

Evaluasi Nilai Faktor Modifikasi Respon Seismik pada Struktur Dermaga Jetty

Wahyu Widarto¹, Syahril Taufik², Ugik Kurniadi³

¹Alumni Magister Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

²Program Studi Teknik Sipil S2, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

³Program Studi Teknik Sipil S1, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

Email: [1wahyuwdrt@gmail.com](mailto:wahyuwdrt@gmail.com) ; [2syahril_taufik@istn.ac.id](mailto:syahril_taufik@istn.ac.id) ;

Abstrak

Beberapa kejadian gempa besar menyebabkan struktur jetty mengalami kerusakan sehingga tidak bisa beroperasi. Hal ini menunjukkan perlunya pertimbangan ulang dalam filosofi desain seismik dari jenis struktur ini untuk meningkatkan kinerja seismiknya. Nilai faktor modifikasi respon seismik (R) untuk struktur dermaga jetty belum secara eksplisit diatur oleh SNI 1726: 2019 maupun SNI 2833: 2016. Maka dari itu, tulisan ini bertujuan untuk meninjau nilai R pada struktur dermaga jetty. Tinjauan yang dilakukan terbatas pada struktur yang berada pada kondisi kegempaan di Sulawesi Utara dengan kondisi Tanah Lunak (SE). Nilai R pada struktur dermaga jetty ditetapkan terlebih dahulu untuk melakukan perancangan elemen struktur. Kemudian dilakukan analisis pushover sehingga diperoleh kurva gaya terhadap deformasi struktur untuk memverifikasi nilai R yang mampu dicapai. Konsep yang dipakai dalam menghitung nilai R mengacu ATC-19 dan ATC-34 serta FEMA P-695. Hasil analisis pushover, dermaga jetty merupakan struktur dengan nilai R dapat ditentukan sebesar 3,5 – 5,5, yang mendekati nilai R pada SNI 2833: 2016 untuk struktur jembatan dengan bangunan bawah berupa tiang vertikal, tiang miring dan kolom majemuk.

Kata Kunci: Jetty, Faktor modifikasi respon seismik, Analisis Pushover

Abstract

Several major earthquake events have caused damage to jetty structures and rendered them inoperable. This suggests the need for reconsideration in the seismic design philosophy of this type of structure to improve its seismic performance. The seismic response modification factor (R) value for jetty structures has not been explicitly regulated by SNI 1726:2019 or SNI 2833: 2016. Therefore, this paper aims to review the value of R in the jetty structure. The review conducted is limited to structures located in seismic conditions in North Sulawesi with Soft Soil (SE) conditions. The R -value of the jetty structure is determined first to design the structural elements. Pushover analyses were then conducted to obtain force to deformation curves for the structure to verify the achievable R -value. The concept used in calculating the R value refers to ATC-19 and ATC-34 and FEMA P-695. As a result of the pushover analysis, the jetty is a structure with a determinable R -value of 3.5 – 5.5, that is close to the R value in SNI 2833: 2016 for bridge structures with underbuildings in the form of vertical poles, inclined poles and compound columns.

Keywords: Jetty, Seismic Response Modification Factor, Pushover Analysis

1. Pendahuluan

Studi terhadap nilai Faktor Modifikasi Respon sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Prabowo et al. (2016) melakukan evaluasi Faktor Modifikasi Respon pada struktur gabungan rangka baja dan rangka beton bertulang. Hashem et al. (2016) telah melakukan evaluasi Faktor Modifikasi Respon pada struktur beton precast

rangka pemikul momen. Muhammadiyah et al. (2022) melakukan evaluasi Faktor Modifikasi Respon pada jembatan beton multi span. Nader et al. (2020) melakukan evaluasi Faktor Modifikasi Respon pada struktur campuran (mixed structures).

Banyak struktur dermaga dan pelabuhan yang rusak akibat gempa bumi (Sezin, 2018). Pelabuhan Port-au-Prince mengalami kerusakan akibat gempa Haiti pada tahun 2010 yang ditandai dengan

kerusakan pada tiang dan pergeseran struktur (Eberhard et al 2010). Dermaga Ibaraki mengalami kerusakan akibat gempa Tohoku pada tahun 2011 yang ditandai dengan pergeseran struktur (Suganoa et al 2011). Dermaga Pantoloan mengalami kerusakan akibat gempa Palu yang ditandai dengan rubuhnya Quay Crane (Dirjen Hubla. 2018). Dermaga Hanimua mengalami kerusakan akibat gempa Maluku tahun 2019 yang ditandai dengan penurunan dan keretakan dari struktur (Kompas 2019). Dermaga Simboro mengalami kerusakan akibat gempa di Mamuju tahun 2021 yang ditandai dengan pondasi yang retak (Antaraneews 2021). Pelabuhan Mamuju mengalami kerusakan akibat gempa mamuju yang ditandai dengan pergeseran struktur (www.darilaut.id 2021). Banyak dermaga/jetty yang ditopang tiang pancang mengalami kerusakan akibat gempa bumi, menunjukkan perlunya pertimbangan ulang dalam filosofi desain seismik dari jenis struktur ini untuk meningkatkan kinerja seismiknya (Elgamal 1996).

Menurut Tavio et al. (2018) bahwa dalam desain berbasis gaya, gaya geser desain yang digunakan adalah gaya geser nominal yang nilainya diambil dari gaya geser elastik dibagi dengan faktor modifikasi respon (R). Nilai R ini ditentukan dengan pendekatan preskriptif yang nilainya bergantung pada kemampuan sistem untuk berdeformasi inelastis atau menyerap energi gempa. Menurut Pranata (2006), analisis pushover adalah suatu analisis statik non-linear dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat masing – masing lantai. Menurut Dewobroto (2019) untuk prosedur analisis Nonlinear Static Pushover adalah menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur, membuat kurva pushover berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral, dan menentukan estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan).

Nilai faktor modifikasi respon seismik (R) untuk kategori bangunan dermaga/jetty secara spesifik belum diatur oleh SNI

1726: 2019 maupun SNI 2833: 2016. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai faktor modifikasi respon seismik (R) pada struktur Jetty di Manado untuk memperoleh nilai R yang paling sesuai. Jenis tipe struktur yang mendekati dari struktur dermaga jetty adalah tipe struktur dengan bangunan bawah tiang vertikal, tiang miring dan kolom majemuk.

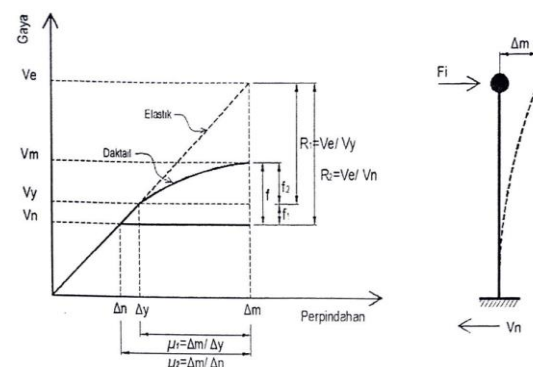
Nilai R aktual diperoleh dengan melakukan analisis pushover pada struktur dermaga jetty. Dalam permodelan struktur dermaga jetty, nilai R ditetapkan terlebih dahulu untuk melakukan perancangan elemen struktur. Dari hasil analisis pushover diperoleh kurva gaya terhadap deformasi struktur untuk memverifikasi nilai R yang mampu dicapai. Konsep yang dipakai dalam menghitung nilai R mengacu FEMA 440.

2. Metodologi Penelitian

Faktor Modifikasi Respon

Dalam desain berbasis gaya, beban gempa desain didesain pada saat respon elastik, akan tetapi dalam keadaan yang sebenarnya struktur akan mampu untuk menyerap energi gempa (dissipating energy) dalam bentuk deformasi inelastik, sehingga dalam desain berbasis gaya ini diberikan faktor modifikasi respon (R).

Faktor modifikasi respon ini adalah perbandingan nilai gaya pada saat respon elastik dengan gaya desain. Hubungan gaya dan perpindahan pada beberapa kondisi, seperti pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Kurva Gaya dan Perpindahan pada Respon Elastik dan Inelastik Akibat Gempa (Tavio et al. 2018)

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa dalam desain berbasis gaya, gaya geser

desain yang digunakan adalah gaya geser nominal (V_n) yang nilainya diambil dari gaya geser elastik (V_e) dibagi dengan faktor modifikasi respon (R). Nilai R ini ditentukan dengan pendekatan preskriptif yang nilainya bergantung pada kemampuan sistem untuk berderformasi inelastis atau menyerap energi gempa.

Faktor Modifikasi Respon (R) Menurut ATC-19 dan ATC-34.

Menurut ATC-19 (1995a) dan ATC-34 (1995b) nilai R merupakan hasil perkalian dari 3 faktor, berdasarkan Rumus (1) berikut:

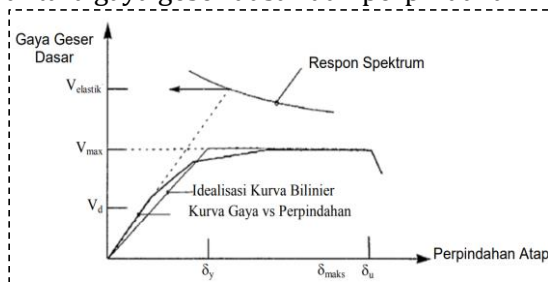
$$R = R_s R_\mu R_R \quad (1)$$

Dimana R_s merupakan faktor kekuatan (*strength factor*), R_μ merupakan faktor daktilitas (*ductility factor*), dan R_R merupakan faktor redundansi (*redundancy factor*). Ketiga faktor tersebut dipengaruhi oleh periode getar struktur.

Faktor R_s yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa struktur mampu menyerap beban gempa hingga keseluruhan elemen struktur mencapai pelelehan (V_{max}) dan melebihi beban gempa rencana (V_d). Besarnya faktor R_s dihitung dari Rumus (2) berikut:

$$R_s = V_{max} / V_d \quad (2)$$

Gambar 2 berikut adalah grafik hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan.

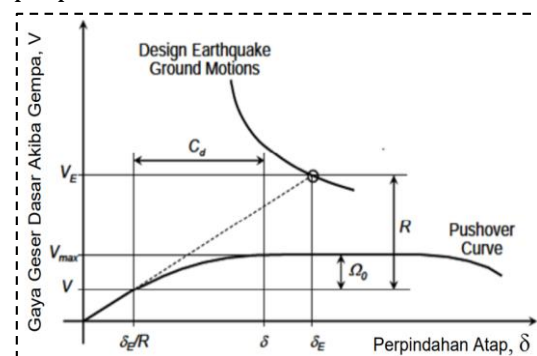


Gambar 2. Contoh kurva gaya geser dasar versus perpindahan atap (Whittaker, et al., 1999)

Faktor Modifikasi Respon (R) Menurut FEMA 695.

Sampai dengan keluarnya ASCE 7-10, nilai faktor daktilitas struktur masih didasarkan pada *judgement* akan perilaku bangunan yang didesain secara daktil dari pengalaman gempa-gempa di masa lampau. ASCE 7-10 menjelaskan perlunya penelitian dan kajian mengenai nilai faktor

daktilitas struktur. Perhitungan ulang besarnya faktor daktilitas struktur seperti yang dimaksud pada bagian penjelasan ASCE 7-10 merujuk pada FEMA P-695 (2009). Definisi dari faktor daktilitas struktur yang terdapat pada ASCE 7-10 memiliki kesamaan dengan FEMA P-695 (2009) sehingga metodologi yang diberikan cukup relevan dengan desain struktur tahan gempa saat ini. Gambar 3 berikut adalah hubungan antara gaya geser dasar akibat gempa dengan perpindahan.



Gambar 3. Definisi faktor daktilitas struktur dari kurva $V-\delta$ (FEMA P-695, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.3 yang diambil dari FEMA P-695 (2009), besarnya faktor modifikasi respon (R) dapat diperoleh dari Rumus 2.9 berikut ini.

$$R = V_E / V \quad (3)$$

Nilai V_E merupakan besarnya gaya gempa pada struktur agar berperilaku elastik penuh yaitu terjadi ketika nilai $R = 1$. Sedangkan V merupakan beban gempa rencana yang diberikan pada perancangan struktur. Sedangkan V_{max} merupakan besarnya gaya gempa maksimum yang mampu dipikul oleh struktur hingga seluruh elemen struktur mengalami pelelehan.

Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) menurut SNI 1726 : 2019

SNI 1726: 2019 adalah merupakan standar tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Dalam SNI tersebut disebutkan 84 jenis struktur dengan nilai R yang berbeda yang didasarkan pada sistem pemikul gaya seismik. Nilai R pada SNI 1726 terdapat pada Tabel 1 yang terdiri dari delapan (8) sistem pemikul

gaya seismik. Tabel 1 di bawah adalah nilai R berdasarkan sistem rangka pemikul momen untuk beton bertulang dan baja komposit.

Tabel 1. Nilai Faktor Modifikasi Respon

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, R^e	Faktor kuat lebih sistem, Ω_y^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h^d (m)					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D ^e	E ^e	F	F
C. Sistem rangka pemikul momen									
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^{ff}	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terekang parsial pemikul momen	6	3	5%	4B	4B	30	TI	TI	

Sumber: SNI 1726: 2019

Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) menurut SNI 2833: 2016

SNI 2833: 2016 adalah standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur jembatan. Dalam SNI tersebut disebutkan 7 jenis struktur dengan nilai R yang berbeda yang didasarkan pada sistem struktur bangunan bawah dan kategori kepentingan bangunan. Tabel 2. di bawah adalah nilai R berdasarkan SNI 2833: 2016.

Tabel 2. Nilai Faktor Modifikasi Respon

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2	3
Tiang miring	1,5	1,5	2
Kolom tunggal	1,5	2	3
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5
Tiang miring	1,5	2	3
Kolom majemuk	1,5	3,5	5

Sumber: SNI 2833: 2016

Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) menurut ASCE/COPRI 61-14

ASCE/COPRI 61-14 adalah standar Amerika tentang desain gempa pada dermaga. disebutkan 4 jenis struktur dengan nilai R yang berbeda yang didasarkan pada element struktur. Tabel 3 berikut ini adalah merupakan acuan untuk penentuan nilai faktor modifikasi berdasarkan ASCE/COPRI 61-14.

Tabel 3. Nilai Faktor Modifikasi Respon berdasarkan ASCE/COPRI 61-14

Ductile element	R	C_d
Soild prestressed concrete piles	2	2
Steel pipe piles	2	2
Connection not meeting chapter 7 provisions	1	1
Batter piles	1	1
Other tested Connection	To be determined by experimental testing and/or finite element modelling and must be approved by the authority having jurisdiction	To be determined by experimental testing and/or finite element modelling and must be approved by the authority having jurisdiction

Data Material

Data material yang dimasukkan merupakan material beton, tulangan dan tiang pancang.

- Beton Bertulang (Kuat tekan $f'_c = 30$ MPa Modulus elastisitas $4700 \sqrt{f'_c} = 25.743 \text{ N/mm}^2$).
- Baja Tulangan (Mutu tulangan beton BJTD 42 berdasarkan SNI tegangan leleh (f_y) = 420 MPa Tegangan Ultimit, (f_u) = 525 MPa Modulus elastisitas baja tulangan 200.000 MPa).
- Steel Pipe Pile (Diameter = 1016 mm, tebal pipa (t) = 16 mm, ASTM A252 Grade 2 (tegangan leleh $f_y = 240$ MPa, tegangan ultimit $f_u = 415$ MPa).

Data Elemen Struktur

Data material yang dimasukkan merupakan material beton, tulangan dan tiang pancang.

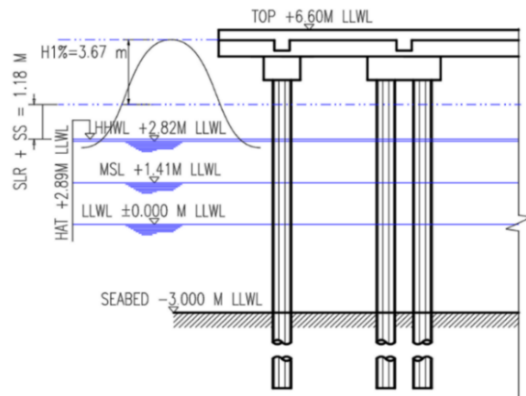
Tabel 3. Data material

Elemen Struktur	Jenis	Dimensi
Balok	Balok Melintang	40 x 70 cm
	Balok Memanjang	40 x 70 cm
	Balok kantilever	40 x 70 cm
Tiang Pancang		Diamater 1 m
Pelat	Pelat Lantai	Tebal 350 cm
Pile Cap	General Pile Cap	200 x 200 x 100 cm
Pile Cap	Crane Pile Cap	200 x 200 x 200 cm

Desain Elevasi

Elevasi desain dievaluasi berdasarkan gelombang, pasang surut, gelombang badai, dan kenaikan permukaan laut dengan para-meter sebagai berikut:

- Tides HAT = +2,89 m LLWL
- Storm surges = 0,30 m
- Sea level rise = 1,76 cm/year
- Significant waves height $H_s = 2,20$ m
- 1% wave height, $H_{1\%} = 1,67 \times 2,20 = 3,67$ m
- Breaking wave height at $H_{AT} = 0,78 \times (3,00 + 2,89) = 4,6 \text{ m} < H_{1\%}$



Gambar 4. Potongan Elevasi Desain

Spesifikasi Kapal

Dermaga jetty direncanakan untuk melayani tongkang 12.000 DWT dengan spesifikasi ditunjukkan pada Gambar 5, sebagai berikut:

- Length Overall (LOA) : 100,58 m
- Beam : 30,48 m
- Max. Operating Draft : 4,5 m
- GRT : 4953 MT



Gambar 5. Spesifikasi Kapal 12.000 DWT

Pembebanan

Beban yang diperhitungkan merupakan kombinasi dari beban vertikal yang merupakan beban mati dan beban hidup serta beban horizontal yakni beban gempa. Adapun resume beban vertikal dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Resume Beban Vertikal

LOAD	LOAD TYPE	MAGNITUDE	
UNLOADING PLATFORM (97 X 27.5) M			
VERTICAL LOAD			
CBU Support	Point	GA Drawing	
Conveyor Load	Point	GA Drawing	
a. Fender Weight	Point	3	t
Bollard Weight	Point	0,47	t
Base Live Load General Area	Area	3	t/m ²
Base Live Load General/Crane/Conveyor Area	Area	3	t/m ²

Tabel 5. Resume Beban Horizontal

LOAD	LOAD TYPE	MAGNITUDE	
UNLOADING PLATFORM (97 X 27.5) M			
HORIZONTAL LOAD			
Fender Reaction	Point	192	t
Mooring Reaction Horizontal	Point	60	t
Mooring Reaction Vertical	Point	52,2	t
Wind Load (refer to contract requirement)	Software (U=33.3 m/s)		
Current Load (detail in attachment)	Distributed	0,0166	t/m
Wave Load (detail in attachment)	Software (H ₁ = 3.62 m, T _p = 8.55 s)		
Earthquake Load	Software Response Spektrum		

Kriteria Pemilihan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R)

Berdasarkan acuan dari SNI dan ASCE, untuk kriteria pemilihan nilai Faktor Modifikasi Respon (R) ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Kriteria Pemilihan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R)

No.	Sistem Struktur	Nilai Faktor Modifikasi Respon (R)			Keterangan
		SNI 1726	SNI 2833	ASCE/CORPRI	
		1	3		
2	5			Struktur atas dermaga adalah rangka beton bertulang sedangkan struktur bawah adalah pipa baja yang dihubungkan secara komposit dengan isian beton bertulang	
3	Struktur kolom majemuk dengan kategori penting		3,5		✓ Struktur kolom dermaga seperti kolom pada jembatan ✓ Bangunan harus dapat digunakan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana
4	Struktur kolom majemuk dengan kategori lainnya		5		✓ Struktur kolom dermaga seperti kolom pada jembatan ✓ Bangunan diperbolehkan perbaikan setelah mengalami gempa rencana
5	Element Steel Pipe Pile			2	Struktur pier/fondasi menggunakan material pipa baja
Batasan Nilai R		3 - 5	3,5 - 5	2	

Sumber: SNI dan ASCE

Menentukan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) Pendekatan

Berdasarkan Tabel kriteria pemilihan nilai Faktor Modifikasi Respon (R), maka akan diambil nilai R yang paling mendekati. Parameter untuk mendapatkan nilai R ditunjukkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Menentukan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) Pendekatan

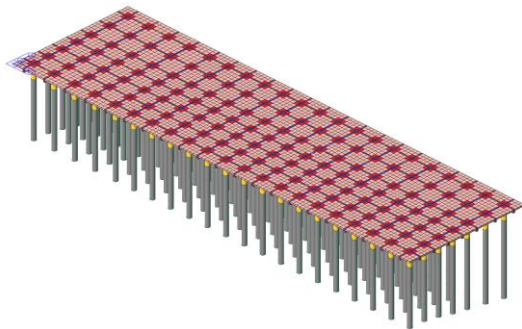
No.	Parameter	Standar yang Mendekati		
		SNI 1726	SNI 2833	ASCE/COPRI
1	Struktur Atas (balok & plat)	✓	✓	
2	Struktur bawah (pilecap & fondasi)		✓	
3	Sambungan struktur atas dan struktur bawah	✓		
4	Pembebanan		✓	
5	Material Fondasi			✓
		2	3	1

Berdasarkan Tabel 7, dari beberapa parameter struktur dermaga jetty lebih mendekati terhadap struktur jembatan.

Karena fungsi dermaga masuk kategori penting, maka digunakan nilai Faktor Modifikasi Respons (R) = 3,5 sebagai nilai estimasi untuk melakukan perencanaan struktur. Besarnya nilai R yang sebenarnya dimiliki struktur dapat diketahui dengan melakukan evaluasi terhadap hasil perancangan struktur menggunakan analisis pushover. Apabila nilai R dari hasil evaluasi relatif dengan estimasi awal maka perancangan struktur relatif akurat. Dari hasil evaluasi yang dilakukan mampu menunjukkan besarnya nilai R yang realistis pada perancangan struktur dermaga jetty ini.

Data Struktur dan Pemodelan Struktur

Analisa dan desain terhadap sistem struktur ini akan dilakukan menggunakan program bantu Midas Gen yang merupakan paket program analisa struktur berbasis teori Metode Elemen Hingga. Contoh pemodelan struktur dermaga jetty dengan menggunakan software Midas Gen ditunjukkan pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Pemodelan Struktur Dermaga Jetty dengan Software Midas Gen

3. Hasil dan Pembahasan

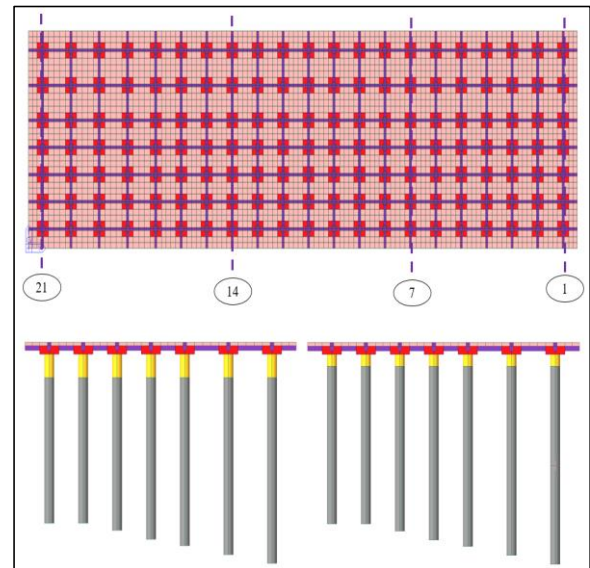
Pemodelan Struktur

Permodelan struktur jetty yang akan dianalisis dengan metode pushover diambil beberapa konfigurasi pemodelan struktur: tiang tegak, majemuk dan miring, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

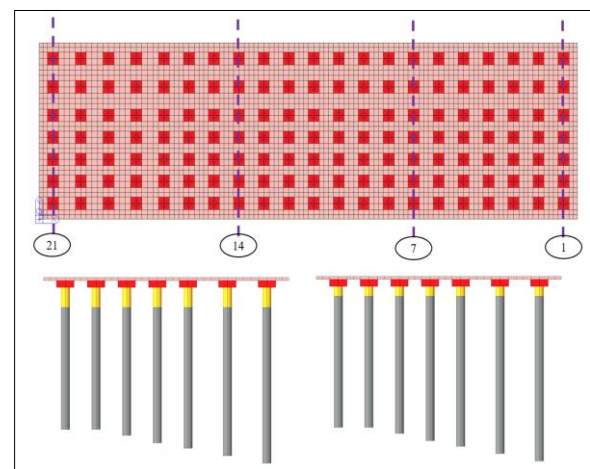
Tabel 6. Konfigurasi Pemodelan Struktur

No.	Jumlah Grid	Tipe Tiang	Panjang Isian Tiang (PHT) (m)
1	21, 14, 7, 1	Tegak	3
2	21, 14, 7, 1	Tegak	2
3	21, 14, 7, 1	Majemuk	3
4	21, 14, 7, 1	Majemuk	2
5	21, 14, 7, 1	Miring	3
6	21, 14, 7, 1	Miring	2

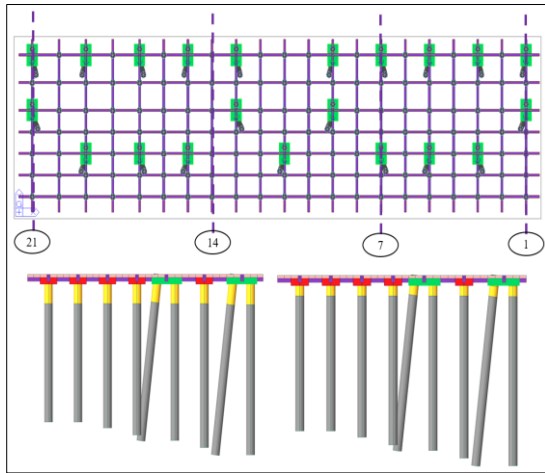
Sesuai dengan hasil pada Tabel 6, jumlah pemodelan struktur ada 6 dengan masing-masing adalah 4 sub pemodelan. Pemodelan struktur untuk pemodelan 1 sampai dengan 6 ditampilkan pada Gambar 7 – 9 berikut.



Gambar 7. Model Struktur Tiang Tegak



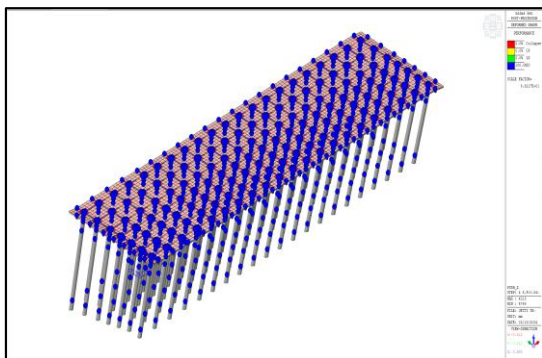
Gambar 8. Model Struktur Tiang Majemuk



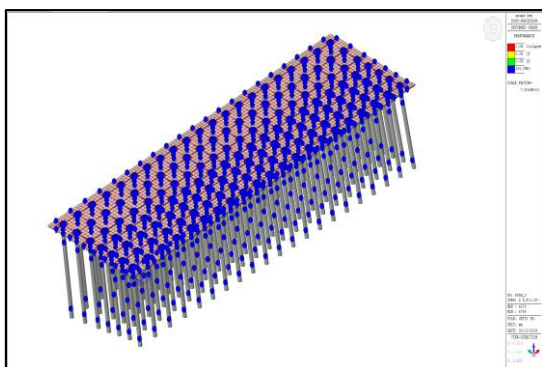
Gambar 9. Model Struktur Tiang Miring

Analisis Pushover

Analisis Pushover dilakukan untuk mendapatkan level performa struktur ketika terjadi gempa pada satu arah gempa. Pushover dilakukan menggunakan gaya lateral statik yang ditingkatkan sampai struktur mengalami colapse. Level performa ditetapkan dari hasil Push Over berupa kurva pushover yang menghasilkan titik performa saat terjadi gempa rencana.



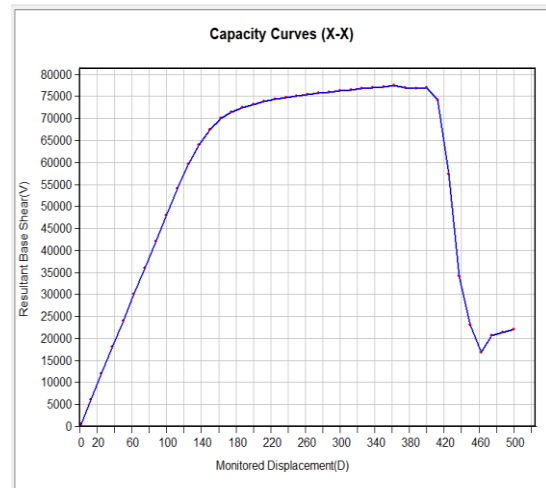
Gambar 10. Pushover Arah X



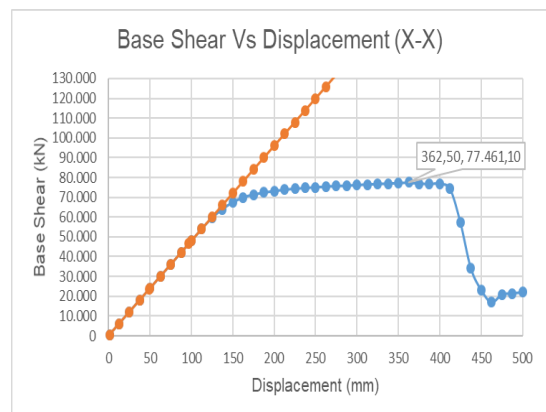
Gambar 11. Pushover Arah Y

Perhitungan Nilai R

Kurva pushover yang diperoleh dari analisis non linier ditunjukkan pada Gambar 12. Dari kurva tersebut kemudian diidealisasi menggunakan MS Excel yang ditunjukkan pada Gambar 13 berikut.



Gambar 12. Kurva Kapasitas Hasil Pushover



Gambar 13. Idealisasi Kurva - MS Excel

Dari hasil analisis pushover, didapatkan nilai parameter sebagai berikut:

- $V_E = I_e \times S_{DS} \times W_t$
 $= 1,5 \times 0,9 \times 96.209,38 \text{ kN}$
 $= 129.882,67 \text{ kN}$
- $V_d = 29.523,03 \text{ kN}$
 Sehingga didapatkan nilai R:
- $R = V_E / V_d = 4,4$

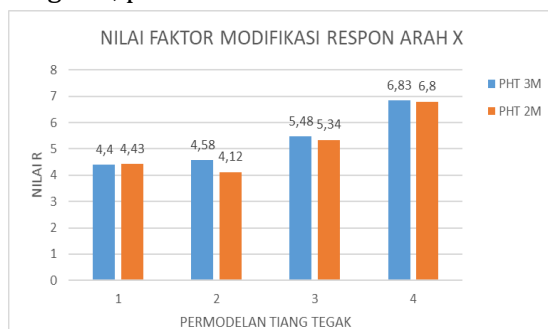
Parameter pushover dan komponen R dalam arah x dan y untuk semua model lainnya dirangkum dalam Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Nilai Faktor Modifikasi Respon Hasil Pushover Arah X dan Y

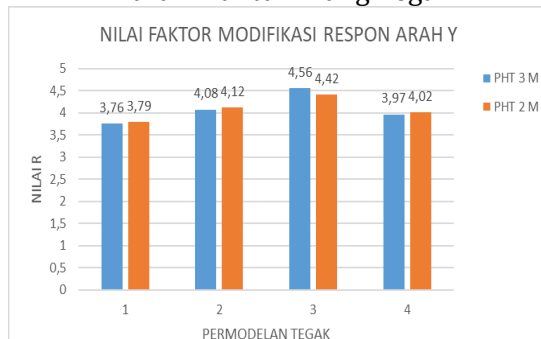
No.	Pemodelan Struktur	Nilai Faktor Modifikasi Respon (R)					
		Tiang Tunggal		Tiang Majemuk		Tiang Miring	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	21 GRID						
1.1	PHT 3 M	4,40	3,76	4,43	3,79	4,07	3,77
1.2	PHT 1,5 M	4,43	3,79	4,47	3,82	4,09	3,79
2	14 GRID						
2.1	PHT 3 M	4,58	4,08	4,60	4,16	4,24	3,88
2.2	PHT 1,5 M	4,12	4,12	4,65	4,21	4,27	3,91
3	7 GRID						
3.1	PHT 3 M	5,48	4,56	5,50	4,66	4,98	4,55
3.2	PHT 1,5 M	5,34	4,42	5,31	4,50	5,02	4,59
4	1 GRID						
4.1	PHT 3 M	6,83	3,97	6,64	4,50	5,59	3,95
4.2	PHT 1,5 M	6,80	4,02	6,55	4,10	5,56	3,96

4. Hasil dan Pembahasan

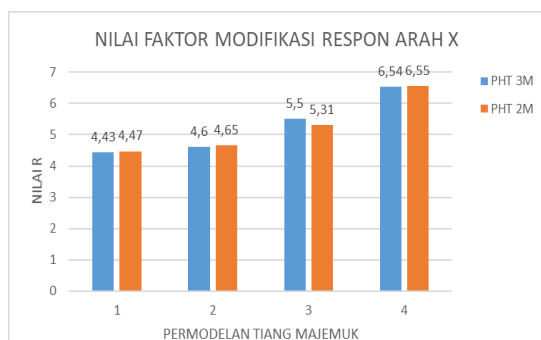
Nilai Faktor Modifikasi Respon untuk setiap tipe tiang ditunjukkan dalam diagram, pada Gambar 14 – 19 berikut:



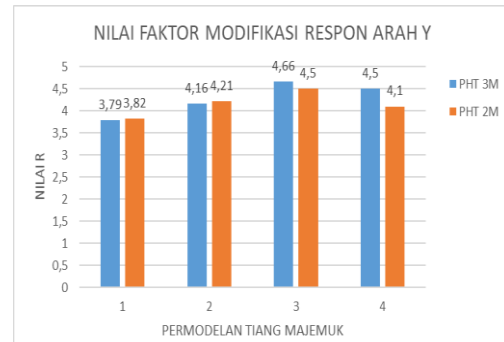
Gambar 14. Nilai Modifikasi Respon arah X untuk Tiang Tegak



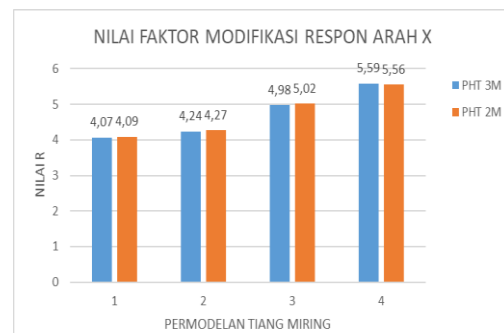
Gambar 15. Nilai Modifikasi Respon arah Y untuk Tiang Tegak



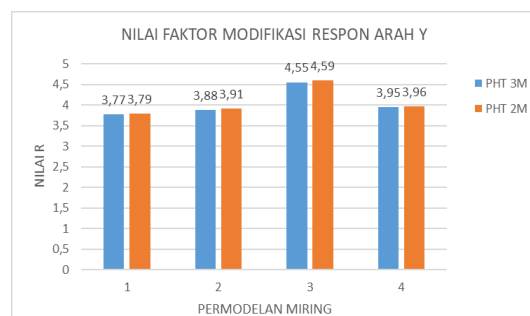
Gambar 16. Nilai Modifikasi Respon arah X untuk Tiang Majemuk



Gambar 17. Nilai Modifikasi Respon arah Y untuk Tiang Majemuk



Gambar 18. Nilai Modifikasi Respon arah X untuk Tiang Miring



Gambar 19. Nilai Modifikasi Respon arah Y untuk Tiang Miring

Berdasarkan diagram tersebut maka diperoleh analisis dan pembahasan sebagai berikut:

- 1) Nilai R berkisar antara 3,7 – 5,5 kecuali pada pemodelan struktur 4 arah x.
- 2) Nilai R tiang tegak dan tiang majemuk hampir sama, sedangkan pada tiang miring nilai R lebih kecil.
- 3) Nilai R arah x meningkat dengan berkurangnya jumlah grid.
- 4) Panjang PHT tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai R .

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Hasil analisis proses kriteria pemilihan nilai Faktor Modifikasi Respon Seismik pada struktur dermaga jetty, dengan menggunakan 3 (tiga) model struktur, yaitu: Jetty tiang tegak, tiang majemuk, dan tiang Miring
- 2) Hasil analisis proses pendekatan pemilihan nilai Faktor Modifikasi Respon Seismik pada struktur dermaga jetty, berdasarkan parameter struktur atas, struktur bawah, sambungan struktur, pembebanan dan material fondasi, lebih mendekati dengan standar SNI 2833 : 2016.
- 3) Evaluasi nilai Faktor Modifikasi Respon Seismik real berdasarkan hasil pushover, dermaga jetty merupakan struktur dengan nilai R dapat ditentukan sebesar 3,5 - 5,5. Nilai ini mendekati dengan nilai R pada SNI 2833: 2016 untuk struktur jembatan dengan bangunan bawah berupa tiang vertikal, tiang miring dan kolom majemuk.

Daftar Pustaka

- Applied Technology Council, ATC-40 (1996)**, ATC 40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Seismic Safety Commission, California: ATC.
- ASCE (2014)**, ASCE 61-14: Seismic Design of Piers and Wharves, ASCE, California.
- ASCE 7 (2010)**, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 7th-10th edn, ASCE, Virginia.
- ASCE 7 (2016)**, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 7th-16th edn, ASCE, Virginia.
- ASCE 7 (2022)**, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 7th-22nd edn, ASCE, Virginia.
- ATC 40, 1996**, Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California.
- Bergman, A. W., Story, S. M., Howard, T. A. and Lighty, T. A. (2016)**, Seismic Design of an Irregular Wharf Utilizing ASCE 61, in 'Ports 2016', pp. 273-282.
- Bowles, J.E, 1977**, Foundation Analysis and Design. McGrawHill, New York.
- Bruin, W., Goel, R. and Galbraith, J. (2016)**, Comparison of Procedures for Computing Seismic Displacement Demand for Concrete Piers and Wharf Structures, in 'Ports 2016', pp. 567-576.
- Dewobroto, W. 2006**, Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa. Jurnal Teknik Sipil Vol.3 no.1 Januari 2006.
- FEMA (2011)**, 'FEMA P-55, Coastal construction manual: Principles and practices of planning, siting, designing, constructing, and maintaining residential buildings in coastal areas'.
- FEMA, P. (2000)**, 'Commentary for the seismic rehabilitation of building, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency', Washington, DC .
- Midas Gen, 2021**, Analysis Reference, Midas User Support System
- Mahmoudi M. (2003)**. "The relationship between overstrength and members ductility of RC moment resisting frames." Pacific Conference on Earthquake Engineering 2003.
- Mahmoudi. M, Zaree. M (2010)**. "Evaluating response modification factors of concentrically braced steel frames." Journal of Constructional Steel Research 66 1196_1204
- Pranata, Y. P, 2006**, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Januari 2006. Universitas Kristen Maranatha, Bandung
- Pranata, Y. A, 2008**, Kajian Daktallitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan dengan Analisis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong). Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8 , No. 8, Juni 2008
- Soil Investigation Report (2019)**, PT. OCENVIRO Consultant,
- SNI 2833: 2016** Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
- SNI 1726: 2019** Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
- Tavio & Usman Wijaya, 2018**, Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja.