

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

Pembahasan yang diangkat pada Penelitian ini adalah perbandingan metode Jacketing dan FRP terhadap segi biaya. Dasar teori yang akan digunakan pada Penelitian ini adalah dasar teori perihal FRP, Grouting, Alat Bantu yang digunakan, dasar teori perihal manajemen terhadap analisa biaya, analisa waktu.

2.1.1 Konstruksi Bangunan Gedung

Konstruksi berasal dari bahasa inggris "*construction*" yang berarti meletakkan unsur bersama-sama secara sistematis. Dengan perkataan lain adalah suatu bentuk bangun yang terdiri dari unsur-unsur dan tersusun secara sistematis. Maka dari itu tujuan dari konstruksi adalah menjaga keutuhan bentuk sehingga kuat dan atau tidak berubah bentuknya. Sedangkan fungsi dari konstruksi adalah menahan berbagai macam gaya yang menimpa pada bangunan agar tidak mempengaruhi strukturnya. (Ir. Hartiningsih 2016)

Pengertian proyek konstruksi adalah suatu rangkaian kegiatan proyek yang berkaitan dengan bidang konstruksi (pembangunan) yang mempunyai dimensi waktu terbatas dengan alokasi sumber dana tertentu, guna mewujudkan suatu gagasan serta mendapatkan tujuan tertentu, setelah gagasan tersebut layak untuk dilaksanakan. (Risman 2019)

Konstruksi bangunan terdiri dari bagian-bagian yang saling mendukung satu sama lain. Masing-masing bagian bangunan tersebut memiliki karakteristik tersendiri karena memang dibuat untuk tujuan tertentu. Bahan baku pembuatan bagian bangunan tersebut juga berbeda-beda sesuai dengan peruntukan awalnya.

Pada dasarnya, bagian-bagian konstruksi bangunan meliputi bangunan bawah dan bangunan atas. Bangunan bawah adalah bagian

bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah. Sedangkan bangunan atas merupakan bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. (Andalas 2016)

1. Bangunan Bawah

Bangunan bawah adalah bagian suatu bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah. Bangunan bawah berguna untuk menopang bangunan bawah sehingga harus mempunyai struktur yang kuat, tidak mudah bergerak, dan kondisinya stabil. Yang termasuk bagian bangunan bawah meliputi pondasi dan balok beton. Bangunan bawah terdiri dari pondasi dan *tiebeam*. (Andalas 2016)

2. Bangunan Atas

Bangunan atas yaitu bagian bangunan yang berada di atas permukaan lantai. Bangunan atas merupakan bagian yang berfungsi mendukung maksud pendirian bangunan tersebut. Bagian-bagian bangunan atas di antaranya dinding, kolom, ventilasi, balok latei, balok ring, kuda-kuda, dan atap. Bangunan atas terdiri dari dinding, kolom, balok lantai, plat lantai, ring balok, dan atap. (Andalas 2016)

2.1.2 Struktur Beton Bertulang

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland, dan air. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan. Berat sendiri beton sekitar 2400 kg/m^3 . (Regina Deisi Grayse Porajow 2017)

Beton merupakan bahan dari campuran antara semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton segar yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis. Secara umum proporsi komposisi unsur pembentu beton adalah:

Unsur Beton Agregat kasar + agregat halus (60% - 80%)	
Semen (7% - 15%)	Air (14% - 21%)

Udara (1% - 8%)

Beton bertulang ialah beton yang mempunyai tulangan dan bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Kekuatan beton bergantung dari berbagai faktor, sesuai dengan perbandingan unsur beton, temperatur, kelembaban, dan kondisi dari lingkungan

2.1.3 Struktur Balok Beton

Balok adalah bagian dari struktural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Balok beton bertulang merupakan elemen penting dalam suatu struktur bangunan. Hal ini karena balok beton bertulang merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. (Regina Deisi Grayse Porajow 2017)

Gaya yang bekerja pada balok adalah gaya geser, momen lentur dan torsi, sehingga perlu baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut agar tidak terjadi keruntuhan. Tulangan memanjang/longitudinal pada bagian atas dan bawah balok adalah tulangan yang digunakan untuk menahan momen tarik dan momen tekan pada balok. Tulangan sengkang digunakan untuk menahan beban geser pada balok dan tulangan tengah digunakan untuk menahan beban torsi pada balok (Alia 2016)

Berikut ini adalah fungsi utama balok beton ialah sebagai berikut:

- a. Menahan beban / gaya tekan pada bangunan
- b. Menutup baja tulangan agar tidak mudah berkarat
- c. Menahan gaya tarik meskipun hal tersebut kuat terhadap gaya tekan
- d. Mencegah keretakan pada beton agar tidak melebar

2.1.4 Perkuatan Struktur

Menurut Hartono Hioe (2016), tujuan perkuatan pada struktur beton adalah untuk meningkatkan kapasitas dari struktur dalam menahan beban yang diperlukan baik akibat perubahan fungsi maupun beban yang baru. Adapun proses perencanaan perkuatan struktur beton ialah sebagai berikut :

- a. Review struktur. Yang dimaksud dengan review struktur adalah dengan me-review dokumen perencanaan, pelaksanaan dan perhitungan, yang diverifikasi dengan inspeksi lapangan dan beberapa *non destructive test* apabila diperlukan, untuk mengetahui pembebanan yang ada dan karakteristik material yang digunakan.
- b. Analisa struktur. Dengan menentukan tipe dan berapa besar kekurangan kapasitas yang perlu diperkuat, dengan membandingkan antara kapasitas awal dengan kapasitas yang dibutuhkan sekarang.
- c. Metode dan material perkuatan. Penentuan metode dan material perkuatan yang tepat dengan mempertimbangkan pelaksanaan pekerjaan, gangguan selama pelaksanaan, keawetan, keindahan, dan faktor biaya.
- d. Pelaksanaan. Pelaksanaan harus mengikuti metode pelaksanaan yang mengandung detail proses tiap pekerjaan dan kontrol kualitas.

2.1.5 Metode dan Material Perkuatan

Menurut Elvi Roza Syofyan (2016), metode dan material perkuatan yang sering digunakan adalah:

a. Perpendekan bentang

Dilakukan dengan penambahan support berupa kolom baru atau balok lateral, dengan bahan utama dari konstruksi beton bertulang, baja, atau material komposit. Metode ini sangat efektif untuk meningkatkan kapasitas dari elemen horizontal yang didominasi oleh lentur.

Tujuan dilakukan perpendekan bentang adalah memperkecil gaya-gaya dalam yang terjadi, tetapi tetap harus dilakukan analisa ulang akibat dari perpendekan bentang ini yang menyebabkan perubahan dari gaya-gaya tersebut.

b. Pembesaran dimensi

Dilakukan dengan cara menambah dimensi beton eksisting, menggunakan material beton yang memadat sendiri (*self compacting concrete*) atau *non-shrink grouting* semen, tanpa atau dengan agregat kasar. Akibat dari penambahan dimensi tersebut, maka harus

diperhatikan bahwa secara keseluruhan beban dari bangunan tersebut bertambah, sehingga harus dilakukan analisa secara menyeluruh dari struktur atas sampai pondasi.

c. External Prestress

Dapat digunakan untuk melawan gaya dan lendutan dari beban yang ada. Yang perlu diperhatikan adalah pada area *anchor*, sehingga terjadi perpindahan gaya *prestress* ke struktur eksisting. Material yang umumnya digunakan adalah baja *prestress*, tetapi pada saat ini sudah mulai digunakan bahan dari FRP (*Fiber Reinforced Polymer*).

Dengan metode ini, kapasitas struktur ditingkatkan dengan melakukan *prestress* di luar struktur, bukan di dalam seperti pada struktur baru.

d. Plat baja

Tujuan dari penambahan ini adalah untuk menambah kapasitas lentur, geser, dan *confinement* kolom. Di dalam penambahan plat baja tersebut, harus dijamin bahwa plat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur yang ada.

Umumnya untuk menjamin bahwa plat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur eksisting, digunakan *epoxy adhesive* berupa pasta atau cairan yang diinjeksi

e. Metode FRP (Fiber Reinforced Polimer)

Struktur beton bertulang banyak digunakan pada konstruksi bangunan gedung di Indonesia, yaitu pada elemen balok, kolom, pelat maupun pondasi. Struktur bangunan yang telah direncanakan dengan baik dan dibangun, terkadang setelah difungsikan mempunyai beberapa permasalahan. Permasalahan tersebut dapat berkaitan dengan kegagalan dan kerusakan bangunan akibat masalah *durability*, kesalahan perencanaan dan pelaksanaan, *overloading* akibat kenaikan beban karena perubahan fungsi bangunan, dan penyebab khusus (gempa, banjir dan kebakaran).

Kerusakan yang terjadi pada struktur beton bertulang dapat berupa retak pada balok dan kolom, kolom patah atau miring dan

balok yang melengkung. Retak pada struktur beton bertulang akan mengakibatkan tulangan baja mengalami korosi karena pengaruh lingkungan seperti garam, bahan kimia dan kelembaban, sehingga struktur mengalami penurunan kekuatan, kekakuan, *service life* serta kegagalan beton yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kegagalan struktural (Gangarao dkk, 2007).

Perbaikan atau perkuatan elemen-elemen struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu : kekuatan (*strength*), kekakuan ISSN 0853-8557 155 Jurnal Teknisia, Volume , No 2, November 2015 (*stiffnes*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*) (Triwiyono, 2006).

Salah satu metode perbaikan dan perkuatan struktur beton adalah dengan menggunakan *Fibre Reinforced Polymer* (FRP). FRP mempunyai banyak jenis, antara lain adalah CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) dan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*).

FRP adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile* (Parmo dan Taufikurrahman, 2014).

Menurut Hartomo (2003), FRP memberikan keuntungan antara lain memberikan kuat tarik yang tinggi, sangat ringan, pelaksanaan lebih cepat, tidak memerlukan area kerja yang luas, dan tidak mengalami korosi. Kuat tarik FRP dapat mencapai 7-10 kali lebih tinggi dari baja.

Penelitian Pangestuti dkk (2006) menyimpulkan bahwa penambahan pelat CFRP dengan lebar 50 mm dan tebal 0,8 mm secara eksternal pada sepanjang balok beton bertulang terhadap balok normal dapat meningkatkan kuat lentur sebesar sebesar 49 %, dan dapat meningkatkan kekakuan sebesar 68%, akan tetapi daktilitas turun sebesar 73% dan lendutannya turun 77,6 %. Penelitian terkait

lebar CFRP perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kekuatan lentur dari balok beton bertulang. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian eksperimental dengan menambahkan variasi lebar CFRP yang diletakkan di bagian tarik balok beton bertulang sebagai bahan *retrofitting* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perbaikan kekuatan lentur balok beton bertulang paska

f. Concrete Jacketing

Struktur beton bertulang banyak digunakan pada berbagai konstruksi bangunan, yang terdiri dari gabungan bahan jenis beton dan baja tulangan. Seiring dengan kemajuan infrastruktur bangunan dan keinginan manusia untuk mendapat sesuatu yang lebih baik, memicu manusia untuk mencari lewat pengadaan eksperimen-eksperimen maupun teoritis untuk mendapatkan hasil yang dapat memenuhi kebutuhan pembangunan, salah satu komponen yang berperan penting pada konstruksi bangunan adalah beton. Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah penyediaan lapangan kerja. Selain dua kinerja utama yang telah disebutkan di atas, yaitu kekuatan tekan yang tinggi dan kemudahan pengerjaannya, kelangsungan proses pengadaan beton pada proses produksinya juga menjadi salah satu hal yang dipertimbangkan.

Beton yang telah dibuat dan menjadi sebuah struktur, harus dirawat selama usia strukturnya. Tindakan perawatan ini dimaksudkan untuk menjamin tercapainya usia ekonomi struktur tersebut. Keawetan struktur beton selama masa pelaksanaan masih tetap memerlukan jaminan pengawasan pelaksanaannya, agar beton tidak menimbulkan kerusakan pada kondisi normal selama umur rencana. Namun, kadangkala beton dapat rusak selama masa umur rencananya.

Komponen beton bertulang dapat mengalami suatu kegagalan fungsi dimana struktur tersebut tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja disebabkan karena kejadian alam, misalnya gempa bumi. Dampak dari kejadian alam tersebut bervariasi dari kategori rusak ringan, sedang, berat dan runtuh. Dengan kerusakan tersebut maka perlu upaya perbaikan struktur beton bertulang tersebut dengan metode perbaikan yang baik dan mudah dikerjakan dilapangan. Dengan semakin banyaknya struktur beton yang mengalami kerusakan pada masa layannya maka diperlukan pengetahuan mengenai teknologi perkuatan struktur yang tepat guna. Teknik perkuatan struktur beton Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.3 Maret 2015 (1 67-1 74) ISSN: 2337-6732 168 semakin berkembang pesat seiring dengan kemajuan jaman, tidak hanya material yang digunakan namun perkuatan struktur pun mengalami berbagai macam perkembangan yang luar biasa terutama dalam hal inovasi baru, yang sebelumnya tidak terpikirkan oleh kita. Salah satu dari sekian metode perkuatan struktur adalah perkuatan dengan Metode concrete Jacketing.

2.1.6 Managemen Proyek

Manajemen secara umum adalah suatu upaya untuk mencapai suatu tujuan dengan sumber daya seminimal mungkin (efisien). Sementara itu, proyek adalah rencana pekerjaan dengan suatu target pencapaian tertentu yang diselesaikan dalam rentang waktu tertentu.

Secara kolektif, manajemen proyek adalah suatu pendekatan/metode untuk mengelola suatu proyek dengan efektif dan efisien. Sistem ini hadir sebagai perangkat untuk membantu mengelola kegiatan-kegiatan berbentuk proyek, misalnya proyek konstruksi. Tanpanya, suatu proyek akan sulit dieksekusi baik dari segi biaya, waktu, atau bahkan kualitasnya. Manajemen proyek memiliki sejumlah tujuan, di antaranya:

1. Menyelesaikan tepat waktu

Pada manajemen waktu, ditentukan linimasa yang berisi kapan suatu kegiatan harus dimulai dan kapan harus selesai. Dengan adanya hal tersebut, proyek akan selalu dimonitor supaya dapat selesai dalam waktu yang telah ditentukan. Pengawasan seperti ini melancarkan pengerjaan proyek.

2. Menjaga anggaran

Anggaran merupakan salah satu aspek yang dikaji dalam manajemen ini. Dengan pengkajian tersebut, akan dicari jumlah anggaran seminimal mungkin, tetapi masih dapat menunjang tercapainya kriteria proyek yang telah ditentukan di awal (efektif dan efisien).

3. Menjaga kualitas

Sebagaimana telah disinggung pada poin sebelumnya, kriteria proyek yang ditentukan di awal harus tercapai. Artinya, manajemen proyek juga membuat standar kualitas dari suatu proyek sehingga ia tidak dikerjakan secara seenaknya saja.

4. Melancarkan proyek

Pada akhirnya, proyek yang ideal adalah proyek yang selesai sesuai dengan perencanaan awal, baik dari segi waktu, anggaran, maupun kualitas. Manajemen ini membantu pengerjaan proyek supaya selesai dengan lancar sesuai dengan rencana awal.

2.1.7 Komponen-komponen produktivitas proyek konstruksi

Seperti halnya pengertian produktivitas secara umum, komponen-komponen produktivitas untuk proyek konstruksi masih bertumpu pada aspek sumber daya yang meliputi sumber daya manusia (SDM) dan teknologi (Allinaitwe, et al, 2008). Keduanya ini kemudian dikenal dengan istilah input di mana nantinya akan dikaitkan dengan dimensi-dimensi produktivitas.

Pekerja proyek konstruksi memiliki peran atau tugas utama untuk mengkombinasikan berbagai input dengan teknik atau keahlian tertentu melalui suatu perencanaan proyek baik perencanaan strategis maupun

operasional untuk selanjutnya menghasilkan suatu proyek konstruksi (Soeharto, 1995). Adapun mengenai komponen-komponen di dalam proyek konstruksi terkait dengan pengertian produktivitas diuraikan berikut ini.

1. Komponen Input Teknologi

Pada prinsipnya, pengertian teknologi memiliki konotasi pada cara berpikir, termasuk pula suatu bentuk keahlian untuk merubah, memodifikasi, ataupun menciptakan segala sesuatu yang menjadi suatu solusi atas segala bentuk permasalahan manusia (Ravianto, 1985). Teknologi dapat dikatakan pula sebagai upaya atau jawaban untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan meningkatkan kesejahteraan umat manusia. Dalam pengertian produktivitas, unsur atau komponen teknologi dipisahkan dari komponen input lainnya seperti sumber daya manusia. Hal ini dimaksudkan untuk tidak membiaskan aspek penting teknologi sebagai salah satu input di dalam produktivitas terutama produktivitas proyek konstruksi.

Di dalam proyek konstruksi, komponen teknologi memberikan suatu gambaran atas upaya untuk menciptakan suatu perencanaan proyek konstruksi dan deskripsi pelaksanaan di lapangan yang efisien dan tepat waktu. Soeharto (1985) menyebutkan apabila teknologi berkaitan dengan aspek di dalam manajemen konstruksi dimulai dari proses pengorganisasian proyek konstruksi hingga penyusunan tim pelaksana untuk pengerjaan konstruksi. Pihak pekerja proyek konstruksi akan menggunakan kombinasi teknik dan metode perencanaan, termasuk penyusunan jadwal pelaksanaan proyek konstruksi. Untuk menjaga kesesuaian pelaksanaan proyek, diperlukan pula di dalamnya teknik dan metode pengawasan atau pengendalian pelaksanaan proyek konstruksi. Keseluruhan dari komponen teknologi ini ditujukan untuk menghasilkan suatu upaya penyelesaian proyek konstruksi yang memenuhi dimensi biaya, waktu, dan kualitas.

2. Komponen Sumber Daya Manusia

Komponen sumber daya manusia masih menjadi komponen yang paling penting di dalam pembahasan produktivitas proyek konstruksi secara umum. Allinaitwe, et al (2008) menerangkan apabila tidak semua proyek konstruksi di berbagai negara memiliki karakteristik input yang relatif sama. Di Asia misalnya, karakteristik input di dalam proyek konstruksi masih difokuskan permasalahannya pada aspek input sumber daya manusia. Hal ini terutama masih sering ditemukan di negara-negara Asia yang tergolong negara-negara berkembang seperti Indonesia. Unsur-unsur yang terdapat di dalam komponen input sumber daya manusia adalah semua pihak (karyawan), termasuk pekerja proyek yang terlibat di dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

Alinaitwe, et al (2008) mengidentifikasi dua aspek dari komponen sumber daya manusia berkaitan dengan produktivitas, yaitu aspek internal dan eksternal. Aspek internal dijelaskan berupa kualifikasi atas keahlian secara teknis dari seluruh individu yang terlibat dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Kualifikasi sumber daya manusia yang semakin baik akan semakin mendukung meningkatnya produktivitas berdasarkan dimensi biaya, waktu, dan kualitas. Aspek eksternal dalam konteks sumber daya manusia adalah segala sesuatu yang terdapat dalam individu, akan tetapi tidak berkaitan dengan kualifikasi keahlian teknis. Misalnya etos kerja, disiplin individu, dan kepatuhan. Dalam kasus konstruksi, aspek eksternal seringkali menjadi penghambat ataupun kendala ketika pelaksanaan proyek konstruksi. Kedua aspek sumber daya manusia ini terintegrasi sebagai bentuk kualitas sumber daya manusia.

2.1.8 Dimensi produktivitas

Pada sub bab sebelumnya telah diuraikan apabila produktivitas dapat diukur berdasarkan pendekatan atau dimensi biaya (*cost*), waktu (*time*), dan kualitas (*quality*). Ketiga dimensi tersebut dapat diterapkan pula dalam bidang konstruksi, terutama terlihat ketika dilakukan

penyusunan perencanaan proyek konstruksi. Adapun uraian untuk masing-masing dimensi produktivitas dalam bidang konstruksi diterangkan berikut ini.

1. Dimensi Biaya (*Cost*)

Biaya proyek konstruksi atau dikenal dengan istilah *construction costengineering* adalah area dari kegiatan teknik (*engineering*) di mana pengalaman dan pertimbangan teknik dipakai pada aplikasi prinsip-prinsip teknik dan ilmu pengetahuan di dalam masalah perkiraan dan pengendalian biaya (Soeharto, 1985). Berdasarkan pengertian tersebut, maka kebutuhan akan penguasaan aspek ilmu pengetahuan dan teknik merupakan syarat mutlak untuk menyusun perencanaan biaya dan sekaligus menentukan biaya yang sesungguhnya dikeluarkan ketika penyelesaian proyek konstruksi.

Keseluruhan komponen biaya total yang akan diuraikan berikut ini juga termasuk ke dalam unsur-unsur yang membentuk biaya dalam proyek konstruksi. Keperluan total biaya proyek konstruksi disusun dalam perencanaan yang menjadi kebutuhan biaya untuk keperluan pengkajian pendanaan. Biaya-biaya ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu (Soeharto, 1985):

a. Modal Tetap Biaya atas modal tetap (*fixed capital*) adalah bagian dari biaya proyek yang dipakai untuk membangun instalasi atau menghasilkan produk proyek yang diinginkan. Biaya ini dimulai dari pengeluaran untuk studi kelayakan proyek, desain teknik konstruksi, pengadaan peralatan, pabrikasi, konstruksi, hingga instalasi atau ketika produk berfungsi dengan penuh. Ada dua kelompok biaya atas modal tetap, yaitu:

1. Biaya Langsung

Biaya langsung adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek konstruksi.

Biaya-biaya langsung terdiri atas:

- a. Penyiapan lahan (*site preparation*)
- b. Pengadaan peralatan utama

- c. Biaya merakit dan memasang peralatan utama
 - d. Penyediaan pipa
 - e. Alat-alat listrik dan instrumentasi
 - f. Penempatan gedung sebagai pusat pengendalian operasi
 - g. Pembebasan lahan
2. Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisi, dan pembayaran material serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi atau produk permanen, akan tetapi tetap diperlukan dalam proses pembangunan proyek. Biaya tidak langsung meliputi:

- a. Gaji tetap dan tunjangan
 - b. Kendaraan dan peralatan konstruksi
 - c. Pembangunan fasilitas sementara
 - d. Pengeluaran umum
 - e. Kontigensi laba atau *fee*
 - f. Biaya *overhead* (biaya operasi secara keseluruhan)
 - g. Pajak, pungutan/sumbangan, perijinan, dan asuransi.
- b. Modal Kerja (*Working Capital*) Biaya untuk modal kerja diperlukan untuk menutupi kebutuhan pada tahap awal operasi pelaksanaan proyek konstruksi. Biaya-biaya ini terdiri atas:
1. Biaya pembelian bahan kimia, minyak pelumas, material, dan bahan-bahan lain untuk pelaksanaan operasi awal
 2. Biaya persediaan atau inventori berupa bahan mentah dan upah tenaga kerja.
 3. Pembelian suku cadang untuk keperluan operasi selama kurang lebih satu tahun.

Suatu perencanaan biaya dikatakan sesuai dengan yang diharapkan apabila memiliki akurasi yang tinggi atau tidak banyak berselisih cukup besar dengan realisasi biaya yang dikeluarkan ketika pelaksanaan proyek konstruksi.

Ketidaksesuaian atau selisih biaya inilah yang kemudian disebut dengan biaya atas resiko. Pada prinsipnya, besarnya resiko biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi dapat diminimalisasikan pada proses penyusunan perencanaan proyek konstruksi. Ada beberapa faktor yang dapat meminimalisasikan resiko biaya riil atau biaya yang sesungguhnya. Inilah yang kemudian disebut dengan kualitas pelaksanaan proyek konstruksi yang akan dibahas pada sub bagian yang terpisah.

2. Dimensi Waktu (*Time*)

Dimensi waktu yang dimaksudkan dalam pengertian produktivitas bidang konstruksi adalah perencanaan dalam penyusunan suatu jaringan kerja yang dapat menunjukkan waktu penyelesaian paling cepat yang disertai dengan toleransi float yang mengidentifikasi pengaturan keterlambatan tanpa mengganggu jadwal proyek secara keseluruhan (Soeharto, 1985). Dari pengertian ini, maka dimensi waktu lebih menitikberatkan pada:

- a. Penyusunan suatu jadwal pelaksanaan proyek dengan biaya yang relatif ekonomis
- b. Penyusunan jadwal dengan keterbatasan sumber daya
- c. Penyusunan jadwal yang dapat meratakan kombinasi penggunaan atau pemakaian sumber daya.

Dimensi waktu berdasarkan pengertian di atas memiliki keterkaitan kuat dengan tujuan untuk meminimalisasikan resiko biaya. Ada dua pengertian jadwal sehubungan dengan konteks produktivitas, yaitu jadwal yang ekonomis dan jadwal yang optimal. Jadwal yang ekonomis diperlukan dalam pelaksanaan proyek konstruksi didasarkan atas biaya langsung untuk mempersingkat waktu penyelesaian atas komponen-komponen biaya langsung tersebut. Untuk jadwal dengan biaya yang optimal adalah penyusunan jadwal yang memperhatikan biaya langsung maupun biaya tidak langsung. Pada umumnya, manajer proyek konstruksi memiliki

pilihan untuk mempercepat kurun waktu 13 pelaksanaan proyek yang disebut crash program. Adapun pilihan ini didasarkan pula atas asumsi sebagai berikut:

- a. Jumlah sumber daya yang tersedia tidak menjadi kendala
- b. Keperluan akan sumber daya relatif fleksibel, atau akan bertambah sesuai dengan yang diinginkan pada penjadwalan proyek konstruksi.

Pada prinsipnya, tujuan utama dari crash program adalah untuk memperpendek jadwal penyelesaian proyek konstruksi dengan kenaikan biaya yang relatif minimal. Terkait dengan pengertian produktivitas itu sendiri, dimensi waktu berupa penjadwalan atau penyusunan rencana penjadwalan proyek termasuk dimensi yang cukup potensial. Dengan menggunakan teknik ataupun metode crash program diharapkan tidak hanya mampu mempersingkat waktu penyelesaian proyek, akan tetapi juga mampu mengatasi kendala yang dapat mengganggu penyelesaian proyek yang tepat waktu. Dari sisi ekonomi, jadwal pelaksanaan yang mampu dipercepat akan semakin mengurangi besarnya biaya-biaya, termasuk pula resiko atas biaya secara keseluruhan.

2.1.9 Analisa Biaya

1. Estimasi Biaya

Estimasi merupakan metode yang secara tradisional dipakai oleh estimator untuk menentukan setiap tarif komponen pekerjaan. Setiap komponen pekerjaan dianalisa kedalam komponen-komponen utama tenaga kerja, material, peralatan, dan lain-lain. Penekanan utamanya diberikan faktor-faktor seperti jenis, ukuran, lokasi, bentuk dan tinggi yang merupakan faktor penting yang mempengaruhi biaya konstruksi (Allan Ashworth, Perencanaan Biaya Bangunan, 1994).

a. Jenis anggaran proyek

Menurut Iman Soeharto dalam bukunya, Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional, 1995, sesuai dengan fungsinya, perkiraan biaya anggaran dibuat pada periode tertentu

dalam siklus proyek. Setidaknya terdapat dua titik kritis dari sudut kelayakan dan kelangsungan proyek atau investasi:

- a) Akhir tahap konseptual telah diselesaikan studi kelayakan proyek.
- b) Akhir tahap perencanaan dilanjutkan atau tidaknya investasi membangun proyek.

Anggaran biaya definitive (ABD) adalah anggaran yang dihasilkan dari usaha optimal dengan fungsi utama:

1. Bagi pemilik (kontrak harga tidak tetap), sebagai patokan kegiatan pengendalian biaya.
 2. Bagi kontraktor (kontrak harga tetap), sebagai angka dasar pengendalian biaya internal. Karena fungsi utama pokok Analisa Biaya Definitif (ABD) adalah sebagai patokan kegiatan pengendalian, maka kualitas anggaran biaya definitif sangat menentukan keberlanjutan investasi.
- b. Kualitas perkiraan biaya

Menurut Iman Soeharto dalam bukunya, manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai operasional, 1995, kualitas suatu perkiraan biaya yang berkaitan dengan akurasi dan kelengkapan unsur-unsurnya tergantung padahal-hal berikut:

1. Tersedianya data dan informasi
2. Teknik atau metode yang digunakan
3. Kecakapan dan pengalaman estimator

Untuk menghitung biaya total proyek, yang harus dilakukan pertama kali adalah mengidentifikasi lingkup kegiatan yang akan dikerjakan, kemudian mengkalikannya dengan biaya masing-masing lingkup yang dimaksud. Hal ini memerlukan kecakapan, pengalaman serta judgment dari estimator.

- c. Metode perkiraan biaya

Salah satu metode perkiraan biaya yang sering dipakai adalah metode menganalisis unsur-unsurnya. Klasifikasi fungsi menurut unsur-unsurnya menghasilkan bagian atau komponen

lingkup proyek yang berfungsi sama. Bila pengelompokan unsur-unsur berdasarkan fungsi tersusun maka perkiraan biaya dapat dimulai sejak awal proyek (membuat perkiraan biaya kasar) sampai kepada anggaran yang amat akurat (anggaran definitif). (Sumber: Iman Soeharto, Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional, 1995).

2. Biaya Konstruksi Proyek

Hal-hal yang erat hubungannya dengan biaya konstruksi yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- a. Tenaga Kerja Konstruksi Untuk menyelenggarakan proyek, salah satu sumber daya yang menjadi factor penentu keberhasilannya adalah tenaga kerja.
- b. Peralatan Konstruksi Yang dimaksud dengan peralatan konstruksi adalah alat / peralatan yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan konstruksi secara mekanis. Dengan mengenal lingkup kerja proyek dan jadwal pelaksanaannya, maka dapat dianalisis macam dan jumlah peralatan konstruksi yang diperlukan.

3. Biaya Langsung

Biaya langsung atau *direct cost* adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir bangunan konstruksi. Biaya langsung terdiri dari:

- a. Biaya material
- b. Biaya upah tenaga kerja
- c. Biaya peralatan
- d. Biaya Tidak langsung

4. Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung atau *indirect cost* adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisi serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi bangunan permanen tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek. Biaya tidak langsung terdiri dari:

- a. *Overhead* umum
- b. *Overhead* proyek
- c. Profit
- d. Pajak

5. Rencana /anggaran Biaya

Menurut Bachtiar Ibrahim dalam bukunya Rencana dan *Estimate Real of Cost*, 2009, yang dimaksud rencana anggaran biaya (*begrooting*) suatu bangunan atau proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut.

Menurut Sugeng Djojowiriono, 1984, rencana anggaran biaya merupakan perkiraan biaya yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek. Biaya (anggaran) adalah jumlah dari masing-masing hasil perkiraan volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan. Secara umum dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\text{RAB} = \Sigma(\text{Volume}) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}$$

Menurut Ir. A. Soedradjat Sastraatmadja (1984), dalam bukunya "Analisa Anggaran Pelaksanaan", bahwa rencana anggaran biaya dibagi menjadi dua, yaitu rencana anggaran terperinci dan rencana anggaran biaya kasar. Menurut J. A. Mukomoko, dalam bukunya Dasar Penyusunan Anggaran Biaya Bangunan, 1987 dalam menyusun biaya diperlukan gambar-gambar bestek serta rencana kerja, daftar upah, daftar harga bahan, buku analisis, daftar susunan rencana biaya, serta daftar jumlah tiap jenis pekerjaan.

Menurut Bachtiar Ibrahim, dalam bukunya Rencana dan *Estimate Real of Cost*, 1993, penyusunan anggaran biaya yang dihitung dengan teliti, didasarkan atau didukung oleh gambar bestek. Gambar bestek adalah gambar lanjutan dari uraian gambar Pra Rencana, dan gambar detail dasar dengan skala (PU =

Perbandingan Ukuran) yang lebih besar. Gambar bestek merupakan lampiran dari uraian dan syarat-syarat (bestek) pekerjaan.

a. Volume/Kubikasi pekerjaan

Menurut Bachtiar Ibrahim, dalam buku Rencana dan *Estimate Real of Cost*, cetakan keempat, Jakarta, 2007, yang dimaksud dengan volume suatu pekerjaan ialah menghitung jumlah banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan

b. Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan ialah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisis. Secara umum dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\text{H.S. Perjaan} = \text{H.S. Bahan} + \text{H.S. Upah} + \text{H.S. Alat}$$

c. Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan merupakan analisa material, upah tenaga kerja, dan peralatan untuk membuat satu-satuan pekerjaan tertentu yang diatur dalam pasal-pasal analisa BOW maupun SNI, dari hasilnya ditetapkan koefisien pengali untuk material, upah tenaga kerja dan peralatan segala jenis pekerjaan. Sedangkan analisis Lapangan ditetapkan berdasarkan perhitungan kontraktor pelaksana.

1. Analisa Harga Satuan Bahan Analisa bahan suatu pekerjaan, ialah menghitung banyaknya/volume masingmasing bahan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan. Kebutuhan bahan dapat dicari dengan rumus umum sebagai berikut :

$$\Sigma \text{ Bahan} = \text{Volume pekerjaan} \times \text{Koefisien analisa bahan}$$

2. Analisa Harga Satuan Upah Analisa upah suatu pekerjaan ialah, menghitung banyaknya tenaga yang diperlukan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan tersebut. (Bachtiar Ibrahim, 1993) Secara umum jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk suatu volume pekerjaan tertentu dapat dicari dengan rumus :

Σ Tenaga Kerja = Volume Pekerjaan x Koefisien analisa tenaga kerja

3. Analisa Harga Satuan Alat Keluaran harga satuan dasar alat adalah Harga Satuan Dasar Alat yang meliputi biaya pasti, biaya operasi dan pemeliharaan dan biaya operatornya.

d. Metode Perhitungan

Sebelum menghitung harga satuan pekerjaan, maka harus mampu menguasai cara pemakaian analisa BOW, SNI. Dalam analisa BOW, telah ditetapkan angka jumlah tenaga kerja dan bahan untuk suatu pekerjaan. Sedangkan SNI adalah analisa BOW yang telah diperbaharui. Prinsip yang terdapat dalam metode BOW mencakup daftar koefisien upah dan bahan yang telah ditetapkan. Dari kedua koefisien tersebut akan didapatkan kalkulasi bahan-bahan yang diperlukan dan kalkulasi upah yang mengerjakan. Komposisi, perbandingan dan susunan material serta tenaga kerja pada satu pekerjaan sudah ditetapkan, yang selanjutnya dikalikan dengan harga satuan upah yang berlaku saat itu.

Analisa dengan metode SNI, untuk kebutuhan bahan atau material dan kebutuhan upah sama dengan metode BOW, akan tetapi besarnya nilai koefisien bahan dan upah tenaga kerja berbeda dengan analisa BOW. Sedangkan dengan metode Lapangan digunakan perhitungan harga satuan pekerjaan dari kontraktor pelaksana proyek konstruksi:

1. Analisa Harga Satuan Metode BOW Prinsip yang terdapat dalam metode BOW mencakup daftar koefisien upah dan bahan yang telah ditetapkan. Keduanya menganalisa harga (biaya) yang diperlukan untuk membuat harga satuan pekerjaan bangunan. Dari kedua koefisien tersebut akan didapatkan kalkulasi bahan-bahan yang diperlukan dan kalkulasi upah yang mengerjakan. Komposisi, perbandingan

dan susunan material serta tenaga kerja pada satu pekerjaan sudah ditetapkan, yang selanjutnya dikalikan dengan harga satuan material dan harga satuan upah yang berlaku pada daerah setempat.

2. Analisa Harga Satuan Metode SNI Prinsip perhitungan harga satuan pekerjaan dengan metode SNI hampir sama dengan perhitungan dengan metode BOW, akan tetapi terdapat perbedaan dengan metode BOW yaitu besarnya nilai koefisien bahan dan upah tenaga kerja. Dalam pelaksanaan perhitungan satuan pekerjaan harus didasarkan pada gambar teknis dan rencana kerja serta syarat-syarat yang berlaku (RKS). Perhitungan indeks bahan telah ditambahkan toleransi sebesar 15 % - 20 %, dimana didalamnya termasuk angka susut, yang besarnya tergantung dari jenis bahan dan komposisi.
3. Analisa Harga Satuan Metode Lapangan Menurut A. Soedradjat Sastraatmadja dalam buku Anggaran Biaya Pelaksanaan menjelaskan penaksiran anggaran biaya adalah proses perhitungan volume pekerjaan, harga dari berbagai macam bahan dan pekerjaan yang akan terjadi pada suatu konstruksi. Sehingga analisis yang diperoleh langsung diambil dari kenyataan yang ada di lapangan berikut dengan perhitungan koefisien / indeks lapangannya.

2.1.10 Concrete Jacketing

Concrete jacketing adalah satu satu dari sekian banyak teknik yang digunakan dalam perbaikan dan perkuatan beton bertulang. *Concrete jacketing* dilakukan dengan cara memperbesar penampang melintang beton bertulang yang telah ada dengan lapisan baru beton tambahan yang juga diperkuat dengan besi tulangan (Pasila 2016). Penguatan *concrete jacketing* ini adalah pembesaran dimensi dengan melapisi beton lama dengan beton baru dan penambahan tulangan longitudinal maupun tulangan transversal

pada elemen struktur untuk meningkatkan kinerja elemen tersebut. Keuntungan dari sistem ini adalah meningkatkan kapasitas struktur tersebut dan keuntungan lainnya bahwasanya *jacket* dalam melindungi dari kerusakan fragment dan struktur yang diperbaiki memiliki kemampuan dalam menerima beban, karena *jacket* dapat mengurangi kegagalan geser langsung (*direct shear*), namun dapat juga memberikan peningkatan kapasitas struktur itu sendiri (Asmara 2019). Ada beberapa kerugian dari penerapan metode *concrete jacketing*, yaitu pertama pada pelaksanaan pengeboran lubang elemen struktur eksisting dapat menyebabkan reduksi kekuatan pada penampang jika lebar pengeboran kecil dan beton tidak dalam kondisi bagus; kedua, beton yang baru membutuhkan ikatan yang tepat untuk menempel pada beton yang lama; ketiga, penambahan beton mengakibatkan penambahan ukuran dan berat dari penampang. (Asmara 2019) Dalam melakukan perkuatan dengan *concrete jacketing* biasanya digunakan bahan *micro concrete* yang sifatnya dapat memadat sendiri tanpa bantuan vibrator (*self compaction*). Dimana *micro concrete* adalah suatu campuran beton dengan ukuran butiran agregat yang kecil kurang dari 0,25 mm, agregat yang digunakan sebagai campiran dalam *micro concrete* ini biasanya adalah pasir silika yang mempunyai gradasi yang heterogen (Christiawan 2017)

a) Tulangan

Baja tulangan dipasang di dalam cetakan sebelum beton dicor. Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Berdasarkan bentuknya, baja tulangan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu baja tulangan polos (BjTP) dan baja tulangan sirip (BjTS). (Regina Deisi Grayse Porajow 2017)

b) Perekat Beton Eksisting dan Beton Baru (*Bonding Agent*)

Merupakan cairan pekat berwarna putih dengan komposisi bahan kimia yang sangat matang dan berguna untuk mengikat

antara beton lama dengan beton baru. Fungsinya adalah sebagai berikut: (Regina Deisi Grayse Porajow 2017)

- a. Untuk memperkuat ikatan antar sambungan beton dan mortar
- b. Untuk meningkatkan kekuatan tarik (elastisitas) dan puntir
- c. Sebagai penambal permukaan beton yang berlubang

c) Chemical Anchor

Chemical anchor adalah angkur (*anchor*) yang menggunakan campuran zat kimia untuk keperluan baik untuk penambahan kekuatan agar tahan kondisi seperti air atau air laut dan lain-lain. Mekanisme angkur kimia terdiri dari dua komponen, dimana komponen utama adalah *steel anchor* dan yang kedua bahan kimia sebagai pengikatnya. (Regina Deisi Grayse Porajow 2017). Metodenya, beton yang sudah mengeras terlebih dahulu dilubangi dengan ukuran diameter lubang yang lebih besar daripada baut angkurnya. Sebelum baut angkur dimasukkan ke dalam lubang, diberikan cairan perekat *chemical anchor* guna memberi perekat antara baut dengan betonnya. (Regina Deisi Grayse Porajow 2017)

d) Beton Instan (Grouting)

Beton instan merupakan semen instan siap pakai yang komposisinya terdiri dari semen, pasir, agregat, dan zat adiktif, dimana campuran solid ini sudah dikemas dalam karung. Komposisi yang digunakan untuk membuat beton instan ini sudah dihitung dengan tepat. (Arman 2018) .

Beton instan adalah campuran semen, pasir, agregat, dan bahan adiktif sesuai dengan yang direncanakan mutu yang dicapai beton instan dalam satu hari lebih tinggi dibanding dengan beton *ready mix* yaitu sebesar 50%. Pada dasarnya, beton instan diproduksi dalam beberapa tipe sebagai berikut: (Arman 2018)

- a. B0 yaitu beton instan yang biasa digunakan untuk lantai kerja atau *lean concrete*.

- b. Mutu K-175 yaitu beton instan yang biasa digunakan untuk melakukan pengecoran non struktural, seperti sloof, balok kolom praktis, dan lain-lain.
- c. Mutu K-225 sampai K-500 merupakan jenis-jenis beton instan yang biasa digunakan untuk struktur bangunan seperti kolom, balok, dinding beton, dan juga pelat lantai.
- d. Mutu khusus merupakan beton instan yang spesifikasinya disesuaikan dengan permintaan konsumen.

Beton instan sangat tepat digunakan untuk lokasi pekerjaan beton struktural dan non struktural yang tidak dapat dijangkau oleh *readymix concrete* yang mengharuskan kualitas dan komposisi campuran beton terjamin sesuai dengan mutu dan spesifikasi yang disyaratkan. Adapun keunggulan dari beton instan adalah: (Arman 2018)

- a. Lebih praktis dalam pengerjaannya.
- b. Tidak memerlukan takaran lagi.
- c. Waktu pengerjaan lebih singkat karena hanya perlu menambahkan air.
- d. Mutu terjamin dan konsisten.

2.1.11 FRP (Fiber Reinforced polimer)

Serat karbon didefinisikan sebagai serat mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan sistem FRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, aksial, dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan perekat *epoxy resin*. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional. (Vemmy 2017)

Jenis material komposit terdiri dari:

- a. *MMC (Metal Matrix Composite)*, yaitu komposit dengan material dasar dan material pengisinya berbahan dasar logam.]

- b. *CMC (Ceramic Matrix Composite)*, yaitu komposit dengan material dasar dan material pengisinya berbahan dasar keramik.
- c. *PMC (Polymer Matrix Composite)*, yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya polimer.

PMC adalah salah satu jenis komposit yang paling populer saat ini. Polimer yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Secara garis besar, jenis polimer *thermoset* adalah jenis polimer yang tidak dapat di daur ulang, sedangkan jenis polimer *thermoplastic* adalah jenis polimer yang dapat di daur ulang. Jenis

PMC yang saat ini sering dipakai dinamakan *FRP (Fiber Reinforced Polymer)*, yaitu material polimer yang diperkuat dengan menggunakan serat. Penggunaan serat ini dimaksudkan agar berat material komposit menjadi lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan logam yang relatif lebih berat. (Yahya 2016)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) terbuat dari bahan yang ringan, tidak korosif, dan mampu menahan kuat tarik tinggi. *FRP* dapat terbuat dari tiga bahan komposit, yaitu *carbon*, *glass*, dan *aramid*. (Yahya 2016) . *FRP* biasanya digunakan untuk perlindungan struktur secara keseluruhan, memperbaiki ketahanan gempa, meng-*upgrade* struktur yang sudah ada, dan memperbaiki struktur yang tidak memiliki kekuatan desain aslinya karena kesalahan konstruksi, korosi, ataupun penambahan beban. (Yahya 2016)

Prinsip daripada penambahan *FRP* sama seperti penambahan plat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur. Tipe *FRP* yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan *carbon*, *aramid*, dan *glass*. Bentuk *FRP* yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah *plate / composite* dan *fabric / wrap*. Bentuk *plate* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun plat serta

pada dinding; sedangkan bentuk *wrap* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta untuk meningkatkan kapasitas beban aksial dan geser pada kolom. (Syofyan 2016)

A. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) merupakan material komposit yang mengandung serat polimer resin dengan serat berkekuatan tinggi. CFRP sangat berguna untuk memperbaiki dan memperkuat komponen struktur agar kapasitas momen lentur dan geser meningkat. Penambahan CFRP pada komponen struktur dapat meningkatkan kapasitas geser dan lentur hingga mencapai 150%. (Asmara 2019) Ji Hong dkk (1997) menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Plastic* (CFRP) untuk perkuatan balok beton bertulang, yang diletakkan pada bagian bawah yang menunjukkan bahwa perekatan di plat CFRP pada balok beton bertulang adalah lebih cepat dan lebih mudah dari perekatan plat baja. CFRP mempunyai kapasitas beban yang cukup besar dari baja. Penggunaan CFRP sebagai material perkuatan di Indonesia sudah sejak tahun 199, dan saat ini metode ini makin populer dengan alasan: (Christiawan 2017)

a. Material

1. Kuat tarik sangat tinggi (± 7 s.d 10 kali lebih tinggi dari baja U-39)
2. Sangat ringan (density = 1,4-2,4 gr/cm³ atau 4 s/d 6 kali lebih ringan dari baja)
3. Sangat ringan (density = 1,4-2,4 gr/cm³ atau 4 s/d 6 kali lebih ringan dari baja)
4. Tidak korosi atau mudah berkarat. Bila dibuat dengan resin yang sesuai, serat karbon adalah salah satu bahan tahan korosi.
5. Daya tahan yang luar biasa. Serat karbon memiliki sifat kelelahan yang superior dibandingkan logam, yang

berarti komponen yang terbuat dari serat karbon tidak akan aus dengan cepat di bawah tekanan penggunaan konstan.

6. Modulus elastisitas yang mendekati baja tulangan.

b. Pelaksanaan

1. Cepat dan mudah
2. Minimal gangguan pada operasinya bangunan (memungkinkan untuk tidak menutup jalan kerja selama pelaksanaan)
3. Tidak memerlukan area kerja yang luas
4. Tidak memerlukan *joint*, meskipun bentang yang harus diperkuat cukup panjang
5. Memungkinkan untuk tidak dilakukannya pembongkaran plumbing atau ducting AC pada waktu pelaksanaan.

Selain itu, ada beberapa faktor kekurangan *FRP* diantaranya adalah: (Christiawan 2017)

- a. Kurang tahan terhadap suhu yang tinggi, dengan suhu sekitar 70°C , bahan perekat *epoxy resin* akan berubah dari kondisi keras menjadi lunak, bersifat plastis sehingga daya lekatnya akan menurun.
- b. Kurang tahan terhadap sinar ultra violet. Sehingga untuk mengatasi kekurangan ini diperlukan proteksi, misalnya dengan pelapisan atau penutupan dengan mortar. Penggunaan *FRP* pada bangunan yang mungkin terjadi kebakaran harus dibatasi kenaikan kapasitas lenturnya agar nantinya jika terjadi kegagalan atau kerusakan *FRP* karena suhu yang sangat tinggi, komponen struktur diharapkan masih bisa tetap bertahan memikul beban selama kebakaran berlangsung (sekitar 30% dari beban hidup).

B. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat

halus dari kaca. Di Jerman, *GFRP* juga dikenal dengan nama *GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff)*. *GFRP* merupakan jenis perkuatan yang memiliki kekuatan yang sangat besar, dan bahannya ringan (Siti Nurlina 2016).

GFRP terbuat dari kaca cair yang dipanaskan sekitar 2300 °F dan dipintal dengan bantuan *Bushing Platinumthodium* pada kecepatan 200 mph. (Vemmy 2017). Dalam pelaksanaannya *GFRP* dikombinasikan dengan perekat *epoxy resin* untuk meningkatkan kekuatan dan daktilitas dari jembatan, bangunan, dan struktur lainnya.

Penggunaan *GFRP* biasanya digunakan untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur bangunan lainnya. Selain untuk perkuatan, *GFRP* juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan, karena *GFRP* merupakan bahan yang tahan akan segala jenis cuaca, tahan dengan air yang mengandung garam seperti air laut, dan lainnya.

Untuk pengaplikasiannya, *GFRP* merupakan bahan yang sangat serbaguna dimana bahan ini memiliki jenis bahan yang ringan, kekuatan, dan ketahanan terhadap segala jenis cuaca.

C. Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)

Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP) merupakan mutu tinggi yang dibentuk dari *polyamide* dengan struktur ikatan *aromatic*. Material perkuatan dengan basis serat *aramid* merupakan salah satu metode perkuatan yang menawarkan kemudahan dalam pelaksanaan dan kehandalan dalam perkuatan. Serat aramid memiliki kekuatan sekitar lima kali lebih kuat dari baja dengan berat yang sama, tahan panas, dan memiliki kuat tarik yang tinggi. Pemasangan *Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)* yaitu dengan menempelkan pada permukaan elemen struktur yang membutuhkan perkuatan dengan menggunakan perekat *epoxy*

resin. (Vemmy 2017). Material ini akan terpengaruh oleh kondisi lingkungan dengan kelembaban yang ekstrim serta panas yang berlebih. Serat aramid adalah kelas dari serat sintetik yang tahan panas dan kuat.

D. Epoxy Resin

Selain ketiga jenis serat *FRP* tersebut, ada satu bahan yang tidak kalah penting, yaitu *epoxy resin*. *Epoxy resin* adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat *fiber* pada beton atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *epoxy resin* terdiri dari bahan padar dan cair yang saling larut. Campuran dengan *epoxy resin* yang lain dapat digunakan untuk mencapai kinerja tertentu dengan sifat yang diinginkan. *Epoxy resin* yang paling banyak digunakan adalah *Bisphenol A. Eter Diglisidil*. (Akbar 2019)

Beberapa keuntungan *epoxy resin* sebagai berikut:

- a. Berbagai sifat mekanis memungkinkan pilihan yang lebih banyak.
- b. Tidak ada pengupan selama proses pengeringan.
- c. Rendahnya penyusutan selama proses pengeringan.
- d. Ketahanan yang baik terhadap bahan kimia.
- e. Memiliki sifat adhesi yang baik terhadap berbagai macam pengisi, serta, dan substrat lainnya.

Pemanfaatan material komposit *fiber* pada struktur beton dapat diterapkan pada tahap aplikasi beton baru (pembuatan elemen struktur baru) ataupun yang bersifat renovasi/perbaikan. Hal tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut (Akbar 2019):

1. Aplikasi pada beton baru, pengganti besi tulangan dengan material komposit *fiber*, *glass*, atau *carbon* (berbentuk batangan/tulangan).
2. Aplikasi pada beton baru, penggunaan dalam bentuk rangka, perpaduan batang dan profil.

3. Aplikasi pada beton lama/perbaikan:
 - a. Dengan perekat *epoxy resin* (*externally bonded method*), metode ini menggunakan *laminat carbon/aramid* yang dipadukan dengan perekat berbahan *epoxy resin*. Dalam aplikasinya, untuk memperkuat lekatan pada sisi tumpuan, diberi angkur penahan yang tertanam pada struktur elemen beton yang diperkuat. Penerapan ditempatkan pada sisi bawah pelat, balok, atau membungkus kolom (*jacketing*).
 - b. Dengan menggunakan kaitan mekanis (*mechanically fastened method*), metode perkuatan ini menggunakan *laminat carbon* yang direkatkan dengan pasak/kaitan tertanam pada sisi bawah elemen struktur yang diperkuat. Fungsi pasak tersebut untuk mendistribusikan gaya/tegangan internal secara merata pada permukaan beton. Resiko kegagalan akibat lepasnya rekatan dapat diperkecil.

2.2 Matrix Penelitian Terdahulu

Matriks penelitian terdahulu (*Review Matrix of Previous Research*) adalah sebuah alat atau metode yang digunakan untuk mengorganisir dan menganalisis informasi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian yang sedang dilakukan. Matriks ini membantu peneliti untuk mengidentifikasi hubungan antara penelitian terdahulu, temuan, dan pertanyaan penelitian, serta memberikan gambaran yang lebih jelas tentang posisi penelitian yang sedang dilakukan di tengah-tengah penelitian yang sudah ada.

Dibawah ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang sedang dilakukan oleh peneliti :

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>1. Judul : Peningkatan Kekuatan Akibat Beban Siklik pada Kolom Beton Bertulang Persegidangan Pengekangan Eksternal FRP</p> <p>Penulis: Karmila Achmad Agoes SMD2 Tavio Tahun : 2013</p>	<p>Bencana gempa bumi akan menimbulkan kerugian yang tidak sedikit, baik berupa kerugian material maupun kerugian non material. Untuk wilayah Negara Indonesia telah dilakukan peninjauan kembali terhadap peta gempa yang ada dimana berdasarkan hasil penelitian bahwa telah terjadi pergeseran zona gempa.²³ Untuk mengantisipasi struktur gedung akibat pergeseran peta gempa ini maka ada dua hal penting yang harus diperhatikan yaitu kekuatan dan daktilitas struktur. Pembahasan dalam makalah ini dikhususkan pada peningkatan kekuatan struktur dengan menggunakan pembebanan siklik yang menggunakan pembebanan siklik yang merupakan representatif yang tepat untuk mewakili beban gempa.</p>	<p>2. <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP) adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai pengekangan eksternal tambahan pada struktur dan menjadi alternatif yang murah untuk memulihkan atau meningkatkan kinerja pada kolom beton.</i></p> <p>3. <i>GFRP adalah jenis serat yang relatif lebih murah dibanding CFRP. GFRP memiliki regangan yang lebih besar dibanding CFRP. Sedangkan CFRP memiliki kekuatan yang relatif lebih tinggi dibanding GFRP. Sehingga material ini cocok digunakan untuk perkuatan kolom beton.</i></p> <p>4. <i>Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. Dimana kekuatan fatigue merupakan kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan fatigue akibat beban siklik dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, load history dan sifat material.</i></p>	<p>1. Terjadi peningkatan Pn dan Mn pada kolom pengekangan eksternal GFRP 1 lapis, masing-masing sebesar 116,03% dan 15,19% dibandingkan kolom original</p> <p>2. Untuk kolom pengekangan eksternal CFRP 1 lapis peningkatan Pn dan Mn terhadap kolom original adalah 134,66% dan 20,54%</p> <p>3. Prosentase peningkatan Pn dan Mn kolom C-1C terhadap C-1G adalah 8,62% dan 4,65%.</p> <p>4. Hubungan tegangan-regangan puncak memberikan data peningkatan f'_{cc} dan ϵ'_{cc} pada kolom C-1C masing-masing adalah 8,55% dan 18,95% yang mengindikasikan bahwa kolom dengan pengekangan jenis serat Carbon memberikan peningkatan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolom pengekangan eksternal dengan jenis serat Glass.</p> <p>5. FRP memberikan pengaruh pengekangan yang lebih efektif dibandingkan kolom original dimana efektifitas pengekangan meningkat sebesar 1,45 dan 1,58 masing-masing untuk specimen C-1G dan C-1C.</p> <p>6. Dari hasil analisa diperoleh beban aksial konstan yang sama pada semua spesimen sebesar 960 KN.</p> <p>7. Besarnya beban siklik yang diwakili dengan PH adalah bervariasi yaitu pada kolom original C-1 : 207,79 KN, C-1G : 225,40 KN dan C-1C : 228,44 KN.</p>	<p>https://www.neliti.com/</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>2. Judul : Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode <i>Jacketing</i> dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit</p> <p>Penulis : BAGUS SOEBANDO NO, ANDREAS TRIWIYON, MUSLIKH</p> <p>Tahun : 2011</p>	<p>Struktur beton bertulang banyak digunakan pada berbagai konstruksi bangunan, yang terdiri dari gabungan bahan jenis beton dan baja tulangan. Komponen beton bertulang dapat mengalami suatu kegagalan fungsi dimana struktur tersebut tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja disebabkan karena kejadian alam, misalnya gempa bumi. Dampak dari kejadian alam tersebut bervariasi dari kategori rusak ringan, sedang, berat dan runtuh. Dengan kerusakan tersebut maka perlu upaya perbaikan struktur beton bertulang tersebut dengan metode perbaikan yang baik dan mudah dikerjakan dilapangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kenaikan beban ultimit sebelum dan setelah perbaikan (<i>retrofitting</i>), serta mengetahui perilaku <i>B. Soebandono et al. / Semesta Teknika</i>, Vol. 14, No. 2, 166-176, November 2011 167 setelah perbaikan (<i>retrofitting</i>), yaitu meliputi hubungan beban – lendutan, <i>envelope curve</i>, <i>hysteresis energy</i>, model keruntuhan, kekakuan (<i>stiffness</i>), daktilitas dan pola retak.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gaya geser adalah gaya yang arahnya terletak pada bidang penampang struktur (tegak lurus dengan sumbu aksial struktur). Setiap struktur memiliki suatu kapasitas geser tertentu. 2. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit <i>displacement</i>. 3. Menurut SNI-1726-2002, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa. Faktor daktilitas, μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan, δ_m dan simpangan struktur Gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama, δ_y didalam struktur gedung. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perbaikan struktur (<i>retrofit</i>) pada tahap ultimit dengan menggunakan metode <i>jacketing</i> dengan bahan ferosemen mampu meningkatkan kapasitas beban ultimi sebesar 91,667% (US-1 menjadi R-US.1) dan 81,818% (US-2 menjadi R-US.2), serta 28,571% (UBB menjadi R-UBB). 2. Pengujian perbaikan dengan metode <i>jacketing</i> mengalami peningkatan <i>energy hysteretic</i> sebesar 215,66% (US-1 menjadi R-US.1) dan 273,11% (US-2 menjadi RUS. 2), serta 389,84% (UBB menjadi RUBB). 3. Daktilitas balok R-US.1 sebesar 6,64 dan R-US.2 sebesar 12,72. 4. Kekakuan balok setelah diperbaiki (<i>retrofit</i>) mengalami penurunan kekakuan awal sebesar 60% (US-1 menjadi R-US.1), 40% (US-2 menjadi R-US.2) dan 18 % (UBB menjadi R-UBB). 5. Pola retak pada balok sebelum dan sesudah perbaikan sesuai dengan tipe kerusakan yang direncanakan. Retak geser ditandai dengan retak miring/ diagonal dari arah ujung tumpuan (pertemuan balok-kolom) ke titik pembebanan, sedangkan retak lentur ditandai dengan retak utama melintang di area pangkal balok disertai retak-retak kecil yang merata sepanjang jarak pembebanan. 	<p>https://journal.umy.ac.id</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>3. Judul : Perkuatan Kolom Bulat Beton Bertulang Dengan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (Gfrp)</p> <p>Penulis : I Ketut Sudarsana A.A Gede Sutapa</p> <p>Tahun : 2007</p>	<p>Teknik perkuatan struktur, khususnya kolom beton bertulang, telah banyak dilaporkan dalam literatur, antara lain dengan menambah dimensi kolom dengan menggunakan campuran beton baru, beton pracetak atau baja, pemasangan <i>wire mesh reinforcement</i>, jacketing dengan beton atau baja serta jacketing dengan FRP. Penambahan dimensi kolom tentu akan menambah kapasitas dukung kolom, namun berat sendiri struktur juga akan bertambah besar. Hal ini tidak baik terhadap perilaku dinamis struktur.</p>	<p>2. Kuat Tekan Beton (f'_c) Campuran beton dibuat berdasarkan rancangan campuran menurut SNI-2002. Kuat tekan rata-rata rencana adalah 20 MPa. Pemeriksaan terhadap material agregat halus dan kasar didapat hasil seperti pada Tabel 1. Berdasarkan karakteristik material penyusunnya didapat perbandingan semen, pasir, kerikil adalah 1:2:3. Pengujian tekan beton pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan rata-rata rencana sebesar 14,56 MPa.</p> <p>3. Baja Tulangan Karakteristik baja tulangan yg di gunakan adalah yang di dapat dr uji tarik yaitu tulangan diameter 7 dan diameter 5</p> <p>4. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) FRP merupakan material komposit antara serat dan polymer. Dalam penelitian ini serat glass yang digunakan berupa lembaran yang telah dianyam yang termasuk tipe <i>woven roving</i>. Sedangkan perekat epoxy didapat dari produk komersial yang beredar dipasaran.</p>	<p>1. Kegagalan perkuatan dengan satu lapis Glass Fiber Reinforced Polymer pada kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing/wrapping terjadi dalam dua kondisi, yaitu gagal geser pada sambungan dan putus di luar sambungan.</p> <p>2. Memperpanjang overlapping hasil perhitungan tidak begitu mempengaruhi peningkatan kekuatan kolom bulat beton bertulang yang diberi perkuatan dengan satu lapis GFRP.</p> <p>3. Beban aksial maksimum yang mampu dipikul oleh kolom dengan satu lapis GFRP baik yang mengalami gagal geser pada sambungan maupun putus di luar sambungan hampir sama yaitu \square 330 kN.</p> <p>4. Perkuatan dengan metode jacketing menggunakan satu lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dengan panjang sambungan (overlapping) yang bervariasi mampu meningkatkan daya dukung aksial kolom bulat beton bertulang sebesar 11,86 % sampai dengan 15,25 % dan dapat meningkatkan daktilitas aksial kolom bulat beton bertulang sebesar 12,41% hingga 47,14%.</p>	<p>https://ojs.unud.ac.id/2489</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>5. Judul : Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)</p> <p>Penulis : Heri Khoeri Tahun : 2020</p>	<p>Hasil analisis struktur pada Penelitian akhir assessment kantor pusat Bank Sulteng di kota Palu yang dilakukan oleh PT. Hesa Laras Cemerlang pasca terjadinya gempa bumi 28 September 2018 di Palu, merekomendasikan beberapa elemen struktur balok dan kolom harus dilakukan perbaikan dan perkuatan. Dari Penelitian hasil assessment tersebut direkomendasikan beberapa pilihan perkuatan pada elemen struktur balok dan kolom yang dapat diaplikasikan pada Bangunan Bank Sulteng. Sebelum dilakukan implementasi pekerjaan perbaikan perkuatan, dalam tahap awal (DED) <i>Detail Engineering Design</i> dilakukanlah studi ini untuk melakukan pemilihan alternatif metode perbaikan dengan batasan alokasi biaya yang sama dan aspek yang akan dipertimbangkan lainnya adalah aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, biaya Pelaksanaan dan estetika.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Concrete Jacketing</i> <i>Concrete jacketing</i> adalah suatu system perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan 2. Steel Jacketing <i>Jacketing</i> baja adalah suatu Teknik untuk memperkuat kolom persegi beton bertulang. 3. Fiber Carbon <i>Carbon fiber</i> didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90,00% berat karbon. Umumnya digunakan <i>graphite fiber</i> yang merupakan serat dengan karbon di atas 95,00% beratnya. Komposit <i>carbon fiber</i> cocok untuk aplikasi struktur yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, ringan, dan ketahanan terhadap <i>fatigue</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Steel jacketing</i> memiliki keunggulan pada aspek peningkatan kekuatan dan penambahan kekakuan dibandingkan dua alternatif lainnya. 2. FRP memiliki keunggulan dibandingkan kedua alternatif lainnya dalam hal kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan estetika. Walaupun dari sisi harga relatif paling mahal namun dalam studi ini sudah dibatasi kisaran alokasi biayanya. 3. <i>Concrete jacketing</i> memiliki kinerja yang paling baik dalam penambahan kekakuan struktur namun dalam kasus studi ini, <i>concrete jacketing</i> memiliki kelemahan pada tingkat kemudahan pada pelaksanaan sehingga berdampak pada waktu pelaksanaan yang lebih lama. Begitupun dari aspek biaya sebenarnya relatif paling murah, namun dalam studi ini sudah dibatasi kisaran alokasi biayanya. 4. Dengan pertimbangan pada aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, kecepatan waktu pelaksanaan dan estetika pada kisaran alokasi biaya yang sama, maka FRP merupakan alternatif terpilih, 	<p>https://jurnal.umj.ac.id</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>6. Judul : Perkuatan Struktur Beton Dengan Metode Frp Pada Bangunan Gedung Penulis : Safrinanda Harahap Prima Yane Putri Rusnardi Rahmat Putra Totoh Andayono Liana Atika Tahun : 2024</p>	<p>Konstruksi merupakan kegiatan membangun sarana maupun prasarana. Dalam bidang Teknik sipil sebuah konstruksi juga dikenal sebagai bangunan a / satuan infrastruktur yang berada pada sebuah area atau beberapa area. Suatu proyek dalam mencapai keberhasilannya yaitu mencapai tujuan menajemen konstruksi itu sendiri di mana di dalamnya ada perencanaan, sasaran mutu, biaya, efisiensi waktu maka di perlukan suatu metode / tahapan yang baik pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi dari seorang pelaksana (Harahap et al., 2023).</p> <p>Indonesia termasuk wilayah yang rawan terjadi bencana alam seperti gempa bumi, karna indonesia berada di atas pertemuan tiga lempeng yaitu Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik yang setiap saat dapat saling bertubrukan berakibatkan gempa tektonik. Walaupun kejadian gempa tidak dapat di prediksi , namun dampak yang ditimbulkan dapat diminimalisir jika di pahami cara membuat struktur bangunan tahan gempa. Hal yang bisa terjadi pasca gempa yaitu kerusakan bangunan, perlu di lakukan evaluasi kerusakan bangunan akibat gempa (Simanjuntak, 2020)</p>	<p>1. Perkuatan dengan Fibre Reinforced Polymer (FRP), menurut ACI 440.2R-02, tidak boleh dilakukan pada beton dengan mutu kurang dari 17 MPa. Perkuatan ini dilakukan dengan melapisi beton pada elemen balok atau kolom dengan satu atau lebih lapis FRP. Banyaknya lapisan FRP ditentukan oleh mutu FRP serta beban yang dipikulnya. Kedua hal ersebut diperhitungkan dalam perencanaan perkuatan struktur.</p>	<p>Kesimpulan bahwa perkuatan struktur beton dapat di lakukan jika kekuatan struktur rusak atau berkurang, peralihan fungsi dari bangunan. Pemasangan lapisan pada FRP didasarkan pada jenis beban yang bekerja. Pada balok, pelapisan pada bagian bawah ditujukan untuk menahan beban lentur. Sedangkan pada bagian samping ditujukan untuk menahan beban geser. Posisi pemasangan FRP disesuaikan dengan kebutuhan. Keunggulan dari perkuatan FRP ini yaitu bahan lebih ringan, kekuatan tarik tinggi, tidak terjadi korosi sehingga memiliki durabilitas (keawetan) yang tinggi, mudah dalam pemasangannya sehingga menghemat waktu serta bahannya mudah untuk dibentuk (fleksibel).</p>	<p>j-innovative.org INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>7. Judul : Sistem Perkuatan Struktur menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Gedung 4 Lantai Penulis : Rizky Bayu Saputra, Antonius, Muhamad Rusli Ahyar Tahun : 2023</p>	<p>Balok merupakan suatu elemen struktur penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu balok merupakan lokasi kritis yang menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang saling berkesinambungan. Keruntuhan balok merupakan hal yang berbahaya yang perlu mendapat penanganan serius, karena keruntuhan kolom akan menimbulkan akibat yang fatal terhadap konstruksi yang telah dibangun, keruntuhan pada balok dapat disebabkan oleh adanya peningkatan gaya gempa yang terjadi pada wilayah dimana struktur tersebut berdiri.</p>	<p>1. FRP (Fiber Reinforced polymer) ialah material komposit yang dibuat dari matrik resin polimer kemudian dicampurkan dengan memberikan serat karbon (CFRP) atau serat kaca (GFRP). Material karbon merupakan sebuah alternatif untuk perbaikan dan merehabilitasi suatu struktur dibandingkan menggunakan pelat baja konvensional.</p>	<p>1. Peraturan – peraturan yang dipakai pada analisis perkuatan ini mengacu pada RSNI 3 “Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Sistem Serat Berperekat Polimer Terlekat Eksternal Untuk Struktur Beton”. Oleh karena itu, diharapkan dapat menggunakan acuan perhitungan yang <i>up to date</i>. 2. Dalam pendesainan dengan menggunakan <i>software</i> ETABS perlu dilakukan secara teliti agar hasil yang didapat sesuai. 3. Alangkah baiknya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis lebih banyak belajar tentang sistem perkuatan untuk struktur beton.</p>	<p>https://jurnal.unissula.ac.id</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>8. Judul :</p> <p>Perkuatan Struktur Kolom Dan Balok Akibat Perubahan Layout Ruang Dengan Metode Cfrp</p> <p>Penulis : Danang Prastyo N S, Ratih Prawesti, Sugiharto, Sukoyo.</p> <p>Tahun : 2018</p>	<p>Bangunan masjid adalah salah satu bangunan penting dalam masyarakat, bangunan masjid sangat diharapkan bisa menampung banyak jamaah dalam melakukan ibadah. Dalam kasus ini adalah salah satu contoh permasalahan bangunan dengan alasan keluhan ketidaknyamanan dan alasan efektifitas ruang tampung untuk digunakan secara maksimal. Akibat dari rencana perubahan tersebut harus dilakukan perubahan struktur pada ruang tersebut karena posisi yang berakibat tidak efektifnya ruang yang direncanakan dapat maksimal menampung jamaah.</p> <p>Pada bangunan masjid As- Shohabat terdapat permasalahan pada lantai 2 masjid kolom pada ruangan tersebut menyebabkan tidak maksimal untuk menampung jumlah jamaah, untuk itu dilakukan pemotongan pada struktur kolom lantai 2 tersebut. Akibat dari pemotongan kolom pada lantai 2 akan berakibat pada struktur yang berada di atasnya, maka dilakukan perkuatan struktur pada balok lantai 2 penggunaan CFRP. Maka CFRP adalah solusi tercepat dan efisien dalam hal ini sebagai perkuatan untuk balok yang penahanya dihilangkan guna mendapatkan tujuan perubahan <i>layout</i> ruangan yang diinginkan.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. CFRP 2. Balok 3. Kolom 	<p>Berdasarkan hasil dan Analisa yang didapat dengan melakukan Analisa pada objek analisa yaitu bangunan masjid As – Shohabat yang mengalami perubahan layout ruangan, secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan CFRP dalam mengatasi permasalahan perkuatan struktur untuk masjid As-Shohabat karena kekurangan tulangan yang didapat dari hasil analisis SAP2000 menghasilkan kekurangan tulangan terjadi pada bagian atas balok yang bertemu dengan pelat lantai sehingga penggunaan CFRP untuk perkuatan adalah pilihan solusi yang ideal karena dari perhitungan biaya penggunaan CFRP lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan metode lainya dalam permasalahan ini.</p>	<p>https://jurnal.polineas.ac.id</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>9. Judul :</p> <p>Program desain perkuatan kolom dengan menggunakan frp <i>confinement</i> sesuai aci 440.2r-17</p> <p>Penulis :</p> <p>Rikson Kurniawan Tandelilin, Steven Sanjaya, Pamuda Pudjisuryadi, Gunawan Budi Wijaya</p> <p>Tahun: 2023</p>	<p>Umumnya struktur perlu perkuatan bilamana terjadi perubahan fungsi pada bangunan atau elemen-elemen strukturnya dirancang dengan beban yang lebih rendah dari standar yang sudah ditetapkan. Hal ini akan mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada struktur utama seperti balok, kolom, maupun dinding geser. Akan tetapi, yang perlu dijadikan perhatian utama saat ini adalah pada struktur kolom karena kita perlu mendesain kolom agar lebih kuat daripada balok (<i>strong column weak beam</i>). Untuk memperkuat struktur kolom dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yaitu dengan memperbesar dimensi komponen struktural, mengurangi bentang antar kolom, menambah plat baja, dan memakai <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemilihan Material FRP berdasarkan ACI 440.2R-17 <i>ch.9.3</i> Terdapat 3 jenis material FRP yang umum digunakan yaitu GFRP (FRP Kaca), AFRP (FRP Aramid), dan CFRP (FRP Karbon). 2. Rekomendasi Desain berdasarkan ACI 440.2R-17 <i>ch.9</i> Kapasitas struktur yang belum diperkuat harus memenuhi persyaratan yang dituliskan dalam ACI 440.2R-17 <i>eq.9.2</i> dan <i>eq.9.2.1a</i> sebagai berikut: 	<p>Program FRP kolom ini telah terverifikasi dengan ACI 440.2R-17 <i>ch.16.9.</i>, <i>spreadsheet</i> Excel, dan <i>Sika Carbodur</i>. Fitur dari program ini yaitu bisa menghitung kebutuhan FRP untuk penampang persegi panjang dan lingkaran, membuat diagram interaksi $\Phi P_n - \Phi M_n$ akibat beban aksial dan lentur 2 arah, dan dapat menggunakan material FRP umum sesuai kebutuhan pengguna program.</p>	<p>https:// publica tion.pet ra.ac.id</p>

JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>10. Judul :</p> <p>Perbaikan Kekuatan Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> (Gfrp) Strips</p> <p>Penulis :</p> <p>Parmo Taufikurrahman</p> <p>Tahun : 2022</p>	<p>Indonesia menjadi wilayah yang sering terjadi gempa bumi, hal ini disebabkan karena Indonesia berada pada zona tektonik yang sangat aktif.</p> <p>Tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu diwilayah Indonesia yang menyebabkan interaksi antar lempeng-lempeng tersebut sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia dan di dunia telah menyebabkan jutaan korban jiwa, keruntuhan dan kerusakan ribuan infrastruktur dan bangunan, serta dana trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi.</p> <p>Persoalan setelah / <i>pasca</i> terjadinya gempa yang tidak kalah pentingnya adalah perbaikan struktur.</p> <p>Perbaikan (retrofit) pasca gempa perlu dilakukan terhadap bangunan-bangunan yang mengalami kerusakan ringan berupa retak-retak struktur yang masih dengan pengertian besi baja tulangan masih belum mengalami leleh.</p> <p>Perbaikan terhadap struktur tersebut dimaksudkan untuk mengembalikan kekuatan dan daktilitas struktur bangunan-bangunan tersebut pada kondisi awal saat direncanakan atau bisa jadi lebih diperkuat.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Fiber Reinforced Polymer</i> (FRP) adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang <i>ductile</i>. <p>FRP adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang <i>ductile</i>.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu massa mirip batuan. <p>Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (<i>workability</i>), durabilitas dan waktu pengerasan.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kekuatan balok beton setelah di retrofit dengan GFRP mengalami peningkatan kapasitas beban (P) dari 8 ton ke 10 ton pada titik lendutan yang sama, sehingga dapat disimpulkan kekuatan balok beton dengan retrofit GFRP mengalami penambahan sebesar 20 % dibandingkan dengan kolom original. 2. Dalam menentukan peningkatan daktilitas maka digunakan parameter <i>displacement ductility</i>. Nilai meningkat sebesar 4% pada balok GFRP dibandingkan dengan balok original. 3. Dengan meningkatnya kekuatan dan daktilitas pada struktur dengan retrofit maka material GFRP Strips dapat menjadi solusi untuk perkuatan bangunan utamanya balok beton bertulang pasca terjadi kerusakan. 	<p>https://download.garuda.kemdikbud.go.id/</p>

	Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur bangunan untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan siklik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur bangunan gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi plastik.			
JUDUL, PENULIS, TAHUN	FENOMENA	VARIABEL YANG DITELITI	HASIL PENELITIAN	SUMBER REFERENSI
<p>11. Judul : Studi Perbandingan Kebutuhan Perkuatan Rc Jacketing Pada Variasi Rasio Gedung 6 Lantai Dengan Analisis Pushover</p> <p>Penulis : Salsabila Niken Kalista, Armin Naibaho, Nawir Rasidi</p> <p>Tahun: 2022</p>	<p>Beberapa tujuan dari studi ini adalah menghitung dimensi dan penulangan balok dan kolom eksisting, mengevaluasi kinerja gedung dengan analisis <i>pushover</i>, menentukan elemen balok dan kolom yang butuh diperkuat, dan menghitung biaya kebutuhan material perkuatan <i>RC Jacketing</i> pada setiap variasi rasio gedung.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preliminary design</i> balok dan kolom kelima gedung ini mengikuti SNI 2847-2019 (Tabel 2). 2. <i>Preliminary design</i> kemudian dimodelkan dalam aplikasi SAP 2000 (Gambar 2), kemudian diberi beban mati, beban hidup, dan beban angin gedung yang mengacu pada SNI 1727: 2020. Penulangan balok dan kolom mengacu pada SNI 2847:2019. 3. Analisis <i>pushover</i> dilakukan pada aplikasi SAP 2000 dengan mengacu pada ATC-40 4. Kolom yang memiliki sendi plastis berwarna merah muda (B) dan balok yang memiliki sendi plastis 5. Balok dan kolom kelima gedung yang mengalami kegagalan diperkuat dengan metode <i>RC Jacketing</i> pada daerah sambungan dan sendi plastis dengan mengacu pada IS 15988: 2013. 6. Material yang dibutuhkan pada perkuatan <i>RC Jacketing</i> dihitung kemudian dibandingkan diantara 5 rasio gedung. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimensi kolom eksisting menghasilkan kolom 400/400 mm untuk gedung I, kolom 350/460 mm untuk gedung II, 320/500 mm untuk gedung III, kolom 300/540 mm untuk gedung IV, dan kolom 270/600 mm untuk gedung V. 2. Berdasarkan analisis <i>pushover</i>, kelima gedung memiliki level kinerja yang sama yaitu <i>Damage Control</i>. Gedung yang mampu memiliki <i>total displacement</i> terkecil dari arah-X dan arah-Y adalah gedung 1 dengan rasio 1, sehingga gedung 1 inilah yang paling optimal menerima gempa dari kedua arah. 3. Seluruh gedung membutuhkan perkuatan pada 15 kolom bawah pada lantai 1, 15 sambungan pada lantai 2, dan 15 sambungan pada lantai 3. Pada lantai 4, 4. Dari kelima gedung, gedung 5 dengan rasio 4 membutuhkan biaya kebutuhan material perkuatan terbesar, dan gedung 1 dengan rasio 1 membutuhkan biaya kebutuhan material perkuatan terkecil 	<p>https://jurnal.polinema.ac.id</p>

2.3 Persamaan dan Perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang saat ini di bahas Penulis

Pelitian ini memiliki pendekatan yang berbeda dibandingkan dengan beberapa studi terdahulu yang telah dikaji. Mayoritas penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek teknis dan mekanis, seperti peningkatan kekuatan aksial, daktilitas, kekakuan, hingga analisis perilaku struktur akibat pembebanan siklik, baik dengan metode FRP (Fiber Reinforced Polymer) maupun jacketing beton. Beberapa penelitian juga membahas efektivitas material seperti GFRP dan CFRP terhadap peningkatan kapasitas struktur atau penggunaan software dalam desain perkuatan sesuai standar internasional (seperti ACI 440.2R-17).

Namun demikian, penelitian ini berbeda secara signifikan karena mengangkat tiga aspek utama secara terpadu, yaitu:

1. Aspek Biaya – Membandingkan total kebutuhan biaya antara metode FRP dan jacketing dalam perkuatan struktur, yang belum dikaji secara rinci dalam mayoritas penelitian sebelumnya.
2. Aspek Waktu Pelaksanaan – Penelitian ini menilai efisiensi durasi pelaksanaan di lapangan untuk masing-masing metode, sedangkan studi terdahulu umumnya hanya menyoroti efektivitas teknis tanpa mempertimbangkan waktu pelaksanaan secara langsung.
3. Aspek Dampak Lingkungan – Penelitian ini juga menilai jejak lingkungan dari masing-masing metode (emisi CO₂, limbah konstruksi, dan potensi daur ulang), yang sangat jarang atau bahkan belum disentuh oleh penelitian-penelitian terdahulu.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi yang lebih komprehensif dan aplikatif untuk pengambilan keputusan dalam proyek konstruksi, khususnya pada perkuatan struktur bangunan eksisting. Penelitian ini tidak hanya menjawab kebutuhan teknis, tetapi juga menyentuh dimensi ekonomis dan keberlanjutan lingkungan, yang sangat relevan dalam konteks pembangunan infrastruktur saat ini.

a. Peningkatan Kekuatan Akibat Beban Siklik pada Kolom Beton Bertulang Persegidengan Pengekangan Eksternal FRP

Berikut adalah **persamaan dan perbedaan** antara penelitian yang penulis teliti (yang fokus pada *perbandingan biaya, waktu, dan dampak lingkungan* metode perkuatan FRP dan jacketing) dengan penelitian oleh **Karmila Achmad dkk. (2013)** yang berjudul "*Peningkatan Kekuatan Akibat Beban Siklik pada Kolom Beton Bertulang Persegi dengan Pengekangan Eksternal FRP*":

Tabel 2.2 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu FRP

Persamaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Karmila Achmad dkk. (2013)
Penggunaan FRP	Menganalisis efektivitas FRP dalam perkuatan struktur balok eksisting	Menganalisis efektivitas FRP (GFRP dan CFRP) dalam perkuatan kolom beton
Tujuan Akhir	Meningkatkan kekuatan struktur eksisting agar layak dan efisien digunakan kembali	Meningkatkan kekuatan dan daktilitas kolom untuk menghadapi beban gempa (siklik)
Efektivitas FRP	Menunjukkan bahwa FRP lebih efektif dari sisi waktu dan biaya	Menunjukkan bahwa FRP meningkatkan kapasitas aksial (P_n), momen (M_n), serta kekuatan material (f'_{cc} dan ϵ'_{cc}) secara signifikan dibanding kolom tanpa perkuatan
Pilihan Material	Menggunakan CFRP karena kekuatannya	Menunjukkan CFRP memiliki performa lebih tinggi dibanding GFRP (kekuatan + daktilitas)
Perbedaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Karmila Achmad dkk. (2013)
Fokus Analisis	Perbandingan biaya, waktu pelaksanaan, dan dampak lingkungan antara FRP dan jacketing	Fokus pada performa struktural akibat beban siklik/gempa pada kolom beton dengan FRP
Objek yang Dikaji	Struktur balok eksisting pada gedung RS	Kolom beton persegi
Perbandingan Metode	FRP vs Jacketing	CFRP vs GFRP vs tanpa perkuatan (original)
Lingkup Dampak	Melibatkan aspek lingkungan: daur ulang, limbah, CO ₂	Tidak menyinggung aspek lingkungan atau efisiensi biaya dan waktu
Tipe Beban	Beban struktural aktual di proyek (tidak disebut siklik)	Fokus pada beban siklik untuk representasi gempa
Sistem Struktur	Bangunan eksisting gedung bertingkat	Spesimen kolom untuk pengujian laboratorium

b. Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Fero semen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit

Berikut adalah **persamaan dan perbedaan** antara penelitian yang penulis teliti (yang membandingkan metode perkuatan **FRP dan jacketing dari segi biaya, waktu, dan dampak lingkungan**) dengan penelitian oleh **Bagus Soebandono dkk. (2011)** yang berjudul "*Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Fero semen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit*":

Tabel 2. 3 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Metode Jacketing

Persamaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Bagus Soebandono dkk.
Topik Utama	Metode perkuatan struktur beton eksisting	Metode perkuatan struktur beton eksisting
Metode yang Digunakan	Mengkaji metode jacketing dan membandingkannya dengan FRP	Menggunakan metode jacketing (ferosemen)
Tujuan Akhir	Meningkatkan kinerja struktur (biaya, waktu, lingkungan)	Meningkatkan kapasitas struktur pasca kerusakan akibat beban siklik
Fokus pada Rehabilitasi	Ya, pada struktur eksisting (gedung RS)	Ya, pada balok rusak akibat beban ultimit
Pengaruh Jacketing	Diuji dari segi biaya, durasi pelaksanaan, dan limbah	Diuji dari sisi teknis: kekuatan, daktilitas, kekakuan, dan pola retak
Perbedaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Bagus Soebandono dkk.
Aspek yang Dibahas	Biaya, waktu pelaksanaan, dan dampak lingkungan dari FRP vs jacketing	Kapasitas struktur, daktilitas, kekakuan, dan hysteresis energy setelah jacketing
Perbandingan Metode	FRP vs Jacketing	Hanya jacketing ferosemen , tidak dibandingkan metode lain
Sudut Pandang	Analisis teknis-implementatif (manajemen proyek dan lingkungan)	Analisis eksperimental teknis-struktural
Material Jacketing	Umumnya beton tambahan konvensional	Ferosemen (campuran semen + wire mesh)
Aspek Lingkungan dan Waktu	Dibahas secara eksplisit (limbah, durasi pengerjaan, emisi)	Tidak dibahas
Data Output	Biaya satuan, durasi kerja, potensi limbah	Beban ultimit, hysteretic energy, daktilitas, kekakuan awal, pola retak

c. **Perkuatan Kolom Bulat Beton Bertulang Dengan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (Gfrp)**

Berikut adalah **analisis persamaan dan perbedaan** antara penelitian Anda (yang membandingkan **FRP dan Jacketing** dari segi **biaya, waktu, dan dampak lingkungan**) dengan penelitian **I Ketut Sudarsana & A.A. Gede Sutapa (2007)** yang berjudul "*Perkuatan Kolom Bulat Beton Bertulang Dengan Lapis GFRP*":

Tabel 2. 4 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu GFRP

Persamaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Ketut Sudarsana & Sutapa
Topik Utama	Evaluasi metode perkuatan struktur beton	Evaluasi metode perkuatan struktur beton
Metode FRP	Dibahas secara langsung sebagai alternatif	Menggunakan GFRP (jenis FRP) sebagai metode utama
Tujuan Perkuatan	Meningkatkan performa struktur eksisting (balok/kolom)	Meningkatkan kapasitas aksial dan daktilitas kolom
Jenis Struktur	Struktur beton bertulang eksisting (gedung RS)	Kolom beton bulat bertulang
Aspek Teknis	Memperhitungkan pengaruh bahan terhadap efektivitas dan efisiensi proyek	Meneliti peningkatan kekuatan dan daktilitas kolom setelah diperkuat
Perbedaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Ketut Sudarsana & Sutapa
Sudut Pandang	Proyek konstruksi: fokus pada biaya, waktu pelaksanaan, dan dampak lingkungan	Eksperimental teknis-struktural: fokus pada kekuatan aksial dan daktilitas
Perbandingan Metode	FRP vs Jacketing (konvensional)	Hanya fokus pada FRP (GFRP)
Metode Pelaksanaan	Memperhatikan metode cepat dan efisien di lapangan	Menggunakan jacketing/wrapping metode laboratorium
Aspek Biaya & Waktu	Diukur dan dibandingkan antara dua metode	Tidak dibahas
Aspek Lingkungan	Termasuk perbandingan emisi, limbah, dan durabilitas	Tidak dibahas sama sekali

d. Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)

Berikut adalah analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian Anda (yang membandingkan **FRP dan Jacketing** dari sisi **biaya, waktu pelaksanaan, dan dampak lingkungan**) dengan penelitian **Heri Khoeri (2020)** berjudul "*Pemilihan Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Bank Sulteng Palu)*":

Tabel 2. 5 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Studi Kasus

Persamaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Heri Khoeri
Topik utama	Perbandingan metode perkuatan struktur beton	Pemilihan metode perkuatan struktur akibat gempa
Objek struktur	Struktur eksisting (balok dan kolom gedung RS Vertikal Papua)	Struktur eksisting (balok dan kolom Bank Sulteng Palu)
Metode yang dibandingkan	FRP vs Concrete Jacketing	FRP vs Concrete Jacketing vs Steel Jacketing
Aspek yang dinilai	Biaya, waktu, dampak lingkungan	Biaya, waktu, kemudahan pelaksanaan, kekuatan, estetika
FRP sebagai metode modern	Dianggap cepat, ringan, dan efisien	Diakui unggul dalam kecepatan, kemudahan, estetika
Biaya sebagai parameter utama	Biaya dihitung dan dibandingkan langsung	Biaya menjadi batasan alokasi yang sama untuk semua alternatif
Perbedaan		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Heri Khoeri
Jumlah metode yang dibandingkan	2 (FRP vs Jacketing)	3 (FRP vs Concrete Jacketing vs Steel Jacketing)
Aspek lingkungan	Diperhatikan: emisi, limbah, dan bobot struktur	Tidak dibahas secara langsung
Pendekatan studi	Analisis teknis dan kuantitatif berbasis data proyek	Studi kualitatif dan pemilihan alternatif (decision making)
Penilaian biaya	Dihitung real dan dibandingkan	Dibatasi dalam kisaran alokasi biaya (tidak dihitung detail)
Pengambilan keputusan akhir	Kesimpulan berdasarkan keefektifan teknis dan biaya lingkungan	FRP dipilih karena unggul dalam pelaksanaan dan estetika (meskipun mahal)

e. Perkuatan Struktur Beton Dengan Metode Frp Pada Bangunan Gedung

Berikut adalah **analisis persamaan dan perbedaan** antara penelitian yang di teliti oleh penulis (tentang *perbandingan FRP dan Jacketing dari aspek biaya, waktu, dan dampak lingkungan*) dengan penelitian oleh **Safrinanda Harahap et al. (2024)** berjudul "**Perkuatan Struktur Beton Dengan Metode FRP Pada Bangunan Gedung**":

Tabel 2. 6 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Metode FRP

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Harahap et al. (2024)
Topik	Perbandingan metode perkuatan struktur beton	Kajian metode perkuatan struktur beton
Objek	Struktur beton eksisting (RS Vertikal Papua)	Struktur beton pada bangunan gedung
Fokus pada FRP	Menilai efektivitas FRP dari biaya, waktu, dan lingkungan	Menjelaskan keunggulan FRP sebagai solusi perkuatan
Fokus pasca-gempa	Perkuatan struktur eksisting akibat risiko gempa	Relevansi struktur tahan gempa pasca gempa
Efisiensi waktu pemasangan	FRP lebih cepat dibanding concrete jacketing	FRP mudah dan hemat waktu pemasangan
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Harahap et al. (2024)
Perbandingan metode	Membandingkan FRP dengan Jacketing	Hanya membahas FRP (tidak membandingkan dengan metode lain)
Aspek biaya	Dibandingkan antara metode (FRP vs Jacketing)	Tidak dibahas secara kuantitatif
Aspek lingkungan	Memuat analisis limbah, emisi, daur ulang	Tidak ada pembahasan tentang dampak lingkungan
Aspek waktu pelaksanaan	Dibandingkan langsung antara dua metode	Hanya menyebut FRP sebagai metode cepat
Ruang lingkup studi	Studi lapangan proyek RS Vertikal Papua	Kajian pustaka + pemahaman umum tentang FRP
Posisi FRP pada elemen struktur	Tidak dijelaskan secara teknis	Dijelaskan posisi FRP: bawah (lentur), samping (geser)

f. Sistem Perkuatan Struktur menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Gedung 4

Berikut adalah analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian yang diteliti oleh penulis (*perbandingan FRP dan Jacketing dari aspek biaya, waktu, dan dampak lingkungan*) dengan penelitian oleh Rizky Bayu Saputra et al. (2023) berjudul "Sistem Perkuatan Struktur menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Gedung 4 Lantai":

Tabel 2. 7 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Metode CFRP

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Rizky Bayu Saputra et al. (2023)
Topik Umum	Perbandingan metode perkuatan struktur	Kajian metode perkuatan CFRP pada struktur
Fokus FRP	CFRP sebagai salah satu metode	Fokus utama pada CFRP
Permasalahan	Potensi kerusakan struktur akibat beban gempa	Potensi keruntuhan balok akibat gaya gempa
Tujuan Perkuatan	Memulihkan dan meningkatkan kekuatan struktur beton	Menanggulangi keruntuhan balok akibat gempa
Mengacu ke SNI	Menggunakan dasar analisa teknis sesuai standar (implisit)	Mengacu pada RSNI 3 tentang sistem FRP
Manfaat FRP	Sebagai alternatif ringan, cepat, efisien	Sebagai alternatif modern menggantikan pelat baja
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Rizky Bayu Saputra et al. (2023)
Metode yang dibandingkan	FRP vs Jacketing (dua metode)	Hanya fokus pada FRP (CFRP)
Aspek biaya	Dibahas dan dihitung sebagai indikator utama	Tidak dibahas sama sekali
Aspek waktu pelaksanaan	Dibandingkan antara metode (FRP vs Jacketing)	Tidak dibahas langsung (hanya teknis)
Aspek dampak lingkungan	Ada pembahasan emisi, limbah, daur ulang	Tidak ada pembahasan dampak lingkungan
Pendekatan	Studi lapangan dengan perbandingan menyeluruh	Pendekatan analisis software ETABS + referensi kode

g. Perkuatan Struktur Kolom Dan Balok Akibat Perubahan Layout Ruang Dengan Metode Cfrp

Berikut adalah analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian yang diteliti oleh penulis (*perbandingan FRP dan jacketing dari aspek biaya, waktu, dan dampak lingkungan*) dengan penelitian oleh **Danang Prastyo N. S. dkk. (2018)** berjudul "**Perkuatan Struktur Kolom dan Balok Akibat Perubahan Layout Ruang dengan Metode CFRP**":

Tabel 2. 8 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Struktur Kolom

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Danang Prastyo et al. (2018)
Topik Umum	Perbandingan metode perkuatan struktur beton	Studi penggunaan metode perkuatan struktur
Metode FRP/CFRP	Membandingkan efektivitas CFRP dan jacketing	Fokus pada efektivitas CFRP
Aspek Biaya	Dibandingkan antara FRP dan jacketing	CFRP dinyatakan lebih ekonomis dari metode lain
Tujuan Perkuatan	Mengatasi kerusakan struktur pasca gempa	Mengatasi perubahan fungsi ruang (layout)
Efektivitas CFRP	Dinilai dari waktu, biaya, dan pelaksanaan	CFRP dipilih karena ekonomis dan efisien
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Danang Prastyo et al. (2018)
Metode Perbandingan	Membandingkan CFRP dengan Jacketing	Hanya meneliti CFRP (tidak ada jacketing)
Aspek Waktu Pelaksanaan	Dibahas dan dibandingkan	Tidak dibahas eksplisit (hanya disebut efisien)
Aspek Dampak Lingkungan	Dibahas (emisi, limbah, daur ulang)	Tidak dibahas sama sekali
Penyebab Perkuatan	Kerusakan akibat beban gempa	Perubahan layout dan kebutuhan ruang
Kriteria Perbandingan	Kekuatan, biaya, waktu, lingkungan	Fokus utama pada efisiensi biaya
Rekomendasi Teknis	Menilai pilihan metode terbaik secara komparatif	CFRP dianggap sebagai solusi optimal untuk kasus tersebut

h. Program desain perkuatan kolom dengan menggunakan frp confinement sesuai aci 440.2r-17

Berikut analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian Anda (tentang perbandingan metode FRP dan jacketing dilihat dari aspek biaya, waktu, dan dampak lingkungan) dengan penelitian oleh Rikson Kurniawan Tandelilin et al. (2023) berjudul: “Program Desain Perkuatan Kolom dengan Menggunakan FRP Confinement Sesuai ACI 440.2R-17”.

Tabel 2. 9 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Perkuatan Kolom

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Rikson Kurniawan et al. (2023)
Topik	Perkuatan struktur beton	Perkuatan kolom struktur beton
Metode FRP	FRP sebagai salah satu metode utama	Fokus utama pada FRP (GFRP, AFRP, CFRP)
Jenis Struktur	Balok dan kolom eksisting	Kolom struktur (persegi dan lingkaran)
Tujuan Teknis	Meningkatkan kekuatan dan efisiensi	Meningkatkan kekuatan dan kapasitas aksial-lentur
Standar Perencanaan	Mengacu pada ACI dan SNI	Mengacu pada ACI 440.2R-17
Material FRP	Dibahas GFRP dan CFRP	Dibahas GFRP, AFRP, CFRP (lebih lengkap)
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Rikson Kurniawan et al. (2023)
Metode Pemandangan	Membandingkan FRP dengan jacketing beton	Tidak membandingkan, hanya membahas FRP
Aspek Biaya	Dikaji secara eksplisit	Tidak dibahas dalam artikel ini
Aspek Waktu Pelaksanaan	Dibandingkan antara metode FRP vs jacketing	Tidak disinggung
Aspek Lingkungan	Emisi CO ₂ , limbah konstruksi, daur ulang	Tidak dibahas
Pendekatan Penelitian	Komparatif dan analisis lapangan	Pengembangan <i>software/program</i> desain struktur
Output	Evaluasi keunggulan metode	Tools bantu desain interaktif dan terstandar
Kontribusi Unik	Tinjauan holistik (teknis dan non-teknis)	Kontribusi digital (otomatisasi perhitungan FRP)

i. Perbaikan Kekuatan Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer (Gfrp) Strips*

Berikut adalah analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian yang di teliti oleh penulis (*perbandingan metode FRP dan jacketing dari aspek biaya, waktu, dan dampak lingkungan*) dan penelitian oleh Parmo & Taufikurrahman (2022) berjudul: "Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Strips"

Tabel 2. 10 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu GFRP Strips

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Parmo & Taufikurrahman (2022)
Topik utama	Metode perkuatan struktur eksisting	Metode perkuatan pasca gempa
Metode FRP	Dibahas sebagai salah satu alternatif utama	Fokus utama menggunakan GFRP
Struktur yang diperkuat	Balok dan kolom beton bertulang	Balok beton bertulang
Tujuan teknis	Meningkatkan kekuatan dan efisiensi	Meningkatkan kekuatan dan daktilitas
Konteks gempa	Dibahas sebagai penyebab kerusakan	Fokus pada kerusakan pasca gempa
Efektivitas GFRP	Diuji dan dibandingkan dengan jacketing	Dibuktikan meningkatkan kekuatan 20% dan daktilitas 4%
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Parmo & Taufikurrahman (2022)
Metode pembanding	FRP vs jacketing (beton)	Hanya membahas GFRP (tanpa perbandingan)
Aspek biaya	Dihitung dan dibandingkan langsung	Tidak dibahas sama sekali
Aspek waktu pelaksanaan	Dihitung dan dibandingkan	Tidak dibahas
Aspek lingkungan	Dibahas dari segi emisi CO ₂ , limbah, dan daur ulang	Tidak dibahas
Keluaran penelitian	Rekomendasi pilihan metode terbaik secara teknis dan non-teknis	Validasi efektivitas GFRP terhadap balok saja
Pendekatan	Analisis komparatif multi-aspek (biaya, waktu, lingkungan)	Eksperimen struktural dan hasil teknis langsung

j. Studi Perbandingan Kebutuhan Perkuatan Rc Jacketing Pada Variasi Rasio Gedung 6 Lantai Dengan Analisis Pushover

Berikut adalah analisis persamaan dan perbedaan antara penelitian yang di teliti oleh penulis (*perbandingan metode FRP dan jacketing dari segi biaya, waktu, dan dampak lingkungan*) dengan penelitian berjudul: "Studi Perbandingan Kebutuhan Perkuatan RC Jacketing Pada Variasi Rasio Gedung 6 Lantai Dengan Analisis Pushover"

Tabel 2. 11 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu Rc Jacketing

PERSAMAAN		
Aspek	Penelitian Sekarang	Penelitian Salsabila dkk
Topik umum	Perkuatan struktur beton	Perkuatan struktur beton
Metode Jacketing	Salah satu objek utama	Fokus utama (RC Jacketing)
Aspek biaya	Diperbandingkan antara metode	Dihitung berdasarkan variasi desain
Pertimbangan teknis	Kekuatan, efisiensi, efektivitas	Pushover analysis & kinerja seismik
Tujuan akhir	Menentukan metode paling efisien dan ramah lingkungan	Menentukan kebutuhan dan biaya optimal RC Jacketing
PERBEDAAN		
Aspek	Penelitian Sekarangs	Penelitian Salsabila dkk
Metode yang dibandingkan	FRP vs RC Jacketing	Hanya RC Jacketing (tanpa pembanding)
Struktur yang diperkuat	Balok & kolom proyek eksisting RS Papua	Balok & kolom 5 model gedung hipotetik
Aspek waktu pelaksanaan	Dibahas dan dibandingkan antar metode	Tidak dibahas
Hasil akhir	Perbandingan menyeluruh biaya-waktu-lingkungan	Perbandingan kebutuhan biaya antar variasi desain
Alternatif solusi	Evaluasi efisiensi metode	Evaluasi efisiensi rasio gedung (rasio tinggi-lebar)