

**ANALISIS *EXTENDED LIFE* KEKUATAN STRUKTUR RANGKA ATAP
BAJA BENTANG BESAR DENGAN PENDEKATAN *NON-DESTRUCTIVE
TEST* SERTA *LIFE CYCLE COST ANALYSIS* (LCCA)
(Studi Kasus: Gudang Biru)**

(Skripsi)

Oleh

**FEBRIANA MELATI SUKMANINGRUM
NPM. 1915011040**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS *EXTENDED LIFE* KEKUATAN STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA BENTANG BESAR DENGAN PENDEKATAN *NON-DESTRUCTIVE TEST* SERTA *LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA)* (Studi Kasus: Gudang Biru)

Oleh

FEBRIANA MELATI SUKMANINGRUM

Gudang Biru saat ini diindikasikan terjadi kerusakan pada struktur atap baja akibat penurunan tanah (*settlement*) pada saat usia bangunan 25 tahun dengan sisa umur layan 25 tahun. Tujuan penelitian ini merekomendasikan perbaikan yang tepat dan ekonomis. Berdasarkan hasil pengamatan visual bangunan dan pengujian *Non-Destructive Test (NDT)* dengan *hardenes test* dan *ultrasonic thicknes gauge test* diketahui kerusakan yang terjadi berupa korosi, kerusakan penutup atap baja dan *baseplate* yang hal ini dapat mendegradasi kekuatan struktur gedung. Analisis kekuatan struktur baja dengan SAP2000 pada profil yang mengalami *overstress* dilakukan perkuatan dengan dua metode. Perkuatan pertama dengan metode penebalan pelat baja dengan ketebalan 2 mm. Penambahan pelat ketebalan 2 mm menunjukkan warna hijau. Hasil analisis perkuatan metode pertama dibutuhkan penebalan pelat 2 mm untuk profil L50.50.5 dan L100.100.10. Perkuatan metode kedua perkuatan dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Hasil perhitungan untuk profil L50.50.5 membutuhkan 1 lapisan CFRP dan profil L100.100.10 membutuhkan 2 lapis CFRP dalam pelaksanaan perkuatan. Dua metode perkuatan, dilakukan analisis biaya siklus hidupnya terdapat enam skenario dengan berbagai asumsi. Kondisi terbaik terjadi pada skenario 5 yaitu dengan perkuatan pelapisan CFRP dan keuntungan 10% pertahun dari harga sewa dengan nilai BCR 1,41 dan NPV sebesar Rp13.394.820.285,38. Asumsi usia bangunan 50 tahun, discount rate 10%, dan nilai sisa. Keseluruhan skenario menunjukkan hasil akhir memenuhi persyaratan analisis layak ekonomi dan finansial yaitu $NPV > 0$, dan $BCR > 1$ sehingga dinyatakan bahwa proyek renovasi Gudang dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya karena memberikan keuntungan bagi perusahaan.

Kata kunci: *Non-Destructive Test (NDT)*, Penebalan Pelat, *Fiber Reinforced Polymer*, *Net Present Value*, *Benefit Cost Ratio*.

ABSTRACT

EXTENDED LIFE ANALYSIS OF LARGE SPAN STEEL RPPF FRAME STRENGTH WITH NON-DESTRUCTIVE TEST (NDT) AND LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA) (Case Study: Blue Warehouse)

By

FEBRIANA MELATI SUKMANINGRUM

The Blue Warehouse is currently indicated to have damage to the steel roof structure due to soil settlement after 25 years of the building's age, with a remaining service life of 25 years. The aim of this study is to recommend appropriate and cost-effective repairs. Based on visual observations of the building and Non-Destructive Testing (NDT) with hardness tests and ultrasonic thickness gauge tests, the damage identified includes corrosion, deterioration of the steel roof cover, and baseplate, which can degrade the structural strength of the building. Structural reinforcement analysis with SAP2000 for profiles experiencing overstress was conducted using two methods. The first reinforcement method involves thickening the steel plate by 2 mm. The addition of a 2 mm thick plate shows a green indication. The analysis results of the first reinforcement method show that a 2 mm thick plate is needed for profiles L50.50.5 and L100.100.10. The second reinforcement method involves using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). The calculations show that profile L50.50.5 requires 1 layer of CFRP, while profile L100.100.10 requires 2 layers of CFRP for reinforcement. A cost-benefit analysis of the two reinforcement methods was performed, considering six scenarios with various assumptions. The best condition occurs in scenario 5, which involves CFRP layering with a 10% annual profit from rental income, resulting in a Benefit-Cost Ratio (BCR) of 1,41 and a Net Present Value (NPV) of Rp13,394,820,285.38. The assumptions include a building lifespan of 50 years, a discount rate of 10%, and residual value. All scenarios show final results meeting the economic and financial feasibility requirements, i.e., $NPV > 0$ and $BCR > 1$, thus indicating that the renovation project for the Warehouse can proceed to the next stage as it provides benefits to the company.

Keywords: Non-Destructive Test (NDT), Steel Plate Thickening, Fiber Reinforced Polymer (FRP), Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR).

**ANALISIS *EXTENDED LIFE* KEKUATAN STRUKTUR RANGKA ATAP
BAJA BENTANG BESAR DENGAN PENDEKATAN *NON-DESTRUCTIVE
TEST* SERTA *LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA)*
(Studi Kasus: Gudang Biru)**

(Skripsi)

Oleh :

FEBRIANA MELATI SUKMANINGRUM

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **ANALISIS *EXTENDED LIFE* KEKUATAN STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA BENTANG BESAR DENGAN PENDEKATAN *NON-DESTRUCTIVE TEST* SERTA *LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA)* (Studi Kasus: Gudang Biru)**

Nama Mahasiswa

: **Febriana Melati Sukmaningrum**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011040

Program Studi

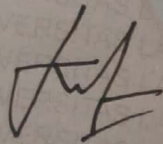
: S1 Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



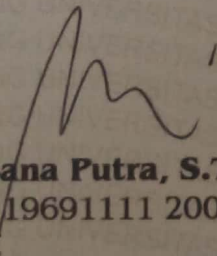
Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19720513 200312 1 002



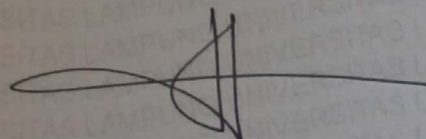
Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil



Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

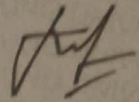


Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

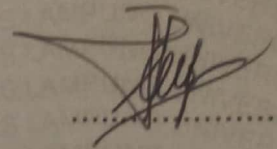
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

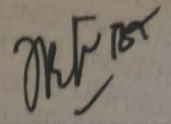
Ketua : **Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D.**



Sekretaris : **Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Ir. Ika Kustiani, S.T., M.Eng.Sc.,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **09 Agustus 2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Febriana Melati Sukmaningrum

NPM : 1915011040

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis *Extended Life* Kekuatan Struktur Rangka Atap Baja Bentang Besar Dengan Pendekatan *Non-Destructive Test* Serta *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) (Studi Kasus: Gudang Biru)” merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 9 Agustus 2024

Penulis,



Febriana Melati Sukmaningrum

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Febriana Melati Sukmaningrum dilahirkan di Kebumen 26 Februari 2001. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sri Albana dan Ibu Dewi Widyowati.

Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SDN Kebalen 02 Bekasi, kemudian meneruskan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 6 Kota Jambi dan selanjutnya menempuh Sekolah Menengah Atas pendidikan di SMA Negeri 3 Bandar Lampung. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di PT Cipta Perkasa Prima pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Lampung. Penulis turut serta dalam kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Mayang Mangurai, Kota Bandar Lampung selama 40 hari pada periode I tahun 2022.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif menjadi anggota Departemen Usaha Dan Karya di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung periode 2021 dan menjadi sekretaris divisi Departemen Keolahrgaraan periode 2022. Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten Laboratorium Bahan dan Konstruksi untuk praktikum teknologi bahan pada tahun ajaran 2023.

Selama masa perkuliahan, penulis mendapat banyak ilmu dan pengalaman, baik akademik dan non-akademik. Pada akhir masa perkuliahannya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2023, dengan judul skripsi Analisis *Extended Life* Kekuatan Struktur Rangka Atap Baja Bentang Besar Dengan Pendekatan *Non-Destructive Test* Serta *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) (Studi Kasus: Gudang Biru).

MOTTO

“Cukup Allah menjadi penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung.”

(Q.S Ali Imran: 173)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S Al Insyirah: 5-6)

“Pembelajaran tak pernah berhenti, karena hidup adalah proses belajar.”

“Hidup itu tentang pilihan, pilihlah dengan bijak dan penuh perhitungan. Jika orang lain bisa maka aku juga bisa”

“Keberhasilan adalah perjalanan panjang dari satu kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat”

(Winston Churchill)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan semua rangkaian penelitian dan penulisan skripsi dengan judul “Analisis *Extended Life* Kekuatan Struktur Rangka Atap Baja Bentang Besar Dengan Pendekatan *Non-Destructive Test* Serta *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) (Studi Kasus: Gudang Biru)” sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana (S1) di Teknik Sipil Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung
4. Bapak Ir. Kristianto Usman, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu mengajarkan, memberikan bimbingan, arahan, masukan dan bantuan kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.
5. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu sabar dalam mengajarkan, memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan bantuan kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.

6. Ibu Ir. Ika Kustiani, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., selaku Dosen penguji yang telah memberikan masukan dan arahan dalam memaksimalkan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil yang telah memberikan banyak sekali ilmu, baik ilmu akademik maupun ilmu kehidupan selama masa perkuliahan
9. Seluruh staff dan karyawan Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
10. Kedua orang tua yang kucintai dan kubanggakan, Sri Albana dan Dewi Widowati, yang selalu mendukung dalam hal moril, materi, dukungan, dan dia yang terbaik.
11. Terimakasih kepada Mba Ovy, ibu, bapak dan Akmal yang selalu mendukung untuk mengerjakan skripsi ini sampai selesai. Mba Indri terimakasih sudah turut membimbing skripsi dan memberikan arahan hingga skripsi ini selesai.
12. Terimakasih kepada teman-teman terdekat yang selalu ada dan membantu baik diperkuliahan, SMA, SMP dan teman kost yang tidak bisa sebutkan satu persatu.
13. Terimakasih kepada teman satu tim skripsi yang telah berpartisipasi dan membantu proses pengerjaan dari awal skripsi ini dimulai hingga selesai.
14. Terimakasih kepada teman terdekat, teman kost yang selalu menemani hingga skripsi ini selesai.
15. Untuk Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2019 yang selalu ada di masa-masa perkuliahan saya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca, Aamiin.

Bandar Lampung, 9 Agustus 2024
Penulis,

Febriana Melati Sukmaningrum

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Struktur Bangunan Gudang Biru	8
2.1.1 Struktur Bawah Gudang	8
2.1.2 Struktur Atas Gudang.....	9
2.2 Umur Rencana	12
2.3 Evaluasi Bangunan dan Penyelidikan Eksisting	13
2.4 Pembebanan Struktur.....	17
2.5 Klasifikasi Bangunan Gudang.....	19
2.6 Metode Perbaikan Struktur Atap Baja	20
2.7 Konsep Biaya.....	25
2.8 Estimasi Biaya	27
2.9 <i>Life Cycle Cost Analysis</i>	27
2.10 <i>Time Value of Money</i>	31
2.11 Studi Kelayakan Investasi.....	34
2.12 Penelitian Terdahulu	39

III. METODOLOGI PENELITIAN.....	47
3.1 Lokasi Penelitian	47
3.2 Pengumpulan Data	50
3.3 Tahapan Penelitian	56
3.4 Diagram Alir Penelitian	60
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1 Hasil Investigasi Lapangan	62
4.1.1 Pengamatan Visual.....	62
4.1.2 Pengolahan Data Lapangan	65
4.2 Data Struktur Bangunan	69
4.3 Analisa Struktur	70
4.3.1 Pemodelan Struktur.....	70
4.3.2 Pembebanan Gedung.....	76
4.4 Perhitungan Analisa Struktur	80
4.4.1 Hasil Analisis Struktur	80
4.5 Perhitungan Analisis Perkuatan Struktur.....	81
4.5.1 Metode Penebalan Pelat Baja.....	81
4.5.2 Metode FRP	88
4.6 Estimasi Biaya	95
4.7 Analisis Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>).....	97
4.7.1 Biaya Awal/Konstruksi.....	98
4.7.2 Analisis Biaya Pemeliharaan	99
4.7.3 Biaya Demolisi	101
4.7.4 Nilai Sisa.....	101
4.7.5 Biaya Depresiasi	102
4.6.3 Studi Kelayakan Investasi	102
4.6.4 Analisis Kelayakan Investasi	105
V. PENUTUP.....	113
5.1 Kesimpulan.....	113
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN A.....	

LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
LAMPIRAN F	
LAMPIRAN G	
LAMPIRAN H	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Gudang biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).....	1
2. Kondisi Penurunan Lantai Samping Kolom.....	3
3. Arah Kemiringan Lantai Pada Segmen Kanan dan Kiri Gudang Biru.....	4
4. Kerusakan pada Rangka Atap Baja.	4
5. Kerusakan pada Kolom dan <i>Tie Beam</i>	4
6. Bentuk Gording.	10
7. Bentuk Bracing.....	10
8. <i>Baseplate</i>	11
9. Penutup Atap.	11
10. Rafter.	12
11. Alat Ultrasonic Thicknes Gauge Test.....	16
12. <i>Hardenes Test</i>	17
13. Material CFRP Horse HM-20.....	25
14. Lokasi Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).....	48
15. Tampak Atas Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).....	48
16. Tampak Depan Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).....	48
17. Denah Gudang Biru.	49
18. Denah WF 200x200x8x12.....	50
19. Alat <i>Hardness Test</i> HM-6580.....	52
20. Pengujian <i>Hardenes Test</i>	53
21. Denah Titik Pengujian <i>Hardenes Test</i>	53
22. Alat <i>Ultrasonic Thickness Gauge</i> WT100A.....	54
23. Pengujian <i>Ultrasonic Thickness Gauge</i>	55
24. Denah Titik Pengujian <i>Thickness Gauge Test</i>	56

25. Tampak Depan 3D Gudang Biru.	58
26. Tampak Atas 3D Gudang Biru.	58
27. Diagram Alir Penelitian Bagian A.	60
28. Diagram Alir Penelitian Bagian B.	61
29. Gambar Tampak Bangunan.	64
30. Kondisi Pelat Bangunan.	64
31. Kondisi Tie Beam, Kolom, dan Baseplate.	65
32. Kondisi Atap dan Gording.	65
33. Penampang Baja Struktur yang di Uji dengan <i>Hardeness Test</i>	67
34. Penampang Baja Struktur yang di Uji dengan <i>Thickness Test</i>	69
35. Material Property Data.	71
36. <i>Section Designer Bracing</i>	72
37. <i>Section Designer</i> Profil Baja C150.65.20.3,2.	72
38. <i>Section Designer</i> Profil Baja C150.65.20.3,2 Depan dan Belakang.	73
39. <i>Section Designer</i> Profil Baja C150.65.20.3,2 Bagian Tengah.	73
40. <i>Section Designer</i> Profil Baja L50.50.5.	74
41. Gambar 42. <i>Section Designer</i> Profil Baja L80.80.8.	74
43. <i>Section Designer</i> Profil Baja IWF 18x35.	75
44. <i>Section Designer</i> Profil Baja IWF350.175.7.11.	75
45. Hasil Pemodelan Secara Keseluruhan.	76
46. Kurva Respon Spektra Desain Gudang Biru.	77
47. Koefisien Distribusi Beban Angin.	78
48. Hasil Analisis Profil Baja yang Melampaui Batas.	80
49. Titik Rasio Terbesar Profil L50.50.5 dan Nilai Axial.	82
50. Titik Profil L50.50.5 yang Mengalami Kelebihan Stress.	83
51. <i>Section Designer</i> Profil L50.50.5.	83
52. Hasil Analisis Setelah Diperkuat Profil L50.50.5.	84
53. Titik Rasio Terbesar Profil L100.100.10 dan Nilai Axial.	86
54. Titik Profil L100.100.10 yang Mengalami Kelebihan Stress.	86
55. <i>Section Designer</i> Profil L100.100.10.	87
56. Hasil Analisis Setelah Diperkuat Profil L50.50.5.	87
57. Ukuran Profil L50.50.5 Ditinjau.	89

58. Gambaran Letak CFRP Dipasang.	92
59. Ukuran Profil L100.100.10 Ditinjau.....	92
60. Gambaran Letak CFRP Dipasang.	94
61. <i>Cashflow</i> 1.....	106
62. <i>Cashflow</i> 2.....	106
63. <i>Cashflow</i> 3.....	107
64. <i>Cashflow</i> 4.....	107
65. <i>Cashflow</i> 5.....	108
66. <i>Cashflow</i> 6.....	108
67. Grafik Rekapitulasi Nilai NPV.....	110
68. Grafik Rekapitulasi Nilai BCR.	111
69. Grafik Rekapitulasi Nilai IRR.....	111
70. Grafik Rekapitulasi Periode Pengembalian.....	112

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	43
2. Penelitian Terdahulu (Lanjutan).....	44
3. Data pengamatan secara visual keseluruhan bangunan.....	63
4. Hasil Perhitungan Kuat Tarik dan Kuat Lelehnya Area A.....	66
5. Hasil Perhitungan Kuat Tarik dan Kuat Lelehnya Area B.....	66
6. Rangkuman Hasil Uji <i>Hardenes Test</i>	66
7. Hasil Pengujian Thickness Test	68
8. Profil Baja untuk Perhitungan Perkuatan.....	81
9. Ukuran Minimum Las Sudut	84
10. Perhitungan Sambungan Las Profil L50.50.5	85
11. Perhitungan Sambungan Las Profil L100.100.10	88
12. Rekapitulasi Peningkatan Gaya Aksial Baja dengan Penebalan Pelat.....	88
13. Perhitungan Gaya Perkuatan.....	90
14. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan FRP Profil L50.50.5	91
15. Perhitungan Gaya Perkuatan Profil L100.100.10	93
16. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan FRP Profil L100.100.10	94
17. Rekapitulasi Peningkatan Gaya Aksial Baja Metode FRP	95
18. Rekapitulasi Total Metode FRP	97
19. Pemeliharaan Pengecatan Profil-Profil Rangka Atap Baja Metode I	100
20. Pemeliharaan Pengecatan Profil-Profil Rangka Atap Baja Metode II	100
21. Tabel Nilai BI-Rate 5 Tahun Terakhir.....	104
22. Rekapitulasi Skenario Penelitian.....	109
23. Rekapitulasi Hasil Analisis Kelayakan Investasi.....	109

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gudang biru dibangun sebagai gudang yang dapat digunakan untuk penyimpanan pupuk dan penyimpanan bahan kimia yang dimiliki oleh PT Pelabuhan Indonesia (Persero). Gudang ini berlokasi di Jalan Yos Sudarso, Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Bangunan gudang dibangun dan dipakai pada akhir tahun 1998. Gudang biru memiliki ukuran 104 x 108 meter dengan luas bangunan secara keseluruhan sebesar 11.232 m². Struktur atas bangunan gudang terdiri dari rangka baja yang terdiri atas profil-profil baja yang membentuk seperti kubah dan dilengkapi dengan gording, penutup berupa spandek, portal serta talang. Struktur bawah terdiri atas konstruksi beton yang terdiri atas bagian pedestal, sloof, dan pelat lantai. Bangunan gudang terdiri dari tiga segmen yang sejajar dan saling menyambung. Segmen kanan dan kiri bangunan memiliki bentuk atap seperti kubah segmen tengah atap berbentuk segitiga.



Gambar 1. Gudang biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

Saat ini diindikasikan terjadi kerusakan konstruksi berupa penurunan tanah (*settlement*) pada bangunan gudang biru yang terjadi pada segmen kanan dan kiri gedung saat usia bangunan mencapai 25 tahun dengan sisa umur layan 25 tahun. Permasalahan ini mengakibatkan terjadinya kerusakan berat struktural pada bagian kolom berupa keretakan parah dan struktur atap baja berupa posisi *baseplate* yang berubah. Selain itu, kerusakan juga terjadi pada rangka atap baja berupa korosi pada rangka atap baja di beberapa bagian yaitu pada *baseplat*, *gording*, talang, conveyor, *bracing* dan profil-profil rangka portal. Penutup atap berupa spandek terjadi kerusakan berupa korosi yang cukup parah sampai pengeroposan yang akan menjadi lubang. Baja dapat membentuk lapisan oksida besi yang membuat mudah terjadi korosi (Ariyanto, 2020). Permasalahan yang ada perlunya untuk melakukan analisis guna mengevaluasi bangunan gudang. Kajian evaluasi bangunan untuk mengatasi korosi pada atap baja, pergantian penutup atap akibat kerusakan, dan perkuatan untuk struktur atap yang kelebihan *stress*. Pemeliharaan pada struktur merupakan proses yang sangat vital dalam mengenali masalah yang timbul, memantau kondisi bangunan untuk mendeteksi sedini mungkin dan merancang strategi untuk meningkatkan masa pakai bangunan (Christina, 2023).

Cara agar kekuatan struktur bangunan *existing* bertambah agar tetap berfungsi dalam waktu yang lebih lama, perlu dilakukan *assesment* strukturnya kemudian diperoleh kondisi bangunan saat ini (Sutjiadi dkk., 2021). Inspeksi merupakan metode untuk mengamati penurunan mutu struktur dengan melakukan inspeksi visual, pengujian *non-destructive test* dan analisis struktur. Pada penelitian ini metode *Non-destructive test* (NDT) yang dilakukan untuk pengujian material dengan tidak merusak dengan *hardenes test* dan *ultrasonic thicknes gauge test* untuk melihat kondisi material baja pada bangunan gudang biru mengalami kerusakan dan mengetahui jenis material di lapangan. Rekomendasi perbaikan dari hasil *assessment* bangunan direkomendasikan agar gudang dapat dimanfaatkan kembali sesuai dengan fungsinya. Pelapisan cat untuk melindungi komponen baja merupakan teknik perbaikan yang dapat efektif untuk waktu lama (Kristowski dkk., 2018). Teknik perkuatan yang diberikan untuk kelebihan *stress* baja dengan penambahan pelat dengan metode las dan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP)

sehingga dapat meningkatkan kapasitas pemikul baja dan kekuatan baja (Christina, 2023). Pergantian penutup atap secara menyeluruh perlu dilakukan agar dapat melindungi seluruh ruangan yang berada di bawahnya terhadap perubahan cuaca ekstrim terutama gudang yang berada di sekitar laut.

Estimasi biaya untuk setiap metode perbaikan dilakukan sesuai Analisis Harga Satuan Pekerja (AHSP) Kota Bandar Lampung sehingga diketahui besar biaya yang dikeluarkan. Estimasi biaya metode-metode perbaikan yang direkomendasikan, kemudian dilakukan analisis nilai ekonomis bangunan dengan pertimbangan biaya operasional sepanjang umur hidup bangunan atau *Life Cycle Cost Analysis* (Safitri, 2021). Biaya siklus hidup dapat dipakai untuk mempertimbangkan rekomendasi yang efisien sehingga biaya dapat terkontrol mulai dari awal perencanaan, perbaikan sampai pemeliharaan gedung setelah diperbaiki (Puhessti, 2021). *Life Cycle Cost Analysis* salah satu cara menilai efektivitas biaya dengan pendekatan *Net Present Value* (NPV) dan *Cost Benefit Analysis* (BCA). Penelitian ini diperlukan untuk pemilihan cara perbaikan yang efisien dari segi teknik dan biaya berdasarkan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA).



Gambar 2. Kondisi Penurunan Lantai Samping Kolom.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 3. Arah Kemiringan Lantai Pada Segmen Kanan dan Kiri Gudang Biru Bagian A.

(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 4. Kerusakan pada Rangka Atap Baja.

(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 5. Kerusakan pada Kolom dan *Tie Beam*.

(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang keterkaitan masalah yang telah dijabarkan maka dirumuskan masalah yang terjadi pada bangunan Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero) yang tepat dalam penelitian ini. Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi kerusakan yang terjadi pada rangka atap baja akibat adanya penurunan tanah dengan memperhatikan usia bangunan yang sudah mendekati akhir?
2. Bagaimana tahapan yang diterapkan dalam melakukan evaluasi struktur atas dengan mengaplikasikan metode *Non-Destructive Test* (NDT)?
3. Bagaimana konsep perbaikan-perbaikan yang dapat diberikan untuk struktur atas yang mengalami kerusakan?
4. Bagaimana estimasi biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan struktur atas dan analisis kelayakan investasi sehingga dapat dikatakan layak dan menguntungkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas. Maka tujuan dari penelitian pada bangunan Gudang Biru ini sebagai berikut :

1. Mengetahui kerusakan-kerusakan yang terjadi pada rangka atap baja sehingga dapat diberikan solusi yang tepat agar umur bangunan sesuai dengan rencana maupun dapat memperpanjang umur bangunan.
2. Mengetahui cara melakukan pengecekan kerusakan bangunan tanpa merusak struktur bangunan atau dengan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT) dengan menggunakan alat *hardness test* dan *ultrasonic thickness gauge test*.
3. Mengetahui metode-metode perbaikan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki struktur atap baja berdasarkan hasil evaluasi struktur seperti melakukan pengecatan, melakukan pergantian spandek yang mengalami

kerusakan dan perkuatan struktur baja dengan penebalan pelat baja maupun *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

4. Melakukan estimasi biaya perbaikan dan analisis kelayakan investasi dengan memperhitungkan *life cycle cost* bangunan untuk berbagai metode perbaikan yang direkomendasikan sehingga didapat analisis perbaikan yang lebih ekonomis sehingga dapat memberikan keuntungan bagi perusahaan yang memiliki bangunan tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Supaya pembahasan tidak keluar dari konteks topik yang akan di bahas, maka perlu adanya pembatasan masalah agar pembahasan tidak semakin meluas. Berikut batasan-batasan dalam Tugas Akhir sebagai berikut :

1. Objek yang dianalisis struktur atas yaitu bagian rangka atap.
2. Metode penyelidikan material di lapangan dengan *Non-Destructive Test (NDT)* dan menggunakan alat *hardenes test dan ultrasonic thickness gauge test*.
3. Analisis biaya metode *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)* dengan konsep NPV dan CBA sehingga dapat dihasilkan metode perbaikan dan perkuatan yang ekonomis sehingga dapat memperpanjang masa layan bangunan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dengan adanya Tugas Akhir cukup banyak dari segi teoritis maupun dari segi praktis. Berikut penjabaran manfaat yang dapat diperoleh dengan adanya penelitian ini

1. Berdasarkan segi teoritis, manfaat yang dapat diperoleh yaitu dapat mengetahui dan menambah wawasan metode perbaikan ataupun perkuatan struktur rangka atap baja yang tepat dan ekonomis melalui *assesment* bangunan dan *analisis life cycle cost* akibat penurunan tanah yang terjadi pada gudang PT. PELINDO.
2. Secara teoritis juga dapat memperkenalkan dan mengetahui manfaat teknologi yang telah tersedia yang dapat menganalisa secara struktur dan pembebanan

sehingga menjadi bahan pertimbangan pemilihan metode perbaikan ataupun perkuatan yang tepat.

3. Manfaat praktis dengan adanya penelitian ini PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 mendapatkan solusi terbaik untuk perbaikan maupun perkuatan struktur yang mengalami kerusakan berdasarkan analisis yang telah dilakukan agar gudang dapat digunakan kembali dan memperpanjang usia layan bangunan. Saran perbaikan yang diberikan juga memberikan analisis biaya yang ekonomis sehingga kemudian dapat memberikan keuntungan bagi perusahaan berdasarkan biaya sewa bangunan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat yang diperoleh dalam melakukan penelitian, batasan-batasan yang diberikan di dalam penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori maupun studi literatur yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang di peroleh selama melakukan penelitian dan saran-saran yang diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Teori-teori yang relevan terkait topik yang diteliti sangat diperlukan untuk menjadi landasan dalam proses penelitian. Kerangka yang konseptual telah disusun sehingga dapat mendukung penelitian ini agar dapat tersusun dengan baik dan runtut. Identifikasi secara terstruktur dan analisis dokumen yang menjelaskan informasi terkait masalah penelitian. Penelitian-penelitian terdahulu yang terkait menjadi pendukung agar penelitian semakin menguat.

2.1 Struktur Bangunan Gudang Biru

Struktur bangunan merupakan bagian-bagian yang terbentuk untuk mendirikan sebuah bangunan. Struktur gudang biru terdiri dari dua komponen utama struktur yang terdiri atas struktur atas (*upper structure*) dan struktur bawah (*sub structure*). Berikut penjelasan mengenai kedua komponen tersebut. Secara umum, terdapat dua tipe material untuk konstruksi bangunan yaitu struktur baja dan struktur beton bertulang.

2.1.1 Struktur Bawah Gudang

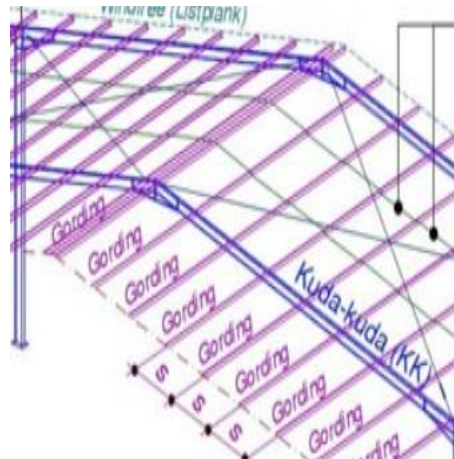
Bagian struktur yang terletak di bawah yang memiliki peranan penting bagi sebuah sistem struktur biasa dikenal dengan struktur bawah (Fitrah dkk., 2023). Struktur bawah biasa menopang beban yang ada di atasnya sehingga perlu desain yang kuat. Struktur bawah pada bangunan gudang biru terdiri dari konstruksi beton bertulang berupa pondasi tiang pancang, pile cap, sloof, pelat lantai dan kolom pedestal. Setiap konstruksi tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda di dalam sebuah struktur.

2.1.2 Struktur Atas Gudang

Struktur atas untuk bangunan gudang terdiri atas komponen-komponen baja yang membentuk atap. Struktur atap untuk segmen A dan B terdiri dari profil-profil baja yang membentuk seperti kubah dan ditutup dengan spandek. Bagian atap segmen antarmuka gudang membentuk portal yang ditutup dengan spandek. Struktur atap merupakan salah satu bagian yang menstransfer beban-beban yang berasal dari atap yang terdiri atas rangka atap dan juga penopang rangka atap (Noorlaelasari, 2010). Bentuk atap gudang biru yang seperti kubah memiliki keunggulan selain dari segi keindahan yang disajikan yaitu dapat mempermudah aliran air hujan untuk mengalir (Subagio, 2017). Sifat bahan baja dikenal memiliki kekuatan yang tinggi dan biasa digunakan dalam dunia konstruksi untuk kolom, balok bangunan bertingkat, penyangga atap, hangar, jembatan, pondasi tiang pancang, atap pabrik atau gudang, dan lain sebagainya (Subagio, 2017). Kekurangan yang dimiliki material baja yaitu pada saat pemeliharaan dan juga sewaktu-waktu kekuatan baja dapat menurun yang besar akibat suhu yang tinggi karena bersifat penghantar panas yang baik (Agustinus dan Lesmana, 2019). Menurut (Noorlaelasari, 2010) bagian-bagian dari struktur atap, yaitu :

1. Gording

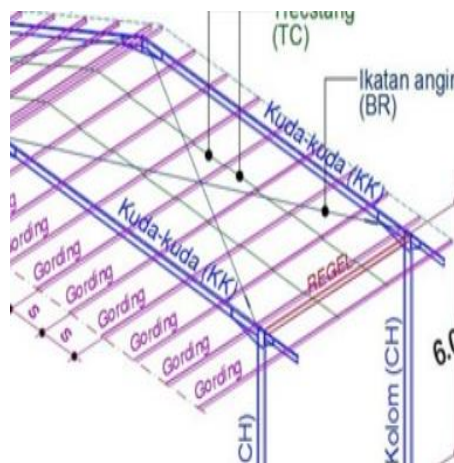
Gording merupakan balok atap sebagai pengikat yang menghubungkan antar kuda-kuda. Gording juga menjadiudukan untuk kasau dan balok jurai dalam. Gording membagi bentangan atap dalam jarak-jarak yang lebih kecil pada proyeksi horisontal. Gording berada di atas kuda-kuda, biasanya tegak lurus dengan arah kuda-kuda. Gording menjadi tempat ikatan bagi usuk, dan posisi gording harus disesuaikan dengan panjang usuk yang tersedia. Pada gording dari baja, gording satu dengan lainnya akan dihubungkan dengan sagrod untuk memperkuat dan mencegah dari terjadinya pergerakan.



Gambar 6. Bentuk Gording.
(Sumber : Arsitekta Arsitektur Konstruksi Baja)

2. Bracing

Bracing pada umumnya digunakan untuk memberikan kekakuan pada bangunan terhadap pengaruh gaya-gaya *horizontal* seperti angin, gempa dan lain-lain. Karena bentuknya yang saling bersilangan, ikatan angin (*bracing*) biasa disebut pula dengan diagonal *bracing*.



Gambar 7. Bentuk *Bracing*.
(Sumber : Arsitekta Arsitektur Konstruksi Baja)

3. Baseplate

Bagian dari struktur baja yang berfungsi untuk menghubungkan struktur baja bagian atas dengan struktur pondasi pada bagian bawah.

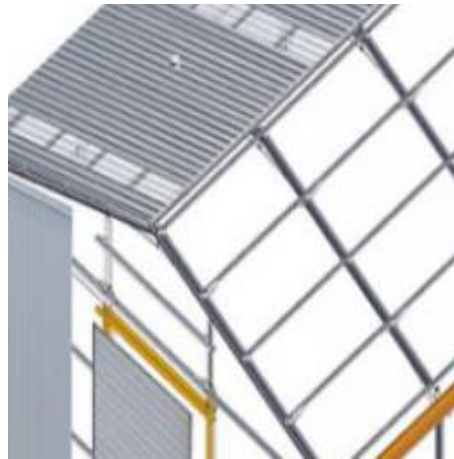


Gambar 8. *Baseplate*.

(Sumber : <https://www.asdar.id/base-plate-pada-struktur-baja/>)

4. Penutup Atap

Penutup merupakan bagian yang menutupi atap secara keseluruhan sehingga terciptalah ambang atas yang membatasi kita dari alam luar. Ada berbagai pilihan penutup atap dengan pilihan bentuk dan sifat yang berbeda. Penutup atap harus mempunyai sifat kedap air, bisa mencegah terjadinya rembesan air selama kejadian hujan.



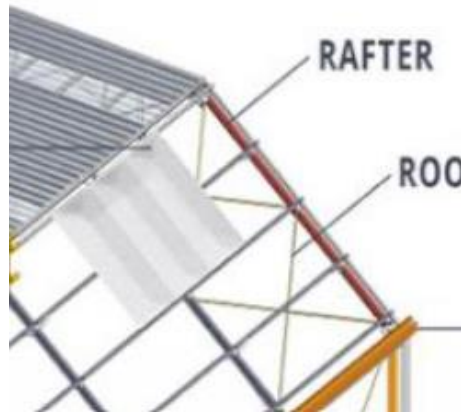
Gambar 9. Penutup Atap.

(Sumber : <https://indonesian.prefabricatedsteelstructures.com/sale-14039309-gable-frame-light-metal-building-quakeproof-workshop-steel-structure.html>)

5. Rafter

Rafter adalah elemen yang membentuk struktur rangka atap yang membentang dari daerah puncak atap (*Ridge*) hingga ke bagian tepi atap yang terhubung pada dinding dengan kemiringan sudut tertentu. Rafter digunakan untuk menopang

beban pada area atap dan merupakan elemen penting pada konstruksi rangka atap yang berkontribusi pada kekuatan, kestabilan, dan fungsionalitas struktur rangka atap pada bangunan.



Gambar 10. Rafter.

(Sumber : <https://indonesian.prefabricatedsteelstructures.com/sale-14039309-gable-frame-light-metal-building-quakeproof-workshop-steel-structure.html>)

2.2 Umur Rencana

Bangunan sipil yang telah berusia lebih dari 25 tahun, secara umum mulai menunjukkan indikasi kerusakan akibat pengaruh lingkungan sehingga dapat mengurangi mutu material struktur (Anugraha dkk., 2020). Bangunan Gudang Biru selesai dibangun pada tahun 1998. Perencanaan bangunan gudang biru dapat mencapai umur 50 tahun, tetapi usia 26 tahun bangunan gudang sudah mengalami kerusakan. Saat ini usia bangunan sudah lebih dari 25 tahun sudah menunjukkan adanya kerusakan-kerusakan pada bangunan. Salah satu kerusakan yang terjadi pada struktur atap baja berupa korosi, kerusakan pada atap, dan degradasi material.

Permukaan baja bila dilakukan pengecatan dengan ketebalan tinggi dapat bertahan dari korosi hingga > 15 tahun. Lapisan baja jika dilakukan pengecatan untuk perlindungan terhadap korosi akan bertahan hingga 30 tahun (Kristowski dkk., 2018). Metode perbaikan dengan melakukan pengecatan ulang untuk keseluruhan profil baja dan melakukan perkuatan baja dengan metode penebalan pelat baja diasumsikan bangunan dapat bertahan hingga 30 tahun kedepan. Maka dengan sisa umur bangunan yaitu 25 tahun dan akan diperpanjang untuk 5 tahun kedepan. Maka

bangunan diperkirakan dapat mencapai umur 30 sampai tahun 2054. Penutup atap baja jika diganti dengan atap alderon akan dapat bertahan hingga lebih dari 25 tahun.

Struktur dengan yang dilapisi bahan CFRP kehidupan pelayanan dapat mencapai 100 tahun (Liu dkk., 2022). Bangunan telah selesai dipakai pada tahun akhir tahun 1998. Sehingga bangunan diperkirakan telah berusia lebih dari 25 tahun. Agar mencapai umur rencana maka sisa umur bangunan 25 tahun. Metode perbaikan dengan melakukan pengecatan ulang untuk keseluruhan profil baja dan melakukan perkuatan baja dengan metode FRP diasumsikan bangunan dapat bertahan hingga 50 tahun kedepan. Sisa umur bangunan 25 tahun dan diperpanjang 25 tahun kedepan, maka bangunan diasumsikan dapat mencapai umur 50 sampai tahun 2074.

2.3 Evaluasi Bangunan dan Penyelidikan Eksisting

Membuat keadaan bangunan seperti saat awal dibangun atau menjadi lebih baik sampai bangunan mampu menopang beban sesuai yang ditentukan sehingga bangunan dinyatakan aman merupakan bagian dari perbaikan struktur atau biasa disebut *retrofit* (Winarsih, 2010). Kerusakan dapat terlihat setelah bangunan tersebut terpakai tetapi tidak sesuai dengan fungsinya yang kemudian diputuskan untuk melakukan identifikasi segera mungkin apabila telah terlihat keburukan yang dapat membuat dampak negatif dari bangunan itu sendiri (Ariyanto, 2020). Kemudian jika identifikasi telah dilakukan sehingga dapat terlihat kerusakan yang terdapat pada setiap struktur bangunan dan dapat dilakukan perbaikan atau perkuatan struktur. Menurut Winarsih (2010), langkah yang benar untuk melakukan perkuatan struktur terdapat tiga tahapan yaitu :

1. Melakukan investigasi kondisi di lapangan.
2. Selanjutnya melakukan evaluasi bangunan.
3. Tahap terakhir melakukan pelaksanaan perkuatan sesuai evaluasi yang sudah dilakukan.

Inspeksi struktur adalah usaha untuk memeriksa kondisi struktur secara visual dengan cara mencatat semua kerusakan yang ada di lapangan, termasuk mengumpulkan bukti berupa informasi, gambar, dokumentasi yang ada, serta melakukan pengamatan langsung, sehingga diharapkan seluruh data dan masalah dapat tercatat secara menyeluruh (Gunawan dkk., 2005). Pengamatan visual terhadap kondisi struktur dilakukan untuk mengidentifikasi dan memetakan jenis serta keadaan kerusakan yang ada berupa dokumentasi dari observasi visual mencakup lokasi korosi (Anugraha dkk., 2020). Secara keseluruhan pemeriksaan secara visual dalam penelitian ini dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan sehingga dapat melihat kerusakan secara kasat mata struktur yang mengalami kerusakan dan sulit untuk dievaluasi dengan menggunakan alat. Selama pelaksanaan inspeksi, pengambilan gambar digital dilakukan untuk mendukung proses evaluasi dan analisis dan semua data yang diperoleh sebaiknya disajikan dalam bentuk gambar agar pengguna dan pemilik dapat dengan mudah memahami kondisi struktur yang sebenarnya.

Evaluasi bangunan merupakan kegiatan penilaian kondisi struktur dan lingkungan bangunan. Penilai dilakukan untuk mendapatkan informasi secara aktual tentang kondisi struktur dengan melakukan identifikasi dengan pengamatan secara visual dan pengukuran di lapangan yang biasa digunakan untuk perbaikan struktur (Gunawan dkk., 2005). Kegiatan evaluasi struktur dapat melakukan uji beban maupun analisis atau dilakukan keduanya (Rohman, 2009). Evaluasi struktur perlu dilakukan pada bangunan untuk melihat seberapa jauh kerusakan struktur yang dapat dilihat oleh kasat mata ataupun bagian yang tak terlihat dan selanjutnya dapat diminimalisir risiko kegagalan struktur. Manfaat dilakukan evaluasi struktur bangunan diantaranya untuk mengetahui perubahan yang dapat terjadi akan kualitas struktur akibat adanya bencana maupun faktor lainnya. Selain itu, dapat mengidentifikasi kesalahan dalam pengerjaan atau terdapat perbedaan spesifikasi teknik yang sudah di rancang sedari awal (Apriani, 2016). Evaluasi bangunan melibatkan berbagai metode seperti:

1. Pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT) untuk mengetahui kondisi struktur tanpa merusak bangunan.

2. Pengujian *Destructive Testing* (DT) untuk mendapatkan informasi detail tentang struktur bangunan, sering melibatkan penggalian dan uji coba potensial.
3. Analisis Struktur untuk mengetahui kinerja struktur bangunan terhadap beban dan perubahan struktur.
4. Pengujian Material untuk mengetahui kondisi material bangunan, seperti kuat tekan beton dan kuat tarik baja.

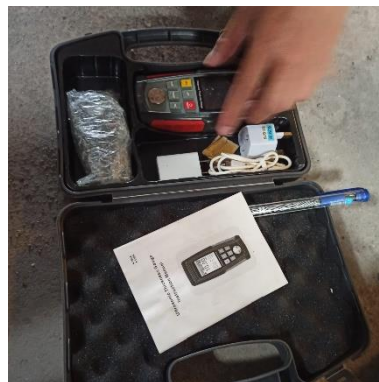
Berdasarkan penelitian Turnip (2019), dilakukan evaluasi struktur dengan menyelidiki beban melalui uji pembebanan dan dilakukan analisis struktur dengan *software* SAP2000.

Pada kegiatan survei yang telah dilakukan terlihat keadaan yang terjadi akibat penurunan tanah pada bangunan Gudang. Terlihat di lapangan penurunan terjadi pada segmen A dan segmen B bagian bangunan gudang. Arah kemiringan ini mengarah ke bagian tengah pada permukaan lantai membuat segmen tengah lantai terlihat ambles ke bawah. Kemiringan yang terjadi mengakibatkan bagian *baseplate* terjadi perubahan posisi. Selain itu, beberapa rangka atap telah terjadi korosi dan pengeroposan di beberapa bagian hingga degradasi material. Adanya permasalahan-permasalahan yang sudah terlihat maka diperlukan perbaikan untuk bangunan gudang.

Non-destructive test (NDT) atau uji tak merusak adalah teknik pengujian material tanpa merusak benda uji. Pengujian NDT biasa digunakan untuk mengendalikan dan memastikan mutu salah satunya mutu baja (Sulaiman dkk., 2020). Pengujian ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman dan belum melewati batas toleransi kerusakan. Pengujian NDT dapat dipakai untuk melihat kecacatan suatu material tanpa merusak suatu sampel. Metode *Non-destructive test* (NDT) lebih praktis dibanding metode *destructive test* (DT) disamping karena metode NDT tidak merusak benda uji, juga karena bisa dilakukan langsung dilapangan tanpa harus membawa benda uji ke laboratorium. Berikut pengujian material secara aktual dengan metode NDT yang dapat dilakukan untuk material baja di lapangan sebagai berikut:

1. *Ultrasonic Thicknes Gauge Test*

Pengujian ultrasonik adalah salah satu pengujian yang banyak digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas seperti cacat internal, cacat permukaan, dan cacat permukaan pada perangkat atau bahan logam atau paduan. Diskontinuitas atau cacat biasanya retak, perforasi tidak lengkap, inklusi terak, dan sebagainya. Pengujian ultrasonik menggunakan media gelombang ultrasonik dengan frekuensi lebih dari 20 kHz. Prinsip kerjanya adalah menggunakan gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh sensor untuk merambat ke benda kerja, dan kemudian penerima menghentikan gelombang balik. Intensitas, waktu perambatan atau resonansi yang dihasilkan dapat diukur dari gelombang yang diterima, sehingga biasanya pemeriksaan ultrasonik ini didasarkan pada perbedaan intensitas dan waktu perambatan gelombang yang diterima. Penggunaan alat uji *ultrasonic thickness gauge* yang bertujuan untuk mengetahui tebal aktual baja. Pengukuran tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengurangan ketebalan yang terjadi pada struktur baja akibat adanya korosi, dengan cara membandingkan tebal nominal dengan tebal aktual.



Gambar 11. Alat *Ultrasonic Thicknes Gauge Test*.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

2. *Hardenes Test*

Hardenes Test ialah uji kekerasan suatu material/bahan merupakan sifat mekanik yang sangat penting, karena dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik lain yaitu *strength* (kekuatan). Nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material juga dapat dikonversi dari kekerasannya.



Gambar 12. *Hardenes Test*.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

2.4 Pembebanan Struktur

Dalam mendesain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku serta besar beban yang bekerja pada struktur. Struktur bangunan yang direncanakan harus mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berat sendiri struktur maupun beban luar. Kesalahan pada perencanaan pembebanan dapat mengakibatkan kegagalan pada struktur bangunan. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur diantaranya adalah beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin.

1. Beban Mati

Beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bahan bangunan serta komponn sesuai dengan rencana bangunan dan struktur. Beban mati terdapat dua bagian diantaranya beban mati sendiri dan beban mati tambahan.

2. Beban Hidup

Beban Hidup Berdasarkan (SNI1727-2020) tentang pembebanan, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup merupakan beban yang sifatnya dapat berpindah-pindah atau bergerak sesuai dengan fungsi bangunan (ruangan). Meskipun dapat bergerak, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur

bangunan. Beban penggunaan merupakan berat manusia, barang yang ada pada bangunan dan sebagainya.

3. Beban Angin

Beban Angin Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (SNI 1727-2020). Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis bangunan, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur bangunan. Beban angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisap) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau.

4. Kombinasi Beban

Beban-beban yang diinput pada struktur dikombinasikan untuk memperoleh respon struktur yang paling menentukan untuk digunakan dalam elemen-elemen struktur. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis adalah kombinasi pembebanan yang ada pada (SNI 1727-2020). Berikut adalah kombinasi-kombinasi dasar pembebanan yang ada :

- a. $1,4D$
- b. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- c. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. $0,9D + 1,0W$

Keterangan:

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

S = Salju

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

2.5 Klasifikasi Bangunan Gudang

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 26/PRT/M/2008) tentang Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara, bangunan dibedakan sesuai dengan jenis peruntukan atau penggunaan bangunan gedung. Klasifikasi bangunan adalah sebagai berikut :

Kelas 1 : Bangunan gedung hunian biasa.

Kelas 2 : Bangunan gedung hunian, terdiri atas 2 atau lebih unit hunian yang masing-masing merupakan tempat tinggal terpisah.

Kelas 3 : Bangunan gedung hunian di luar bangunan gedung kelas 1 atau kelas 2, yang umum digunakan sebagai tempat tinggal lama atau sementara oleh sejumlah orang yang tidak berhubungan.

Kelas 4 : Bangunan gedung hunian campuran. Tempat tinggal yang berada di dalam suatu bangunan gedung kelas 5, 6, 7, 8 atau 9 dan merupakan tempat tinggal yang ada dalam bangunan gedung tersebut.

Kelas 5 : Bangunan gedung kantor. Bangunan gedung yang dipergunakan untuk tujuan -tujuan usaha profesional, pengurusan administrasi, atau usaha komersial, di luar bangunan gedung kelas 6, 7, 8 atau 9.

Kelas 6 : Bangunan gedung perdagangan. Bangunan gedung toko atau bangunan gedung lain yang dipergunakan untuk tempat penjualan barangbarang secara eceran atau pelayanan kebutuhan langsung kepada masyarakat.

Kelas 7 : Bangunan gedung penyimpanan atau gudang. Bangunan gedung yang dipergunakan untuk penyimpanan termasuk tempat parkir dan gudang.

Kelas 8: Bangunan gedung Laboratorium/Industri/Pabrik. Bangunan gedung laboratorium dan bangunan gedung yang dipergunakan untuk tempat pemrosesan suatu produk, perakitan, perubahan, perbaikan, pengepakan, finishing, atau pembersihan barang -barang produksi dalam rangka perdagangan atau penjualan.

Kelas 9 : Bangunan gedung Umum. Bangunan gedung yang dipergunakan untuk melayani kebutuhan masyarakat umum.

Kelas 10: Bangunan gedung atau struktur yang bukan hunian.

Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero) termasuk kelas 7 yaitu bangunan gedung untuk penyimpanan atau gudang. Karena gudang biru berfungsi sebagai tempat penyimpanan barang-barang.

2.6 Metode Perbaikan Struktur Atap Baja

Permasalahan struktur atap baja salah satunya degradasi material berupa korosi akibat lingkungan sekitar yang memiliki konsekuensi yang cukup besar sehingga perlu proteksi dari kerusakan berkelanjutan untuk memperpanjang umur (Anugraha dkk., 2020). Setelah dilakukan pengujian material di lapangan jika terjadi kegagalan dalam analisis struktur saat kondisi eksisting maka perlu adanya perkuatan pada struktur baja. Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana. Tujuan adanya perkuatan struktur agar bangunan yang mengalami kerusakan dicegah agar tidak mengalami kehancuran lebih awal (Christiawan, 2012).

Struktur baja memiliki beberapa kelebihan yang berkaitan dengan rasio kekuatan dengan berat yang tinggi. Selama masa pemakaiannya tidak dapat dipungkiri struktur baja sewaktu-waktu dapat dilakukan perawatan bahkan sampai perkuatan yang disebabkan oleh kerusakan parah yang disebabkan oleh kelebihan beban maupun faktor lingkungan yang agresif sehingga menyebabkan kegagalan yang lebih awal (Tafsirojjaman dkk., 2022). Perkuatan maupun perbaikan struktur baja yang diaplikasikan untuk bangunan gudang dipilih beberapa strategi perbaikan. Berikut metode perbaikan dan perkuatan yang akan diaplikasikan diantaranya sebagai berikut.

1. Pengecatan Baja

Baja yang digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan harus siap menghadapi lingkungan korosi, sehingga perlu perlindungan terhadap korosi dengan pertimbangan kebutuhan pemeliharaan dan kondisi iklim (Tampubolon, 2021). Salah satu metode untuk melindungi baja terhadap korosi dengan melakukan coating dengan pengecatan. Struktur baja yang berdekatan dengan laut perlu

proteksi dengan cat tebal 200 mikron atau lebih (Tampubolon, 2021). Pemilihan cat harus yang kuat, tahan lama, dan pemeliharannya minimal dengan kadar zink yang cukup tinggi. Lapisan pelindung/pengaman cat mempunyai umur yang terbatas. Umur lapisan pelindung tersebut tergantung dari beberapa faktor antara lain :

- a. Ketebalan cat (atau galvanisasi).
- b. Keberadaan baja terhadap udara laut atau bahan kimia lainnya (dari pabrik).
- c. Keberadaannya terhadap air atau adanya uap air yang terjebak (pada sambungan dan sebagainya).

Salah satu perbaikan pada baja yang akan dibahas dalam penelitian ini dengan melakukan pengecatan ulang sebagai bentuk perlindungan terhadap struktur baja akibat kondisi lingkungan yang cukup ekstrim. Gudang yang berada di daerah laut mudah terserang korosi membuat konstruksi baja mudah terpapar akibat arah kecepatan angin yang membawa polutan agresif dari percikan garam. Korosi terjadi pada hampir keseluruhan rangka atap dan penutup atap sehingga perlu diatasi agar kerusakan tidak semakin parah. Cat pada konstruksi baja sudah terkelupas pada beberapa area terlihat dari inspeksi visual.

Sebelum dilakukan pengecatan keseluruhan rangka baja perlu membersihkan cat maupun kotoran karat pada permukaan material baja dengan metode *sandblasting* (Prabowo dkk., 2022). Sandblasting merupakan penyemprotan bahan abrasif, biasanya berupa pasir silika dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan dengan maksud untuk menghilangkan kontaminan seperti karat, cat, garam, oli, dan sejenisnya (Kurniawan dan Periyanto, 2019). Pemilihan jenis cat pada penelitian ini dengan menggunakan cat marine karena merupakan cat yang berkualitas tinggi sehingga dapat melindungi baja dari korosi dalam jangka waktu lama (Kurniawan dan Periyanto, 2019). Sifat dari cat perlu diperhatikan karena struktur di bangun didaerah laut yang mudah terjadi korosi. Pengaplikasian cat dengan menggunakan *water jet blasting* karena area pengecatan yang luas. Menghindari adanya korosi kembali yang dapat menimbulkan kerugian besar, maka perlu pemeliharaan cukup mahal biayanya tetapi dapat mencegah adanya kerugian lain sehingga biaya

pengecehan menjadi hampir tidak berarti (Bayuseno, 2009). Pemeliharaan konstruksi material baja dapat dilakukan dengan pengaplikasian cat ulang dengan periode 10 sampai 15 tahun (Tampubolon, 2021)

2. Perbaikan Penutup Atap

Pada kawasan pesisir dan daerah industri, angin membawa polutan agresif yang berasal dari percikan garam laut dan limbah sehingga dapat mengenai permukaan bahan penutup atap kemudian terjadi korosi (Tampubolon, 2021). Oleh karena itu, adanya korosi menyebabkan penutup atap berlubang. Mengganti penutup atap secara menyeluruh perlu dilakukan agar tidak terjadi kebocoran sehingga dapat merusak material yang berada di dalam bangunan mengingat fungsi gudang sebagai tempat penyimpanan barang kimia. Melihat kawasan bangunan berada di lingkungan yang cukup ekstrim maka pemilihan penutup atap dipilih dengan menggunakan bahan Alderon. Keunggulan yang dimiliki bahan atap ini yaitu :

- a. Pemeliharaan atap alderon tergolong mudah karena tidak perlu perawatan khusus yang mengeluarkan biaya.
- b. Sifat atap alderon ramah lingkungan.
- c. Alderon dirancang tahan terhadap pengaruh bahan kimia, polusi industri dan tahan terhadap lingkungan korosif.
- d. Tidak mudah terbakar karena jika alderon terbakar akan padam sendiri.
- e. Alderon diperkaya dengan formula perlindungan UV, yang melindungi material tersebut dari sinar ultraviolet dan kondisi cuaca yang berubah-ubah, sehingga menjadikannya lebih tahan lama dan tidak mudah retak.

3. Perkuatan Struktur baja

a. Penambahan Pelat

Eksternal post tensioning salah satu teknik perkuatan struktur yang dapat digunakan pada struktur baja karena sifatnya yang praktis dan efektif dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas struktur (Darmawan dkk., 2019). Perkuatan bagian yang lemah pada baja dapat dilakukan dengan menambahkan pelat pada permukaan atasnya. Penambahan pelat baja merupakan salah satu metode perkuatan yang dilakukan secara konvensional dengan menambah pelat baja dengan cara dilas maupun. Jika elemen baja

mengalami korosi, bagian yang rusak dipotong dan digantikan dengan pelat baja baru. Metode perkuatan konvensional dengan menggunakan pelat baja tambahan seperti ini memerlukan banyak peralatan berat dan sangat sulit untuk digunakan. Pemasangan pelat baja meningkatkan beban mati struktur dan meningkatkan risiko korosi.

b. *Fiber Reinforced Polymer*

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan bahan yang terdiri dari matrik resin polimer yang ditambahkan serat untuk diperkuat. *Fiber Reinforced Polymer* adalah inovasi perkuatan komposit, yang saat ini sering digunakan sebagai peningkatan kekuatan eksternal tambahan pada struktur (Achmad dan Smd, 2014). FRP bahan yang dibuat dengan bahan yang memiliki berat yang ringan, memiliki ketahanan yang baik terhadap karat sehingga kedepannya akan lebih awet, memiliki kemampuan untuk menahan kuat tarik tinggi. Kuat tarik FRP dapat mencapai 7 sampai 10 kali lipat lebih tinggi dari baja. Lembaran FRP dapat diaplikasikan dapat dipasang pada permukaan pelat yang mengalami peregangan. Ketika dipasang lebih mudah sehingga dapat mempersingkat waktu pada saat pemasangan, dan mudah dibentuk atau flexibel. *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) dipasang dengan alat perekat berupa epoxy pada permukaan baja. FRP dapat terbuat dari 3(tiga) bahan komposit, yaitu

1) Carbon

Serat karbon memiliki kurang lebih 90% berat. Pada suhu ruang serat karbon tidak mengalami korosi atau pecah. Sistem *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) bermanfaat sebagai peningkatan kekuatan dengan menambah kapasitas lentur, geser, axial, dan daktilitas. Pengaplikasian CFRP yaitu dengan membalut sekeliling permukaan mengelilingi permukaan elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin. Prinsip kerja CFRP memiliki kesamaan dengan tulangan transversal konvensional.

2) *Glass*

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat halus yang terbuat dari bahan kaca. Jenis kekuatan GFRP memiliki kekuatan yang lebih rendah

dari serat karbon dan kurang kaku. Bahannya sangat ringan tetapi juga lebih rapuh. Dalam pemasangannya menggunakan perekat epoxy resin sama dengan CFRP. Selain dipakai untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur lainnya, GFRP juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan karena GFRP adalah bahan yang tahan akan segala jenis cuaca. Material ini memiliki banyak keuntungan, seperti tahan korosi, kuat tarik tinggi, daktalitas superior, lebih ringan, dan lebih murah dari pada bahan FRP lainnya.

3) Aramid

Serat Aramid juga dikenal sebagai serat kaveler adalah serat yang juga memiliki kekuatan tinggi, kaveler biasa digunakan di dalam jaket anti peluru. 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.

Pemilihan metode perkuatan dipengaruhi oleh beberapa pertimbangan, antara lain

- a. Efektifitas perkuatan.
- b. Kemudahan pelaksanaan perkuatan.
- c. Biaya, dalam hal ini terkait dengan pemilihan bahan agar diperoleh hasil perbaikan yang kekuatannya sesuai dengan yang diinginkan dan dapat tahan lama

Berbagai jenis bahan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang ada dipilih material carbon karena tidak mengalami korosi dan memiliki kekuatan yang tinggi. Material CFRP yang dipilih tipe Horse HM-20.



Gambar 13. Material CFRP Horse HM-20.
(Sumber:Horseen.com)

2.7 Konsep Biaya

Ketika membahas biaya, terdapat dua konsep yang ada dan perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. Biaya (*cost*)

Biaya dalam konteks ini merujuk pada segala kontribusi yang telah diperkirakan untuk suatu proyek yang dibutuhkan untuk mencapai suatu tujuan, yang diukur dengan nilai uang (Puhessti, 2021).

2. Pengeluaran (*expencc*)

Pengeluaran yang dimaksudkan dengan total biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh atau mencapai suatu hasil yang diinginkan (Puhessti, 2021).

Berdasarkan penjelasan diatas biaya terbagi menjadi dua bagian yaitu biaya modal dan biaya tahunan (Puhessti, 2021).

a. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Sejumlah keseluruhan pengeluaran yang dibutuhkan dari persiapan hingga proyek selesai biasa disebut biaya modal (Wongkar, 2016). Biaya modal terbagi lagi menjadi dua bagian diantaranya :

1) Biaya langsung

Biaya ini berupa sejumlah uang yang diperlukan untuk seluruh biaya konstruksi proyek, yang akan ditawarkan kepada kontraktor dan umumnya diberikan oleh pemilik proyek. Dalam penelitian ini biaya langsung berupa

segala biaya perbaikan maupun biaya perkuatan untuk bangunan gudang biru untuk mengatasi kerusakan yang telah terjadi.

2) Biaya tidak langsung

Uang yang dikeluarkan untuk manajemen suatu proyek, yang terdiri dari tiga komponen utama. Pertama, biaya yang tidak terduga seperti pajak, overhead (termasuk sewa kantor dan peralatan komputer), dan kontingensi keuntungan. Kedua, biaya teknis untuk desain, perencanaan, dan pengawasan selama proyek berlangsung, termasuk gaji pegawai, manajemen, dan administrasi. Terakhir, bunga (bunga pinjaman), biaya langsung, dan biaya pengawasan selama proses konstruksi juga dimasukkan dalam perhitungan ini.

b. Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

- 1) Depresiasi yaitu pengurangan nilai dari aset yang disewakan.
- 2) Biaya operasional dan pemeliharaan merupakan biaya untuk menjaga agar aset tetap berfungsi sesuai dengan umur yang telah direncanakan.
- 3) Bunga merupakan biaya tambahan yang dipengaruhi oleh perubahan tingkat suku bunga selama masa proyek.

Menurut (Giatman, 2006), pengelompokan biaya berdasarkan sifat penggunaannya terdapat tiga jenis yaitu :

1. Biaya Investasi (*Investment Cost*)

Investasi adalah biaya yang dikeluarkan di awal untuk mempersiapkan kebutuhan operasional usaha dengan baik. Biaya ini umumnya signifikan dan berdampak jangka panjang terhadap kelangsungan usaha. Investasi sering kali dianggap sebagai modal pokok yang digunakan untuk membangun infrastruktur dan fasilitas usaha, termasuk pengembangan dan peningkatan sumber daya manusia.

2. Biaya Operasional (*Operational Cost*)

Biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan aktivitas usaha sesuai dengan tujuan. Biaya ini biasanya dibayarkan secara teratur atau berkala dalam jumlah yang tetap atau sesuai dengan jadwal kegiatan atau produksi. Yang termasuk dalam biaya ini diantaranya pembayaran gaji karyawan, pengeluaran aktivitas atau administrasi perusahaan, pengeluaran listrik, biaya pajak, dan lain sebagainya.

3. Biaya Perawatan (*Maintenance Cost*)

Biaya yang disiapkan untuk mempertahankan atau menjamin kinerja optimal fasilitas atau struktur agar selalu dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.

2.8 Estimasi Biaya

Pada tahap awal perbaikan gedung sangat dibutuhkan estimasi biaya sehingga dapat dilihat besar biaya yang dikeluarkan untuk suatu proyek (Fauzia dan Firdasari, 2022). Memperkirakan biaya merupakan langkah dalam memperkirakan jumlah kemungkinan biaya yang diperlukan untuk kegiatan yang diperoleh dari informasi yang diberikan pada saat itu (Zaki, 2021). Estimasi dilakukan untuk memperkirakan biaya yang akan dikeluarkan untuk biaya perbaikan struktur rangka atap baja berdasarkan rekomendasi yang diberikan menurut hasil analisis struktur yang dilakukan. Rencana anggaran dibuat untuk mengestimasi setiap rekomendasi perbaikan yang dilakukan sehingga dapat diketahui masing-masing biaya yang diperlukan. Biaya perbaikan yang termasuk dalam rencana anggaran akan dikeluarkan berupa biaya alat-alat, upah pekerja dan bahan (Pratiwi dkk., 2022). Harga satuan pekerjaan diperoleh berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bandar Lampung Tahun 2022. Semua biaya yang dibutuhkan dalam perbaikan gudang biru dan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan cara menghitung estimasi biaya (Devina dkk., 2023). Terdapat dua estimasi biaya karena perkuatan struktur dilakukan dua analisis perkuatan. Pada masing-masing metode perkuatan tetap memperhitungkan pengecatan dan perbaikan penutup atap pada bangunan gudang.

2.9 *Life Cycle Cost Analysis*

1. Pengertian *Life Cycle Cost*

Life cycle costing ialah cara dalam perekonomian teknik yang dipakai untuk menilai proyek secara ekonomis dengan menghitung biaya total selama siklus hidup bangunan sehingga dengan adanya metode ini dapat mendapat hasil manfaat yang optimal dengan biaya yang kecil (Jati, 2022). Analisis *life cycle*

cost salah satu cara teknik analisa untuk mengendalikan biaya mulai dari awal sampai kedepannya dalam melakukan investasi proyek dengan memperhatikan biaya pengoperasian dalam jangka panjang (Diputera dan Tjokorda, 2023).

Penetapan biaya siklus hidup bangunan kedepannya dapat mengelola proses mulai dari awal perancangan hingga penghancuran atau penggantian suatu aset, sebagai pengendalian biaya siklus hidup, sehingga dapat mencapai layanan yang tepat untuk tujuan pembangunan berdiri, dan mengurangi risiko serta mengoptimalkan pengadaan layanan (Cahyadi dkk., 2022). Menurut Sadliwala dan Gogate (2022), pada masa sekarang sangat penting meningkatkan kesadaran pentingnya biaya operasional dan pemeliharaan bangunan serta dengan adanya nilai uang dapat menetapkan biaya siklus hidup dalam suatu proyek. Metode LCC banyak digunakan untuk menentukan biaya terendah ataupun biaya yang paling hemat diantara alternatif yang ditawarkan. Biaya sekarang (*present value*) dan biaya kedepannya (*future value*) yang terdiri atas biaya awal, biaya operasi suatu bangunan dan biaya yang dikeluarkan selama umur bangunan merupakan biaya total dari *life cycle cost*. Sehingga hal tersebut merupakan biaya selama umur rencana bangunan.

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) digunakan untuk mempertimbangkan segi struktur, penyebab kerusakan, teknik perbaikan yang tepat dilihat dari segi ekonomi (Renne dkk., 2022). LCCA adalah metode sistematis atau analitik untuk menentukan kinerja ekonomi suatu produk atau proses selama seluruh siklus hidup, ketika biaya awal diperhitungkan, bersama dengan arus kas masa depan yang terjadi sepanjang umur selama periode analisis yang telah ditentukan. Pertimbangan ekonomi untuk berbagai pilihan alternatif sehingga menjadi pertimbangan keseluruhan pengeluaran biaya perencanaan sebagai tujuan pengambilan keputusan secara objektif tentang metode yang sesuai masa layan aset biasa dikenal dengan LCCA (Oktaviani dan Ayu, 2022). Analisis dilakukan untuk menilai kelaikan ekonomi dari berbagai alternatif sehingga dapat menentukan peringkat dari berbagai alternatif yang ada sehingga dapat disimpulkan pilihan terbaik dari seluruh rangkaian siklus hidup. (Sadliwala dan Gogate, 2022). Pertimbangan manajemen aset perlu difikirkan untuk masa depan

atau biasa disebut *life cycle analysis* dengan tahap inisiasi, desain, pengerjaan konstruksi, operasional, pemeliharaan dan rekonstruksi selama usia layan sehingga manfaat ekonomi besar tetapi biaya usia layan rendah (Oktaviani dan Ayu, 2022).

2. Rencana *Life Cycle Cost Analysis*

Analisis Biaya *Life Cycle Cost* (Kaming dkk., 2019), menyebutkan biaya yang terkait dalam suatu konstruksi bangunan secara umum adalah sebagai berikut:

a. Biaya Awal/ Biaya Konstruksi

Biaya ini merupakan keseluruhan merupakan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk konstruksi bangunan. Pengeluaran yang dimaksud mulai dari tahapan persiapan sampai bangunan selesai dibangun. Pada penelitian ini biaya konstruksi ini berupa biaya renovasi berat untuk bangunan yang mengalami kerusakan.

b. Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk proses pemeliharaan dan perawatan dari suatu bangunan konstruksi agar tetap laik fungsi selama masa umur. Biaya ini juga dapat mencakup biaya pergantian aset bangunan kedepannya hingga redejorasi bangunan.

c. Biaya Demolisi

Life Cycle Cost juga memperhitungkan biaya pembersihan pada saat bangunan tidak digunakan disebut biaya demolisi ataupun pembongkaran. Apa bila tahap ini terjadi maka masa usia bangunan telah berakhir (Buyung dkk., 2019). Biaya yang dikeluarkan untuk pembongkaran komponen bangunan, sebagian maupun keseluruhan bangunan atau prasarana lainnya (UU No 28-2002). Biaya demolisi atau pembongkaran besarnya 10% dari total biaya investasi (Khairani dkk., 2023). Biaya demolisi dihitung pada tahun terakhir umur bangunan.

d. Nilai Sisa

Setelah menentukan usia pemakaian aset, pada akhir masa penggunaannya, jika aset tersebut tidak digunakan lagi dalam usaha, biasanya dijual dengan nilai tertentu disebut nilai sisa. Nilai sisa adalah nilai yang masih dapat diperhitungkan meskipun aset sudah tidak dapat digunakan lagi (Zainuri,

2021). Nilai sisa yang akan diperhitungkan berdasarkan harga jual besi bekas berdasarkan besi dan baja yang ada pada konstruksi. Total biaya nilai sisa diperhitungkan keseluruhan volume besi dan baja yang ada pada konstruksi gudang.

e. Depresiasi

Depresiasi merupakan penurunan kualitas dari suatu aset seiring berjalannya waktu dan pemakaiannya (Jatmiko dkk., 2019). Perhitungan depresiasi berupa nilai penyusutan aset setiap tahunnya dengan metode garis lurus yang biasa digunakan karena lebih praktis (Zainuri, 2021). Metode perhitungan depresiasi pada penelitian ini dengan metode garis lurus atau (*Straight Line Method*) dengan menghitung jumlah penyusutan dalam jumlah yang sama setiap periode saat aset digunakan. Rumus perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Biaya depresiasi} = \frac{(\text{Harga Perolehan} - \text{Nilai Sisa})}{\text{Umur Ekonomis}}$$

3. Umur Bangunan

Umur bangunan atau gudang dapat bervariasi tergantung pada banyak faktor. Berikut perkiraan umur yang dapat digunakan :

a. Umur rencana

Perkiraan umur yang dibuatn oleh para insinyur atau arsitek ketika merancang sebuah bangunan. Umur desain dapat bervariasi, namun dalam banyak kasus, umur desain gudang biasanya berkisar antara 20 hingga 50 tahun, bergantung pada kualitas konstruksi dan persyaratan penggunaan.

b. Umur teknis

Jika bangunan dirawat dengan baik dan dilakukan perbaikan secara berkala, maka umur teknisnya bisa lebih lama dari umur teorinya. Biasanya, umur teknisnya bisa mencapai 50 hingga 75 tahun atau lebih.

c. Umur fungsi

Bangunan masih dapat menjalankan fungsi utamanya tanpa memerlukan perbaikan besar-besaran. Kehidupan fungsional sering kali bergantung pada persyaratan penggunaan dan perkembangan teknologi. Gudang yang digunakan untuk menyimpan barang mungkin memiliki masa pakai lebih lama dibandingkan gudang yang digunakan untuk produksi atau distribusi.

d. Umur berdasarkan perencanaan pergantian dan perbaikan

Komponen utama bangunan (misalnya atap, sistem HVAC, struktur) perlu diperbaiki atau diganti. Informasi ini dapat digunakan dalam analisis LCA untuk menghitung biaya yang terkait dengan perbaikan atau penggantian selama umur bangunan.

e. Umur berdasarkan tujuan analisis

Tujuan analisis LCCA juga akan memengaruhi rentang usia yang Anda pilih. Jika ingin membandingkan beberapa alternatif perbaikan atau pemeliharaan, harus memastikan bahwa masa pakai yang ditentukan mencakup semua alternatif yang dipertimbangkan.

Analisis umur LCCA pada penelitian ini berdasarkan tujuan karena analisis dilakukan untuk membandingkan dua alternatif perbaikan struktur atap baja dengan pertimbangan pemeliharaan.

2.10 *Time Value of Money*

Menurut (Giatman, 2006) *time value of money* merupakan nilai uang yang dapat berubah sesuai dengan waktu yang terus berjalan. *Ekuivalen* diperlukan untuk memperoleh kesamaan nilai uang terhadap waktu yang berbeda. Menurut (Pujawan, 2004) untuk melakukan kesetaraan (*ekuivalen*) nilai uang perlu mempertimbangkan beberapa hal. Yang pertama nominal yang diinvestasikan, waktu peminjaman dan tingkat bunga yang berlaku. Oleh karena itu (Giatman, 2006) mengatakan dalam perhitungan *ekuivalen* memerlukan *rate of interest*.

1. Perhitungan Tingkat Suku Bunga

Perhitungan *Life Cycle Cost* membutuhkan pertimbangan biaya untuk periode yang relatif panjang sehingga dapat membuat uang yang berlaku dapat membuat perbedaan antara nilai uang sekarang dengan nilai uang di masa mendatang yang di pengaruhi oleh inflasi dan ekuivalensi. *Discount rate* merupakan salah satu tingkat suku bunga yang meninjau nilai uang terhadap waktu sehingga dapat membuat keputusan nilai di masa depan (Puhessti, 2021). Suku bunga yang akan digunakan dengan metode *BI-Rate*.

2. Suku Bunga

Menurut (Giatman, 2006) uang yang harus dibayarkan karena menggunakan uang berdasarkan peminjaman yang dilakukan sebelumnya termasuk ke dalam bunga. Setiap yang membungakan uangnya maka tidak dapat memperoleh keuntungan karena adanya *inflasi* tetapi hanya menjamin uang yang bersangkutan tetap dan stabil. Tingkat suku bunga terdiri atas :

a. Bunga Sederhana

Bunga sederhana dihitung hanya pada induk tanpa memperhitungkan bunga yang telah diakumulasikan pada periode sebelumnya. Secara matematis hal ini bisa dilihat sebagai berikut:

$$I = P \times i \times n$$

Dimana:

I = Bunga yang terjadi (rupiah)

P = Induk yang dipinjam atau diinvestasikan

i = Tingkat bunga per periode

n = Jumlah periode yang dilibatkan

b. Bunga Majemuk

Bunga majemuk adalah bunga yang dihitung berdasarkan sisa pinjaman pokok ditambah akumulasi bunga sampai dengan akhir periode pinjaman

3. *Ekivalen*

Nilai uang sekarang tidak akan sama dengan nilai uang dimasa mendatang, itu berarti nilai uang sekarang lebih berharga dibandingkan dengan nilai uang dimasa mendatang. Hubungan antara nilai uang yang akan datang terhadap nilai sekarang berdasarkan annual cost, meliputi:

a. Nilai Sekarang (*Present Value*)

Menurut Waldiyono (1986), nilai sekarang yaitu besarnya uang pada awal periode yang dihitung dengan tingkat bunga tertentu dari suatu jumlah uang yang baru akan di terima atau di bayarkan beberapa periode kemudian. Nilai yang menunjukkan aliran uang saat ini sejumlah uang yang akan diterima pada waktu-waktu yang akan datang.

Rumus yang digunakan:

$$Pv = \frac{1}{(1+i)^n} \times Fv \quad (\text{Persamaan 1})$$

Dimana:

Pv = Nilai sekarang

Fv = Nilai yang akan datang

i = Tingkat suku bunga

n = Jumlah periode

b. Nilai Yang Akan Datang (*Future Value*)

Apabila ingin menghitung nilai Fv jika terdapat nilai Pv, maka:

$$Fv = P (1 + i)^n \quad (\text{Persamaan 2})$$

Faktor $(1 + i)^n$ disebut sebagai faktor pemajemukan pembayaran tunggal (*Single Payment Compound Amount Factor = SPCAF*) dan untuk mendapatkan jumlah F dari nilai awal sebesar P setelahnya dihitung berdasarkan bunga secara majemuk selama n periode dengan tingkat bunga setiap periodenya. Dengan kata lain, SPCAF dapat dilihat sebagai berikut:

$$F/P = (1 + i)^n \quad (\text{Persamaan 3})$$

Persamaan tersebut dapat dinyatakan seperti berikut:

$$F/P = (F/P, i\%, n) \quad (\text{Persamaan 4})$$

Yang mana apabila kita akan menghitung nilai F dengan mengetahui nilai P, i%, dan N. Maka, persamaan tersebut adalah:

$$Fv = P (F/P, i\%, n) \quad (\text{Persamaan 5})$$

Dengan rumus tersebut kita tidak kesulitan untuk mendapatkan nilai-nilai yang akan datang dengan nilai P, i%, dan n yang berbeda karena faktor majemuk $(F/P, i\%, n)$ terdiri berbagai nilai i dan n.

c. Hubungan *Annual Cost* dengan *Present Value*

Menguraikan bentuk tunggal biaya dan selanjutnya diasumsikan secara terpisah kemudian dijumlahkan. Rumus nilai sekarang apabila dipengaruhi biaya tahunan.

$$Pv = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right) Ax \quad (\text{Persamaan 6})$$

d. Hubungan *Annual Cost* dengan *Future Value*

$$Pv = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right) Ax \quad (\text{Persamaan 7})$$

4. Inflasi

Inflasi adalah proses meningkatnya harga secara umum yang berlangsung terus-menerus akibat berbagai faktor, sehingga mengakibatkan penurunan nilai mata uang (Zainuri, 2021). Definisi ini menegaskan bahwa inflasi bukanlah fenomena sesaat, seperti lonjakan harga akibat permintaan mendadak yang disebabkan oleh kegiatan serentak, tetapi lebih merujuk pada serangkaian peristiwa yang terus-menerus, di mana harga barang terus meningkat dari waktu ke waktu.

5. *Discount rate*

Discount rate merupakan tingkat diskonto mencerminkan preferensi investor untuk menerima pendapatan saat ini dibandingkan di masa depan, serta menggambarkan sikap mereka terhadap risiko. Jika tingkat suku bunga 6,5% maka diskonto dapat diasumsikan sebesar 10% karena pengasumsian lebih besar dibandingkan suku bunga pertama (Riyanto, 2018).

2.11 Studi Kelayakan Investasi

Studi kelayakan merupakan kegiatan penilaian yang bersifat komprehensif memperhitungkan segala aspek kelayakan proyek (Jatmiko dkk., 2019). Studi kelayakan suatu investasi proyek biasa melakukan analisis kelayakan investasi yang merupakan salah satu kegiatan investasi. Analisis penilaian investasi digunakan untuk menentukan apakah suatu kegiatan investasi akan menghasilkan keuntungan atau tidak dan evaluasi pilihan yang diambil adalah yang terbaik (Sarimi dkk., 2021). Keputusan investasi yang diambil oleh perusahaan sangat krusial untuk kelangsungan hidupnya karena keputusan tersebut melibatkan alokasi dana, jenis investasi, potensi pengembalian, dan risiko yang mungkin timbul dari investasi tersebut. Berikut aspek-aspek studi kelayakan investasi :

1. Manfaat

Proyek investasi pastinya mengeluarkan sejumlah uang sebagai pembiayaan sebuah proyek yang kemudian akan memperoleh manfaat dari proyek tersebut. Keuntungan yang diperoleh dari pelaksanaan proyek tersebut dapat dianggap sebagai nilai manfaat yang dihasilkan (Zainuri, 2021). Berikut beberapa manfaat dari adanya perbaikan pada bangunan gudang biru :

a. Manfaat Langsung

Adanya perbaikan untuk bangunan gudang, awalnya konstruksi bangunan yang mengalami kerusakan akan diperbaiki dan dapat dimanfaatkan dalam keadaan normal. Gudang dapat berfungsi seperti kondisi awal yaitu sebagai gudang penyimpanan barang. Barang-barang maupun material yang disimpan di dalam gudang akan menjadi lebih aman dan kecil kemungkinan untuk terjadi kerusakan. Gudang dapat beroperasi kembali setelah diperbaiki, maka gudang dapat disewakan kepada pihak penyewa properti.

b. Manfaat tidak langsung dengan adanya proyek ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai aspek dengan adanya proyek ini.

c. Manfaat tidak nyata dengan adanya proyek ini bangunan yang ada disekitar tidak mengalami kerusakan.

d. Manfaat nyata adanya proyek ini yaitu memberikan keuntungan kepada perusahaan dari hasil penyewaan gudang. Keuntungan diperoleh setiap tahun berdasarkan harga sewa yang telah disepakati. Dalam penelitian ini keuntungan bersih dari hasil biaya sewa dilakukan dua asumsi. Asumsi pertama jika keuntungan pertahun sebesar 8% dari harga sewa gudang dan kenaikan dengan adanya inflasi sebesar 6% pertahun selama umur layan. Asumsi kedua keuntungan biaya sewa pertahun sebesar 10% dari harga sewa gudang pertahun. Pengambilan asumsi presentasi dengan pertimbangan adanya biaya yang belum diperhitungkan secara mendetail. Biaya tersebut diantaranya biaya operasional (biaya gaji karyawan, biaya listrik setiap tahunnya, biaya kebersihan, biaya energi, air), biaya pemeliharaan, biaya perbaikan. Selain itu terdapat biaya lainnya berupa biaya lain sebagainya. Karena pembatasan masalah biaya pemeliharaan untuk perbaikan gedung hanya diestimasi untuk rangka atap saja, sedangkan pemeliharaan untuk struktur kolom, tie beam, ME dan pelat tidak diperhitungkan.

2. Asumsi

Berdasarkan biaya *life cycle cost* perbaikan gudang, berikut asumsi-asumsi berikut yang digunakan dalam melakukan analisis kelayakan investasi pada penelitian ini:

a. *Extended life*

Perpanjangan umur layan bangunan (*extended life*) perkuatan struktur atap baja metode penebalan pelat baja dapat mencapai umur 30 tahun, sedangkan perkuatan baja metode *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) secara eksisting dapat mencapai umur 50 tahun.

b. Suku bunga

Penelitian ini menggunakan suku bunga berdasarkan nilai BI-rate dalam 5 tahun terakhir. Tetapi sebagai acuan suku bunga tahun terakhir yaitu tahun 2023

c. Tingkat diskonto

Discount rate merupakan tingkat diskonto mencerminkan preferensi investor untuk menerima pendapatan saat ini dibandingkan di masa depan, serta menggambarkan sikap mereka terhadap risiko. Asumsi discount rate pada penelitian ini sebesar 10%.

d. Nilai Sisa

Nilai sisa adalah nilai yang masih dapat diperhitungkan meskipun aset sudah tidak dapat digunakan lagi. Nilai sisa yang akan diperhitungkan berdasarkan harga jual besi bekas berdasarkan besi dan baja yang ada pada konstruksi.

e. Depresiasi

Depresiasi merupakan penurunan kualitas dari suatu aset seiring berjalannya waktu dan pemakaiannya

$$\text{Biaya depresiasi} = \frac{(\text{Harga Perolehan} - \text{Nilai Sisa})}{\text{Umur Ekonomis}}$$

f. Pajak

Pajak biaya yang dikeluarkan perusahaan atas penghasilan berdasarkan keuntungan perusahaan setiap tahunnya. Dalam Undang-Undang N0 7 Tahun 2021 pasal 17 wajib pajak sebesar 22%.

3. *Cash Flow*

Cash flow aliran kas masuk atau keluar tambahan yang diperoleh dari salah satu alternatif investasi yang dihitung selama proses evaluasi proyek modal. Aliran Kas Keluar (*cash out flow*) adalah total jumlah uang atau aset lain yang bisa dinilai secara moneter yang dikeluarkan hingga proyek tersebut mulai

menghasilkan keuntungan. Aliran Kas Masuk (*cash in flow*), yaitu keuntungan setelah depresiasi atau penyusutan. Perhitungan cash flow mencakup total pemasukan tahunan (*cash in*) yang dikurangi dengan total pengeluaran tahunan (*cash out*) (Lambaihang dkk., 2022).

4. *Net Present Value* (NPV)

Menurut Giatman (2006), metode menghitung nilai bersih (netto) pada waktu sekarang pengertian dari NPV itu sendiri. NPV biasa digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari semua biaya dan manfaat yang terkait dengan suatu proyek atau aset selama periode waktu tertentu, dengan mempertimbangkan tingkat diskonto yang sesuai. Total uang bersih dan kenaikannya dari uang yang masuk yang telah didikonto merupakan NPV atau *present value* (Puhessti, 2021).

Rumus :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+r)^t}$$

Dimana :

- NPV : Nilai bersih saat ini
 n : periode selama umur aset
 Bt : manfaat yang diperoleh pada periode waktu
 Ct : biaya yang terjadi pada periode waktu
 R : tingkat diskonto

Hasil akhir dari NPV dapat bernilai positif dan diartikan proyek mengalami keuntungan atau negatif yang berarti proyek mengalami kerugian (Puhessti, 2021). Dalam penentuan layak maupun tidak layak bisa dilihat berdasarkan nilai NPV. Menurut (Puhessti, 2021) kriteria layak dan tidak layak suatu proyek jika:

- a. Nilai NPV > 0 (bernilai positif) maka proyek layak
- b. Nilai > 0 (bernilai negatif) maka proyek tidak layak

Kelebihan metode NPV dalam melakukan analisis finansial karena dalam perhitungan memperhatikan faktor nilai waktu dari uang, mempertimbangkan aliran *cash flow* dan perhitungannya sudah murni (Puhessti, 2021).

5. *Benefit Cost Ratio (BCR)*

Analisis metode *benefit cost ratio* untuk membuat perbandingan alternative. Pemilihan alternatif terbesar belum tentu yang terbaik (Fanani, 2021). Pemilihan alternatif tidak berarti pilihan tersebut yang terbaik. Proses menganalisis suatu investasi terdiri atas aliran kas keluar (*cash outflow*) dan aliran kas masuk (*cash inflow*) dengan maksud untuk perhitungan BCA dengan melihat nilai sisa dari biaya awal, pemeliharaan dan biaya pendapatan dengan pendekatan NPV (Haq dkk., 2020). Kriteria ini di dasarkan pada perhitungan hasil perbandingan antara jumlah nilai sekarang dari arus *benefit* dikurangi biaya (*cost*) yang bernilai positif, terhadap jumlah nilai sekarang arus *benefit* dikurangi biaya (*cost*) yang bernilai negatif.

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n Bt}{\sum_{t=0}^n Ct}$$

Dimana :

BCR : *Benefit cost rasio*

n : periode selama umur aset

Bt : manfaat yang diperoleh pada periode waktu

Ct : biaya yang terjadi pada periode waktu

Apabila didapat nilai BCR sebagai berikut:

$BCR \geq 1$, proyek layak dilakukan.

$BCR < 1$, proyek tidak layak dilakukan.

$BCR=1$, manfaat dan biaya sama (impas)

6. *Internal Rate of Return (IRR)*

Tingkat diskonto di mana nilai sekarang dari aliran kas masuk sama dengan nilai sekarang dari investasi awal, sehingga *Net Present Value (NPV)* menjadi nol biasa disebut *Internal Rate of Return* (Sujatmiko dkk., 2023). *Internal Rate of Return* ukuran yang menunjukkan seberapa efisien suatu rencana investasi dapat diterima dengan nilai IRR diperoleh melalui metode percobaan untuk mencari *tingkat diskonto* di mana *Net Present Value (NPV)* menjadi nol (Suandi dan Chayati, 2018). Menghitung IRR pertama hitung nilai NPV dengan mencoba berbagai tingkat diskonto (*i*) yang berbeda sehingga diperoleh dua nilai, yaitu

NPV (+) dan NPV (-), yang berada di sekitar nol. Proses ini dilakukan melalui metode coba-coba (trial and error). Setelah memperoleh nilai NPV (+) dan NPV (-), nilai IRR dapat diestimasi dengan interpolasi antara kedua nilai tersebut, mengasumsikan bahwa perubahan NPV terhadap tingkat diskonto dengan rumus berikut (Sujatmiko dkk., 2023).

$$IRR = i_1 + \frac{NPV1}{(NPV1 - NPV2)} \times (i_2 - i_1)$$

Keterangan :

i_1 = tingkat *discount rate* yang menghasilkan NPV1

i_2 = tingkat *discount rate* yang menghasilkan NPV2

NPV1 = nilai NPV positif yang mendekati nol

NPV2 = nilai NPV negatif yang mendekati nol

7. *Payback Period* (PP)

Payback Period adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan lamanya waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal atau investasi awal melalui aliran kas masuk tahunan yang dihasilkan dari proyek tersebut (Ridwan dkk., 2022). Rumus untuk menghitung PP adalah sebagai berikut :

$$PP = N + \frac{k_n - CF_0}{k_{n+1}} \times 1 \text{ Tahun}$$

Keterangan :

N = tahun jumlah arus kas kumulatif masih negatif

k_n = jumlah kumulatif *cashflow* sampai tahun ke n

k_{n+1} = jumlah kumulatif *cashflow* sampai tahun ke n+1

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terdiri atas referensi-referensi yang berkaitan dengan penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Sumber ini diperoleh berdasarkan jurnal dan penelitian sebelumnya.

1. Penelitian Kristowski dkk. (2018) meneliti tentang LCC untuk menilai metode proteksi struktur baja yang ekonomis dengan mengurangi biaya pemeliharaannya. Skenario I dengan pelapisan metalis dengan ketebalan 85 μm dibuat dengan galvanis celup panas. Skenario II dengan cat tiga lapis dibuat

dengan cat air. Skenario III metalisasi ketebalan 85 μm dan lapisan cat dua lapis ketebalan 150 μm . Penggunaan perlindungan anti korosi dalam bentuk lapisan galvanis yang dibuat dengan teknologi *hot dip galvanizing*, solusi optimal dalam hal total biaya siklus hidup, dengan mempertimbangkan pengeluaran awal serta biaya yang dikeluarkan selama pengoperasian konstruksi.

2. Penelitian How dan Rahman (2012) berjudul *Life Cycle Cost Analysis Case Study On Corrosion Remedial Measures For Concrete Structures* menjelaskan analisis biaya siklus hidup (LCCA) dalam pemilihan perbaikan korosi pada jembatan beton dan struktur jembatan dengan bantuan aplikasi *bridge LCC 2.0* dengan metode NPV. LCCA penelitian ini membantu memberikan keputusan evaluasi perawatan yang optimal pada bagian yang mengalami korosi. Hasil dari perhitungan dari tiga kasus sebagai berikut.
 - a. Studi Kasus I teknik pencegahan korosi pada jembatan dengan periode analisis 75 tahun, *discount rate* 3,2% dan inflasi 2,2%.
 - *Painting* (10 tahun sekali)
Initial repair cost \$448.350; *maintenance cost* \$113.462; NPV \$561.812.
 - *Waterproofing membranes* (25 tahun sekali)
Initial repair cost \$444.690; *maintenance cost* \$32.847; NPV \$477.537.
 - *Coating* (25 tahun sekali)
Initial repair cost \$442.860; *maintenance cost* \$31.419; NPV \$474.279.
 - *Silane* (10 tahun sekali)
Initial repair cost \$439.200; *maintenance cost* \$90.770; NPV \$529.970.
 - *Cathodic protection* (8 tahun sekali)
Initial repair cost \$1.024.800; *maintenance cost* \$768.00; NPV \$1.792.800.
 - b. Studi Kasus II perbaikan struktur dermaga dengan periode analisis 20 tahun, *discount rate* 14% dan inflasi 10%.
 - *Patch repair* (5 tahun sekali)
Initial repair cost \$282.000; *maintenance cost* \$432.574; NPV \$714.574.
 - *Cathodic protection* (5 tahun sekali)
Initial repair cost \$474.500; *maintenance cost* \$27.228; NPV \$501.728.
 - *Chloride extraction* (10 tahun sekali)

Initial repair cost \$306.500; *maintenance cost* \$33.494; NPV \$339.994.

- c. Studi Kasus III pemilihan sistem anoda dalam proteksi katodik arus kesan untuk jembatan beton dengan periode analisis 75 tahun, *discount rate* 3,2% dan inflasi 2,2%.

➤ *Catalyzed ti-mesh* (75 tahun sekali)

Initial repair cost \$154.000; *maintenance cost* \$749; NPV \$154.749.

➤ *Conductive paints* (14 tahun sekali)

Initial repair cost \$234.000; *maintenance cost* \$19.384; NPV \$253.384.

➤ *Thermal-sprayed zn-coating* (27 tahun sekali)

Initial repair cost \$210.000; *maintenance cost* \$6.607; NPV \$216.607.

➤ *Thermal-sprayed ti-coating* (30 tahun sekali)

Initial repair cost \$278.000; *maintenance cost* \$7.743; NPV \$285.743.

3. Penelitian yang dilakukan Chaerany dkk. (2016) dengan judul *Structural Condition Assessment of Steel-Framed Maintenance Plant in Muara Badak, Balikpapan, East Kalimantan* menjelaskan tentang penilaian kondisi struktural bangunan pabrik dengan rangka baja. Penilaian material di lapangan dilakukan dengan metode NDT berupa *steel hardness tester*, *coating thickness gauge*, *laser distance meter*, dan *ultrasonic thickness gauge*. Selain itu dilakukan pengamatan secara visual dan pengujian beban di lapangan. Sehingga tindakan perbaikan yang di ambil dalam penelitian ini untuk mengatasi permasalahan utama dengan melakukan pemeliharaan dan perkuatan karena struktur dianggap aman. Tindakan perbaikan yang dilakaukan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi pada struktur serta untuk memastikan integritas struktural bangunan yang ada selama 36 tahun sisa masa pakainya. Tindakan perbaikan yang diperlukan antara lain dengan segera melakukan pelapisan permukaan pada tepi kasau dengan persyaratan minimal pelapisan permukaan 25,4 μm menggunakan pelapisan galvanis dan pemasangan pengaku badan pada bagian ramping. Pengaku web dipasang pada bagian kasau utama secara berurutan untuk mengurangi kelangsingan bagian yang akan menurunkan rasio defleksi dan tegangan anggota.
4. Penelitian yang telah dilakukan Darmawan dkk. (2019) membahas tentang analisis perkuatan struktur *truss* penopang suatu *ballroom* bentang panjang

dengan metode *external post tensioning* secara linier. Analisis dilakukan secara numerik dan dengan program SAP2000. Hasil analisis struktur truss eksisting menunjukkan lendutan tengah bentang maksimum yang terjadi akibat kombinasi beban layan sebesar 54,03 mm dan rasio kapasitas maksimum elemen struktureksisting terhadap gaya yang terjadi akibat kombinasi beban rencana sebesar 2,75. Sedangkan, struktur truss yang diperkuat mengalami lendutan maksimum akibat kombinasi beban layan sebesar 16,27 mm, berkurang 70% dibandingkan kondisi eksisting dan rasio kapasitas maksimum elemen struktur terhadap gaya yang terjadi akibat kombinasi beban rencana sebesar 0,89.

5. Penelitian Yoresta (2023) melakukan percobaan untuk perkuatan kolom baja pendek dan kolom baja panjang dengan bahan CFRP. Material CFRP bisa meningkatkan kapasitas beban, kekakuan, kekuatan, serta daktilitas kolom baja. Bahan CFRP dapat berfungsi bergantung pada parameter-parameter penelitian yang digunakan, seperti kelangsingan kolom, jumlah lapisan, panjang, penampatan, eksentrisitas pembebanan, jenis pembebanan dan sebagainya. Selain itu, model kegagalan kolom dapat berupa misalnya tekuk global ataupun debonding rekatan antara CFRP dan permukaan baja.

Berikut merupakan 10 penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini. Penelitian terdahulu diringkas inti dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian terdahulu disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Pengumpulan Data	Hasil Penelitian
1.	Adam Kristowskia, Beata Grzyła, dan Dariusz Kowalskia	<i>The Analysis of the Influence of the Corrosion Protection Method of Selected Steel Elements on the Steel Structure Life Cycle Cost</i>	Data LCC biaya pemeliharaan struktur baja dengan tiga skenario. Skenario 1 metalis 85 µm galvanis celup panas. Skenario 2 cat tiga lapis dasar cat cair. Skenario 3 metalis 85 µm dan dua lapis cat ketebalan 150 µm	Analisis LCC yang pertimbangan yang disajikan keuntungan finansial jangka panjang bagi pengguna, yang dihasilkan dari penggunaan perlindungan anti korosi dalam bentuk lapisan galvanis yang dibuat dengan teknologi hot dip galvanizing, juga membenarkan penggunaan dalam praktik termasuk dalam proses desain struktur baja, analisis LCC.
2.	Ho Jin How dan Azlan	<i>Life Cycle Cost Analysis Case Study On Corrosion Remedial Measures For Concrete</i>	Data analisis LCCA pencegahan dan perbaikan korosi dengan aplikasi bridge LCC2.0	LCCA sebagai alat keputusan menganalisis pengambilan keputusan investasi perbaikan kerusakan akibat korosi Studi Kasus I, Studi Kasus II dan Studi Kasus III.
3.	Adinda Chaerany, Ali Awaludin, Henricus Priyosulistyo, dan Andreas Triwiyono	<i>Structural Condition Assessment of Steel-Framed Maintenance Plant in Muara Badak, Balikpapan, East Kalimantan</i>	Penilaian visual, pengujian beban, dan material di lapangan dilakukan dengan metode NDT berupa <i>steel hardness tester, coating thickness gauge, laser distance meter, dan ultrasonic thickness gauge</i> .	Tindakan perbaikan yang diperlukan antara lain melakukan pelapisan permukaan pada tepi kasau dengan persyaratan minimal pelapisan permukaan 25,4 µm menggunakan pelapisan galvanis dan pemasangan pengaku badan pada bagian ramping.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Penulis	Judul Penelitian	Pengumpulan Data	Hasil Penelitian
4.	M Fauzi Darmawan, Angga Fajar, Ashar Saputra, Andreas Triwiyono, dan Ali Awaluddin	Analisis Perkuatan Struktur Truss Baja Penopang Suatu Ballroom Bentang Analisis Perkuatan Struktur <i>Truss</i> Baja Penopang Suatu Ballroom Bentang Panjang dengan <i>Metode External-Post Tensioning</i>	Data analisis struktur truss eksisting secara numerik dengan aplikasi SAP200	Hasil analisis struktur truss eksisting menunjukkan lendutan tengah bentang maksimum yang terjadi akibat kombinasi beban layan sebesar 54,03 mm dan rasio kapasitas maksimum elemen struktur eksisting sebesar 2,75. Sedangkan, struktur truss yang diperkuat mengalami lendutan maksimum akibat kombinasi beban layan sebesar 16,27 mm, berkurang 70% dibandingkan kondisi eksisting dan rasio kapasitas maksimum elemen struktur terhadap gaya yang terjadi akibat kombinasi beban rencana sebesar 0,89.
5.	Frengky Satria Yoresta	Penggunaan Laminasi CFRP Sebagai Material Perkuatan Pada Struktur Baja: Tinjauan Literatur	Data eksperimen perkuatan kolom baja pendek dan kolom baja panjang dengan CFRP	Materila CFRP bisa meningkatkan kapasitas beban, kekakuan, kekuatan, serta daktilitas kolom baja.

Penjelasan perbedaan dan kesamaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang sebagai berikut.

1. Penelitian Kristowski dkk. (2018), memiliki kesamaan dalam penelitian ini yaitu dalam melakukan upaya untuk melakukan proteksi pada struktur baja dari korosi. Perbedaan pada penelitian saat ini membahas perbaikan dari struktur baja yang telah terkorosi kemudian dilakukan pemeliharaan secara menyeluruh agar mencapai umur bangunan. Sedangkan pada penelitian sebelumnya membahas penghematan pemeliharaan berdasarkan tiga skenario proteksi baja sehingga diperoleh pilihan proteksi tepat dan hemat. Analisis LCC pada penelitian sebelumnya dengan menilai total biaya awal dan biaya pemeliharaan saja. Tetapi untuk penelitian saat ini disertai dengan pendekatan NPV hingga BCR.
2. Berdasarkan penelitian Ho dan Rahman (2012), kesamaan terletak pada analisis ekonomi dengan LCCA dengan pendekatan NPV dalam menentukan perbaikan yang paling hemat. Tetapi perbedaan dalam perhitungan LCC pada penelitian tersebut dengan aplikasi *Bridge LCC 2.0*. dan saat ini dengan perhitungan biasa. Penelitian tersebut memiliki persamaan dalam menentukan metode perbaikan akibat terjadinya korosi. Perbedaannya penelitian saat ini korosi pada rangka atap baja.
3. Penelitian Chaerany dkk. (2016) memiliki persamaan dengan penelitian sekarang yaitu untuk penilaian kondisi struktur eksisting bangunan dengan observasi visual dan metode NDT. Beberapa pengujian material yang digunakan sama yaitu dengan *steel hardness tester* dan *ultrasonic thickness gauge*. Perbedaan terletak pada beberapa pengujian material yang tidak sama dalam penelitian saat ini dan pada penelitian sebelumnya dilakukan pengujian beban di lapangan secara statis dan dinamis. Metode perbaikan yang diberikan pun sedikit berbeda yaitu jika penelitian saat ini dengan perontokan korosi kemudian dicat ulang dan penguatan penebalan pelat ataupun FRP, penelitian sebelumnya dengan memberikan pelapisan galvanis dan pengaku badan.
4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Darmawan dkk. (2019) dengan melakukan analisis kekuatan pada *truss* penopang *ballroom* bentang panjang memiliki kesamaan yaitu dengan melakukan analisis kekuatan baja dengan bantuan aplikasi SAP2000. Perbedaan terletak pada metode analisis yang

dilakukan. Pada penelitian sebelumnya dilakukan metode numerik, sedangkan penelitian saat ini dengan metode NDT. Rekomendasi perkuatan yang diberikan menunjukkan hasil yang sama yaitu dengan *external post tensioning*. Tetapi untuk penelitian saat ini juga diberikan pilihan rekomendasi perkuatan lainnya yaitu dengan metode FRP.

5. Penelitian Yoresta (2023) meneliti tentang perkuatan CFRP untuk perkuatan baja. Persamaan dengan penelitian saat ini yaitu melakukan perkuatan dengan material CFRP untuk struktur baja. Perbedaan dapat dilihat berdasarkan objek yang diteliti pada penelitian Yoresta (2023) meneliti kolom baja yang diperkuat dengan CFRP sedangkan penelitian saat ini perkuatan pada profil rangka atap baja. Penelitian sebelumnya berupa kajian eksperiment sedangkan saat ini pengaplikasian perkuatan pada struktur baja.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pendekatan kualitatif dengan studi kasus dan bersifat deskriptif. Bagian BAB ini menjelaskan rangkaian-rangkaian kegiatan yang akan dilakukan dalam pengumpulan informasi maupun pengambilan data serta melakukan pengolahan data yang telah didapat pada penelitian ini. Pengumpulan informasi dengan melakukan pengamatan secara visual di lapangan, melakukan evaluasi bangunan dengan metode *Non-Destructive Test* (NDT) hingga diperoleh metode perbaikan dengan atap baja yang telah rusak. Selanjutnya dilakukan analisis dari segi ekonomi dengan memulai melakukan estimasi biaya perbaikan, kemudian dilakukan analisis ekonomi dengan metode *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) serta analisis dengan *Net-Present Value* (NPV) dan *Benefit Cost Ratio* (BCR). Pembahasan yang dilakukan yaitu mengenai lokasi dilakukannya penelitian, metode yang akan digunakan, peralatan, dan prosedur penelitian.

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk menjadi bahan kajian ini dilaksanakan pada Bangunan Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Regional 2 yang berlokasi di Jalan Yos Sudarso, Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.



Gambar 14. Lokasi Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).
(Sumber: *Google Earth*, 2023)

Berikut gambar tampak atas Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).

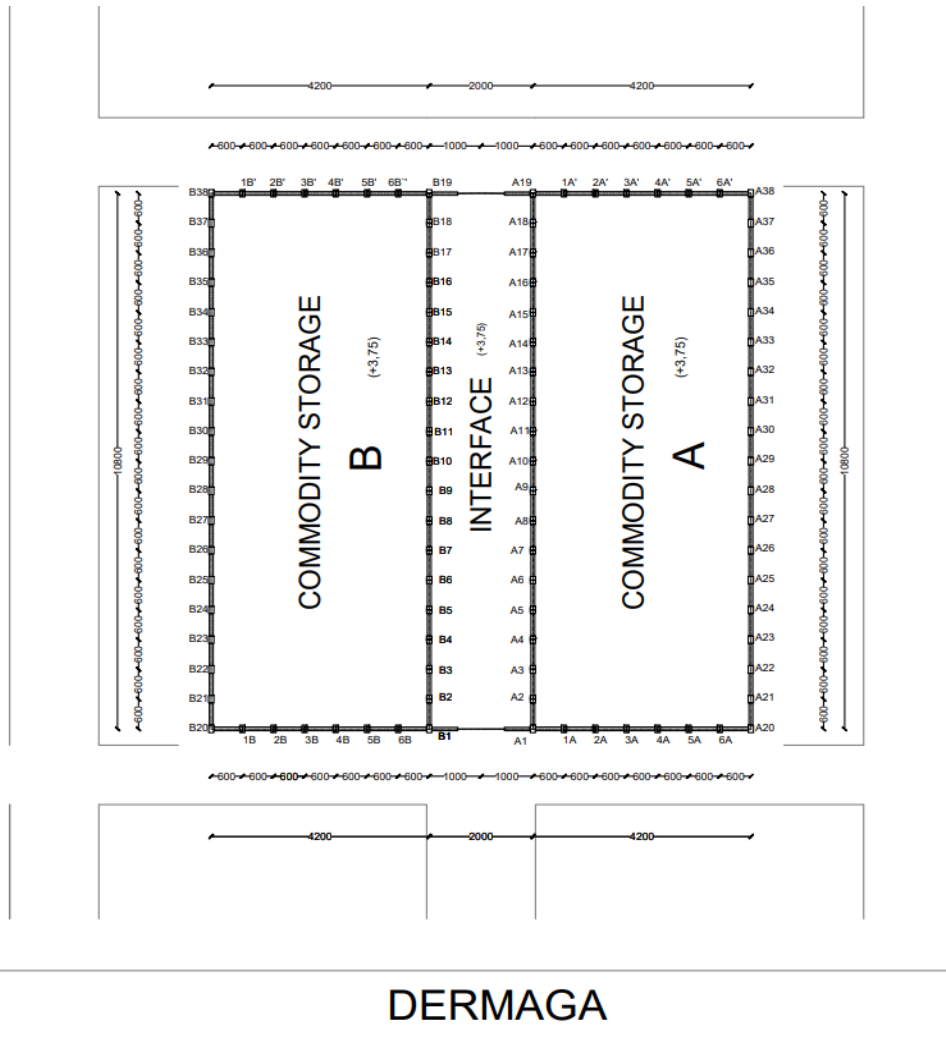


Gambar 15. Tampak Atas Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

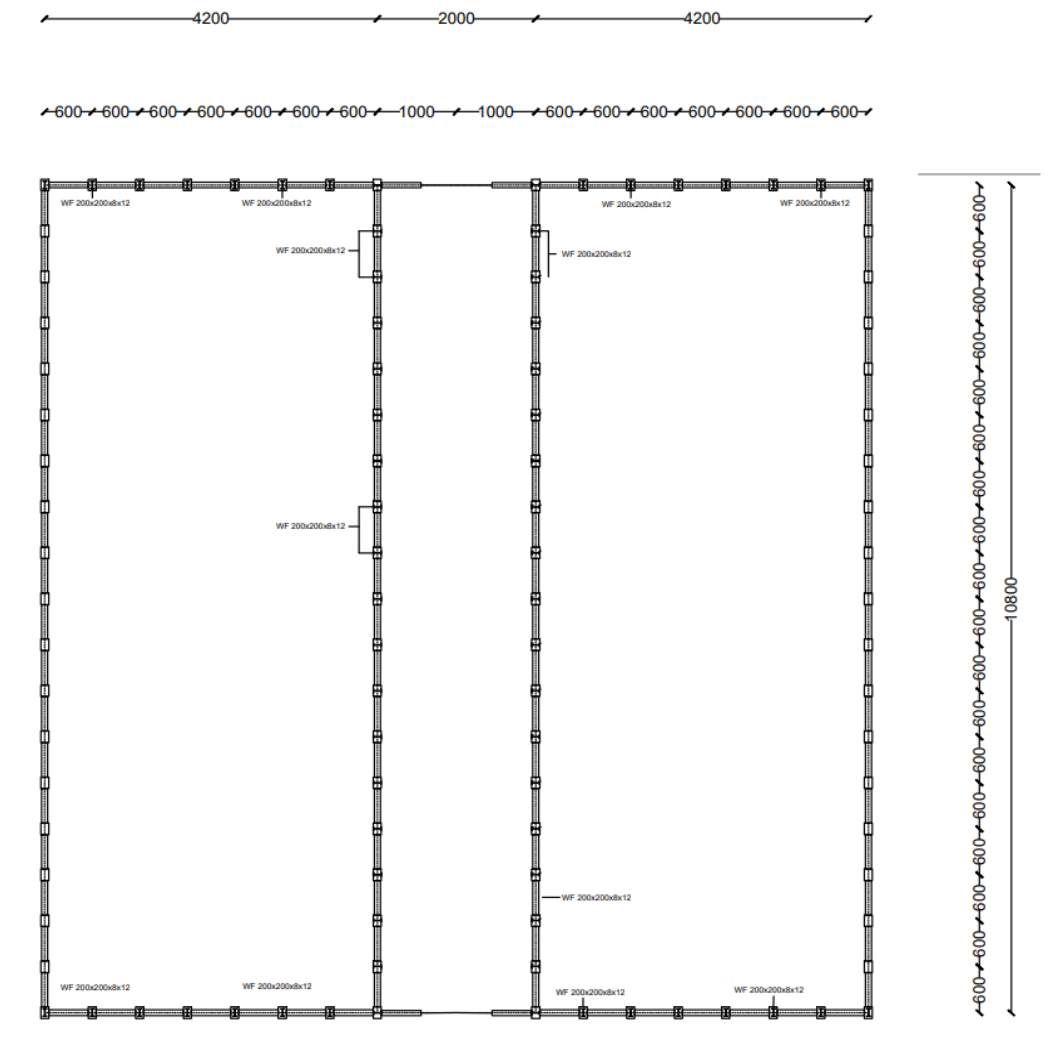
Berikut gambar bentuk Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).



Gambar 16. Tampak Depan Gudang Biru PT Pelabuhan Indonesia (Persero).
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 17. Denah Gudang Biru.



Gambar 18. Denah WF 200x200x8x12.

3.2 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian dibedakan menjadi dua jenis, yaitu primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang dikumpulkan langsung pada saat penelitian di lapangan. Sedangkan data sekunder yaitu data yang telah ada biasanya diperoleh berdasarkan kajian Pustaka maupun sumber yang lainnya.

1. Data Primer

Hasil survei dan pengamatan secara langsung di lapangan merupakan bagian dari data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Hasil pengamatan secara langsung mengenai kondisi secara langsung di lapangan mengenai kondisi struktur bangunan dan kemudian dilakukan pendataan kerusakan-kerusakan

yang terjadi di lapangan. Investigasi melihat kualitas material di lapangan dilakukan dengan pengujian *hardenes test* dan *ultrasonic thickness gauge test*. Berikut data-data primer yang digunakan untuk pengolahan data dalam tugas akhir ini yang diperoleh di lapangan.

a. Pengamatan secara *visual* pada objek penelitian di lapangan.

Pengamatan visual di lapangan dengan melihat kerusakan-kerusakan yang terjadi di lapangan. Data diambil dalam bentuk foto kerusakan-kerusakan yang terjadi pada rangka atap baja.

b. Melakukan pengukuran geometri bangunan.

Pengukuran elevasi bangunan di lapangan dengan menggunakan alat berupa *theodolite*. Alat tersebut biasa di fungsikan untuk mengukur sudut vertikal dan sudut horizontal suatu bangunan (Akrim dkk., 2021). Alat ini biasa dipakai untuk mengukur jarak, menentukan garis lurus dan bidang datar diatas permukaan tanah. Dunia konstruksi theodolite berfungsi untuk menetapkan sudut siku-siku pada struktur bawah ataupun melakukan pengukuran tinggi pada bangunan (Winanti dkk., 2022). Alat ini dibuat untuk mengukur ketinggian tanah pengukuran sudut mendatar dan sudut tegak dan pembacaan hasil bisa sampai satuan detik Teropong yang ada pada alat theodolit dapat digunakan untuk membidik titik ke segala arah (Fahik, 2022). Teropong yang ada pada alat theodolit dapat digunakan untuk membidik titik ke segala arah. Alat ini banyak digunakan pada dunia kerja untuk survei tanah, penyelidikan lapangan, survei hutan, lokasi meteorologi bahkan di bidang teknologi peluncuran roket.

c. Data Hasil Investigasi Lapangan

Investigasi di lapangan dengan melakukan pengujian terhadap material baja di lapangan. Berikut data hasil investigasi :

1) *Hardenes Test*

Alat *Hardenes test* ini digunakan untuk pengujian kekerasan suatu material logam dengan metode *non-destructive test*. Alat ukur ini berfungsi untuk mengukur bagian yang kecil dan tipis dalam suatu bagian besar. Alat ini sudah sesuai dengan standar ASTM dengan tipe landtek HM-6580. Dengan alat ini dapat mengukur kekerasan rangka baja di lapangan.



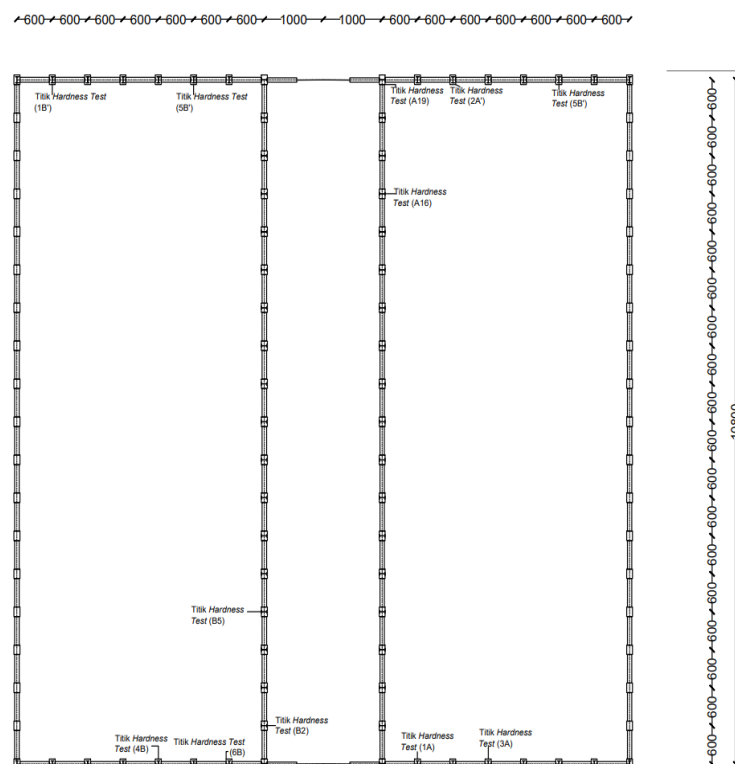
Gambar 19. Alat *Hardness Test* HM-6580.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

Berikut tahapan-tahapan dalam pengambilan data *hardenes test* di lapangan dalam penelitian ini :

- Sebelum melakukan pengujian, pastikan alat *hardenes test* sudah terkalibrasi agar data yang diperoleh akurat.
- Atur alat agar dapat menguji baja ringan lalu atur arah pada monitor alat agar tegak lurus dengan benda uji yang akan diuji. Pastikan angka dalam monitor menunjukkan angka 0.
- Pilih permukaan material yang rata dan cukup jauh dari tepi. Bersihkan permukaan yang akan diuji dari kotoran.
- Tempatkan alat dengan posisi tegak lurus pada permukaan material, lalu tekan perlahan hingga terdengar bunyi “klik”. Lalu lepas dengan perlahan.
- Lihat monitor tegangan yang dihasilkan dan catat sebagai tegangan pertama untuk titik 1. Buat angka dimonitor menunjukkan angka 0 kembali untuk melakukan pengujian kedua pada titik 1.
- Geser sedikit alat dari titik pertama benda uji pastikan posisi alat tegak lurus pada permukaan material. Tekan perlahan hingga terdengar bunyi “klik”. Lalu lepas dengan perlahan.
- Lihat monitor tegangan yang dihasilkan dan catat sebagai tegangan kedua untuk titik 1. Lalu hitung rata-rata dari tegangan pertama dan kedua yang didapat untuk mendapat tegangan akhir pada titik 1.
- Lakukan Langkah-langkah diatas untuk mendapatkan sampel pada permukaan material baja yang lain.



Gambar 20. Pengujian *Hardenes Test*.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 21. Denah Titik Pengujian *Hardenes Test*.

2) *Ultrasonic Thickness Gauge*

Ultrasonic thickness gauge test tipe WT100A alat yang digunakan untuk mengukur ketebalan suatu material yang besar maupun kecil. Alat ini sangat efektif karena memiliki *ultrasonic* pengukuran ketebalan yang cukup baik. Material yang diuji biasanya berupa benda padat, khususnya benda yang memiliki daya hantar yang baik. *Ultrasonic thickness gauge* merupakan sebuah alat yang sudah di desain dengan bentuk yang praktis, serta alat ini juga digunakan untuk pengujian baja pada struktur atap baja.



Gambar 22. Alat *Ultrasonic Thickness Gauge* WT100A
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)

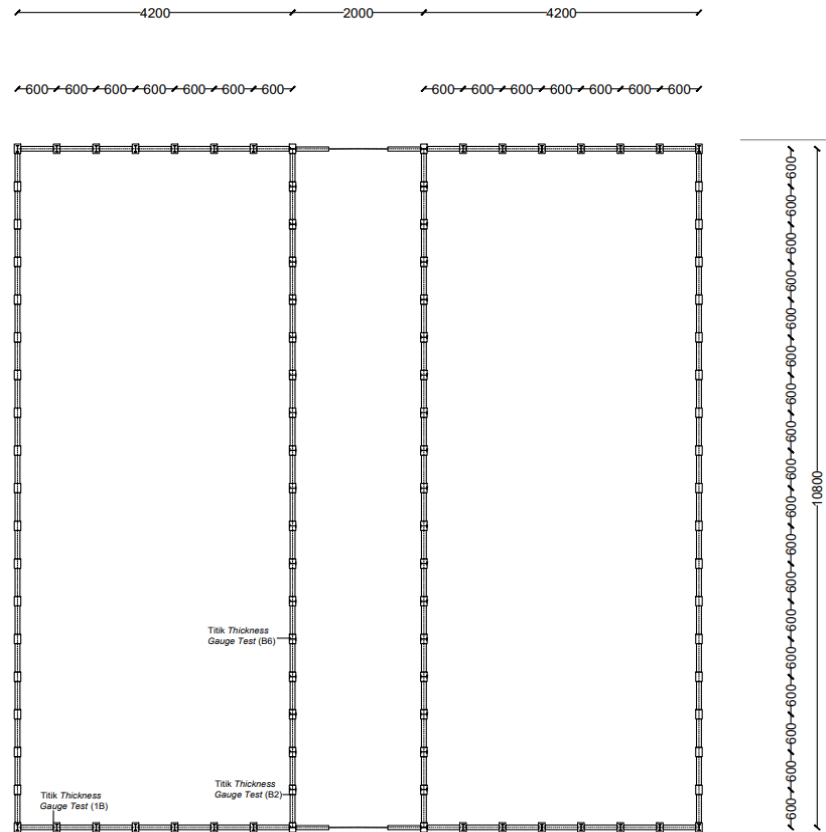
Alat ini mampu melakukan pengukuran dengan sangat cepat dan juga tepat, dengan hasil pengukuran yang presisi. Berikut tahapan-tahapan pengujian *ultrasonic thickness gauge* yang dilakukan di lapangan sebagai berikut :

- Lakukan persiapan alat dengan membersihkan permukaan benda yang akan diukur dan pastikan permukaan benda tersebut terbebas dari kotoran dan apapun itu yang dapat mengurangi tingkat akurasi dari alat.
- Pasang kabel-kabel pada alat dan nyalakan alat dengan menekan tombol ON
- Sebelum melakukan pengukuran lakukan kalibrasi pada alat, dengan cara mengoleskan cairan pada permukaan test probe setelah itu tempelkan test probe pada permukaan logam bulat yang ada pada alat tersebut.
- Setelah test probe ditempelkan pada permukaan logam tersebut, tekan lalu tahan tombol zero selama beberapa saat, hingga terlihat hasil pengukuran sebesar 4,0 mm pada layar pada alat ukur.
- Tempelkan test probe pada permukaan benda yang akan diukur yang sudah dibersihkan dan diolesi dengan cairan. Untuk melihat hasil dari pengukuran dapat dilihat pada monitor yang sudah disediakan pada alat, hasil dari pengukuran akan ditampilkan dalam bentuk simbol. Pada saat dilakukannya pengukuran pastikan simbol tersebut muncul pada alat, hal ini bertujuan untuk menandakan bahwa pengukuran sudah pasti berhasil dilakukan.

- Catat hasil ketebalan sebagai hasil ketebalan pertama pada titik pertama.
- Geser sedikit test probe untuk mengukur ketebalan diarea lain sebagai ketebalan kedua titik pertama.
- Oleskan test probe dengan cairan lalu tempelkan pada pada permukaan yang akan di test.
- Catat hasil ketebalan yang keluar sebagai hasil ketebalan kedua pada titik pertama.
- Lakukan Langkah-langkah diatas untuk mengukur permukaan baja yang lain.



Gambar 23. Pengujian *Ultrasonic Thickness Gauge*.
(Sumber: *Survey Penelitian*, 2023)



Gambar 24. Denah Titik Pengujian *Thickness Gauge Test*.

2. Data Sekunder

Data ini diperoleh dari berbagai sumber atau instansi terkait. Berikut data-data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini.

- a. Gambar Bangunan Gudang Biru.
- b. Analisis Harga Satuan Pekerjaan 2022.
- c. Data harga satuan upah pekerja dan bahan untuk di Kota Bandar Lampung 2022.
- d. Data Inflasi dan *BI-Rate*.

3.3 Tahapan Penelitian

1. Analisis Kondisi Eksisting dan Kerusakan Visual Bangunan Gedung

Melakukan peninjauan di lapangan dengan melakukan survei sehingga diperoleh data-data bangunan eksisting. Data yang diperoleh berupa :

- a) Hasil pengamatan secara langsung kondisi bangunan secara keseluruhan.
- b) Pengukuran geometri bangunan.

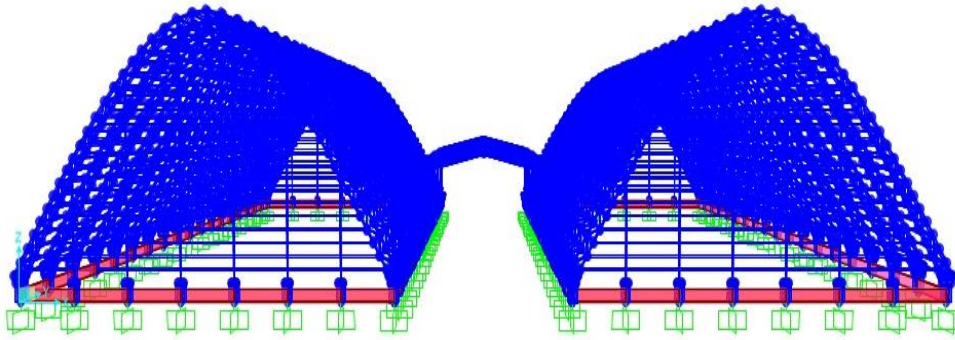
c) Melakukan pendataan kondisi rangka atap baja bangunan.

Menurut hasil pengamatan yang dilakukan dan pengukuran geometri dapat diperoleh penggambaran seluruh bangunan gedung berupa denah bangunan, denah struktur, rangka atap, dan kondisi elevasi tanah.

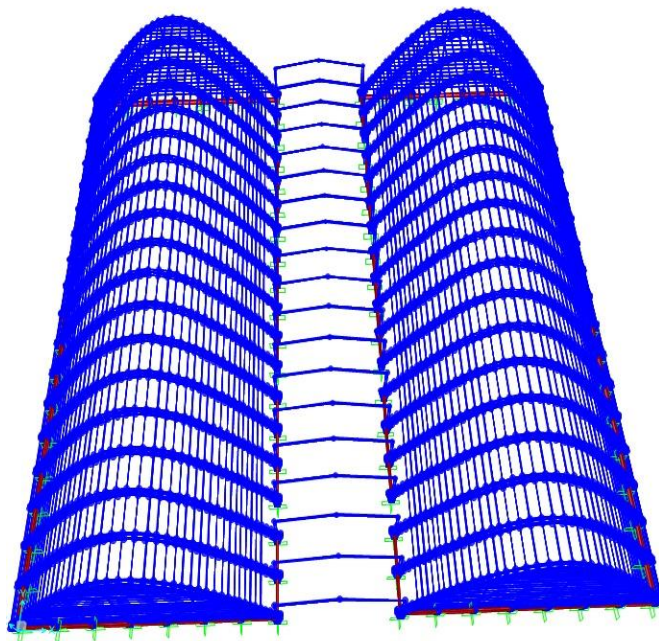
Assesment bangunan dilakukan untuk melihat kerusakan-kerusakan yang dialami oleh struktur bangunan. Kegiatan *assessment* dimulai dengan melakukan survei di lapangan sehingga diperoleh keadaan bangunan secara visual. Survei secara visual ini dilakukan sehingga dilihat secara langsung kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur atap baja di lapangan. Diperoleh pendataan komponen-komponen baja yang mengalami rusak sehingga dapat dilakukan perbaikan yang tepat. Kegiatan pengujian mutu baja dalam penelitian ini, dilakukan agar dapat mengetahui kondisi sesungguhnya baja pada rangka atap baja. Metode yang dipakai dalam pengujian mutu dengan cara tidak merusak atau biasa disebut *Non-Destructive Test* (NDT). Pengujian mutu NDT dilakukan dengan menggunakan alat *hardenes test* untuk menguji kekerasan baja di lapangan serta dengan alat *ultrasonic thickness gauge* untuk melihat ketebalan baja di lapangan. Pengujian dilakukan pada rangka atap baja komponen struktur bagian pedestal dan bagian portal bagian bawah. Area tersebut dipilih karena mudah dijangkau sebagai titik pengujian.

2. Melakukan Analisis Struktur Rangka Atap Baja

Kegiatan *assessment* selanjutnya dengan cara melakukan perhitungan analitis. Analisis dilakukan dengan *Software SAP2000* untuk pemodelan struktur dalam bentuk 3D. Pemodelan dilakukan dengan menginput kolom, *pilecap*, *tie beam* dan rangka atap baja sesuai dengan gambar kerja. Selanjutnya *input* pembebanan yang ada pada bangunan mulai dari beban hidup, beban mati, beban gempa, beban angin serta beban tambahan lainnya yang akan bekerja pada bangunan tersebut. Hasil akan didapatkan apakah bangunan mampu menahan beban yang bekerja atau perlu dilakukan perubahan pada struktur rangka atap baja.



Gambar 25. Tampak Depan 3D Gudang Biru.



Gambar 26. Tampak Atas 3D Gudang Biru.

3. Analisis Perbaikan Rangka Atap

Setelah melakukan analisis menggunakan *software SAP2000* maka didapat hasil analisa struktur sehingga dapat diberikan rekomendasi untuk gedung tersebut. Rekomendasi diberikan sesuai dengan hasil analisa, jika struktur dapat menahan beban maka perbaikan hanya dilakukan pengecatan ulang pada rangkaian atap baja. Selain itu, dapat dilakukan perbaikan pada komponen spandek pada rangka atap baja.

4. Analisis Biaya dengan Metode *Life Cycle Cost Analysis*

Berdasarkan rekomendasi perbaikan yang disarankan dilakukan estimasi biaya-biaya yang perlu dikeluarkan. Setelah itu perlu dilakukan *life cycle cost analysis* agar dapat dievaluasi dari segi ekonomi biaya yang dikeluarkan suatu proyek selama siklus hidup, ketika biaya awal diperhitungkan, bersama dengan arus kas masa depan yang terjadi sepanjang umur selama periode analisis yang telah ditentukan. Setelah itu dianalisis juga dari segi manfaat dengan *benefit cost analysis*. Manfaat kedepannya dengan dilakukan penyewaan gedung oleh pemilik gedung.

5. Penentuan Skenario Perbaikan

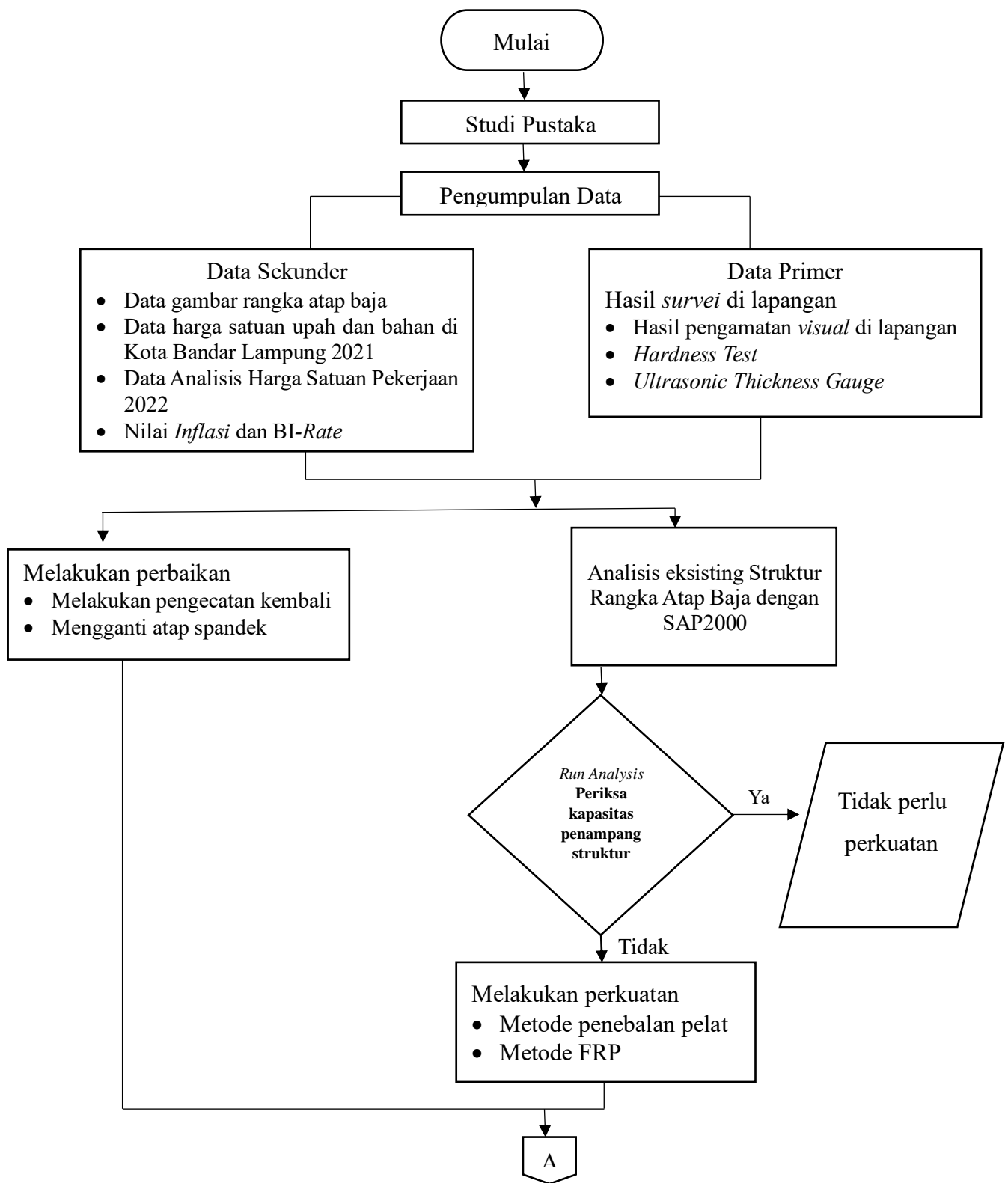
Analisis perbaikan yang akan dilakukan dengan 2 metode perkuatan untuk profil baja yang mengalami kegagalan

- a) Metode 1 dilakukan perkuatan dengan penebalan pelat baja.
- b) Metode 2 dengan perkuatan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

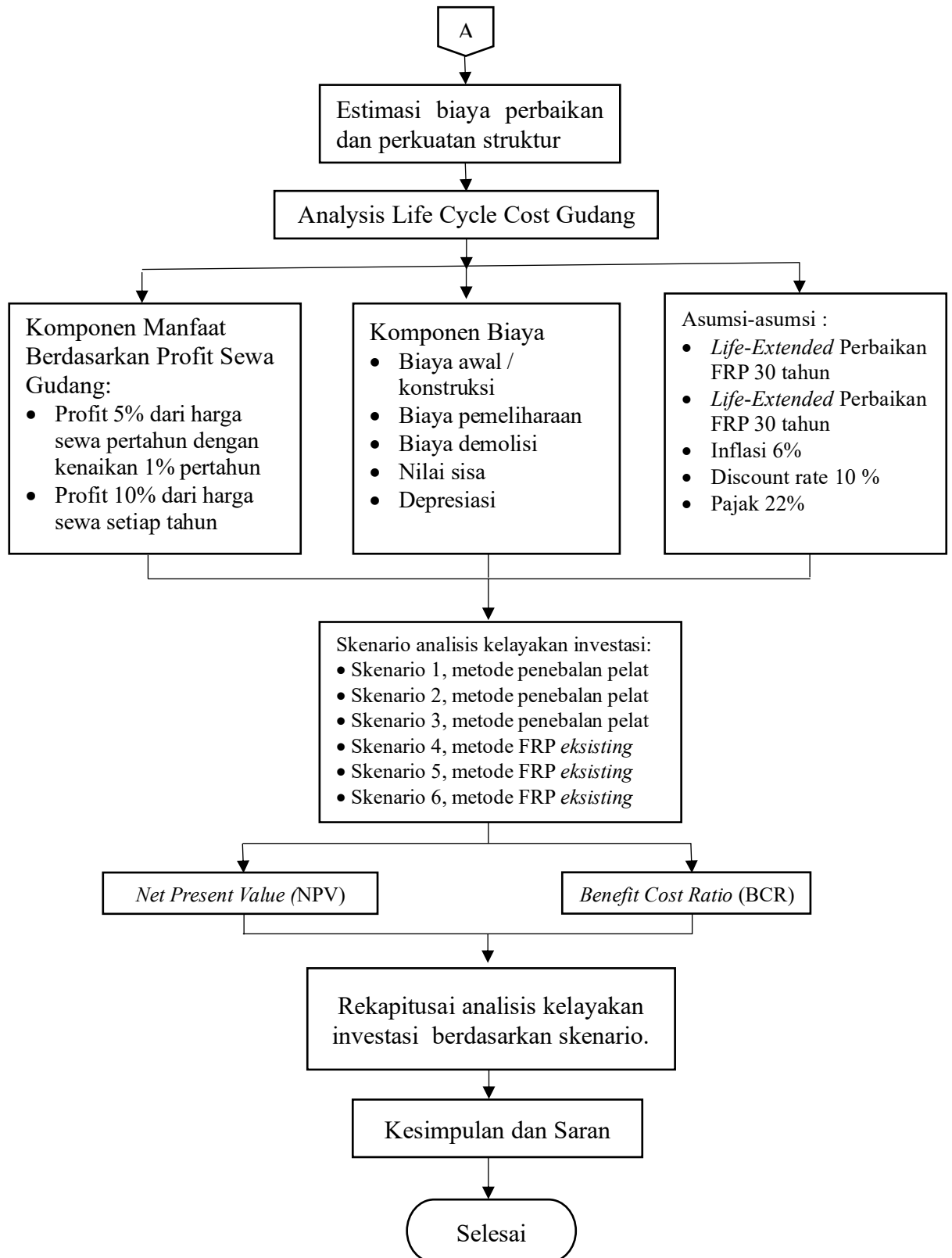
6. Kesimpulan dan Saran

Membuat kesimpulan yang didapatkan dari analisis tugas akhir ini. Kemudian diberikan saran yang berguna sebagai referensi untuk pembahasan yang akan dilakukan selanjutnya.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 27. Diagram Alir Penelitian Bagian A.



Gambar 28. Diagram Alir Penelitian Bagian B.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan di lapangan berdasarkan pengamatan langsung dan hasil penyelidikan di lapangan dapat disimpulkan :
 - a. Struktur rangka-rangka atap baja mengalami kerusakan berupa pengelupasan cat sampai terjadi korosi dan pengeroposan. Penanganan untuk kasus ini melakukan pengecatan ulang seluruh profil yang mengalami korosi.
 - b. Kerusakan pada penutup atap terdapat beberapa titik yang sudah koyak dan berlubang. Penutup atap diganti secara menyeluruh untuk menangani kerusakan yang terjadi.
 - c. Bagian kolom pedestal terjadi keretakan yang parah. Solusi untuk kerusakan ini dilakukan grouting atau pelapisan dengan bahan FRP.
 - d. Pelat mengalami penurunan ke sisi tengah sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan penambahan ground beam.
2. Hasil investigasi di lapangan dengan pengujian tidak merusak atau metode *Non-Destructive Test* (NDT) dengan alat *Hardenes* dan *Ultrasonic Thickness Gauge Test* untuk menguji kekerasan dan ketebalan profil baja di lapangan. Kesimpulan dari hasil pengujian kekerasan (*hardenes test*) bahwa profil di lapangan sudah tidak sesuai dengan profil desain gudang. Hasil menunjukkan bahwa profil di lapangan bukan baja mutu BJ 37. Sedangkan untuk pengujian ketebalan baja (*Ultrasonic Thickness Gauge Test*) menghasilkan ketebalan.

yang tidak sesuai dengan profil-profil desain. Tetapi perbedaan ketebalan di lapangan dan sebenarnya memiliki selisih yang tidak besar. Peredaan karena baja memiliki lapisan cat sehingga ketebalan berubah

3. Analisis perkuatan struktur baja pada profil yang mengalami *overstress* dilakukan perkuatan dengan dua metode. Perkuatan pertama dengan metode penebalan pelat baja dengan ketebalan 2 mm. Hasil analisis SAP2000 dengan menambah pelat ketebalan 2 mm menunjukkan warna hijau. Perkuatan metode penebalan pelat baja dapat meningkatkan gaya aksial 591,61 % untuk profil L50.50.5 dan 141,25 % untuk profil L100.100.10. Perkuatan metode kedua perkuatan dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Hasil perhitungan untuk profil L50.50.5 membutuhkan 1 lapisan CFRP dalam pelaksanaan perkuatan. Sedangkan untuk profil L100.100.10 membutuhkan 2 lapis perkuatan dalam pelaksanaan perkuatan. Penambahan CFRP pada profil dapat meningkatkan gaya aksial sebesar 68,4% untuk profil L50.50.5 dan 81,4% untuk profil L100.100.10.
4. Hasil analisis ekonomi pada penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut:
 - a. Nilai NPV untuk 6 skenario investasi yang rencanakan dapat disimpulkan keseluruhan skenario memenuhi persyaratan investasi yaitu hasil akhir nilai $NPV > 0$ dari masing-masing skenario atau bernilai positif dan menguntungkan.
 - b. Hasil akhir nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) > 0 untuk 6 skenario investasi menghasilkan nilai positif sehingga semua layak untuk dilakukan.
 - c. Kondisi terbaik terjadi pada skenario 5 yaitu dengan perkuatan FRP dan nilai BCR 1,41; NPV Rp13.394.820.285,38; IRR 14,24%; dan periode pengembalian 12 tahun 7 bulan dengan asumsi sebagai berikut:
 - Perbaikan rangka atap dan perkuatan metode FRP .
 - Keuntungan 10% dari harga sewa.
 - *Discount rate* 10%
 - *Extended life* mencapai usia 50 tahun
 - Nilai sisa

- d. Kondisi terburuk terjadi pada skenario 3 yaitu dengan perkuatan penebalan pelat baja dan nilai BCR 1,02; NPV Rp653.064.927,37; IRR 10,26%; dan periode pengembalian 27 tahun 3 bulan dengan asumsi sebagai berikut:
- Perbaiki rangka atap dan perkuatan metode penebalan pelat baja.
 - Pemeliharaan perbaikan rangka atap baja
 - Keuntungan 5% dari harga sewa.
 - Inflasi 6%
 - *Discount rate* 10%
 - *Extended life* mencapai usia 30 tahun
 - Nilai sisa
- e. Berdasarkan analisis ekonomi yang telah dilakukan proyek perbaikan gudang layak untuk di lanjutkan karena memberikan keuntungan yang besar bagi perusahaan.
- f. Skenario yang terjadi dapat berubah jika perhitungan lebih detail misalnya dengan mempertimbangkan perawatan dan pemeliharaan gudang yang lebih detail, biaya operasional dan perawatan untuk elektrikal jika diperhitungkan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat beberapa saran untuk penelitian kedepannya.

- a. Perlunya analisis *Life Cycle Cost* secara menyeluruh untuk seluruh komponen bangunan agar hasil analisis investasi lebih akurat. Selain itu juga perhitungan nilai suku bunga bisa dipilih yang lebih stabil dibandingkan metode yang saya gunakan.
- b. Perlunya mengkaji lebih dalam terkait perkuatan struktur bagian *baseplate* dan bangunan yang mengalami kerusakan yang cukup parah.
- c. Pemilihan bahan untuk penutup atap dan cat perlunya pertimbangan bahan lebih ramah lingkungan untuk lingkungan sekitar.
- d. Berdasarkan perkuatan dengan metode penebalan pelat dan FRP diperlukan kajian lebih lanjut untuk analisis dari segi lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- A, Peyman B., Nur Izzi Yusoff A., Halil Ceylan B., Nor Ghani Nor C., dan Hashem Salarzadeh Jenatabadi D. (2016). Evaluasi Analisis Biaya Siklus Hidup Perkerasan : Review Dan Analisis. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9 (4), 241–54.
- Agustinus, S., & Lesmana, C. (2019). Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 1–25.
- Akrim, Hidayat, M., & Butar-Butar, A. J. R. (2021). Panduan Penggunaan Theodolit. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 7–24.
- Apriani, W. (2016). Aplikasi Non Destructive Test Pada Investigasi Keandalan Struktur Beton (Studi Kasus : Kolom Basement-K4 Pada Bangunan Stadion Utama Riau). *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2(2), 95–103.
- Ariyanto, A. S. (2020). Analisis Jenis Kerusakan Pada Bangunan Gedung Bertingkat (Studi Kasus pada Gedung Apartemen dan Hotel Candiland Semarang). *Bangun Rekaprima*, 06(1), 45–57.
- Bayuseno, A. P. (2009). Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan Dan Tanpa Perlindungan Cat. *Rotasi*, 11(3), 32–37.
- Buyung Anugraha, R. A., Sigit, M. D., R, I. P., Noor, N., & Rahman, Y. (2020). Evaluasi Struktur Dermaga Akibat Korosi Berdasarkan SNI 2833-2016 dan SNI 1725-2016. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(2), 261–276.
- Buyung, R. A. H. F., Pratasih, P. A. K., & Malingkas, G. Y. (2019). Life Cycle Cost (LCC) pada Proyek Pembangunan Gedung Akuntansi Universitas Negeri Manado (Unima) di Tondano. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1527–1536.
- Chaerany, A., Awaludin, A., Priyosulistyo, H., & Triwiyono, A. (2016). Structural Condition Assessment of Steel-Framed Maintenance Plant in Muara Badak, Balikpapan, East Kalimantan. *Applied Mechanics and Materials*, 845(July), 344–355.

- Christiawan, I. (2012). Perkuatan (Strengthening) Struktur Beton Dengan Fiber Reinforced Polymer (Frp). *Metana*, 6(01).
- Christina, S. (2023). Maintenance and Rehabilitation of Steel Structures : Ensuring Longevity and Structural Integrity. *Journal of Steel Structures and Constructions*, 9.
- Darmawan, M. F., Fajar, S. A., Saputra, A., Triwiyono, A., & Awaluddin, A. (2019). Analisis Perkuatan Struktur Truss Baja Penopang Suatu Ballroom Bentang Analisis Perkuatan Struktur Truss Baja Penopang Suatu Ballroom Bentang Panjang dengan Metode External-Post Tensioning. *Civil Engineering and Environmental Symposium*, September.
- Devina, P. I., Rudi Waluyo, dan Veronika Happy Puspasari. (2023). Analisis Estimasi Biaya Perawatan Bangunan Gedung Di Universitas Palangka Raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 95–102.
- Dr. Zainuri, S.T., M. (2021). Ekonomi Teknik. Cv Jasa Surya
- Drs. M. Giatman. (2006). Ekonomi Teknik. Unpam Press
- Dwiyanto, T., Siswato, M. F., dan Priyosulistyo, H. (2020). Pengaruh Biaya Life Cycle Cost Pada Harga Sewa Kamar Budget Hotel Di Kota Yogyakarta (Studi Kasus Hotel, Hotel Asana Grove, dan Hotel Nagari). *Inersia*, XVI(1), 49–63.
- Elizabeth Titiek Winanti, Indiah Kustini, R Endro Wibisono, Djoni Irianto, Danayanti Azmi Dewi Nusantara, dan Nurhayati Aritonang. (2022). Pelatihan Pengolahan Data Hasil Pengukuran Waterpass, Theodolit, Total Station Bagi Guru Teknik Konstruksi Dan Properti Smk Wilayah Kabupaten Jombang & Sekitarnya. *Jurnal Abadimas Adi Buana*, 5(02), 242–252.
- Fahik, Y. seran. (2022). Pemanfaatan Theodolite Digital Sebagai Upaya Peningkatan Keaktifan Siswa Dalam Pembelajaran Pengelolaan Hutan. *J-Math : Journal of Mathematics Theory and Applications*, 1(1), 22–32.
- Fanani, Z. A. (2021). Benefit Cost Analysis Dalam Pembangunan Rusun Penjarangan dengan Metode NPV, IRR, PP, BCR Menggunakan Software Investment Evaluation. *Scientific Journal of Industrial Engineering*, 2(2), 2–8.
- Fauzia, A., & Firdasari, F. (2022). Efisiensi Pemilihan Pelat Baja pada Rehabilitasi Gedung Bertingkat terhadap Biaya dan Waktu (Studi Kasus Gedung Operasi RSUD Kota Langsa). *Jurnal Serambi Engineering*, 7(2).
- Fitrah, H. I., Aly, S., & Ginting, R. (2023). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 12(2), 19–33.

- Gunawan, K., Munaf, D. R., & Siahaan, F. T. (2005). Mekanisme Perawatan dan Perbaikan Struktur Beton Bertulang dengan Pendayagunaan Abu Terbang. *Jurnal Inovisi*, 4(2).
- Haq, R. A., Iskandar, D., & Hadijah, I. (2020). Pemeliharaan Jalan Berbasis Kinerja Perkerasan Menggunakan Metode Life Cycle Cost. *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 1(1), 62–73.
- Hendra Cahyadi, Abdurrahman, & Sapto Priyo Atmojo. (2022). Analisis Biaya Siklus Hidup Gedung Komite Olahraga Nasional Indonesia (Koni) Kabupaten Tapin. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(1), 24–32.
- Ho, J. H., & Abd. Rahman, A. (2012). Life Cycle Cost Analysis Case Study on Corrosion Remedial Measures for Concrete Structures. *Jurnal Teknologi*, January 2012.
- I Gede Angga Diputera, & Tjokorda Istri Praganingrum. (2023). Analisis Life Cycle Cost Pada Proyek Pembangunan Cendana Residence. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 7(1), 157–162.
- Indonesia, R. (2021). Direktorat jenderal bina marga.
- Jati, D. (n.d.). LIFE CYCLE COST ANALYSIS PADA ASET MILIK NEGARA (Studi pada Terminal Bus Tipe A Dhaksinarga). *Jurnal Manajemen Aset Dan Penilaian*, 2(2).
- Jatmiko, A. T., Soejanto, I., dan Berlianty, I. (2019). Analisis Investasi Pembangunan Gudang Pada Industri Pengecoran Logam. *Opsi*, 12(1), 20.
- Kaming, P., Liano, I. H., dan Sigit, W. A. (2019). Adopsi Life Cycle Costing Untuk Bangunan Gedung Diklat Muara Enim. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 2012, 121–132.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). Peraturan Menteri PUPR no 1 tahun 2022 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022*, 95–140.
- Khairani, D. U., Andreas, A., dan Nur Arini, R. (2023). Analisis Kelayakan Investasi Pengembangan Bisnis Konstruksi Dengan Pendekatan Life Cycle Construction. *Jurnal ARTESIS*, 3(1), 28–36.
- Kristowski, A., Grzyl, B., dan Kowalski, D. (2018). *The analysis of the influence of the corrosion protection method of selected steel elements on the steel structure life cycle costs*. July, 220–225.
- Kurniawan, W. D., & Periyanto, P. (2019). Proses Sandblasting dan Coating Pada

- Kapal di PT. Dok Perkapalan Surabaya. *Otopro*, 13(2), 44.
- Lambaihang, U. R., Tjakra, J., & Dundu, A. K. T. (2022). *Analisis Investasi Alat Berat Di PT . Revival Desa Tateli Dua Kabupaten Minahasa*. 20, 1083–1089.
- Liu, Yue, Gu, Mingyang , Liu , Xiaogang, T. T. (2022). *Life-Cycle Cost Analysis of Long-Span CFRP*.
- M., Achmad, K., dan Smd, A. (2014). Metode Eksperimental Perkuatan Kolom Beton Bertulang Menggunakan FRP Experimental Method Of Strengthening Concrete Columns Using FRP. *Media Teknik Sipil*, 12(2), 149–157.
- Noorlaelasari, Y. (2010). Konstruksi Atap Bangunan Gedung. *Politeknik Negeri Bandung*, 1–35.
- NyomanPujawan, I. (2004). *Ekonomi Teknik. 1*, 1–14. Jaya Pustaka.
- Oktaviani, S., & Ayu Angreni, I. (2022). Analisa Life Cycle Cost Sebagai Salah Satu Faktor Ekonomi dalam Menentukan Perkerasan Komposit dan Lentur Jalan Tol Jagorawi. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(1), 79–88.
- PerMen PU. (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 24/PRT/M/2008 Tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung*. 1–125.
- Prabowo, I., Budiarto, U., & Mulyatno, I. P. (2022). Analisa Pengaruh Variasi Ukuran Steel Grit Pada Proses Blasting Baja ASTM A36 Terhadap Laju Korosi, Daya Rekat Adhesi, dan Impak Coating. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(1), 42–51.
- Pratiwi, Oktarina, D., & Fadilasari, D. (2022). *BANGUNAN (Studi Kasus : Gedung Rawat Inap VIP Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung)*. 2(1), 18–24.
- Puhesti, I. N. (2021). Life Cycle Cost Pada Gedung Boarding House Daerah Glagahsari, Yogyakarta. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 9(1), 18–28.
- Renne, N., Kara De Maeijer, P., Craeye, B., Buyle, M., & Audenaert, A. (2022). Sustainable Assessment of Concrete Repairs through Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA). *Infrastructures*, 7(10).
- Ridwan, A. F., Romli, Z., & Soeroto, W. M. (2022). Analisa Kelayakan Investasi Proyek Penggantian Secondary Crusher Pada Pt Berau Coal Site Binungan. *Sebatik*, 26(1), 1–8.
- Riyanto, E. (2018). Penentuan Tingkat Diskonto (Discount Rate) Dalam Penilaian

Sektor Kehutanan. *Jurnal Pajak Indonesia*, 2(2), 39–48.

Rohman, R. K. (2009). *Assessment Struktur Atas Gedung Timbul Jaya Plaza Kota Madiun Akibat Alih Fungsi*.

Sadliwala, M. S., & Gogate, N. G. (2022). Life Cycle Costing Methodology for Sustainable Construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1084(1).

Safitri. (2021). *Analisis Life Cycle Cost Pada Operasional Pemeliharaan Gedung Pusat Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Lcc*.

Sarimi, N. W., Tuloli, M. Y., & Kadir, Y. (2021). Analisis Kelayakan Finansial Brt (Bus Rapid Transit) Koridor Ii Rute Kota Gorontalo - Limboto.

SNI 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

SNI 1727:2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Suandi, S., & Chayati, N. (2018). Studi Kelayakan Finansial pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Pongkor. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 1(1), 1–8.

Subagio, A. S. (2017). “Modifikasi Struktur Atap Stadion Mimika-Papua Menggunakan Rangka Baja Ruang Tipe Busur.” *Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November*.

Sujatmiko, B., Bustamin, M. O., Ardiansyah, G. N., dan Unitomo, S. (2023). Analisis Biaya Investasi Proyek Pembangunan Perumahan La Diva Green Hill Menganti Gresik. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 5(1), 51–59.

Sulaiman, S., Utomo, B., dan Ardi Wijana, I. P. A. (2020). Analisis Uji Tidak Merusak Pada Sambungan Las Lambung Frame 103 Bagian Kamar Mesin Kapal Patroli 73 Dengan Metode Radiography Test. *Gema Teknologi*, 20(4), 146–152.

Sutjiadi, C. M., Harsono, T., Sugiharto, H., & Tjandra, D. (2021). Assessment Dan Perkuatan Struktur Pada Bangunan Industri 7 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 17–25.

Tafsirojjaman, T., Ur Rahman Dogar, A., Liu, Y., Manalo, A., & Thambiratnam, D. P. (2022). Performance and design of steel structures reinforced with FRP composites: A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis*,

138(November 2021).

Tampubolon, S. P. (2021). *Buku Materi Pembelajaran Struktur Baja-1*. 2, i-165.

Turnip, S. M. (2019). Evaluasi dan Perkuatan Struktur Pelat dan Dinding Geser dengan Glass Fiber Reinforced Polymer(GFRP). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952., 3(1), 10-27.

UU No 28 Tahun 2002 Tentang Bnagunan Gedung. (1981). In *Personnel Psychology* (Vol. 34, Issue 1).

Winarsih, T. (2010). *Asesmen kekuatan struktur bangunan gedung*.

Wongkar, Y. K. (2016). Analisis Life Cycle Cost Pada Pembangunan Gedung (Studi Kasus : Sekolah St . URSULA Kotamobagu). *Jurnal Sipil Statik*, 4(April 2016), 253-262.

Yoresta, F. S. (2023). Penggunaan Laminasi Cfrp Sebagai Material Perkuatan Pada Struktur Baja: Tinjauan Literatur. *JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering)*, 4(01), 01.

Zaki, M. F. (2021). *Analisa Kerusakan Struktural dan Estimasi Biaya Perawatan Bangunan Gedung Rumah Susun*. 1-64.