

**ANALISA KINERJA STRUKTUR BAJA PIPERACK AKIBAT BEBAN
GEMPA PADA PROYEK *ADD ON COMBINE CYCLE POWER PLANT*
MENGUNAKAN METODE *NON-LINEAR STATIC PUSHOVER***

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



IQBAL FANDANA

1242924006

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
TAHUN 2026**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Iqbal Fandana
NIM : 1242924006
Tanda Tangan : 
Tanggal : 14 Sepetember 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Iqbal Fandana

NIM : 1242924006

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Analisa Kinerja Struktur Baja Piperack Akibat Beban Gempa Pada Proyek
Add On Combine Cycle Power Plant Menggunakan Metode *Non-Linear Static Pushover*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bahan persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc. (.....)

Pembimbing II : Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc. (.....)

Penguji I : Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D.,
IPU., ASEAN Eng. (.....)

Penguji II : Muhammad Daffa Fachrur Reza, S.T., M.Sc. (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 14 September 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan program sarjana dan memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bakrie.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan berjalan lancar tanpa adanya bimbingan, dukungan, bantuan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Bakrie sekaligus Dosen Penguji I.
2. Bapak Dr. M. Ihsan, S.T., M.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang juga senantiasa meluangkan waktu, pikiran, dan memberikan motivasi yang sangat berarti dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhammad Daffa Fachrur Reza, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak masukan dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang telah membagikan ilmu serta pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil selama masa perkuliahan, sehingga sangat membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Gunawan Satyawira, S.T. selaku pembimbing di dunia kerja yang telah banyak membantu, membimbing, dan mendukung penulis selama melanjutkan pendidikan sarjana.
7. Bapak Basten Simanjuntak, S.T. selaku pembimbing di dunia kerja yang juga senantiasa memberikan bantuan dan dukungannya kepada penulis selama menjalani pendidikan sarjana.

8. Teman-teman Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie Kelas Karyawan Angkatan 2025 yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan dukungan satu sama lain untuk bisa bersama-sama menyelesaikan tugas akhir.
9. Alm. Ibu Munipah binti Dono Mustahar, selaku nenek yang mengasuh penulis sedari kecil. Terimakasih karena telah senantiasa membersamai, mendoakan, mendidik, merawat dan memebasarkan, terimakasih telah terus percaya ditengah banyak pasang mata yang meragukan, terimakasih atas segala jasa dan pengorbanan yang tidak terhitung jumlahnya.

Terakhir, namun tidak kalah penting, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada diri saya sendiri. Terima kasih karena sudah percaya pada diri sendiri, terima kasih atas segala kerja keras dan dedikasi yang tak kenal lelah, dan terima kasih karena tidak pernah menyerah. Terima kasih sudah kuat bertahan mencapai mimpimu satu persatu meski perlahan, terimakasih telah terus berkomitmen pada pilihanmu dan terus percaya bahwa keberhasilan bukan hanya untuk mereka yang terlahir kaya, keberhasilan merupakan buah dari usaha dan doa dari mereka yang tak pernah usai hingga akhirnya berhasil membawa penulis sampai pada titik ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Jakarta, 14 September 2026

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademika Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Fandana
NIM : 1242924006
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISA KINERJA STRUKTUR BAJA PIPERACK AKIBAT BEBAN GEMPA PADA PROYEK ADD ON COMBINE CYCLE POWER PLANT MENGGUNAKAN METODE *NON-LINEAR STATIC PUSHOVER*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 14 September 2026

Yang menyatakan



(Iqbal Fandana)

**ANALISA KINERJA STRUKTUR BAJA PIPERACK AKIBAT BEBAN GEMPA PADA
PROYEK *ADD ON COMBINE CYCLE POWER PLANT* MENGGUNAKAN METODE
*NON-LINEAR STATIC PUSHOVER***

Iqbal Fandana¹

ABSTRAK

Pembangunan unit pembangkit listrik *Add-On Combined Cycle Power Plant* (CCPP) menuntut ketersediaan infrastruktur pendukung yang tangguh, salah satunya adalah struktur baja *piperack*. Struktur ini mengalami fluktuasi beban massa yang ekstrem selama tiga masa transisinya, yaitu fase *empty*, *hydrotest*, dan *operating*, yang mana perubahan ini secara signifikan memengaruhi respons dinamik dan seismik bangunan ketika terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan pembentukan sendi plastis (*plastic hinge*), menentukan *performance point* serta mengevaluasi level kinerja struktur baja pada ketiga kondisi pembebanan tersebut secara komprehensif. Metode evaluasi yang diterapkan adalah *Non-Linear Static Pushover Analysis* (NSPA) menggunakan perangkat lunak elemen hingga, dengan kriteria penerimaan desain mengacu pada standar FEMA 356. Hasil analisis statik linear awal membuktikan bahwa profil struktur aman dan memenuhi batas kelayakan (*serviceability*). Melalui komputasi *pushover non-linear*, mekanisme pembentukan sendi plastis terbukti konsisten mematuhi filosofi *Strong Column - Weak Beam*, di mana pelelehan secara eksklusif terinisiasi pada elemen balok utama. Evaluasi deformasi mencatatkan persentase *drift ratio* transien maksimum sebesar 0,15% pada sumbu longitudinal saat struktur memasuki fase *operating*. Sebagai kesimpulan, level kinerja struktur pada seluruh fase pembebanan secara mutlak berada dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini menegaskan bahwa desain bangunan memiliki cadangan kekakuan berlebih, menjamin fasilitas aman tanpa kerusakan struktural pasca-gempa.

Kata Kunci: *Piperack, Performance Point, Pushover, Hinge, Gempa*.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF PIPERACK STEEL STRUCTURE SUBJECTED TO
SEISMIC LOAD IN THE ADD-ON COMBINED CYCLE POWER PLANT PROJECT
USING THE NON-LINEAR STATIC PUSHOVER METHOD**

Iqbal Fandana¹

ABSTRACT

The construction of an Add-On Combined Cycle Power Plant (CCPP) unit requires robust supporting infrastructure, notably the steel piperack structure. This structure experiences extreme mass load fluctuations during its three transitional periods namely the empty, hydrotest, and operating phases which significantly affect the building's dynamic and seismic responses during an earthquake. This study aims to map the formation of plastic hinges, determine the performance point (*base shear* and *target displacement*), and comprehensively evaluate the performance level of the steel structure under these three loading conditions. The evaluation method applied is the *Non-Linear Static Pushover Analysis* (NSPA) using finite element software, with design acceptance criteria referring to the FEMA 356 standard. The initial linear static analysis results demonstrate that the structural profile is safe and satisfies the serviceability limits. Through non-linear pushover computation, the plastic hinge formation mechanism consistently complies with the *Strong Column - Weak Beam* philosophy, where yielding is exclusively initiated in the main beam elements. The deformation evaluation recorded a maximum transient drift ratio of 0.15% on the longitudinal axis when the structure entered the operating phase. In conclusion, the structural performance level across all loading phases falls definitively within the *Immediate Occupancy* (IO) category. This confirms that the building design possesses excess stiffness reserves, guaranteeing that the facility remains safe without structural damage post-earthquake.

Keywords: *Piperack, Performance Point, Pushover, Hinge, Earthquake.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penulisan	4
1.6 Manfaat Penulisan	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA	5
2.1 Struktur Baja	5
2.2 Piperack	5
2.3 Pembebanan Struktur Baja Piperack.....	6
2.3.1 Beban Mati (Dead Load – D).....	6
2.3.2 Beban Hidup (Live Load – L)	6
2.3.3 Beban Termal dan Gesek (Thermal Friction Load – Tf)	6
2.3.4 Beban Angin (Wind – W)	7
2.3.5 Beban Gempa (Sesimic Load – E)	8
2.3.6 Beban Pengujian (<i>Test/Hydrotest Load – H</i>):.....	13
2.3.7 Beban Operasional (Operation Load – P_{op})	13
2.4 Periode Getar Alami (Natural period of Vibration – T)	14
2.5 Non-Linear Static Pushover Analysis (NSPA).....	15
2.6 Analisis Struktur Berbasis Komputasi	16
2.7 Sendi Plastis (<i>Hinge</i>)	17
2.8 Kontrol Desain	18
2.8.1 P-M-M Ratio atau <i>Strength Check</i> (Interaksi Gaya Aksial dan Momen).....	18
2.8.2 Deflection Check.....	19
2.8.3 Performance Based Design	19

BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Diagram Alur Metode Penelitian	22
3.2 Data Proyek.....	23
3.2.1 Informasi Umum Proyek.....	23
3.2.2 Standard Code	23
3.2.3 Spesifikasi dan Mutu Bahan	24
3.3 Data Pembebanan	25
3.3.1 Beban Kombinasi Fase Konstruksi (<i>Pipe Empty Load Condition</i>).....	25
3.3.2 Beban Kombinasi Fase Commisioining (Pipe Hydrotest Load)	26
3.3.3 Beban Kombinasi Fase Operasi (<i>Operation Pipe Load</i>).....	26
3.4 Analisa dan Evaluasi Kinerja Struktur.....	27
3.4.1 Pemodelan 3D	27
3.4.2 Definisi Beban.....	28
3.4.3 Analisa Respon Spektra	28
3.4.4 Analisis Beban Angin.....	29
3.4.5 Analisis Linear Awal dan <i>Serviceability</i>	29
3.4.6 Analisa Periode Alami Struktur.....	30
3.4.7 Analisa Non-Linenar Pushover	31
3.4.8 Analisa Level Kinerja Struktur	31
3.4.9 Komparasi Kinerja Struktur	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Analisis Struktur Baja Piperack.....	33
4.1.1 Pemodelan 3D Struktur Baja Piperack.....	33
4.1.2 Define and Assign Load Case	38
4.1.3 Analisa Periode Alami Struktur.....	53
4.1.4 Non-Linear Pushover Analysis.....	55
4.2 Pembahasan Hasil Analisa	65
4.2.1 Pemodelan Struktur Baja Piperack.....	65
4.2.2 Pembahasan Hasil Analisis Linear	66
4.2.3 Pembahasan dan Perbandingan Periode Alami Struktur Baja Piperack.....	68
4.2.4 Pembahasan dan Perbandingan Level Kinerja Struktur Baja Piperack.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bangunan Piperack pada Industri Oil and Gas	5
Gambar 2. 2 Peta Parameter Percepatan Gempa Periode 0.2 Detik (S _s).....	9
Gambar 2. 3 Peta Parameter Percepatan Gempa Periode 1 Detik (S ₁)	9
Gambar 2. 4 Peta Periode Panjang Transisi (T _L)	11
Gambar 2. 5 Grafik Respon Spectrum.....	12
Gambar 2. 6 Capacity Curve Acceleration-Displacement Response Spectrum (ADRS).....	16
Gambar 2. 7 Posisi umum terjadinya sendi plastis pada stuktur bangunan bertingkat	18
Gambar 2. 8 Kurva Level Kinerja Struktur	21
Gambar 3. 1 Digram Alur Metode Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Lokasi Proyek Add-On Combined Cycle Power Plant (CCPP) 39 MW	23
Gambar 3. 3 Grafik Desain Response Spectrum Tanjung Uncang, Batam (Sumber : RSA Ciptakarya)	29
Gambar 4. 1 Grid Data Piperack Steel Structure.....	33
Gambar 4. 2 <i>Story Data Steel Structure Piperack</i>	34
Gambar 4. 3 <i>Material Propoerties Data</i>	35
Gambar 4. 4 <i>Material Property Design Data</i>	36
Gambar 4. 5 Contoh <i>Frame Section Property</i> SH-300.....	36
Gambar 4. 6 <i>Draw Geometri and Assign Frame Section 12</i>	37
Gambar 4. 7 Hasil Pemodelan 3D Struktur Baja <i>Piperack</i>	38
Gambar 4. 8 Define Load Pattern for Piperack	39
Gambar 4. 9 Define Load Cases for Piperack	39
Gambar 4. 10 <i>Load Case Non-Linear - Intial Condition Gravitation</i>	40
Gambar 4. 11 <i>Load Case Non-Linear - Pushover X dan Y Direction</i>	41
Gambar 4. 12 <i>Hinge Assignment for Column</i>	41
Gambar 4. 13 <i>Hinge Assignment for Beam</i>	42
Gambar 4. 14 <i>Hinge Assignment on Piperack</i>	42
Gambar 4. 15 Section Penempatan <i>Point Load</i> dan <i>Distributed Load</i> pada <i>Piperack</i>	43
Gambar 4. 16 Plan View Penempatan <i>Point Load</i> dan <i>Distributed Load</i> pada <i>Piperack</i>	43
Gambar 4. 17 <i>Assign Load Pipe Empty Condition</i>	44
Gambar 4. 18 <i>Assign Load Pipe Testing Condition</i>	44
Gambar 4. 19 <i>Assign Load Pipe Operational Condition</i>	45
Gambar 4. 20 <i>Define Wind Load as per ASCE 7-16</i>	45
Gambar 4. 22 Assign Wind Load as per ASCE 7-16 X Direction.....	46
Gambar 4. 21 <i>Assign Wind Load as per ASCE 7-16 Y Direction</i>	46
Gambar 4. 23 <i>Define Response Spectrum for Seismic Load</i>	47
Gambar 4. 24 <i>Assign Load Combination</i>	47
Gambar 4. 25 Result PMM Chech Ratio.....	48
Gambar 4. 26 <i>Result PMM Check Ratio</i>	48
Gambar 4. 27 Displacemnet/Deflection Z Direction.....	49
Gambar 4. 28 Horizontal Displacement X Direction	51
Gambar 4. 29 Horizontal Displacement Y Direction	52
Gambar 4. 30 <i>Plastic Hinge Empty Condition Piperack X Direction</i>	57
Gambar 4. 31 <i>Plastic Hinge Empty Condition Piperack Y Direction</i>	57

Gambar 4. 32 <i>Pushover Curve Empty Condition X Direction</i>	58
Gambar 4. 33 <i>Pushover Curve Empty Condition Y Direction</i>	59
Gambar 4. 34 <i>Plastic Hinge Testing Phase Piperack X Direction</i>	59
Gambar 4. 35 <i>Pushover Curve Testing Phase X Direction</i>	60
Gambar 4. 36 <i>Plastic Hinge Testing Phase Piperack Y Direction</i>	61
Gambar 4. 37 <i>Pushover Curve Testing Phase Y Direction</i>	62
Gambar 4. 38 <i>Plastic Hinge Operation Piperack X Direction</i>	63
Gambar 4. 39 <i>Plastic Hinge Operation Piperack Y Direction</i>	63
Gambar 4. 40 <i>Pushover Curve Operation Phase X Direction</i>	64
Gambar 4. 41 <i>Pushover Curve Operation Phase Y Direction</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelas Situs Tanah SNI 1726:2019	8
Tabel 2. 2 Tabel Koefisien Situs, Fa	10
Tabel 2. 3 Tabel Koefisien Situs, Fv	10
Tabel 2. 5 Nilai Parameter /Koefisien Periode Batas Atas	15
Tabel 2. 4 Nilai Parameter /Koefisien Periode Batas Bawah	15
Tabel 3. 1 Kombinasi Pembebanan Fase Konstruksi	25
Tabel 3. 2 Kombinasi Pembebanan Fase Commisioning	26
Tabel 3. 3 Kombinasi Pembebanan Fase Operational	27
Tabel 3. 4 Data Desain Response Spectrum Tanjung Uncang, Batam	29
Tabel 3. 5 Design Pressure Wind Load.....	29
Tabel 3. 6 Allowable vertical displacement.....	30
Tabel 3. 7 Allowable horizontal displacemen.....	30
Tabel 4. 1 <i>Summary Maximum PMM Check Ratio</i>	49
Tabel 4. 2 <i>Summary Maximum Vertical Displacement</i>	50
Tabel 4. 3 Hasil Analisa <i>Vertical Displacment Piperack</i>	50
Tabel 4. 4 <i>Result Summary Analysis Horizontall Displacement X Direction</i>	51
Tabel 4. 5 Result Summary Maximum Horizontal Displacement Y Direction	52
Tabel 4. 6 Periode Alami Struktur Fase Empty	54
Tabel 4. 7 Periode Alami Struktur Fase <i>Testing</i>	54
Tabel 4. 8 Periode Alami Struktur Fase Operational	55
Tabel 4. 9 Tabel Perbandingan Nilai Batas Periode Alami Struktur.....	68
Tabel 4. 10 Perbandingan Pengaruh Massa pada Periode Alami Struktur Piperack	69
Tabel 4. 11 <i>Capacity Curve Coordinates - Empty Condition</i>	70
Tabel 4. 12 <i>Capacity Curve Coordinates - Testing/Commisioning</i>	71
Tabel 4. 13 <i>Capacity Curve Coordinates - Operation</i>	71
Tabel 4. 14 Perbandingan Level Kinerja Struktur Baja Piperack.....	73
Tabel 4. 14 Perbandingan Level Kinerja Struktur Baja Piperack.....	73
Tabel 4. 14 Perbandingan Level Kinerja Struktur Baja Piperack.....	73
Tabel 4. 14 Perbandingan Level Kinerja Struktur Baja Piperack.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : <i>Design Engineering Drawing (DED)</i>	91
Lampiran 2 : <i>Piping Load Data</i>	92
Lampiran 3 : <i>PMM Check Ratio Result</i>	93
Lampiran 4 : <i>Non-Linear Analysis Report</i>	94
Lampiran 5 : Hasil Uji Kemiripan.....	95