 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 836,67 jam
- d. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A2 adalah **2.560,17 jam atau 22,86 Minggu**

3. Lantai 2 Zona A3 -

- a. Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 1225 tiap balok atau 878,5 jam
- b. Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 1225 tiap balok atau 690,25 jam
- c. Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 1225 tiap balok atau 60,75 jam
- d. Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 1225 tiap balok atau 794,83 jam
- e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 2 Zona A3 adalah **2.426,33 jam atau 21,66 Minggu**

4. Lantai 3 Zona A1 -

- a. Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350
 - 1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 825 tiap balok atau 41,25 jam
 - 2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 56 Unit membutuhkan waktu 1225 tiap balok atau 1.171,33 jam
 - 3. Panjang balok 1,42 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 655 tiap balok atau 10,92 jam

- b. Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200
 - 1. Panjang balok 3 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 825 tiap balok atau 41,25 jam
 - 2. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 794,83 jam
 - 3. Panjang balok 7,42 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 1435 tiap balok atau 723,92 jam
- c. Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 5 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 104,58 jam
- d. Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350
Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 44 Unit membutuhkan waktu 1255 tiap balok atau 920,33 jam
- e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 3 Zona A1 adalah **3.108,42 jam atau 27,75 Minggu**

5. Lantai 3 Zona A2

- a. Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250
 - 1. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 40 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 836,67 jam secara keseluruhan
 - 2. Panjang balok 4,16 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 1170 Menit tiap balok atau 39 jam secara keseluruhan
 - 3. Panjang balok 5,6 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 1240 menit tiap balok atau 41,33 jam secara keseluruhan
 - 4. Panjang balok 6,4 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 1435 menit tiap balok atau 47,83 jam secara keseluruhan
- b. Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200
 - 1. Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 30 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 627,5 jam secara keseluruhan
 - 2. Panjang balok 6,68 meter dengan jumlah balok 1 Unit membutuhkan waktu 1435 Menit tiap balok atau 23,92jam secara keseluruhan

3. Panjang balok 1,87 meter dengan jumlah balok 2 Unit membutuhkan waktu 655 Menit tiap balok atau 21,83 jam secara keseluruhan

c. Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 37 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 773,92 jam secara keseluruhan

d. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 3 Zona A2 adalah **2.412 jam atau 21,64 Minggu**

6. Lantai 3 Zona A3 -

a. Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 42 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 878,5 jam secara keseluruhan

b. Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 33 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 690,25 jam secara keseluruhan

c. Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 3 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 62,75 jam secara keseluruhan

d. Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350

Panjang balok 6 meter dengan jumlah balok 38 Unit membutuhkan waktu 1255 Menit tiap balok atau 794,83 jam secara keseluruhan

e. Dengan demikian Maka waktu yang di perlukan mengerjakan CFRP pada Lantai 3 Zona A3 adalah **2426,33 jam atau 21,66 Minggu**

7. Berikut Contoh Form Pengambilan Data Waktu Pelaksanaan Jacketing

Tabel 4. 28 Form Pengambilan Data Waktu Pelaksanaan Jacketing

Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350 (Balok Panjang 6 meter)			
- Persiapan			
No.	Aktivitas	Menit	Jumlah
1	Dirikan Perancah Temporer	20	130
2	pembersihan lumut dll	30	
3	Chipping Permukaan Beton	60	
4	Pasang Perancah untuk bekisting	20	
- Pembesian			
No.	Aktivitas	Menit	Jumlah
1	Bor Untuk Sengkang	180,00	730
2	Bor kolom untuk Chemset	120,00	
3	Produksi Tulangan Utama	20,00	
4	Produksi sengkang U	100,00	
5	Chemset	30,00	
6	Pemasangan Tulangan utama (Bawah)	20,00	
7	Pemasangan sengkang	120,00	
8	Pemasangan tulangan utama (Atas)	20,00	
9	Tekuk sengkang (Manual)	60,00	
10	Ikat tulangan sesi	60,00	
- Bekisting			
No.	Aktivitas	Menit	Jumlah
1	Pemasangan kayu balok di atas perancah	20,00	225
2	Produksi bekisting	100,00	
3	Psang Bekisting	45,00	
4	pasang beton dekking	20,00	
5	Perkuatan bekisting	30,00	
6	Pembersihan dengan air	10,00	
- Grouting			
No.	Aktivitas	Menit	Jumlah
1	Inspeksi Bekisting	10,00	110
2	Siram dengan Bonding Agent	10,00	
3	Penuangan grouting ke alat Pompa	30,00	
4	Pompa Grouting ke bekisting dengan tekanan Kompresor	60,00	
- Bongkar Bekisting			
No.	Aktivitas	Menit	Jumlah
1	Bongkra bekisting	45,00	60
2	Bongkar perancah	15,00	
Jumlah Menit kerja			1255

c. Waktu Pelaksanaan

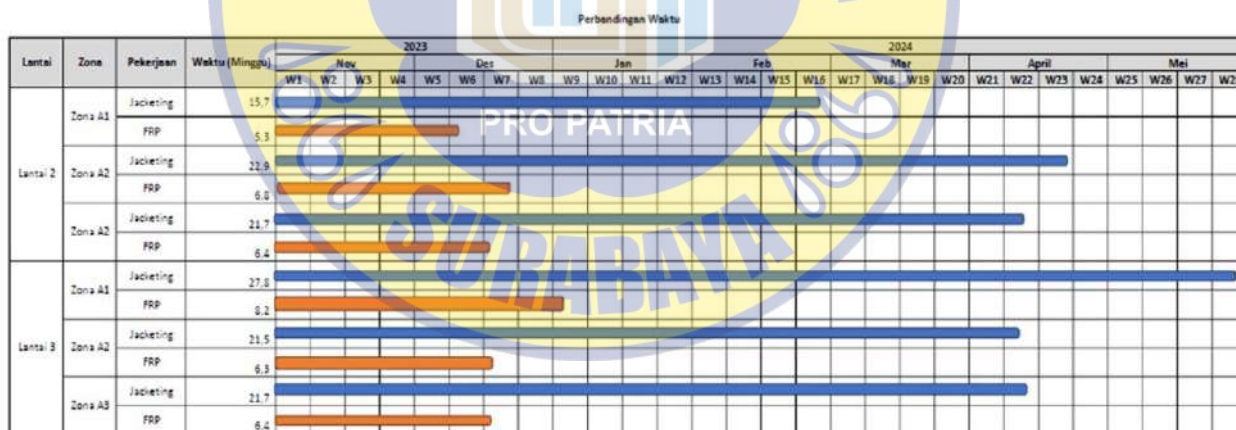
Tabel 4. 29 Waktu Pelaksanaan Metode Jacketing

Jenis Balok	QTY	Jam Kerja		Jam Kerja / zona	Minggu
		Menit kerja	Jumlah Jam Kerja		
Lantai 2 Zona A1					
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	825	41,25		
	49,00	1255	1.024,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	1255	62,75		
	38,00	825	522,50		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	5,00	1255	104,58	1.756,00	15,68
Lantai 2 Zona A2			-		
Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/350	42,00	1255	878,50		
	2,00	900	30,00		
	2,00	1205	40,17		
	2,00	1240	41,33		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	1,00	1285	21,42		
	2,00	655	21,83		
	33,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	40,00	1255	836,67	2.560,17	22,86
Lantai 2 Zona A3			-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	42,00	1255	878,50		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	33,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	3,00	1255	62,75		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	38,00	1255	794,83	2.426,33	21,66
Lantai 3 Zona A1			-		
Perkuatan Balok Beton Type B1-A 500/350	3,00	825	41,25		
	56,00	1255	1.171,33		
	1,00	655	10,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-B 400/200	3,00	825	41,25		
	38,00	1255	794,83		
	1,00	1435	23,92		
Perkuatan Balok Beton Type B1-1 500/250	5,00	1255	104,58		
Perkuatan Balok Beton Type B1-4 500/350	44,00	1255	920,33	3.108,42	27,75
Lantai 3 Zona A2			-		

Perkuatan Balok Beton Type B2-A 500/250	40,00	1255	836,67		
	2,00	1170	39,00		
	2,00	1240	41,33		
	2,00	1435	47,83		
Perkuatan Balok Beton Type B2-B 400/200	30,00	1255	627,50		
	1,00	1435	23,92		
	2,00	655	21,83		
Perkuatan Balok Beton Type B2-4 500/350	37,00	1255	773,92	2.412,00	21,54
Lantai 3 Zona A3			-		
Perkuatan Balok Beton Type B3-A 500/250	42,00	1255	878,50		
Perkuatan Balok Beton Type B3-B 400/200	33,00	1255	690,25		
Perkuatan Balok Beton Type B3-1 500/250	3,00	1255	62,75		
Perkuatan Balok Beton Type B3-2 500/350	38,00	1255	794,83	2.426,33	21,66
Jumlah		42.965,00	14.689,25	14.689,25	131,15

4.7 Perbandingan Waktu FRP dan Jacketing

Tabel 4. 30 Perbandingan Waktu FRP dan Jacketing



4.8 Dampak Penggunaan Material Carbon Fiber dan Grouting Terhadap Lingkungan

Tabel 4. 31 Dampak Penggunaan Material

No	Aspek	Jacketing (Beton)	FRP (Serat Karbon+ Resin)
1	Emisi CO₂	Tinggi – terutama karena produksi semen & baja: 1 ton semen \approx 0.9 ton CO ₂	Tinggi di fase produksi serat karbon: 1 kg CFRP \approx 20–30 kg CO ₂ e
2	Limbah Konstruksi	Tinggi – limbah bekisting, sisa beton, karung semen, potongan baja/tulangan	Rendah – minim bongkaran, tidak ada bekisting, dan volume material sangat kecil
3	Daur Ulang	Beton sulit didaur ulang secara struktural Baja bisa dilebur kembali	Sangat sulit didaur ulang, resin epoksi sulit dipisah dari serat
4	Bahan Kimia	Umumnya tidak reaktif, tapi beton limbah bisa jadi basa (alkali)	Resin epoksi bersifat toksik dan tidak biodegradable
5	Jejak Material	Material lokal tersedia (semen, pasir, baja) → jejak transport kecil	Bahan FRP umumnya impor, jejak logistik lebih tinggi
6	Dampak Jangka Panjang	Rentan rusak → bisa perlu perbaikan ulang (re-jacketing)	Awet & tahan korosi → jarang butuh perawatan ulang

4.8.1 Emisi CO₂

Tabel 4. 32 Emisi CO₂

K+B74:E80mp onen Material	Emisi CO ₂ per kg	Jacketing (Beton)	FRP (CFRP)
Semen Portland (OPC)	± 0.85 – 0.95 kg CO ₂ /kg	Digunakan dalam jumlah besar	Tidak digunakan
Agregat (pasir/kerikil)	± 0.005 – 0.01 kg CO ₂ /kg	Digunakan dalam jumlah besar	Tidak digunakan
Baja tulangan	± 1.8 – 2.2 kg CO ₂ /kg	Digunakan (utama pada jacketing baja)	Umumnya tidak digunakan
Serat karbon (CFRP)	± 20 – 30 kg CO ₂ /kg	Tidak digunakan	Digunakan untuk CFRP
Resin epoksi	± 6 – 15 kg CO ₂ /kg	Tidak digunakan	Digunakan (30–40% dari berat FRP)
Produksi total material	± 300–500 kg CO ₂ /m ³ beton	Jacketing butuh volume besar beton	Tidak relevan
Produksi FRP total	± 25 – 60 kg CO ₂ /kg FRP tergantung jenis	Tidak digunakan	FRP hanya butuh 3–10 kg/m ² tapi emisi tinggi/kg

- **Jacketing beton** menghasilkan emisi besar karena produksi **semen Portland** (sumber utama emisi industri global).
- **FRP**, terutama serat karbon, menghasilkan emisi sangat tinggi saat manufaktur, **tapi dalam jumlah kecil** untuk perkuatan (karena volume pemakaian rendah). Dalam jangka panjang, FRP bisa **lebih hemat emisi** karena tidak perlu perawatan/penggantian.

4.8.2 Limbah Konstruksi

Tabel 4. 33 Limbah Konstruksi

Aspek	Jacketing (Beton)	FRP (Fiber Reinforced Polymer)
Jenis limbah utama	- Bekisting (kayu/plastik) - Beton sisa - Potongan tulangan baja - Debu semen	- Potongan FRP (CFRP/GFRP) - Limbah resin epoksi - Pelarut & plastik pelindung
Volume limbah (per m²)	Tinggi – karena pengecoran beton & penggunaan bekisting	Rendah – aplikasi FRP bersih & presisi
Potensi daur ulang	- Kayu/plastik: daur ulang terbatas - Beton sisa: bisa dihancurkan sebagai agregat - Baja: 100% bisa dilebur ulang	- Sangat rendah - CFRP dan resin tidak dapat didaur ulang konvensional
Resiko bahaya limbah	Umumnya inert (tidak reaktif) , kecuali debu semen (iritasi paru)	Beberapa termasuk limbah B3 : resin, pelarut, dan serat karbon mikroskopik
Pengolahan akhir	- Daur ulang agregat kasar - Baja: daur ulang logam - Bekisting: dibuang/bakar	- Umumnya ditimbun (landfill) atau dibakar, tapi pembakaran menghasilkan gas beracun
Contamination Risk (air/tanah)	Rendah – terutama debu atau alkali jika tidak dikendalikan	Menengah – serpihan serat dan resin cured tidak mudah terurai, bisa mencemari tanah
Kesulitan penanganan limbah	Mudah dikumpulkan dan dipilah	Sulit → serpihan kecil, serat halus, tidak bisa dicacah ulang
Biaya pengelolaan limbah	Relatif murah (terutama jika proyek besar)	Lebih mahal – beberapa perlu penanganan khusus atau insinerasi
Umur limbah di lingkungan	Beton & baja: inert, tidak berbahaya jika ditimbun	Resin & FRP: non-biodegradable , bertahan ratusan tahun

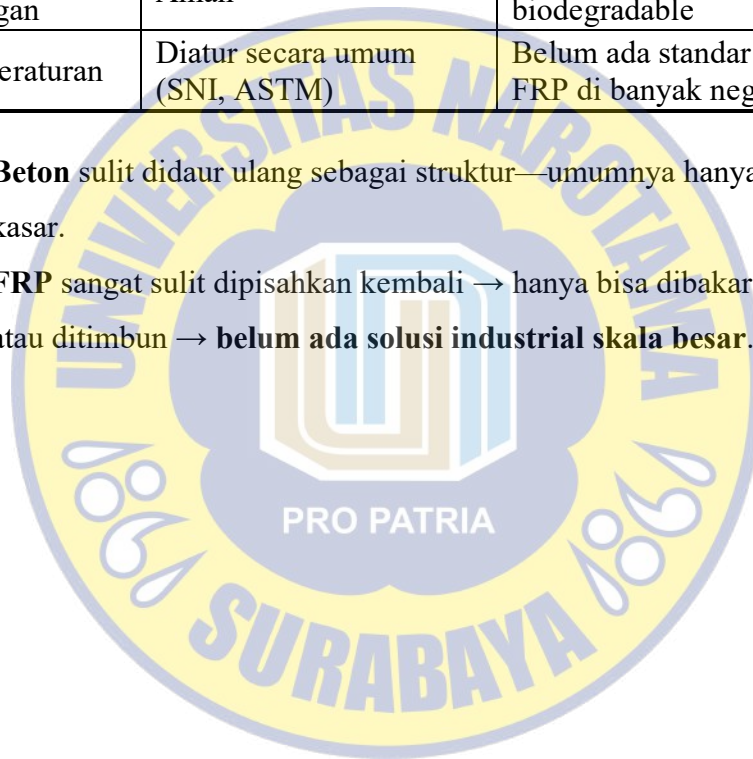
- Jacketing menghasilkan **limbah padat** dalam jumlah besar: bekisting, sisa cor, karung semen, besi potongan.
- FRP nyaris **tanpa limbah padat** selama pemasangan karena aplikasinya langsung di permukaan.

4.8.3 Daur Ulang

Tabel 4. 34 Daur Ulang

Aspek	Jacketing (Beton/Baja)	FRP (CFRP/GFRP)
Kemudahan daur ulang	Mudah	Sulit
Teknologi tersedia	Umum (penghancur beton, smelter baja)	Terbatas (pyrolysis, belum komersial luas)
Biaya daur ulang	Relatif rendah	Tinggi – tidak ekonomis secara skala besar
Limbah setelah daur ulang	Agregat kasar, baja baru	Serat karbon pendek, resin terdegradasi
Keamanan lingkungan	Aman	Risiko toksik dan non-biodegradable
Status peraturan	Diatur secara umum (SNI, ASTM)	Belum ada standar daur ulang FRP di banyak negara

- **Beton** sulit didaur ulang sebagai struktur—umumnya hanya jadi agregat kasar.
- **FRP** sangat sulit dipisahkan kembali → hanya bisa dibakar (pyrolysis) atau ditimbun → **belum ada solusi industrial skala besar.**



4.8.4 Bahan Kimia

Tabel 4. 35 Bahan Kimia

Aspek	Jacketing	FRP (Serat Karbon + Resin Epoksi)
Bahan utama	- Semen Portland (CaO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃)	- Serat (karbon, kaca, aramid)
	- Agregat	- Resin epoksi / vinilester / poliester
	- Air	
	- Baja tulangan	
Komponen kimia dominan	- Kalsium silikat hidrat (C-S-H)	- Epoxy (bisphenol-A, epichlorohydrin)
	- Ca(OH) ₂ (alkali)	- Hardener (amina, asam)
Sifat kimia saat segar	- Basa kuat (pH >12) dari Ca(OH) ₂ → iritasi kulit, korosif	- Resin epoksi bersifat iritasi & toksik sebelum curing
Proses reaksi	- Hidratasi semen (eksotermik)	- Reaksi polimerisasi resin (eksotermik, curing time)
Dampak limbah kimia	- Limbah alkali dari beton basah	- Limbah resin → sulit diurai & beracun bila tidak diproses
Potensi bahaya lingkungan	- Korosi baja jika tidak terlindungi	- Resin menghasilkan VOC (volatile organic compounds) saat aplikatif
	- Debu semen berbahaya saat kering	
Stabilitas kimia	- Stabil setelah pengerasan (non-reaktif)	- Stabil setelah curing, sangat tahan terhadap kimia & air
Reaktivitas jangka panjang	- Bereaksi lambat dengan CO ₂ (karbonasi)	- Umumnya tahan korosi, tapi resin bisa rapuh terhadap UV jangka panjang
	- Korosi bila lembab	
Toksisitas manusia	- Debu semen dapat mengiritasi paru-paru	- Resin epoksi dapat menyebabkan iritasi kulit, alergi, dan gangguan saraf
	- Paparan alkali berbahaya	
Daur ulang secara kimia	- Sulit (beton tidak bisa dikembalikan ke bentuk awal)	- Resin tidak bisa dipisah dari serat secara konvensional (non-recyclable)

4.8.5 Jejak Material

Tabel 4. 36 Jejak Material

Aspek	FRP (Fiber Reinforced Polymer)	Jacketing (Beton/Baja)
Bahan baku utama	- Serat karbon/kaca/aramid - Resin epoksi atau vinilester	- Semen Portland - Agregat (pasir/kerikil) - Baja tulangan
Asal material	- Serat karbon: turunan minyak bumi (PAN) - Resin: petrokimia	- Semen: batu kapur & lempung - Baja: bijih besi / skrap logam
Energi produksi (MJ/kg)	- Serat karbon: 180–286 MJ/kg [1] - Resin epoksi: ~80 MJ/kg	- Semen: 5 MJ/kg - Baja: ~20–35 MJ/kg
Emisi CO₂ produksi (kg CO₂/kg)	- Serat karbon: 20–30 kg CO₂/kg [2] - Resin epoksi: 3–6 kg CO ₂ /kg	- Semen: 0,8–1 kg CO₂/kg - Baja: 1,8–2,5 kg CO ₂ /kg
Volume material (per m² struktur)	- Sangat ringan: ~1–2 kg/m ² (1–2 lembar serat + resin tipis)	- Berat besar: ~100–300 kg/m ² tergantung ketebalan
Transportasi & logistik	- Ringan, mudah dibawa & diaplikasikan - Cocok untuk lokasi terbatas	- Berat, perlu crane, alat berat, dan jalan akses
Limbah konstruksi	- Sisa resin & serat tidak bisa terurai - Termasuk limbah B3 ringan	- Sisa beton/baja bisa didaur ulang sebagian sebagai agregat/besi tua
Daur ulang / reuse	- Sulit didaur ulang (resin termoreaktif)	- Baja: bisa dilebur ulang - Beton: bisa jadi agregat sekunder
Sisa umur struktur (durabilitas)	- 30–50 tahun tergantung resin & UV protection	- Beton/baja jacketing bisa tahan >50 tahun jika dirawat baik

4.8.6 Dampak Jangka Panjang

Tabel 4. 37 Dampak Jangka Panjang

Aspek	Jacketing (Beton/Baja)	FRP (Fiber Reinforced Polymer)
Durabilitas struktural	>50 tahun jika kualitas beton dan proteksi baja baik. Risiko korosi jika retak terjadi.	25–50 tahun tergantung resin, lingkungan, dan proteksi UV. Tidak korosif.
Kinerja terhadap lingkungan agresif	Bisa rusak karena karbonasi, sulfat, klorida, dll. Baja bisa korosi.	Tahan terhadap kimia agresif dan air laut. Namun, resin bisa rusak oleh sinar UV.
Pemeliharaan	Perlu pengecekan berkala pada retak, kelembaban, dan korosi baja.	Umumnya bebas perawatan, tapi perlu proteksi tambahan terhadap sinar UV.
Kesesuaian jangka panjang	Sangat cocok untuk struktur masif atau elemen besar.	Cocok untuk elemen ringan , sulit dijangkau, atau struktur yang tidak bisa dibebani berat.
Dampak lingkungan	Produksi semen beremisi CO ₂ tinggi; limbah beton tidak mudah dipakai ulang sebagai beton struktural.	Produksi FRP intensif energi & emisi. Sulit didaur ulang. Berisiko menjadi limbah abadi.
Risiko degradasi material	Korosi baja, retak termal, karbonasi beton, penyusutan.	UV degradation, delaminasi resin, creep jangka panjang pada resin termoplastik.
Ketahanan api	Beton: sangat tahan api. Baja: kehilangan kekuatan di suhu tinggi.	Resin: mudah terbakar , meleleh, dan mengeluarkan gas beracun saat terbakar.
Risiko kesehatan pekerja (long-term)	Debu silika dari beton bisa menyebabkan silikosis jika terhirup jangka panjang.	Resin cured aman, tapi debu FRP dan resin termodegradasi bisa mengiritasi paru-paru.
Kesesuaian untuk retrofit masa depan	Fleksibel; dapat dilepas dan diganti.	Sulit dilepas tanpa merusak; harus dihancurkan untuk diperkuat ulang.
Nilai keberlanjutan (sustainability)	Relatif tinggi jika dikombinasikan dengan beton daur ulang dan baja daur ulang.	Rendah secara daur ulang , tapi unggul di efisiensi material dan bobot ringan.