

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL

Stabilisasi Fly Ash pada Tanah Gedebage Bandung
Ricardo MORRISON, Asriwiyanti DESIANI

**Konsolidasi Tanah pada Sistem Saluran Drainase dalam Upaya Penanganan Banjir
(Studi Kasus: Kelurahan Way Dadi, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung)**
*Mulia Ayu ROSANTY, Rizky Ahmad YUDANEGARA, Ratna Mustika SARI,
Tera Melya Patrice SIHOMBING*

**Evaluasi Tingkat Korelasi Data Hujan Satelit GPM Terhadap Data Hujan Ground
Station di DAS Seluang pada Kawasan IKN**
*Kahar H. Prima PUTRA, Mohammad FARID, Dimas H. WISANGGENI,
Fiqih Jul FACHRI*

**Kinerja Operasional Moda Kereta Api Siantar Ekspres Rute Medan–Siantar
Menurut Penumpang Masa Panca Pandemi Covid-19**
Oloan SITOANG, Febby Yola LUMBAN TOBING, Reynaldo SIAHAAN

**Perbandingan Biaya, Durasi, dan Kerugian Pendapatan Operasional Metode
Perkuatan Struktur Kolom Beton Bertulang Gedung Pabrik**
Camelia Rafella SURYAMISENA, Roi MILYARDI, Cindrawaty LESMANA



Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas berisi artikel-artikel ilmiah yang meliputi kajian di bidang teknik khususnya Teknik Sipil, seperti matematika teknik, mekanika teknik, analisis struktur, konstruksi baja, konstruksi beton, konstruksi kayu, konstruksi gelas, mekanika tanah, teknik pondasi, hidrologi, hidrolika, bangunan air, manajemen konstruksi, dinamika struktur, *earthquake engineering*, sistem dan rekayasa transportasi, ilmu ukur tanah, struktur bangunan sipil, rekayasa jalan raya, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan bidang-bidang tersebut.

Penasihat :

Rektor Universitas Katolik Santo Thomas

Ketua Penyunting (Editor in Chief) :

Ir. Oloan Sitohang, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Manajer Penyunting (Managing Editor):

Reynaldo, S.T., M.Eng. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Anggota Penyunting (Editorial Board):

Dr.-Ing. Sofyan, S.T, M.T. (Universitas Malikussaleh)

Dr. Dwi Phalita Upahita (Pusat Riset Teknologi Transportasi, BRIN)

Samsuardi Batubara, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr. Janner Simarmata (Universitas Negeri Medan)

Mitra Bestari (Peer Reviewer):

Dr.Eng. Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. (Universitas Lampung, Indonesia)

Ir. Binsar Silitonga, M.T. (Akademi Teknik Deli Serdang, Indonesia)

Budi Hasiholan, S.T., M.T., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia)

Ir. Charles Sitindaon, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Erica Elice Uy (De La Salle University, Philippines)

Dr. Ernesto Silitonga, S.T, D.E.A. (Universitas Negeri Medan, Indonesia)

Prof. Dr-Ing. Johannes Tarigan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)

Dr. Linda Prasetyorini (Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia)

Ir. Martius Ginting, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr.Eng. Mia Wimala (Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia)

Dr.Eng. Minson Simatupang (Universitas Halu Oleo, Indonesia)

Dr. Mochamad Raditya Pradana (Worley)

Dr. Ir. Shirley Susanne Lumeno, S.T., M.T. (Universitas Negeri Manado, Indonesia)

Dr. Senot Sangadji (Universitas Sebelas Maret, Indonesia)

Ir. Simon Dertha, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Thi Nguyễn Cao (Tien Giang University, Viet Nam)

Ilustrator Sampul:

Yulianto, ST., M.Eng (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Penerbit & Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas

Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjung Sari, Medan 20132

Telp. (061) 8210161 Fax : (061) 8213269

email : sipil@ust.ac.id

Konten

REKAYASA GEOTEKNIK	hal.
Stabilisasi Fly Ash pada Tanah Gedebage Bandung	47-57
<i>Ricardo MORRISON, Asriwiyanti DESLANI</i>	
TEKNIK SUMBER DAYA AIR	
Konsolidasi Tanah pada Sistem Saluran Drainase dalam Upaya Penanganan Banjir (Studi Kasus: Kelurahan Way Dadi, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung)	59-70
<i>Mulia Ayu ROSANTY, Rizky Ahmad YUDANEGARA, Ratna Mustika SARI, Tera Melya Patrice SIHOMBING</i>	
Evaluasi Tingkat Korelasi Data Hujan Satelit GPM Terhadap Data Hujan Ground Station di DAS Seluang pada Kawasan IKN	71-80
<i>Kahar H. Prima PUTRA, Mohammad FARID, Dimas H. WISANGGENI, Fiqih Jul FACHRI</i>	
REKAYASA TRANSPORTASI	
Kinerja Operasional Moda Kereta Api Siantar Ekspres Rute Medan–Siantar Menurut Penumpang Masa Panca Pandemi Covid-19	81-91
<i>Oloan SITOANG, Febby Yola LUMBAN TOBING, Reynaldo SLAHAAN</i>	
MANAJEMEN KONSTRUKSI	
Perbandingan Biaya, Durasi, dan Kerugian Pendapatan Operasional Metode Perkuatan Struktur Kolom Beton Bertulang Gedung Pabrik	93-103
<i>Camelia Rafella SURYAMISENA, Roi MILYARDI, Cindravaty LESMANA</i>	

Pengantar Redaksi

Puji dan syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih karuniaNYA kami dapat menyelesaikan penerbitan Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Volume 7 Nomor 2 di bulan Oktober tahun 2024 ini. Pada edisi ini, telah diterbitkan lima artikel yang telah melewati proses *peer-review* dan penyuntingan artikel. Kelima artikel tersebut terdiri atas satu artikel dalam topik Rekayasa Geoteknik, dua artikel dalam topik Teknik Sumber Daya Air, satu artikel dalam topik Rekayasa Transportasi, dan satu artikel dengan topik Manajemen Konstruksi.

Pada artikel pertama, Morrison dan Desiani menginvestigasi dampak pencampuran *fly ash* terhadap karakteristik kuat geser tanah lunak di daerah Gedebage, Bandung. Artikel kedua ditulis oleh Rosanti, dkk., yang mengembangkan model konseptual kebijakan penataan ulang pertanahan untuk kasus Keluaran Way Dadi, Kecamatan Sukarame, Kota Bandar Lampung. Dalam artikel ketiga, Prima Putra dkk. melakukan uji korelasi dan validasi antara data hujan GPM dan data hujan *ground station* untuk kebutuhan data penunjang pembangunan Kawasan Ibu Kota Nusantara. Pada artikel keempat, Sitohang dkk. mengevaluasi kinerja pelayanan moda transportasi penumpang KA Siantar Ekspres pasca pandemi Covid-19. Artikel kelima ditulis oleh Suryamisena dkk., yang melakukan komparasi antara metode steel jacketing (SJ) dan penggunaan carbon fiber reinforced polymers (CFRP) pada gedung pabrik berdasarkan aspek biaya, durasi pekerjaan, dan dampak kerugian pendapatan operasional pabrik.

Dewan redaksi menyampaikan apresiasi tinggi kepada para penulis yang karyanya diterbitkan pada volume ini, atas kerja samanya merespon komentar dan rekomendasi dari mitra bestari dan tim editorial. Ungkapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para mitra bestari atas kontribusi dukungannya dan kesediaannya menyambut permintaan kami untuk menelaah karya ilmiah yang masuk. Kami berharap kolaborasi yang terjadi semakin baik, dan JRKMS dapat menjadi media publikasi ilmiah yang semakin kredibel dan berkontribusi dalam dunia ketekniksipilan.

Salam hangat dan Salam sehat.

Medan, Oktober 2024

Tim Editorial

Perbandingan Biaya, Durasi, dan Kerugian Pendapatan Operasional Metode Perkuatan Struktur Kolom Beton Bertulang Gedung Pabrik

Camelia Rafella SURYAMISENA¹, Roi MILYARDI^{1*}, Cindrawaty LESMANA¹

¹Universitas Kristen Maranatha, email: roi.milyardi@maranatha.edu

Sejarah artikel

Diserahkan: 04 Agustus 2024
Dalam bentuk revisi: 04 September 2024

Diterima: 06 September 2024
Tersedia online: 07 November 2024

Abstract

Retrofitting of reinforced concrete column structures in factory buildings has an influence on operations, specifically the revenue from the factory that must be considered in the selection of retrofitting methods. This study aims to obtain a comparison of reinforced concrete column reinforcement methods between the steel jacketing (SJ) method and the carbon fiber reinforced polymers (CFRP) method in factory buildings based on aspects of cost, work duration, and the impact of losses on factory operational income (YLOS_i). The case study was conducted on a factory building in Lampung Province, with 2 columns that will be strengthened. Cost and duration analysis were carried out referring to the local unit price and standard analysis procedure. The YLOS_i was calculated through the HAZUS formula. The cost data indicates that, as compared to the SJ method, the CFRP method is more expensive (37.02%). In terms of duration, the CFRP method has a shorter 2 days duration (40.00%) compared to the SJ method. In comparison to the SJ method, the CFRP method has a lower value (40.00%) in the aspect YLOS_i. However, in the total dependent cost (implementation cost and estimated loss), the CFRP method has a greater value of 24.28% than the SJ method.

Keywords: column retrofitting, repair cost, operational loss, CFRP, steel jacketing

Abstrak

Perkuatan struktur kolom beton bertulang pada gedung pabrik memiliki pengaruh pada kegiatan operasional, secara khusus pendapatan dari pabrik. Pada pemilihan metode perkuatan pada pabrik, estimasi kerugian pendapatan perlu dipertimbangkan selain kriteria umum lainnya. Studi ini bertujuan mendapatkan perbandingan metode perkuatan kolom beton bertulang antara metode steel jacketing (SJ) dan penggunaan carbon fiber reinforced polymers (CFRP) pada gedung pabrik berdasarkan aspek biaya, durasi pekerjaan, dan dampak kerugian pendapatan operasional pabrik. Studi kasus dilakukan pada fasilitas gedung pabrik di Provinsi Lampung, dengan 2 kolom yang akan diperkuat hasil analisis tahapan studi sebelumnya. Analisis biaya dan durasi dilakukan mengacu Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) PerMen PUPR No.28/PRT/M/2016 dan harga satuan daerah pada wilayah Provinsi Lampung. Estimasi kerugian operasional pendapatan (YLOS_i) pabrik dikalkulasi melalui pendekatan model HAZUS. Hasil penelitian menunjukkan pada aspek biaya, metode CFRP memiliki biaya yang lebih besar dengan selisih 37,02% dibandingkan metode SJ. Pada aspek durasi pelaksanaan, metode CFRP memiliki durasi yang lebih singkat dengan selisih 2 hari (40,00%) dibandingkan metode SJ. Pada aspek YLOS_i pabrik menunjukkan metode CFRP memiliki estimasi kerugian lebih kecil dengan selisih 40,00% dibandingkan metode SJ. Namun pada total biaya tanggungan (biaya pelaksanaan dan estimasi kerugian), metode CFRP memiliki nilai lebih besar 24,28% dibandingkan metode SJ.

Kata kunci: perkuatan kolom, biaya perbaikan, kerugian operasional, CFRP, steel jacketing

1. Pendahuluan

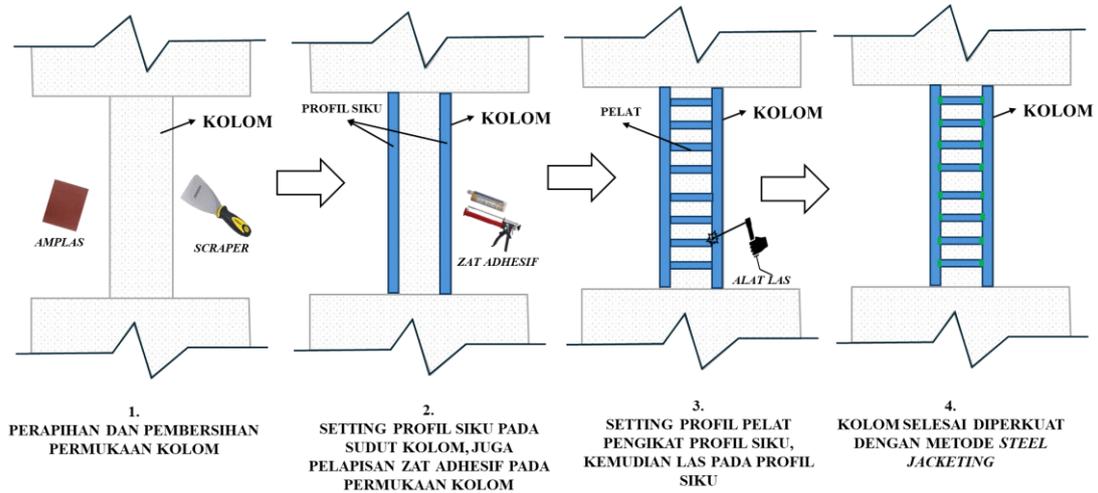
Proyek pengembangan fasilitas pabrik umumnya berorientasi pada pasar dari produk yang dihasilkan (Milyardi, dkk., 2021). Pada saat orientasi pasar naik, maka dibutuhkan peningkatan kapasitas produksi yang berkaitan dengan peningkatan fasilitas produksi. Pada proses pengembangan fasilitas pabrik beberapa alternatif dapat dipertimbangkan diantaranya adalah pembangunan baru, renovasi parsial, hingga renovasi menyeluruh bangunan eksisting (Douglas, 2006; Gelfand & Duncan, 2011). Pada proyek renovasi gedung pabrik berbagai variabel perlu diperhatikan diantaranya aspek kekuatan, biaya, durasi, hingga *construcability* (Alba-Rodríguez, dkk., 2017; Chmielewski, dkk., 2020; Hameed & Khan, 2014; Hasik, dkk., 2019). Pemetaan bangunan eksisting diperlukan pada proyek renovasi berkaitan dengan risiko legal dan teknis pada proyek (Milyardi, 2020). Diperlukan analisis struktur bangunan eksisting untuk menentukan kebutuhan perkuatan dalam proses renovasi gedung. Variabel kritis pada proses renovasi gedung pabrik adalah durasi renovasi yang berkaitan erat dengan gangguan produktivitas pabrik (Hameed & Khan, 2014). Durasi konstruksi ini berkaitan erat dengan tingkat pengetahuan dan produktivitas pekerja (Nataadiningrat, dkk., 2020).

Berbagai metode perkuatan pada struktur kolom beton bertulang telah dikembangkan dan telah digunakan secara luas, diantaranya adalah *steel jacketing* (SJ), dan perkuatan dengan *carbon fiber reinforced polymers* (CFRP) ditunjukkan pada Gambar 1 (Newman, 2021).



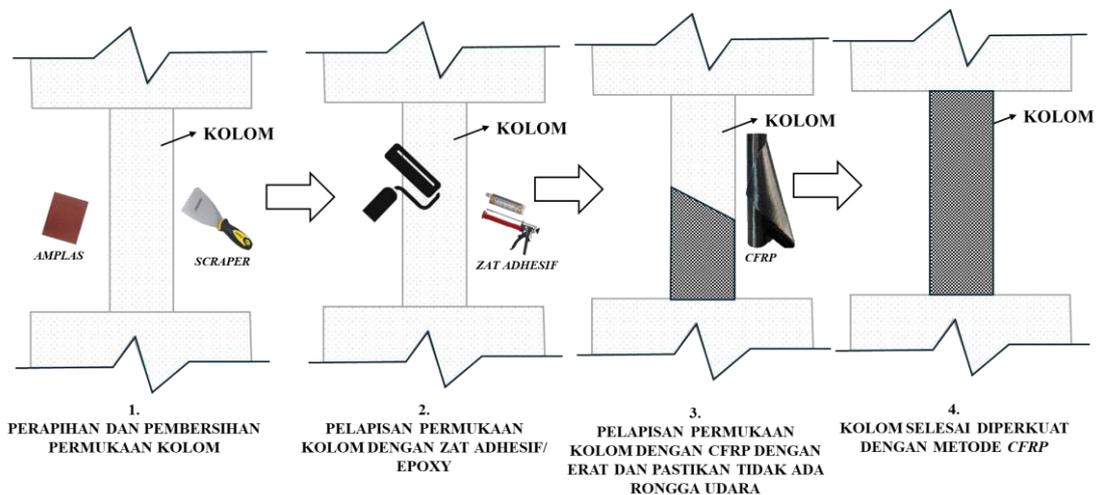
Gambar 1. (a) Potongan perkuatan kolom metode SJ (b) Potongan perkuatan kolom metode penggunaan CFRP

Pada perkuatan metode SJ merupakan metode perkuatan struktur kolom beton bertulang dengan memperkuat penampang kolom dengan profil baja, baik dengan profil siku pada sudut kolom, maupun dengan profil pelat yang membungkus sepenuhnya profil kolom beton (Newman, 2021). Prosedur metode pelaksanaan SJ ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum metode perkuatan SJ terdiri dari 4 langkah utama (Raza, dkk., 2019). Prosedur dimulai dengan melakukan pembersihan dan perapian pada permukaan kolom untuk memastikan penempatan profil baja sesuai dengan geometri kolom. Langkah kedua dilakukan pelapisan zat adhesif pada permukaan kolom untuk merekatkan profil siku dengan permukaan beton kolom, kemudian dilanjutkan penempatan profil siku pada tiap sudut kolom beton. Langkah ketiga dilanjutkan dengan memasang profil pelat pengikat profil siku dengan pengelasan. Pada beberapa alternatif lain, penempatan baut angkur *chemical* dapat digunakan, namun memiliki dampak dapat merusak struktur kolom eksisting (Newman, 2021). Setelah proses las profil pelat pengikat selesai, pelat baja dapat dilapisi anti karat, kemudian kolom telah berhasil diperkuat dengan metode SJ. Pada studi sebelumnya pelaksanaan metode SJ menunjukkan metode ini efektif dalam meningkatkan kinerja seismik kolom akibat efek dari perubahan kekakuan struktur kolom, pelaksanaannya bersifat padat karya, namun cenderung memiliki biaya yang tinggi (Raza, dkk., 2019).



Gambar 2. Skematis prosedur metode pelaksanaan perkuatan kolom metode SJ (Suryamisena, 2022)

Pada perkuatan metode penggunaan CFRP merupakan metode perkuatan struktur kolom beton bertulang dengan memperkuat penampang kolom melapisi permukaan kolom beton sebagian maupun menyeluruh untuk memenuhi kebutuhan kapasitas geser dan lentur pada profil kolom beton (Newman, 2021). Prosedur metode pelaksanaan penggunaan FRP ditunjukkan pada Gambar 3. Secara umum metode perkuatan penggunaan CFRP terdiri dari 4 langkah utama (Raza, dkk., 2019). Prosedur dimulai dengan melakukan pembersihan dan perapian pada permukaan kolom untuk memastikan penempatan profil baja sesuai dengan geometri kolom. Langkah kedua dilakukan pelapisan zat adhesif/ epoxy pada permukaan kolom untuk merekatkan material CFRP dengan permukaan beton kolom. Langkah ketiga dilanjutkan dengan penempatan material CFRP pada permukaan kolom dengan memastikan tidak ada rongga udara yang tertinggal di antara material CFRP dan permukaan kolom. Setelah proses pemasangan material CFRP selesai, kolom telah berhasil diperkuat dengan metode penggunaan FRP. Pada studi sebelumnya pelaksanaan metode penggunaan CFRP menunjukkan metode ini memiliki kelebihan pada pemasangan yang mudah dan cepat, tidak memerlukan tenaga yang banyak, memiliki nilai estetika dengan mempertahankan ukuran struktur eksisting, namun memiliki kekurangan berupa harganya yang mahal dan peningkatan risiko kebakaran pada gedung jika tidak diantisipasi dengan baik (Raza, dkk., 2019).



Gambar 3. Prosedur metode pelaksanaan perkuatan kolom metode penggunaan FRP (Suryamisena, 2022)

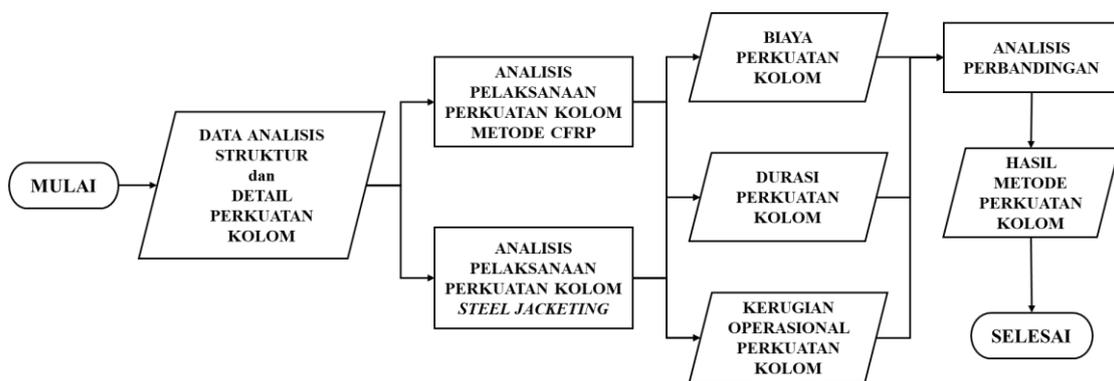
Pada beberapa studi perbandingan langsung antara teknologi perkuatan kolom metode CFRP dan SJ pada beberapa proyek menunjukkan dari aspek biaya metode penggunaan CFRP memiliki biaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan metode SJ pada studi kasus perbaikan

gedung tingkat rendah hingga tingkat tinggi (Hassan & Issa, 2015; Villalba, dkk., 2024). Sementara pada perbandingan langsung kedua metode dari aspek durasi pengerjaan menunjukkan metode CFRP memiliki durasi pengerjaan lebih cepat, namun dengan konsiderasi yang banyak dirasakan bahwa metode CFRP relatif tidak efisien dalam meningkatkan kekuatan (30-35%) (Raza, dkk., 2019; Villalba, dkk., 2024). Dari beberapa studi perbandingan sebelumnya menunjukkan banyaknya kriteria pemilihan dalam perkuatan dengan kedua metode konstruksi yang juga bergantung pada kebutuhan pemilik gedung dan pelaksana konstruksi (tingkat produktivitas, tingkat kemampuan, dll.). Dalam kaitan gedung pabrik, kebutuhan kekuatan diperlukan untuk memenuhi beban alat yang ada dengan mereduksi kerugian operasional akibat dampak proses perkuatan kolom.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan perbandingan metode perkuatan kolom beton bertulang antara metode SJ dan penggunaan FRP pada gedung pabrik berdasarkan aspek biaya, durasi pekerjaan, dan dampak kerugian operasional pabrik. Penelitian dilakukan pada studi kasus bangunan pabrik di provinsi Lampung. Diharapkan melalui hasil perbandingan penelitian ini, memberikan gambaran dalam pemilihan metode pelaksanaan perkuatan struktur kolom beton bertulangan dengan kemampuan kontraktor dan aplikator lokal di Provinsi Lampung. Kontribusi gambaran perkuatan gedung pabrik di Provinsi Lampung ini seiring pertumbuhan ekonomi provinsi sebesar 4.55% pada tahun 2023 serta pertumbuhan gedung pabrik 17-22 gedung per tahun sejak 2021, dimana kebutuhan peningkatan kapasitas gedung produksi juga akan mengikutinya (BPS, 2023, 2024).

2. Metodologi

Studi perbandingan biaya, durasi, dan kerugian operasional dilakukan dengan proses pengumpulan data dan analisis kuantitatif ditunjukkan pada diagram alir penelitian pada Gambar 4. Pada studi ini, analisis struktur dan detail perkuatan kolom didapatkan dalam bentuk data sekunder pada hasil tahapan penelitian sebelumnya. Adapun studi kasus bangunan pada penelitian ini adalah bangunan pabrik bahan kimia di Provinsi Lampung. Adapun analisis struktur terkait desain perkuatan struktur telah dilakukan dari tahap studi sebelumnya (Sihombing, 2022). Dari data lokasi perkuatan kolom dilanjutkan dengan analisis pelaksanaan dengan dua jenis metode, yaitu metode CFRP, dan metode SJ. Hasil analisis pelaksanaan tiap-tiap metode menghasilkan biaya, jadwal dan estimasi kerugian pendapatan operasional pabrik. Dari hasil luaran pada ketiga aspek tersebut dilakukan perbandingan antara kedua metode perkuatan kolom beton bertulang.



Gambar 4. Diagram alir penelitian perbandingan biaya, durasi, dan kerugian operasional metode perkuatan struktur kolom beton bertulang gedung pabrik

Pada penentuan biaya perkuatan kolom, biaya diperoleh melalui metode estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan volume pekerjaan sesuai data detail pekerjaan kolom dikalikan dengan data Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) PerMen PUPR No.28/PRT/M/2016 dan harga satuan dari Jurnal Harga Satuan untuk Provinsi Lampung (Pandu Bangun Persada Nusantara, 2019). Pada penentuan durasi perkuatan kolom, durasi diperoleh berdasarkan tahapan metode pelaksanaan masing-masing metode perkuatan yang

ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, yang disusun menggunakan metode *bar chart*. Penentuan durasi dari tiap pekerjaan mengacu pada data produktivitas yang digunakan pada AHSP PerMen PUPR No.28/PRT/M/2016. Sementara untuk kerugian operasional dikalkulasi melalui adaptasi model estimasi kerugian pendapatan akibat gempa bumi, $YLOS_i$, dari model HAZUS yang ditunjukkan pada Persamaan 1 (FEMA-NIBS, 2020).

Kerugian operasional :

$$YLOS_i = (1 - RF_i) \times INC_i \times \sum_{ds=1}^5 POSTR_{ds,i} \times MOD_i \times BRT_i \quad (1)$$

Dimana:

- $YLOS_i$: Kerugian pendapatan operasional bangunan (Rupiah)
- RF_i : Faktor *Recapture* (0.98 untuk fungsi gedung pabrik kimia)
- INC_i : Pendapatan operasional per hari area bangunan gedung
- $POSTR_{ds,i}$: probabilitas kelas hunian, i , berada dalam kondisi kerusakan struktural, ds
- MOD_i : Koefisien modifikasi waktu (diambil 1)
- BRT_i : Waktu *recovery* bangunan (hari)

Adapun asumsi yang digunakan dalam adaptasi model HAZUS adalah tingkat kerusakan diasumsikan sebagai tingkat kerusakan *extensive* yang ekuivalen dengan rusak sedang (Milyardi, dkk., 2024), dengan dasar pertimbangan tingkat kerusakan tidak sepenuhnya rusak total, namun diperlukan penguatan struktur. Sehingga pada studi ini $POSTR_{ds,i}$ yang merupakan probabilitas untuk 5 tingkat kerusakan (*none, slight, damage, extensive, dan complete*), hanya untuk tingkat kerusakan *extensive* diambil 100% sementara tingkat kerusakan lainnya adalah 0%, dengan kondisi telah diketahui tingkat kerusakan gedung (FEMA-NIBS, 2020). Faktor *Recapture*, RF_i , merupakan faktor yang merepresentasikan kemampuan “menangkap kembali/ *recapture*” pemilik gedung untuk mencapai tingkat produktivitas ideal juga menutup kerugian, dimana untuk fungsi gedung pabrik kimia standar model HAZUS, RF_i didefinisikan 0.98 (FEMA-NIBS, 2020; FEMA, 2021). Sebagai gambaran RF_i pada gedung pabrik adalah pemanfaatan jam kerja lembur untuk mengejar kerugian yang diakibatkan operasional yang berhenti selama masa rekonstruksi. Pendapatan operasional gedung, INC_i , merupakan data yang merepresentasikan pemasukan yang dapat dihasilkan pemilik gedung dari gedung yang direkonstruksi saat beroperasi penuh, dimana untuk fungsi gedung pabrik kimia standar model HAZUS, INC_i didefinisikan Rp1,585.74/ m²/ hari (FEMA-NIBS, 2020; FEMA, 2021). Pada studi ini, INC_i didapatkan dari data pemilik gedung Rp313,739,570.78/ hari untuk studi kasus bangunan yang ditinjau dengan luas total gedung adalah 1800m² (Rp174299.76/ m²/ hari)

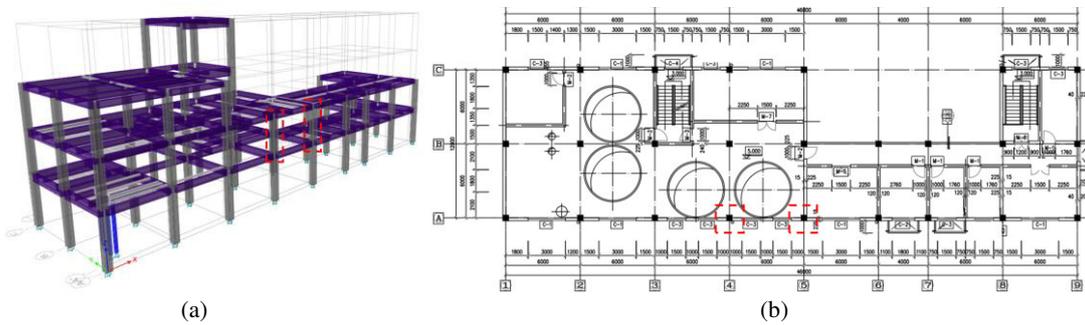
Koefisien modifikasi waktu, MOD_i , merupakan faktor untuk penyesuaian durasi rekonstruksi dan pemulihan berdasarkan fungsi dan kapasitas pemilik gedung, dimana untuk fungsi gedung pabrik kimia, dan tingkat kerusakan *extensive* standar model HAZUS, MOD_i didefinisikan 0.3 (FEMA-NIBS, 2020; FEMA, 2021). Pada studi ini, MOD_i diambil 1.0 dengan konsiderasi durasi rekonstruksi adalah durasi aktual di lapangan, bukan durasi estimasi berdasarkan model. BRT_i merupakan waktu *recovery* bangunan yang dinyatakan dalam hari, dimana untuk fungsi gedung pabrik kimia, dan tingkat kerusakan *extensive* standar model HAZUS, BRT_i didefinisikan 240 hari (FEMA-NIBS, 2020). Pada studi ini, BRT_i ditentukan berdasarkan analisis penjadwalan masing-masing metode dengan konsiderasi durasi rekonstruksi adalah durasi aktual di lapangan, bukan durasi estimasi berdasarkan model.

Studi Kasus

Studi kasus pada studi ini adalah fasilitas produksi bahan kimia yang terdiri dari 5 lantai, yaitu lantai dengan elevasi (+0.00m, +4.97m, +8.97m, +13.00m, dan +18.00m) ditunjukkan pada Gambar 5. Pada gedung produksi direncanakan pengembangan utilitas produksi yang tersebar pada seluruh lantai dengan variasi beban mesin 1-30 ton. Analisis struktur terkait penambahan beban fasilitas produksi telah dilakukan pada tahap studi sebelumnya, sehingga

diidentifikasi terdapat 2 buah kolom pada lantai El+4.97, yaitu as A-4 dan A-5 diperlukan perkuatan (Sihombing, 2022), ditunjukkan pada Gambar 5a dan Gambar 5b. Kondisi lapangan lokasi kedua kolom ditunjukkan pada Gambar 6a. Kedua kolom merupakan kolom eksterior, dimana kolom A-4 berposisi tidak memiliki dinding yang mengapit, ditunjukkan Gambar 6b, sementara Kolom A-5 diapit dinding berbentuk L ditunjukkan pada Gambar 6c.

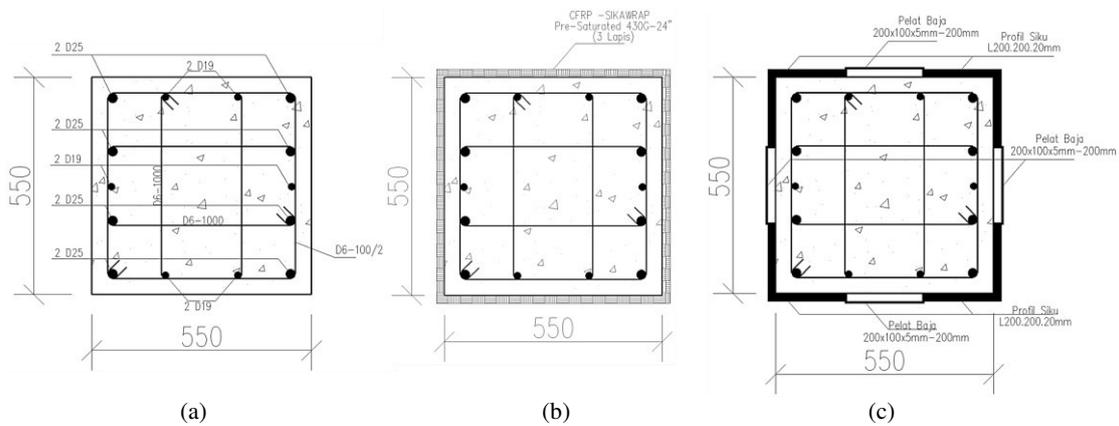
Pada kedua kolom, A-4 dan A-5, memiliki ukuran yang sama yaitu persegi 500X500mm dan desain penulangan eksisting yang tipikal ditunjukkan pada Gambar 7a. Adapun informasi mutu material kolom eksisting adalah mutu beton, $f'c=36\text{MPa}$, dan mutu baja tulangan BJTP-24 ($f_y = 240\text{ MPa}$)(Sihombing, 2022). Dari hasil analisis struktur untuk memenuhi kebutuhan penambahan beban fasilitas produksi, desain perkuatan metode CFRP ditunjukkan pada Gambar 7b, digunakan produk CFRP *SikaWrap pre-saturated 430G-24* sejumlah 3 lapis. Pada desain perkuatan metode SJ ditunjukkan pada Gambar 7c, dimana menggunakan profil baja siku 200X200X20mm pada keempat pojok kolom, dengan pelat pengikat profil pelat baja tebal 5mm (200X100X5mm) dipasang dengan jarak per 200mm.



Gambar 5. Data lokasi perkuatan kolom struktur gedung pabrik, (a) model 3D struktur gedung, (b) denah El+8.97m lokasi perkuatan kolom, (c) tampak samping lokasi perkuatan kolom.



Gambar 6. Data kondisi lapangan kolom gedung pabrik, (a) lokasi kolom A-4 dan A-5, (b) lokasi kolom A-4, (c) lokasi kolom A-5



Gambar 7. Data detail perkuatan kolom gedung pabrik (a) data struktur eksisting (b) detail perkuatan metode CFRP (c) detail perkuatan metode SJ.

3. Hasil dan Diskusi

Perbandingan aspek biaya

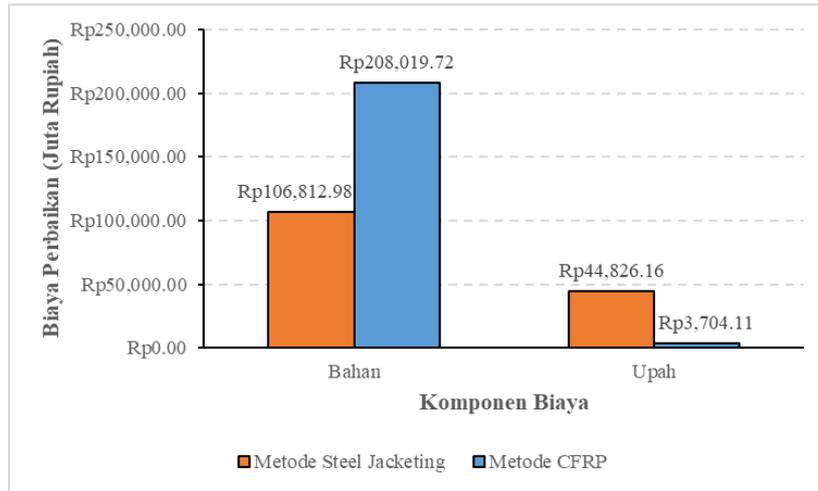
RAB perkuatan kolom ditunjukkan pada Tabel 1 untuk metode CFRP, dan Tabel 2 untuk metode SJ. Pada metode CFRP memiliki total biaya perkuatan sebesar Rp211,899,833.20, sementara pada perkuatan metode SJ memiliki total biaya sebesar Rp148,647,327.60 atau memiliki selisih Rp56,204,581.20 (37.02%). Pada pekerjaan pembongkaran dinding dan pekerjaan pembuatan dinding kembali, dari studi sebelumnya mensyaratkan pembongkaran dan pembuatan dinding kembali sejauh 1 m untuk kolom A-5. Pada perbandingan komponen biaya yang ditunjukkan pada Gambar 8, menunjukkan pada komponen bahan, metode CFRP memiliki biaya yang lebih besar dibandingkan metode SJ atau memiliki selisih Rp101,206,744.00 (94.75%), sementara pada komponen biaya upah menunjukkan hal sebaliknya dimana metode SJ memiliki biaya yang lebih besar dibandingkan metode CFRP atau memiliki selisih Rp41,122,053.60 (91.74%). Pada komponen biaya peralatan tidak disajikan karena perbedaan yang tidak signifikan. Besarnya biaya bahan dari metode CFRP jika dibandingkan dengan metode SJ selaras dengan beberapa studi terdahulu pada region wilayah negara yang berbeda (Hassan & Issa, 2015; Raza, dkk., 2019).

Tabel 1. RAB perkuatan kolom metode CFRP

No.	Pekerjaan	Vol.	Unit	Harga Satuan			Total
				Bahan	Upah	Peralatan	
1	Pembongkaran dinding	1.20	m ³	-	Rp166,598.00	-	Rp199,917.60
2	Pembersihan lapisan beton eksisting	17.60	m ²	-	Rp5,190.00	Rp10,000.00	Rp267,344.00
3	Pelapisan Zat Adhesi	17.60	m ²	Rp41,400.00	Rp6,952.00	-	Rp850,995.20
4	Pemasangan CFRP	52.80	m ²	Rp3,900,000.00	Rp23,875.00	-	Rp207,180,600.00
5	Pembuatan dinding kembali	18.80	m ²	Rp72,930.00	Rp107,973.00	-	Rp3,400,976.40
Total Harga							Rp211,899,833.20

Tabel 2. RAB perkuatan kolom metode SJ

No.	Pekerjaan	Vol.	Unit	Harga Satuan			Total
				Bahan	Upah	Peralatan	
1	Pembongkaran dinding	1.20	m ³	-	Rp166,598.00	-	Rp199,917.60
2	Pembersihan lapisan beton eksisting	8.80	m ²	-	Rp5,190.00	Rp10,000.00	Rp133,672.00
3	Pembesian Profil Siku 200.200.20	1910.40	kg	Rp16,100.00	Rp11,190.00	-	Rp52,134,816.00
4	Pembesian pelat baja 5mm (200.100.5mm-200mm)	196.56	kg	Rp16,100.00	Rp11,190.00	-	Rp5,364,122.40
5	Pengelasan pelat tebal 5mm	3360	cm	Rp19,753.00	Rp5,360.00	-	Rp84,379,680.00
6	Penambahan Zat Adhesi	8.80	m ²	Rp292,600.00	Rp52,189.00	-	Rp3,034,143.20
7	Pembuatan dinding kembali	18.80	m ²	Rp72,930.00	Rp107,973.00	-	Rp3,400,976.40
Total Harga							Rp148,647,327.60



Gambar 8. Perbandingan komponen estimasi biaya perbaikan kolom

Perbandingan aspek durasi pelaksanaan

Durasi pelaksanaan perkuatan kolom melalui penjadwalan *bar chart* untuk metode CFRP ditunjukkan pada Tabel 3, sedangkan durasi untuk metode SJ ditunjukkan pada Tabel 4. Asumsi yang digunakan pada penjadwalan ini adalah jam kerja yang digunakan adalah 8 jam per hari. Produktivitas yang digunakan pada tiap pekerjaan mengacu asumsi AHSP yang digunakan (Pandu Bangun Persada Nusantara, 2019). Dari hasil penjadwalan, menunjukkan perkuatan kolom metode CFRP untuk kedua kolom (A-4, dan A-5) memakan waktu total 5 hari, sementara pada metode perkuatan kolom SJ memakan waktu total 7 hari. Selisih durasi pekerjaan CFRP yang lebih cepat dibandingkan dengan metode SJ selaras dengan jumlah pekerjaan yang lebih padat karya yang diidentifikasi pada perbandingan biaya perkuatan. Selain itu temuan pada studi ini menunjukkan indikasi yang sama pada studi sebelumnya di wilayah negara yang berbeda yang menunjukkan metode CFRP lebih cepat dibandingkan metode SJ (Hassan & Issa, 2015; Raza, dkk., 2019).

Tabel 3. *Bar chart* penjadwalan perkuatan kolom metode CFRP

No.	Pekerjaan	Volume	Unit	Durasi (hari)	Hari ke-				
					1	2	3	4	5
1	Pembongkaran dinding	1.20	m ³	1	█				
2	Pembersihan lapisan beton eksisting	17.60	m ²	1		█			
3	Pelapisan Zat Adhesi	17.60	kg	1		█			
4	Pemasangan CFRP	52.80	kg	2		█	█		
5	Pembuatan dinding kembali	18.80	m ²	2			█	█	█

Tabel 4. *Bar chart* perkuatan kolom metode SJ

No.	Pekerjaan	Volume	Unit	Durasi (hari)	Hari ke-							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	Pembongkaran dinding	1.20	m ³	1	█							
2	Pembersihan lapisan beton eksisting	17.60	m ²	1		█						
3	Pembesian Profil Siku 200.200.20	1910.40	kg	2		█	█					
4	Pembesian pelat baja 5mm (200.100.5mm-200mm)	196.56	kg	2			█	█				
5	Pengelasan pelat tebal 5mm	3360.00	cm	2			█	█				
6	Penambahan Zat Adhesi	17.60	m ²	1		█	█					
7	Pembuatan dinding kembali	18.80	m ²	3					█	█	█	

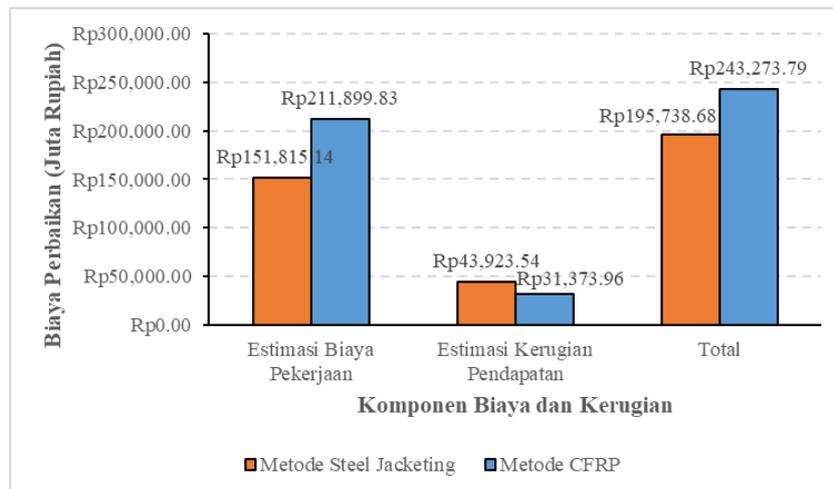
Perbandingan aspek kerugian pendapatan operasional pabrik

Perbandingan kerugian pendapatan operasional pabrik akibat adanya perkuatan kolom ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai kerugian yang bergantung dari durasi pekerjaan menunjukkan metode CFRP yang memiliki durasi pekerjaan perkuatan yang lebih singkat dibanding metode SJ memiliki estimasi kerugian pendapatan operasional, $YLOS_i$, sebesar Rp31,373,957.08 yang lebih kecil dibandingkan metode SJ sebesar Rp43,923,539.91 atau memiliki selisih Rp12,549,582.83 atau 40.00%. Namun estimasi kerugian pendapatan operasional jika digabungkan dengan nilai estimasi biaya perkuatan sebagai suatu nilai tanggungan biaya yang harus ditanggung pihak pabrik menunjukkan metode SJ memiliki total nilai tanggungan biaya yang sebesar Rp195,738,682.70 yang lebih kecil dibandingkan dengan total nilai tanggungan biaya metode CFRP sebesar Rp 243,273,790.30 atau memiliki selisih Rp47,535,107.57 atau sebesar 24.28%. Hal tersebut menunjukkan meskipun memiliki estimasi kerugian lebih tinggi, metode SJ dalam kalkulasi total biaya tanggungan yang lebih kecil dibandingkan metode CFRP. Hal tersebut menunjukkan mengindikasikan temuan serupa pada region wilayah negara lainnya (Raza, dkk., 2019).

Pada perhitungan kerugian pendapatan operasional pabrik pada studi ini memiliki batasan berupa kondisi pada kedua metode perkuatan seluruh operasional pabrik pada gedung berhenti dengan konsiderasi keamanan operasional pabrik, dimana fasilitas mesin produksi baru bisa dioperasikan setelah selesai proses perkuatan kolom (Suryamisena, 2022). Limitasi tersebut dapat dikembangkan pada perencanaan fasilitas pabrik dengan kasus operasional parsial, sehingga estimasi kerugian dapat memberikan gambaran yang lebih dinamik berdasarkan luasan area yang tidak beroperasi sesuai dengan formulasi model HAZUS (FEMA-NIBS, 2020). Dari temuan studi ini menunjukkan pada teknologi perkuatan kolom pada studi kasus wilayah Lampung, metode SJ dapat menjadi pilihan yang efisien dari keseluruhan aspek biaya, durasi, dan estimasi kerugian operasional, secara khusus dari evaluasi total biaya tanggungan akibat perkuatan struktur.

Tabel 5. Perbandingan estimasi kerugian pendapatan operasional akibat perkuatan kolom

Variabel	Unit	Metode CFRP	Metode SJ
RF_i	-	0.98	0.98
INC_i	Rp/ hari	313,739,570.78	313,739,570.78
MOD_i	-	1	1
BRT_i	hari	5	7
$YLOS_i$	Rp	31,373,957.08	43,923,539.91



Gambar 9. Perbandingan estimasi biaya pekerjaan, kerugian pendapatan, dan total biaya perbaikan kolom

4. Kesimpulan

Perbandingan biaya, durasi, dan estimasi kerugian pendapatan operasional pabrik pada studi kasus gedung pabrik pada penelitian ini telah dilakukan menunjukkan hasil yang signifikan. Pada aspek biaya metode CFRP memiliki total biaya lebih besar dibandingkan metode SJ. Pada aspek durasi pelaksanaan, metode SJ memiliki durasi yang lebih panjang dibandingkan metode CFRP. Sementara pada aspek kerugian pendapatan operasional menunjukkan metode SJ memiliki estimasi kerugian yang lebih besar dibandingkan metode CFRP, namun pada kalkulasi total biaya tanggungan akibat perkuatan struktur menunjukkan metode SJ memiliki total biaya tanggungan yang tetap lebih rendah dibandingkan metode CFRP. Pada proyek perbaikan peningkatan kapasitas kolom beton bertulang di masa depan, secara khusus di Provinsi Lampung, metode SJ dapat dipertimbangkan menjadi pilihan perkuatan yang lebih efisien dibandingkan metode CFRP.

5. Referensi

- Alba-Rodríguez, M. D., Martínez-Rocamora, A., González-Vallejo, P., Ferreira-Sánchez, A., & Marrero, M. (2017). Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 66(December 2016), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.06.002>
- BPS. (2023). *Direktori Perusahaan Industri Besar dan Sedang Provinsi Lampung 2023*.
- BPS. (2024). *Ekonomi Provinsi Lampung Tahun 2023 Tumbuh 4,55 Persen*.
- Chmielewski, R., Kruska, L., & Muzolf, P. (2020). The selection of methods for strengthening of the reinforced-concrete structure of the open tank. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00343. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00343>
- Douglas, J. (2006). *Building adaptation*. Routledge.
- FEMA-NIBS. (2020). HAZUS Earthquake Model Technical Manual. *Federal Emergency Management Agency, October*.
- FEMA. (2021). *Hazus Inventory Technical Manual. February*, 185.
- Gelfand, L., & Duncan, C. (2011). *Sustainable renovation: strategies for commercial building systems and envelope*. John Wiley & Sons.
- Hameed, A., & Khan, F. (2014). A framework to estimate the risk-based shutdown interval for a processing plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32(1), 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.07.009>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*, 161(May), 106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Hassan, A., & Issa, U. H. (2015). Developing a decision-making model for reinforced concrete columns strengthening. *International Journal of GEOMATE*, 9(1), 1333–1341. <https://doi.org/10.21660/2015.17.77814>
- Milyardi, R. (2020). Perbandingan Karakteristik Manajemen Risiko Konstruksi Pada Kontraktor Bumn Dan Swasta. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 12–37. <https://doi.org/10.28932/jts.v16i1.2399>
- Milyardi, R., Firdaus, A., Pribadi, K. S., Abduh, M., Meilano, I., Lim, E., Wirahadikusumah, R. D., Kusumaningrum, P., Puri, E. R., & Hs, H. (2024). *Development of a Building Repair Time Component for the Disaster Losses Estimate in the Mamuju Earthquake BT - Proceedings of the 7th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering and Structures, CIGOS 2024, 4-5 April, Ho Chi Minh City, Viet (C. Ha-Minh, C. H. Pham, H. T. H. Vu, & D. V. K. Huynh (Eds.); pp. 1428–1436)*. Springer Nature Singapore.
- Milyardi, R., Koheru, I., & Lesmana, C. (2021). Evaluation of Procurement Process on Ethanol Factory Construction – Lampung. *Journal of Innovation and Community Engagement*, 1(1 SE-), 49–59. <https://doi.org/10.28932/jice.v1i1.3366>
- Nataadiningrat, B. B., Prabowo, A. W., Rasmawan, I. M. A. B., Putri, A. T., Abduh, M., & Wirahadikusumah, R. D. (2020). Analysis of NATM tunneling method using CYCLONE modeling and simulation tools. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 933(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/933/1/012002>
- Newman, A. (2021). *Structural Renovation of Buildings: Methods, Details, and Design Examples, Second Edition* (2nd editio). McGraw-Hill Education.
- Pandu Bangun Persada Nusantara. (2019). *Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi & Interior Edisi 38*. Pandu Bangun Persada Nusantara.
- Raza, S., Khan, M. K. I., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019). Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113208>

- Sihombing, G. F. (2022). *Analisis Perkuatan Komponen Struktur Beton Bertulang Pada Warehouse Pabrik Dengan Perkuatan Baja*. Universitas Kristen Maranatha.
- Suryamisena, C. R. (2022). *Analisis Perencanaan Metode Pelaksanaan Perkuatan Struktur Kolom Gedung Produksi Pabrik Ethanol*. Universitas Kristen Maranatha.
- Villalba, P., Sánchez-Garrido, A. J., & Yepes, V. (2024). Life cycle evaluation of seismic retrofit alternatives for reinforced concrete columns. *Journal of Cleaner Production*, 455(October 2023). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142290>



JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL
| Volume 7 | Nomor 2 | Oktober 2024 |

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas
<https://doi.org/10.54367>



9 772614 570002