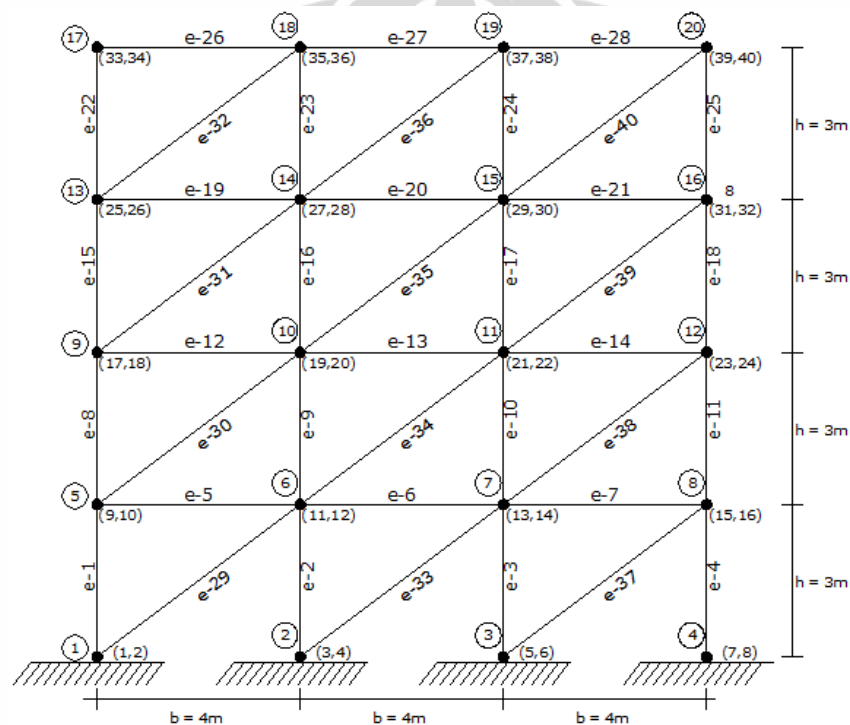


## BAB 4

### ANALISA DAN HASIL

#### 4.1 SIMULASI IDENTIFIKASI LOKASI DAN TINGKAT KERUSAKAN STRUKTUR (3-Bentang, 4-Tingkat Rangka 2D)

Pada simulasi yang pertama ini, yang akan kita lakukan adalah melakukan identifikasi lokasi dan tingkat kerusakan struktur dengan mempergunakan properti modal struktur pada keadaan sebelum dan setelah rusak. Langkah yang diambil adalah memilih suatu model sistem struktur, yaitu sebagai berikut :



Gambar 13. 3-Bentang, 4-Tingkat Rangka 2D

Sistem struktur merupakan struktur rangka batang 2D yang terdiri dari 3 bentang dan 4 tingkat seperti yang diperlihatkan oleh gambar diatas.

Langkah berikutnya adalah memilih elemen-elemen yang akan diinduksikan kerusakan berupa pelemahan kekakuan pada elemen-elemen tersebut. Akan dilakukan tiga proses identifikasi, yaitu :

- a. Identifikasi lokasi dan tingkat kerusakan untuk satu elemen. Elemen yang diambil adalah elemen 33 dengan induksi kerusakan berupa 20 % pelemahan kekakuan.

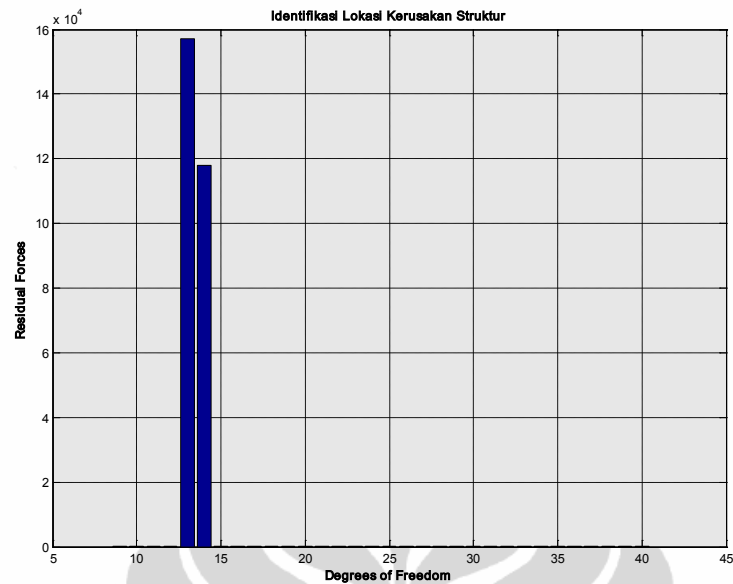
- b. Identifikasi lokasi dan tingkat kerusakan untuk dua elemen. Elemen yang diambil adalah elemen 33 dan elemen 5 dengan masing-masing pelemahan kekakuan sebesar 15% dan 20%, dan
- c. Identifikasi lokasi dan tingkat kerusakan untuk tiga elemen. Elemen yang diambil adalah elemen 19, elemen 11 dan elemen 33 dengan masing-masing pelemahan kekakuan sebesar 12%, 15% dan 20%.

#### **4.1.1 Hasil Identifikasi Lokasi Kerusakan**

Hasil identifikasi lokasi kerusakan adalah berupa vektor gaya residual yang bersesuaian dengan derajat kebebasan (DOF). Vektor gaya residual ini didapatkan dengan menggunakan algoritma metode identifikasi lokasi kerusakan yang memanfaatkan properti dinamik sistem struktur pada kondisi sebelum dan sesudah mengalami kerusakan. Nilai gaya residual untuk DOF-DOF tertentu pada suatu elemen yang mengalami kerusakan, akan jauh lebih besar dibandingkan pada elemen yang tidak mengalami kerusakan. Sehingga dengan merepresentasikan hubungan gaya residual dengan DOF-DOF-nya kita dapat menentukan elemen mana yang mengalami kerusakan. Untuk kesempatan ini, akan digunakan hanya data modal pertama.

Berikut adalah hasil yang didapatkan dari simulasi yang dilakukan :

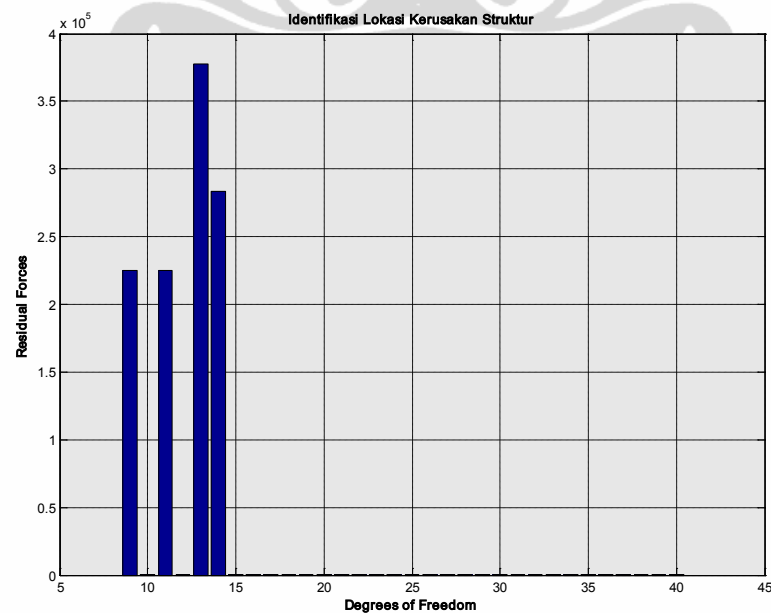
- a. Kerusakan pada elemen 33 (20%)



Gambar 14. Identifikasi Lokasi Kerusakan Elemen 33

Apabila kita lihat hasil yang diberikan, ditunjukkan bahwa kerusakan berada pada elemen yang memiliki DOF ke 13 dan 14. Apabila kita cocokkan dengan gambar 13, elemen yang bercocokkan dengan DOF 13 dan 14 adalah elemen 33, sehingga hasil yang diberikan oleh metode ini adalah akurat.

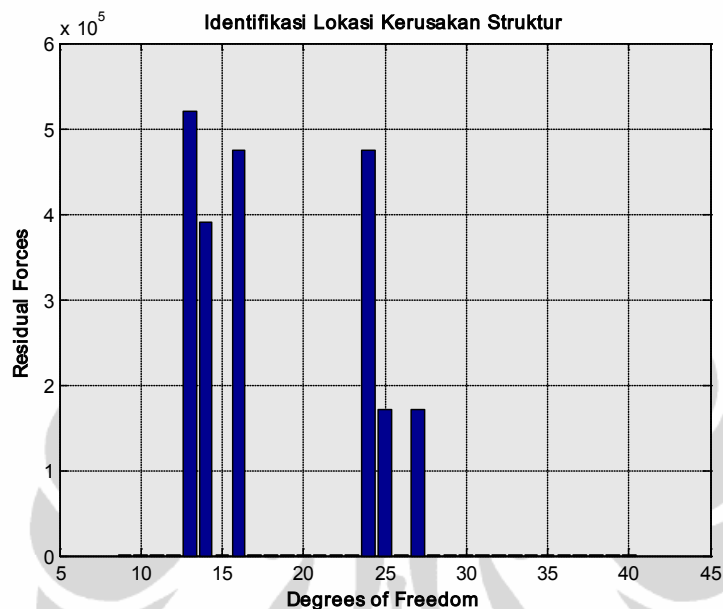
- b. Kerusakan pada elemen 33 (15%) dan elemen 5 (20%)



Gambar 15. Identifikasi Lokasi Kerusakan Elemen 33 dan Elemen 5

Hasil identifikasi menunjukkan nilai gaya residual yang signifikan pada DOF 9 dan 11 yang bersesuaian dengan elemen 5 serta pada DOF 13 dan 14 yang bersesuaian dengan elemen 33. Sehingga hasil yang diberikan cukup akurat.

- c. Kerusakan pada elemen 19 (12%), elemen 11 (15%) dan elemen 33 (20%)



Gambar 16. Identifikasi Lokasi Kerusakan Elemen 19, Elemen 11 dan Elemen 33

Hasil identifikasi lokasi yang diberikan untuk kasus kerusakan 3 elemen sekaligus masih memberikan hasil yang cukup akurat. Dimana gaya residual yang signifikan pada DOF 13 dan 14 bersesuaian dengan elemen 33, lalu pada DOF 16 dan 24 yang bersesuaian dengan elemen 11 serta DOF 25 dan 27 yang bersesuaian dengan elemen 19.

Dari hasil yang didapat dari ketiga proses diatas, dapat diketahui bahwa metode ini cukup efisien dalam mengidentifikasi lokasi kerusakan dengan hanya menggunakan satu set data modal pada kondisi sebelum dan setelah mengalami kerusakan. Juga, apabila kita perhatikan gaya residual signifikan pada elemen vertikal (eq. Elemen 11) dan elemen horizontal (eq. Elemen 19) hanya berada pada DOF vertikal untuk elemen vertikal dan hanya pada DOF horizontal pada elemen horizontal. Hal ini berbeda pada elemen diagonal, dimana gaya residu untuk DOF vertikal dan horizontal memiliki nilai yang relatif sama besar.

#### 4.1.2 Hasil identifikasi Tingkat Kerusakan

Setelah melakukan identifikasi lokasi kerusakan, hal yang dilakukan berikutnya adalah mengidentifikasi tingkat kerusakan yang terjadi untuk masing-masing elemen. Data modal yang digunakan adalah data-data modal awal, data modal 1 dan 2 untuk identifikasi tingkat kerusakan 1 elemen, data modal 1, 2, 3 dan 4 untuk identifikasi tingkat kerusakan 2 elemen dan data modal 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 untuk identifikasi tingkat kerusakan 3 elemen. Dikarenakan dibutuhkan  $2n$  data modal untuk identifikasi  $n$ -elemen. Berikut adalah hasil identifikasi yang didapatkan :

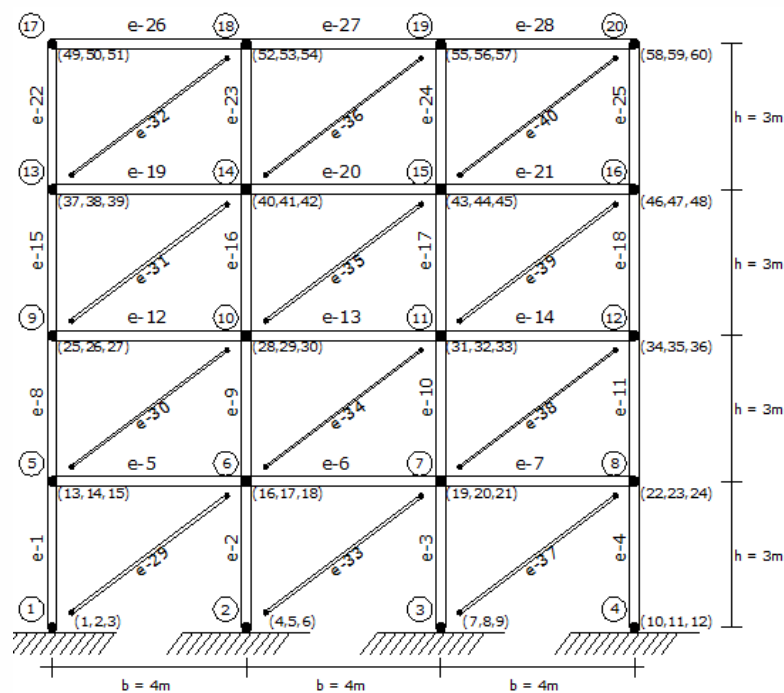
Tabel 1 Hasil Identifikasi Tingkat Kerusakan

	1 elemen	2 elemen		3 elemen		
	El. 33	El. 33	El. 5	El. 19	El. 11	El. 33
$\delta k\text{-real}(\%)$	20	15	20	12	15	20
$\delta k\text{-ident.}(\%)$	<b>21.74</b>	<b>15.71</b>	<b>23.75</b>	<b>18.59</b>	<b>16.31</b>	<b>23.12</b>
<b>error</b> (%)	8.71	4.74	18.76	54.9	8.7393	15.63

Dari tabel diatas, kita ketahui bahwa hasil yang diberikan cukup memuaskan. Hal yang dapat kita amati adalah semakin besarnya error yang terjadi apabila kerusakan yang di-induksikan menjadi semakin besar, selain itu juga error hasil identifikasi juga akan menjadi semakin besar ketika semakin banyak elemen yang mengalami kerusakan secara bersamaan.

#### 4.2 SIMULASI IDENTIFIKASI TINGKAT KERUSAKAN BERDASARKAN LOKASI DAN FUNGSI ELEMEN

Pada kesempatan ini kita masih menggunakan sistem struktur 3-Bentang, 4-Tingkat Rangka 2D, dan sebagai tambahan kita juga menggunakan sistem struktur 3-Bentang, 4-Tingkat yang dimodelkan sebagai portal 2D. Berikut adalah ilustrasi dari sistem struktur 3-Bentang, 4-Tingkat portal 2D :



Gambar 17. Struktur 3-Bentang, 4-Tingkat Portal 2D

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3, hal yang dilakukan pada simulasi ini adalah memilih beberapa elemen berdasarkan lokasi (bawah, tengah dan atas) dan fungsinya (kolom, balok dan pengaku). Kemudian untuk tiap elemen (identifikasi 1 elemen) dilakukan tahapan identifikasi kerusakan untuk interval kerusakan dari 2.5% hingga 40 % dengan peningkatan kerusakan sebesar 2.5%. Setelah itu hasil identifikasi tingkat kerusakan akan dibandingkan dengan tingkat kerusakan yang sebenarnya terjadi, sehingga nilai error dapat diketahui. Dan nilai error inilah yang menjadi alat bagi kita untuk menentukan lokasi dimana dan fungsi sebagai apakah yang memberikan hasil terbaik dan terburuk.

Hasil akhir dari simulasi ini adalah urutan lokasi yang memberikan hasil identifikasi terbaik ke yang terburuk dan urutan secara fungsi (kolom, balok dan pengaku) yang memberikan hasil identifikasi terbaik ke yang terburuk.

Perlu diingat bahwa langkah diatas dilakukan baik untuk sistem struktur yang dimodelkan sebagai rangka 2D dan sebagai portal 2D. Lalu, data modal yang digunakan adalah data modal awal, yaitu data modal pertama dan kedua.

Berikut adalah tabel-tabel yang menunjukkan error antara hasil identifikasi tingkat kerusakan dengan tingkat kerusakan sebenarnya (induksi) untuk dua sistem struktur (rangka 2D dan portal 2D) :

Tabel 2. Error Hasil Identifikasi Tingkat Kerusakan Struktur 3-Bentang, 4-Tingkat Rangka 2D

Besarnya Kerusakan	Persentase Error (Hasil Identifikasi Kerusakan - Kerusakan Induksi)								
	El. 1	El. 8	El. 22	El. 5	El. 12	El. 26	El. 29	El. 30	El. 32
	V-L	V-M	V-U	H-L	H-M	H-U	D-L	D-M	D-U
2.50	2.19	2.23	2.68	2.10	2.15	2.72	1.00	1.56	2.20
5.00	4.48	4.57	5.51	4.30	4.40	5.59	2.02	3.18	4.51
7.50	6.87	7.02	8.50	6.59	6.75	8.63	3.06	4.84	6.92
10.00	9.38	9.60	11.66	8.98	9.21	11.85	4.12	6.56	9.44
12.50	12.01	12.31	15.02	11.49	11.78	15.27	5.20	8.34	12.08
15.00	14.77	15.16	18.58	14.11	14.48	18.90	6.31	10.18	14.85
17.50	17.68	18.16	22.36	16.85	17.31	22.76	7.44	12.08	17.77
20.00	20.73	21.34	26.40	19.74	20.28	26.89	8.59	14.04	20.83
22.50	23.95	24.70	30.72	22.77	23.41	31.30	9.77	16.08	24.05
25.00	27.36	28.26	35.33	25.95	26.70	36.03	10.97	18.19	27.45
27.50	30.96	32.06	40.29	29.31	30.18	41.11	12.20	20.38	31.05
30.00	34.78	36.10	45.62	32.84	33.85	46.59	13.45	22.65	34.84
32.50	38.83	40.41	51.38	36.58	37.73	52.51	14.74	25.01	38.87
35.00	43.15	45.04	57.60	40.53	41.84	58.93	16.05	27.46	43.13
37.50	47.76	50.01	64.36	44.72	46.20	65.91	17.39	30.01	47.67
40.00	52.70	55.38	71.73	49.17	50.84	73.53	18.76	32.66	52.50
$\epsilon$ -min	2.19	2.23	2.68	2.10	2.15	2.72	1.00	1.56	2.20
$\epsilon$ -max	<b>52.70</b>	<b>55.38</b>	<b>71.73</b>	<b>49.17</b>	<b>50.84</b>	<b>73.53</b>	<b>18.76</b>	<b>32.66</b>	<b>52.50</b>

Tabel 3. Error Hasil Identifikasi Tingkat Kerusakan Struktur 3-Bentang, 4-Tingkat Portal 2D

Besarnya Kerusakan	Persentase Error (Hasil Identifikasi Kerusakan - Kerusakan Induksi)								
	El. 1	El. 8	El. 22	El. 5	El. 12	El. 26	El. 29	El. 30	El. 32
	V-L	V-M	V-U	H-L	H-M	H-U	D-L	D-M	D-U
2.50	0.29	2.35	2.28	1.91	2.03	1.25	0.69	1.46	2.09
5.00	0.72	4.79	4.67	3.91	4.14	2.53	1.39	2.96	4.27
7.50	1.29	7.32	7.17	5.98	6.35	3.86	2.10	4.51	6.54
10.00	2.02	9.96	9.80	8.14	8.65	5.24	2.82	6.10	8.92
12.50	2.93	12.70	12.56	10.40	11.05	6.66	3.55	7.74	11.40
15.00	4.02	15.56	15.47	12.76	13.57	8.13	4.28	9.44	14.00
17.50	5.32	18.54	18.53	15.22	16.20	9.66	5.03	11.19	16.72
20.00	6.86	21.65	21.77	17.80	18.96	11.26	5.79	12.99	19.57
22.50	8.65	24.90	25.19	20.50	21.86	12.91	6.56	14.85	22.56
25.00	10.73	28.30	28.82	23.33	24.90	14.64	7.34	16.78	25.71
27.50	13.13	31.86	32.66	26.31	28.10	16.45	8.14	18.77	29.02
30.00	15.88	35.58	36.76	29.43	31.47	18.35	8.95	20.83	32.51
32.50	19.03	39.48	41.12	32.73	35.03	20.34	9.78	22.96	36.19
35.00	22.64	43.58	45.77	36.20	38.79	22.44	10.63	25.16	40.08
37.50	26.76	47.88	50.76	39.86	42.77	24.66	11.49	27.45	44.20
40.00	31.47	52.40	56.12	43.74	46.98	27.01	12.38	29.82	48.57
$\epsilon$ -min	0.29	2.35	2.28	1.91	2.03	1.25	0.69	1.46	2.09
$\epsilon$ -max	<b>31.47</b>	<b>52.40</b>	<b>56.12</b>	<b>43.74</b>	<b>46.98</b>	<b>27.01</b>	<b>12.38</b>	<b>29.82</b>	<b>48.57</b>

Kedua tabel menunjukkan hasil yang relatif serupa, dimana semakin besar tingkat kerusakan yang di-induksi, semakin besar error yang terjadi dari hasil indentifikasi tingkat kerusakan.

Dengan memanfaatkan data error maksimum untuk tiap elemen untuk tiap sistem struktur, kita dapat mengurutkan lokasi mana yang memberikan hasil yang baik dan elemen dengan fungsi apa yang juga memberikan hasil yang baik.

Berikut adalah pengurutan elemen dengan nilai error maksimum paling kecil menuju nilai error maksimum paling besar berdasarkan lokasi atau letak elemen untuk sistem rangka 2D dan portal 2D.



Tabel 4. Pengurutan Berdasarkan Lokasi - Rangka 2D

V-L	52.70			
V-M	55.38			
V-U	71.73			
		H-L	49.17	
		H-M	50.84	
		H-U	73.52	
			D-L	18.76
			D-M	32.66
			D-U	52.5

Tabel 5. Pengurutan Berdasarkan Lokasi - Portal 2D

V-L	31.47			
V-M	52.40			
V-U	56.11			
		H-U	27.01	
		H-L	43.74	
		H-M	46.98	
			D-L	14.57
			D-M	27.90
			D-U	39.73

Dari hasil untuk tiap sistem struktur dengan pemodelan rangka 2D dan portal 2D. Hasil yang didapatkan relatif sama, yaitu elemen yang berada dibagian bawah cenderung memberikan hasil identifikasi yang paling baik, dan elemen yang berada di bagian atas dari suatu sistem struktur memberikan hasil identifikasi yang paling buruk, sedangkan elemen yang berada di bagian tengah berada diantaranya. Hal ini cukup masuk akal, dikarenakan elemen pada bagian bawah struktur berada paling dekat dengan perletakan sehingga elemen pada bagian ini lebih sensitif terhadap eksitasi.

Kemudian berikut adalah bagaimana penulis mengurutkan elemen-elemen secara fungsi (kolom-vertikal, balok-horizontal dan pengaku-diagonal).

Tabel 6. Urutan Elemen Berdasarkan Error Maksimum (Rangka 2D)

Rank	Elemen	$\epsilon_{\max}$
1	D-L	18.76
2	D-M	32.66
3	H-L	49.17
4	H-M	50.84
5	D-U	52.50
6	V-L	52.70
7	V-M	55.37
8	V-U	71.73
9	H-U	73.52

Berikut adalah hasil pengamatan dari tabel diatas :

- Elemen pengaku (diagonal-D) pada urutan : 1, 2 dan 5
- Elemen balok (horizontal-H) pada urutan : 3, 4 dan 9
- Elemen kolom (vertikal-V) pada urutan 6, 7 dan 8

Berdasarkan hasil ini, pengurutan elemen berdasarkan fungsinya yang memberikan hasil identifikasi yang baik untuk sistem rangka 2D adalah elemen diagonal (pengaku), elemen horizontal (balok) dan yang terakhir adalah elemen vertikal (kolom).

Tabel 7. Urutan Elemen Berdasarkan Error Maksimum (Portal 2D)

Rank	Elemen	$\epsilon_{\max}$
1	D-L	12.37
2	H-U	27.01
3	D-M	29.82
4	V-L	31.47
5	H-L	43.74
6	H-M	46.98
7	D-U	48.56
8	V-M	52.40
9	V-U	56.11

Hasil pengamatan dari tabel diatas :

- Elemen pengaku (diagonal-D) pada urutan : 1, 3 dan 7
- Elemen balok (horizontal-H) pada urutan : 2, 5 dan 6

- Elemen kolom (vertikal-V) pada urutan 4, 8 dan 9

Hasil yang didapatkan untuk sistem struktur dengan portal 2D memberikan hasil yang relatif sama dengan rangka 2D. Dimana elemen diagonal memberikan hasil terbaik, diikuti oleh elemen horizontal dan elemen vertikal.

Yang menjadi penyebab elemen diagonal menjadi elemen yang memberikan hasil yang terbaik adalah disebabkan bahwa kedua DOF yang berada pada kedua nodal elemen diagonal secara merata ter-eksitasi, hal ini bisa dilihat dari hasil identifikasi lokasi kerusakan pada simulasi pertama. Elemen diagonal cenderung merepresentasikan gaya residual untuk setiap DOF pada nodal-nodalnya. Hal ini berbeda dengan elemen horizontal dan vertikal, dimana hanya satu DOF dari tiap nodal yang memiliki nilai gaya residual. Selain itu secara fungsi, elemen diagonal atau elemen pengaku memiliki andil yang cukup besar dalam perubahan properti dinamik apabila kekakuannya berkurang.

Sebagai bukti, apabila kita mengurangi kekakuan elemen ke-2 pada sistem struktur 3-bentang, 4-tingkat rangka 2D sebesar 20% yang merupakan elemen vertikal, perubahan nilai eigen untuk data modal pertama adalah sebesar 17.7. Lalu hal yang sama dilakukan pada elemen ke-33 yang merupakan elemen diagonal, perubahan nilai eigen untuk data modal pertama adalah sebesar 599. Kemudian untuk elemen horizontal, kita melakukan hal yang sama pada elemen ke-6, perubahan nilai eigen-nya adalah sebesar 129.6.

Untuk kembali menyimpulkan, diketahui bahwa untuk metode identifikasi tingkat kerusakan struktur pada penelitian ini, yang dilakukan pada sistem struktur 3-bentang, 4-tingkat dan rangka 2D atau portal 2D, secara letak; elemen yang berada di bagian bawah (L) struktur akan memberikan hasil identifikasi yang paling baik, diikuti oleh elemen pada bagian tengah (M) dan bagian atas (U). Kemudian secara fungsi, elemen diagonal (D) memberikan hasil terbaik, diikuti oleh elemen horizontal (H) dan vertikal (V).

#### **4.3 SIMULASI IDENTIFIKASI TINGKAT KERUSAKAN STRUKTUR DENGAN VARIASI PENAMBAHAN BENTANG DAN TINGKAT**

Pada simulasi ketiga ini, hal yang akan dilakukan adalah mengetahui efek penambahan bentang dan penambahan tingkat pada suatu sistem struktur terhadap hasil identifikasi kerusakan struktur. Langkah yang diambil adalah membentuk

suatu nilai yang merepresentasikan error global hasil identifikasi tingkat kerusakan struktur untuk satu sistem struktur. Sehingga nantinya kita mampu membandingkan error global pada suatu sistem struktur dengan sistem struktur lainnya yang memiliki jumlah bentang atau tingkat yang lebih banyak atau lebih sedikit. Cara yang diajukan oleh penulis untuk mengekstraksi nilai error global ini adalah dengan mengambil beberapa elemen dari suatu sistem struktur yang merepresentasikan keseluruhan dari sistem struktur tersebut (elemen vertikal, horizontal, diagonal, dengan letak dibagian bawah, tengah dan atas), lalu secara individual diinduksi dengan kerusakan (pelemahan kekakuan 2.5%-40%). Kemudian penggunaan metode identifikasi tingkat kerusakan dengan properti dinamik yang hasilnya dibandingkan dengan besar induksi kerusakan yang diberikan, sehingga untuk tiap-tiap elemen akan memberikan error maksimum, yang kemudian data error maksimum semua elemen yang ditinjau akan dirata-ratakan. Dan pada akhirnya nilai error maksimum rata-rata inilah yang menjadi error global suatu sistem struktur.

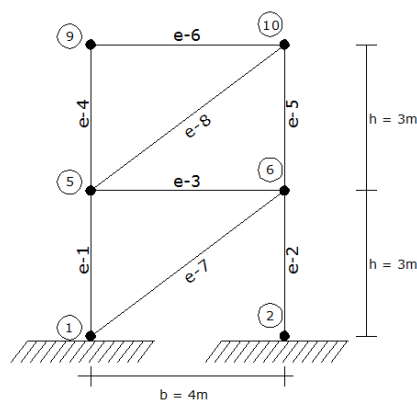
Dalam simulasi ini semua sistem struktur akan dimodelkan dengan menggunakan elemen rangka batang dua dimensi, dan data modal yang digunakan adalah data modal awal, yaitu data modal pertama dan kedua.

#### 4.3.1 Penambahan Bentang

Berikut adalah proses analisa penentuan nilai error global untuk tiap sistem struktur dengan melakukan variasi penambahan bentang, yaitu sebagai berikut :

- 1-Bentang, 2-Tingkat

Ilustrasi sistem struktur :



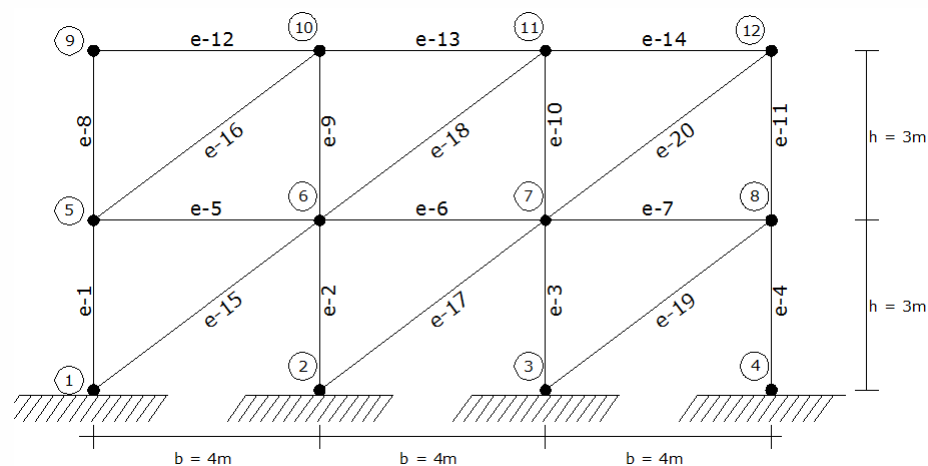
Gambar 18. Struktur 1-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

Tabel hasil identifikasi tingkat kerusakan dan penentuan nilai error global sistem struktur :

Tabel 8. Analisa Error Global Struktur 1-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

Elemen Diagonal (Bracing)			Elemen Horizontal (Balok)			Elemen Vertikal (Kolom)		
% Damage Severity	El. 7	El. 8	% Damage Severity	El. 3	El. 6	% Damage Severity	EL. 1	El. 4
	D-L	D-U		H-L	H-U		V-L	V-U
2.50	2.00	3.36	2.50	2.45	2.46	2.50	2.21	2.29
5.00	4.07	6.92	5.00	5.03	5.04	5.00	4.51	4.69
7.50	6.23	10.72	7.50	7.74	7.75	7.50	6.92	7.20
10.00	8.47	14.75	10.00	10.59	10.61	10.00	9.43	9.85
12.50	10.79	19.05	12.50	13.60	13.63	12.50	12.07	12.62
15.00	13.21	23.64	15.00	16.77	16.81	15.00	14.83	15.55
17.50	15.73	28.55	17.50	20.13	20.18	17.50	17.73	18.64
20.00	18.35	33.82	20.00	23.69	23.75	20.00	20.77	21.91
22.50	21.07	39.46	22.50	27.46	27.53	22.50	23.97	25.37
25.00	23.91	45.53	25.00	31.47	31.56	25.00	27.33	29.04
27.50	26.86	52.06	27.50	35.74	35.84	27.50	30.88	32.95
30.00	29.94	59.11	30.00	40.29	40.42	30.00	34.61	37.11
32.50	33.15	66.73	32.50	45.16	45.31	32.50	38.56	41.57
35.00	36.48	74.98	35.00	50.38	50.55	35.00	42.74	46.35
37.50	39.96	83.93	37.50	55.98	56.19	37.50	47.16	51.49
40.00	43.58	93.65	40.00	62.02	62.27	40.00	51.84	57.04
$\epsilon$ -max	43.58	93.65	$\epsilon$ -max	62.02	62.27	$\epsilon$ -max	51.84	57.04
$\epsilon$ m-avg	68.62		$\epsilon$ m-avg	62.15		$\epsilon$ m-avg	54.44	
ERROR GLOBAL						61.73		

• 3-Bentang, 2-Tingkat

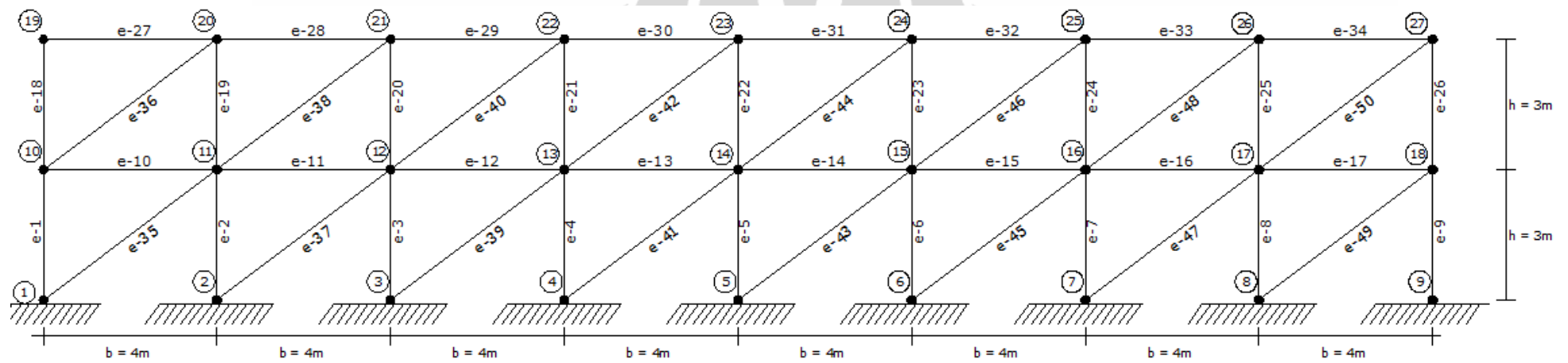


Gambar 19. Struktur 3-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

Tabel 9. Analisa Error Global Struktur 3-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

Elemen Diagonal (Bracing)					Elemen Horizontal (Balok)					Elemen Vertikal (Kolom)				
% Damage Severity	El.15	El.17	El.16	El.18	% Damage Severity	El.5	El.6	El.12	El.13	% Damage Severity	El.1	El.2	El.8	El.9
	D-S-L	D-C-L	D-S-U	D-C-U		H-S-L	H-C-L	H-S-U	H-C-U		V-S-L	V-C-L	V-S-U	V-C-U
2.50	0.63	0.80	2.10	2.53	2.50	0.82	1.47	3.07	3.29	2.50	2.28	1.74	3.19	3.34
5.00	1.27	1.61	4.28	5.16	5.00	1.59	2.96	6.33	6.78	5.00	4.64	3.53	6.59	6.90
7.50	1.92	2.44	6.54	7.92	7.50	2.31	4.49	9.81	10.49	7.50	7.11	5.34	10.22	10.72
10.00	2.57	3.28	8.90	10.80	10.00	2.96	6.05	13.51	14.44	10.00	9.68	7.18	14.10	14.81
12.50	3.23	4.13	11.35	13.81	12.50	3.54	7.64	17.47	18.66	12.50	12.36	9.04	18.27	19.22
15.00	3.91	4.99	13.91	16.96	15.00	4.01	9.26	21.71	23.16	15.00	15.15	10.91	22.75	23.97
17.50	4.58	5.87	16.57	20.25	17.50	4.37	10.90	26.26	27.98	17.50	18.06	12.78	27.58	29.12
20.00	5.27	6.76	19.34	23.70	20.00	4.59	12.56	31.15	33.13	20.00	21.10	14.62	32.80	34.70
22.50	5.97	7.66	22.23	27.32	22.50	4.65	14.24	36.43	38.67	22.50	24.27	16.40	38.46	40.77
25.00	6.68	8.58	25.25	31.11	25.00	4.50	15.93	42.14	44.61	25.00	27.59	18.09	44.62	47.41
27.50	7.39	9.51	28.40	35.08	27.50	4.11	17.63	48.34	51.00	27.50	31.06	19.63	51.35	54.70
30.00	8.11	10.46	31.68	39.25	30.00	3.44	19.33	55.09	57.87	30.00	34.70	20.93	58.73	62.72
32.50	8.85	11.42	35.12	43.63	32.50	2.42	21.01	62.46	65.29	32.50	38.54	21.88	66.85	71.60
35.00	9.59	12.40	38.71	48.23	35.00	0.98	22.67	70.54	73.28	35.00	42.61	22.29	75.84	81.48
37.50	10.35	13.39	42.47	53.05	37.50	0.95	24.29	79.43	81.91	37.50	46.95	21.89	85.84	92.54
40.00	11.11	14.40	46.40	58.12	40.00	3.49	25.84	89.26	91.22	40.00	51.63	20.24	97.03	104.99
$\epsilon$ -max	11.11	14.40	46.40	58.12	$\epsilon$ -max	4.65	25.84	89.26	91.22	$\epsilon$ -max	51.63	22.29	97.03	104.99
$\epsilon$ -avg	32.51				$\epsilon$ -avg	52.74				$\epsilon$ -avg	68.99			
ERROR GLOBAL													51.41	

- 8-Bentang, 2-Tingkat



Gambar 20. Struktur 8-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

Tabel 10. Analisa Error Global Struktur 8-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	$\epsilon$ -max
EL.35	D-S-L	1.12	2.26	3.42	4.61	5.81	7.03	8.28	9.55	10.84	12.16	13.50	14.86	16.25	17.66	19.10	20.57	<b>20.57</b>
EL.41	D-C-L	0.91	1.83	2.77	3.72	4.69	5.68	6.69	7.71	8.75	9.81	10.89	11.99	13.11	14.26	15.42	16.60	<b>16.60</b>
EL.36	D-S-U	1.55	3.15	4.79	6.49	8.23	10.03	11.89	13.81	15.79	17.83	19.94	22.12	24.37	26.69	29.09	31.57	<b>31.57</b>
EL.42	D-C-U	1.36	2.76	4.20	5.68	7.21	8.77	10.38	12.04	13.75	15.52	17.33	19.21	21.14	23.14	25.20	27.33	<b>27.33</b>
EL.10	H-S-L	2.26	4.63	7.10	9.70	12.42	15.28	18.29	21.46	24.80	28.33	32.06	36.01	40.21	44.66	49.41	54.47	<b>54.47</b>
EL.13	H-C-L	1.74	3.54	5.41	7.34	9.34	11.42	13.58	15.83	18.16	20.59	23.12	25.76	28.51	31.39	34.39	37.53	<b>37.53</b>
EL.27	H-S-U	2.79	5.74	8.87	12.18	15.70	19.45	23.45	27.73	32.31	37.23	42.53	48.26	54.46	61.20	68.56	76.61	<b>76.61</b>
EL.30	H-C-U	1.90	3.88	5.93	8.06	10.28	12.58	14.99	17.50	20.11	22.84	25.70	28.69	31.81	35.09	38.53	42.15	<b>42.15</b>
EL.1	V-S-L	2.39	4.90	7.53	10.28	13.18	16.23	19.44	22.83	26.40	30.18	34.17	38.40	42.88	47.63	52.68	58.05	<b>58.05</b>
EL.3	V-SC-L	1.97	4.02	6.16	8.38	10.69	13.10	15.62	18.25	20.99	23.87	26.87	30.02	33.33	36.79	40.44	44.27	<b>44.27</b>
EL.5	V-C-L	1.96	4.01	6.13	8.34	10.64	13.04	15.54	18.15	20.88	23.73	26.72	29.85	33.12	36.56	40.17	43.97	<b>43.97</b>
EL.18	V-S-U	2.75	5.66	8.73	11.99	15.45	19.13	23.05	27.24	31.72	36.53	41.70	47.28	53.32	59.87	67.01	74.81	<b>74.81</b>
EL.20	V-SC-U	2.32	4.75	7.31	9.98	12.79	15.75	18.87	22.16	25.64	29.31	33.21	37.35	41.75	46.43	51.43	56.79	<b>56.79</b>
EL.22	V-C-U	2.40	4.93	7.58	10.36	13.30	16.39	19.66	23.12	26.78	30.67	34.80	39.21	43.91	48.93	54.33	60.12	<b>60.12</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>46.06</b>



- 10-Bentang, 2-Tingkat

Tabel 11. Analisa Error Global Struktural 10-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	$\epsilon$ -max
El.43	D-S-L	1.59	3.21	4.85	6.53	8.24	9.99	11.77	13.58	15.42	17.31	19.22	21.18	23.17	25.20	27.27	29.38	<b>29.38</b>
El.47	D-SC-L	0.91	1.82	2.76	3.71	4.67	5.66	6.65	7.67	8.70	9.75	10.82	11.90	13.01	14.13	15.27	16.44	<b>16.44</b>
El.51	D-C-L	1.09	2.19	3.32	4.48	5.65	6.85	8.08	9.33	10.60	11.91	13.24	14.60	15.99	17.41	18.86	20.34	<b>20.34</b>
El.44	D-S-U	1.71	3.48	5.31	7.21	9.18	11.21	13.33	15.52	17.81	20.18	22.64	25.21	27.89	30.68	33.59	36.63	<b>36.63</b>
El.48	D-SC-U	1.45	2.94	4.48	6.06	7.69	9.37	11.10	12.89	14.74	16.65	18.62	20.66	22.77	24.96	27.22	29.56	<b>29.56</b>
El.52	D-C-U	1.41	2.87	4.36	5.90	7.49	9.12	10.80	12.54	14.33	16.18	18.08	20.05	22.09	24.20	26.38	28.63	<b>28.63</b>
El.12	H-S-L	2.14	4.37	6.70	9.13	11.68	14.35	17.15	20.08	23.17	26.41	29.83	33.44	37.24	41.27	45.54	50.06	<b>50.06</b>
El.14	H-SC-L	1.79	3.65	5.58	7.57	9.65	11.80	14.05	16.38	18.81	21.34	23.98	26.74	29.62	32.64	35.80	39.11	<b>39.11</b>
El.16	H-C-L	1.75	3.55	5.43	7.37	9.38	11.47	13.65	15.91	18.25	20.70	23.25	25.91	28.68	31.58	34.61	37.79	<b>37.79</b>
El.33	H-S-U	2.76	5.67	8.75	12.02	15.49	19.19	23.12	27.33	31.83	36.66	41.85	47.46	53.52	60.11	67.28	75.12	<b>75.12</b>
El.35	H-SC-U	2.21	4.51	6.92	9.44	12.08	14.85	17.75	20.81	24.02	27.40	30.97	34.74	38.72	42.94	47.42	52.17	<b>52.17</b>
El.37	H-C-U	1.94	3.96	6.05	8.23	10.50	12.87	15.34	17.92	20.61	23.43	26.39	29.48	32.73	36.14	39.72	43.50	<b>43.50</b>
El.1	V-S-L	2.42	4.95	7.61	10.40	13.34	16.44	19.70	23.15	26.80	30.66	34.75	39.10	43.72	48.64	53.89	59.49	<b>59.49</b>
El.3	V-SC-L	2.01	4.11	6.29	8.57	10.94	13.42	16.01	18.72	21.55	24.53	27.65	30.92	34.37	37.99	41.81	45.85	<b>45.85</b>
El.6	V-C-L	1.99	4.06	6.21	8.45	10.79	13.23	15.78	18.44	21.23	24.14	27.20	30.41	33.78	37.32	41.05	44.98	<b>44.98</b>
El.22	V-S-U	2.72	5.60	8.63	11.85	15.27	18.90	22.77	26.89	31.30	36.03	41.12	46.59	52.51	58.93	65.91	73.52	<b>73.52</b>
El.24	V-SC-U	2.36	4.84	7.44	10.18	13.05	16.08	19.28	22.66	26.23	30.01	34.03	38.31	42.86	47.73	52.93	58.52	<b>58.52</b>
El.27	V-C-U	2.40	4.93	7.57	10.36	13.30	16.39	19.66	23.12	26.78	30.67	34.80	39.20	43.90	48.93	54.32	60.12	<b>60.12</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>44.51</b>

- 12-Bentang, 2-Tingkat

Tabel 12. Analisa Error Global Struktur 12-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	$\epsilon$ -max
El.51	D-S-L	2.18	4.41	6.67	8.98	11.34	13.73	16.18	18.67	21.21	23.79	26.42	29.11	31.84	34.63	37.47	40.36	<b>40.36</b>
El.57	D-SC-L	1.02	2.06	3.11	4.19	5.28	6.40	7.53	8.69	9.87	11.07	12.30	13.54	14.82	16.11	17.43	18.78	<b>18.78</b>
El.61	D-C-L	1.29	2.61	3.95	5.33	6.74	8.18	9.66	11.17	12.72	14.31	15.93	17.60	19.31	21.05	22.85	24.69	<b>24.69</b>
El.52	D-S-U	1.82	3.71	5.67	7.70	9.82	12.02	14.30	16.69	19.17	21.76	24.47	27.30	30.25	33.35	36.60	40.01	<b>40.01</b>
El.58	D-SC-U	1.47	2.97	4.53	6.13	7.78	9.48	11.24	13.05	14.92	16.86	18.86	20.93	23.07	25.29	27.59	29.98	<b>29.98</b>
El.62	D-C-U	1.47	2.97	4.53	6.13	7.78	9.48	11.24	13.05	14.93	16.86	18.87	20.94	23.09	25.31	27.61	30.00	<b>30.00</b>
El.14	H-S-L	1.95	3.98	6.08	8.27	10.55	12.93	15.40	17.98	20.67	23.49	26.42	29.50	32.71	36.08	39.61	43.31	<b>43.31</b>
El.17	H-SC-L	1.76	3.59	5.49	7.45	9.49	11.61	13.81	16.10	18.48	20.96	23.55	26.25	29.07	32.02	35.10	38.33	<b>38.33</b>
El.19	H-C-L	1.76	3.57	5.46	7.41	9.44	11.55	13.73	16.01	18.38	20.84	23.41	26.09	28.89	31.82	34.88	38.09	<b>38.09</b>
El.39	H-S-U	2.73	5.62	8.67	11.91	15.34	19.00	22.88	27.04	31.48	36.24	41.36	46.88	52.85	59.32	66.37	74.06	<b>74.06</b>
El.42	H-SC-U	2.11	4.31	6.61	9.00	11.51	14.13	16.88	19.76	22.78	25.96	29.30	32.82	36.53	40.45	44.60	49.00	<b>49.00</b>
El.44	H-C-U	1.98	4.03	6.17	8.40	10.72	13.14	15.67	18.31	21.08	23.98	27.02	30.21	33.56	37.09	40.81	44.73	<b>44.73</b>
El.1	V-S-L	2.44	5.00	7.68	10.51	13.48	16.62	19.93	23.43	27.14	31.07	35.24	39.68	44.41	49.46	54.86	60.64	<b>60.64</b>
El.4	V-SC-L	2.03	4.15	6.35	8.66	11.06	13.56	16.19	18.93	21.81	24.83	28.00	31.33	34.84	38.54	42.44	46.57	<b>46.57</b>
El.7	V-C-L	2.01	4.11	6.29	8.56	10.94	13.41	16.00	18.71	21.55	24.52	27.64	30.91	34.36	37.99	41.82	45.86	<b>45.86</b>
El.26	V-S-U	2.71	5.56	8.59	11.78	15.18	18.78	22.62	26.72	31.09	35.78	40.82	46.24	52.10	58.45	65.35	72.87	<b>72.87</b>
El.29	V-SC-U	2.35	4.82	7.40	10.12	12.98	15.99	19.16	22.51	26.06	29.81	33.80	38.03	42.55	47.36	52.52	58.04	<b>58.04</b>
El.32	V-C-U	2.41	4.93	7.58	10.37	13.31	16.41	19.68	23.14	26.81	30.70	34.84	39.25	43.96	49.00	54.40	60.21	<b>60.21</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>45.31</b>

- 14-Bentang, 2-Tingkat

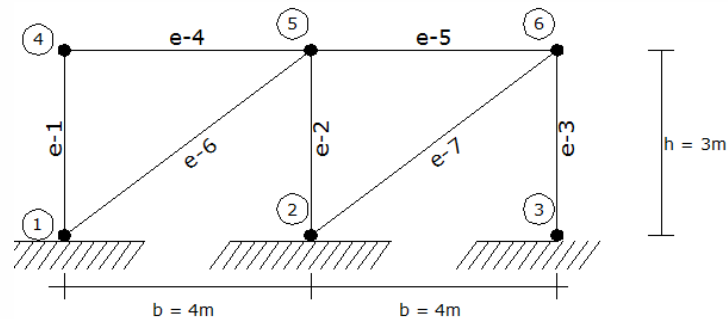
Tabel 13. Analisa Error Global Struktur 14-Bentang, 2-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	$\epsilon$ -max
El.59	D-S-L	2.89	5.82	8.82	11.86	14.96	18.12	21.34	24.61	27.94	31.33	34.78	38.30	41.87	45.51	49.22	52.98	<b>52.98</b>
El.65	D-SC-L	1.22	2.47	3.74	5.04	6.36	7.70	9.08	10.48	11.91	13.36	14.85	16.37	17.92	19.50	21.12	22.76	<b>22.76</b>
El.71	D-C-L	1.50	3.03	4.61	6.22	7.88	9.58	11.33	13.12	14.97	16.86	18.80	20.80	22.86	24.97	27.14	29.38	<b>29.38</b>
El.60	D-S-U	1.92	3.92	6.00	8.16	10.41	12.76	15.20	17.76	20.43	23.22	26.15	29.22	32.43	35.82	39.37	43.12	<b>43.12</b>
El.66	D-SC-U	1.54	3.13	4.77	6.46	8.21	10.01	11.88	13.80	15.80	17.86	20.00	22.21	24.51	26.89	29.36	31.93	<b>31.93</b>
El.72	D-C-U	1.52	3.08	4.70	6.36	8.08	9.85	11.68	13.58	15.54	17.57	19.67	21.84	24.10	26.44	28.87	31.40	<b>31.40</b>
El.16	H-S-L	1.70	3.46	5.27	7.14	9.07	11.06	13.11	15.22	17.40	19.64	21.95	24.32	26.76	29.27	31.84	34.46	<b>34.46</b>
El.19	H-SC-L	1.78	3.63	5.55	7.53	9.60	11.74	13.97	16.29	18.71	21.23	23.85	26.60	29.46	32.46	35.60	38.90	<b>38.90</b>
El.22	H-C-L	1.77	3.59	5.49	7.45	9.49	11.61	13.82	16.11	18.49	20.98	23.57	26.27	29.10	32.05	35.14	38.38	<b>38.38</b>
El.45	H-S-U	2.71	5.58	8.61	11.81	15.22	18.83	22.68	26.79	31.19	35.89	40.95	46.40	52.28	58.66	65.60	73.17	<b>73.17</b>
El.48	H-SC-U	2.16	4.41	6.76	9.22	11.79	14.48	17.31	20.28	23.40	26.68	30.14	33.79	37.65	41.73	46.06	50.65	<b>50.65</b>
El.51	H-C-U	2.01	4.09	6.27	8.53	10.90	13.36	15.95	18.65	21.47	24.44	27.55	30.82	34.26	37.89	41.71	45.75	<b>45.75</b>
El.1	V-S-L	2.46	5.04	7.76	10.61	13.63	16.80	20.16	23.71	27.47	31.47	35.72	40.25	45.08	50.24	55.77	61.71	<b>61.71</b>
El.4	V-SC-L	2.08	4.25	6.51	8.87	11.34	13.92	16.62	19.46	22.43	25.55	28.84	32.31	35.96	39.82	43.90	48.22	<b>48.22</b>
El.7	V-C-L	2.02	4.13	6.32	8.61	11.00	13.49	16.10	18.83	21.69	24.69	27.84	31.14	34.63	38.29	42.16	46.25	<b>46.25</b>
El.30	V-S-U	2.70	5.55	8.56	11.75	15.13	18.72	22.54	26.61	30.97	35.64	40.65	46.04	51.86	58.17	65.02	72.50	<b>72.50</b>
El.33	V-SC-U	2.39	4.90	7.53	10.30	13.22	16.29	19.54	22.97	26.60	30.46	34.55	38.91	43.57	48.54	53.87	59.60	<b>59.60</b>
El.36	V-C-U	2.41	4.95	7.61	10.41	13.36	16.47	19.75	23.23	26.92	30.83	34.99	39.43	44.16	49.23	54.67	60.52	<b>60.52</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>46.76</b>

### 4.3.2 Penambahan Tingkat

Berikut adalah proses analisa penentuan nilai error global untuk tiap sistem struktur dengan melakukan variasi penambahan tingkat, yaitu sebagai berikut :

- 2-Bentang, 1-Tingkat

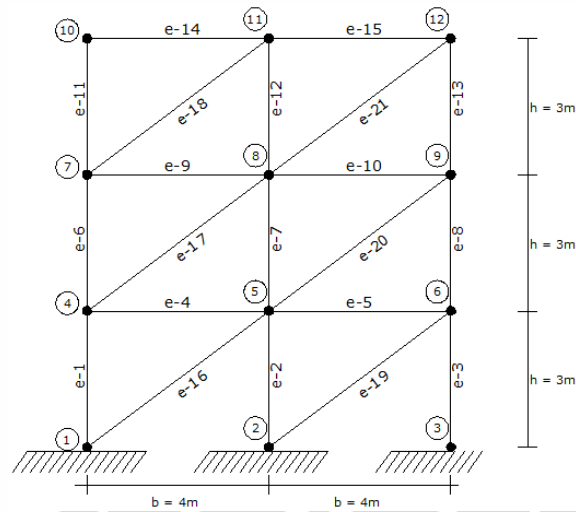


Gambar 21. Struktur 2-Bentang, 1-Tingkat Rangka 2D

Tabel 14. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 1-Tingkat Rangka 2D

Elemen Diagonal (Bracing)		Elemen Horizontal (Balok)		Elemen Vertikal (Kolom)	
% Damage Severity	El. 7	% Damage Severity	El. 4	% Damage Severity	EL. 2
	D-L		H-L		V-L
2.50	0.88	2.50	2.61	2.50	1.95
5.00	1.77	5.00	5.33	5.00	3.94
7.50	2.67	7.50	8.14	7.50	5.94
10.00	3.59	10.00	11.06	10.00	7.95
12.50	4.52	12.50	14.09	12.50	9.95
15.00	5.47	15.00	17.23	15.00	11.88
17.50	6.44	17.50	20.48	17.50	13.71
20.00	7.41	20.00	23.84	20.00	15.34
22.50	8.41	22.50	27.31	22.50	16.65
25.00	9.42	25.00	30.89	25.00	17.43
27.50	10.44	27.50	34.58	27.50	17.33
30.00	11.48	30.00	38.38	30.00	15.71
32.50	12.54	32.50	42.28	32.50	11.34
35.00	13.62	35.00	46.28	35.00	1.43
37.50	14.71	37.50	50.36	37.50	21.70
40.00	15.82	40.00	54.53	40.00	89.13
$\varepsilon$ -max	15.82	$\varepsilon$ -max	54.53	$\varepsilon$ -max	89.13
$\varepsilon$ -avg	15.82	$\varepsilon$ -avg	54.53	$\varepsilon$ -avg	89.13
ERROR GLOBAL				53.16	

- 2-Bentang, 3-Tingkat



Gambar 22. Struktur 2-Bentang, 3-Tingkat Rangka 2D

Tabel 15. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 3-Tingkat Rangka 2D

Elemen Diagonal (Bracing)				Elemen Horizontal (Balok)				Elemen Vertikal (Kolom)			
% Damage Severity	El.16	El.17	El.18	% Damage Severity	El.4	El.9	El.14	% Damage Severity	El.1	El.6	El.11
	D-L	D-M	D-U		H-L	H-M	H-U		V-L	V-M	V-U
2.50	1.09	1.58	2.31	2.50	2.12	2.58	2.80	2.50	2.23	2.03	2.80
5.00	2.20	3.20	4.72	5.00	4.33	5.30	5.75	5.00	4.57	4.15	5.77
7.50	3.34	4.88	7.24	7.50	6.64	8.17	8.88	7.50	7.01	6.34	8.91
10.00	4.50	6.61	9.89	10.00	9.05	11.20	12.20	10.00	9.56	8.63	12.24
12.50	5.69	8.40	12.66	12.50	11.57	14.39	15.73	12.50	12.24	11.01	15.78
15.00	6.90	10.25	15.58	15.00	14.22	17.78	19.49	15.00	15.06	13.49	19.55
17.50	8.13	12.16	18.64	17.50	16.99	21.37	23.50	17.50	18.02	16.09	23.57
20.00	9.40	14.14	21.86	20.00	19.90	25.18	27.79	20.00	21.14	18.79	27.88
22.50	10.69	16.18	25.26	22.50	22.95	29.24	32.38	22.50	24.44	21.62	32.50
25.00	12.01	18.30	28.84	25.00	26.17	33.56	37.32	25.00	27.93	24.59	37.46
27.50	13.36	20.49	32.63	27.50	29.56	38.18	42.63	27.50	31.63	27.70	42.80
30.00	14.74	22.76	36.63	30.00	33.13	43.13	48.38	30.00	35.56	30.97	48.58
32.50	16.15	25.12	40.87	32.50	36.91	48.43	54.60	32.50	39.76	34.41	54.84
35.00	17.59	27.57	45.36	35.00	40.91	54.14	61.37	35.00	44.25	38.05	61.65
37.50	19.07	30.10	50.14	37.50	45.15	60.29	68.75	37.50	49.08	41.90	69.09
40.00	20.58	32.74	55.21	40.00	49.64	66.95	76.84	40.00	54.28	45.99	77.24
$\epsilon$ -max	20.58	32.74	55.21	$\epsilon$ -max	49.64	66.95	76.84	$\epsilon$ -max	54.28	45.99	77.24
$\epsilon$ -avg	36.18			$\epsilon$ -avg	64.48			$\epsilon$ -avg	59.17		
ERROR GLOBAL							53.28				

- 2-Bentang, 8-Tingkat

Tabel 16. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 8-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	$\epsilon$ -max
El. 41	D-L	1.50	3.05	4.65	6.29	7.99	9.75	11.56	13.43	15.36	17.37	19.44	21.59	23.81	26.12	28.52	31.00	<b>31.00</b>
El. 42	D-L	1.78	3.63	5.55	7.53	9.60	11.74	13.97	16.29	18.71	21.23	23.86	26.60	29.47	32.48	35.62	38.92	<b>38.92</b>
El. 45	D-M	1.79	3.64	5.57	7.56	9.64	11.79	14.03	16.36	18.79	21.32	23.96	26.71	29.60	32.61	35.77	39.08	<b>39.08</b>
El. 47	D-U	1.97	4.02	6.16	8.38	10.70	13.12	15.65	18.29	21.06	23.96	27.00	30.20	33.56	37.09	40.82	44.76	<b>44.76</b>
El. 48	D-U	2.10	4.29	6.57	8.96	11.45	14.06	16.80	19.67	22.69	25.86	29.21	32.73	36.45	40.39	44.56	48.98	<b>48.98</b>
El. 4	H-L	2.21	4.53	6.95	9.48	12.14	14.93	17.87	20.95	24.21	27.64	31.27	35.11	39.18	43.50	48.11	53.01	<b>53.01</b>
El. 9	H-L	2.23	4.55	6.99	9.54	12.22	15.03	17.99	21.10	24.38	27.84	31.50	35.38	39.49	43.86	48.51	53.47	<b>53.47</b>
El.19	H-M	2.24	4.59	7.04	9.61	12.31	15.15	18.13	21.27	24.58	28.08	31.78	35.71	39.87	44.29	49.01	54.04	<b>54.04</b>
El. 24	H-M	2.38	4.87	7.49	10.24	13.13	16.18	19.40	22.80	26.40	30.21	34.26	38.58	43.17	48.08	53.34	58.98	<b>58.98</b>
El. 34	H-U	2.36	4.84	7.44	10.17	13.05	16.07	19.27	22.64	26.22	30.00	34.03	38.30	42.86	47.73	52.95	58.54	<b>58.54</b>
El. 39	H-U	2.59	5.32	8.20	11.24	14.45	17.86	21.47	25.31	29.41	33.78	38.46	43.48	48.87	54.68	60.97	67.79	<b>67.79</b>
El. 1	V-S-L	2.08	4.26	6.52	8.89	11.37	13.95	16.67	19.51	22.49	25.63	28.93	32.41	36.07	39.95	44.05	48.39	<b>48.39</b>
El. 2	V-C-L	1.85	3.76	5.75	7.82	9.97	12.21	14.54	16.96	19.50	22.14	24.91	27.80	30.83	34.00	37.33	40.84	<b>40.84</b>
El. 6	V-S-L	2.17	4.43	6.80	9.27	11.87	14.58	17.44	20.44	23.59	26.92	30.43	34.13	38.06	42.21	46.63	51.33	<b>51.33</b>
El. 7	V-C-L	2.07	4.22	6.47	8.81	11.26	13.82	16.51	19.32	22.27	25.37	28.63	32.07	35.69	39.52	43.57	47.86	<b>47.86</b>
El. 21	V-S-M	2.38	4.89	7.52	10.28	13.20	16.27	19.52	22.96	26.61	30.49	34.61	39.01	43.72	48.76	54.18	60.03	<b>60.03</b>
El. 22	V-C-M	2.19	4.48	6.87	9.38	12.00	14.75	17.65	20.69	23.89	27.27	30.84	34.61	38.61	42.86	47.37	52.17	<b>52.17</b>
El. 31	V-S-U	2.64	5.43	8.37	11.48	14.77	18.26	21.97	25.92	30.13	34.63	39.46	44.64	50.21	56.24	62.76	69.85	<b>69.85</b>
El. 32	V-C-U	2.23	4.57	7.01	9.57	12.25	15.07	18.03	21.16	24.45	27.92	31.59	35.48	39.61	43.99	48.66	53.64	<b>53.64</b>
El. 36	V-S-U	2.58	5.30	8.17	11.20	14.40	17.79	21.39	25.22	29.29	33.64	38.30	43.28	48.65	54.42	60.67	67.44	<b>67.44</b>
El. 37	V-C-U	2.59	5.33	8.21	11.25	14.47	17.88	21.50	25.34	29.44	33.82	38.50	43.52	48.91	54.73	61.01	67.83	<b>67.83</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>52.76</b>

- 2-Bentang, 10-Tingkat

Tabel 17. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 10-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	$\epsilon$ -max
El.51	D-L	1.53	3.12	4.75	6.43	8.17	9.97	11.83	13.75	15.74	17.80	19.93	22.15	24.44	26.83	29.30	31.88	<b>31.88</b>
El. 52	D-L	1.81	3.68	5.63	7.65	9.75	11.93	14.20	16.56	19.03	21.60	24.28	27.08	30.02	33.09	36.31	39.69	<b>39.69</b>
El. 55	D-M	1.85	3.77	5.76	7.83	9.99	12.23	14.56	17.00	19.54	22.19	24.96	27.87	30.91	34.09	37.44	40.96	<b>40.96</b>
El. 56	D-M	1.84	3.76	5.74	7.81	9.96	12.19	14.52	16.94	19.47	22.11	24.87	27.76	30.79	33.96	37.29	40.79	<b>40.79</b>
El. 59	D-U	1.96	4.00	6.13	8.34	10.65	13.05	15.57	18.20	20.95	23.83	26.85	30.03	33.36	36.88	40.58	44.48	<b>44.48</b>
El. 60	D-U	2.07	4.23	6.48	8.83	11.29	13.86	16.55	19.38	22.34	25.46	28.73	32.18	35.83	39.68	43.75	48.07	<b>48.07</b>
El. 4	H-L	2.22	4.55	6.98	9.53	12.20	15.01	17.96	21.06	24.34	27.79	31.45	35.32	39.42	43.78	48.42	53.37	<b>53.37</b>
El.9	H-L	2.24	4.58	7.03	9.60	12.30	15.13	18.11	21.24	24.55	28.04	31.73	35.65	39.80	44.22	48.92	53.94	<b>53.94</b>
El. 24	H-M	2.25	4.60	7.06	9.64	12.35	15.19	18.19	21.34	24.66	28.17	31.89	35.83	40.01	44.45	49.19	54.25	<b>54.25</b>
El. 29	H-M	2.21	4.52	6.93	9.47	12.12	14.90	17.83	20.91	24.15	27.58	31.19	35.02	39.08	43.39	47.97	52.86	<b>52.86</b>
El. 44	H-U	2.35	4.81	7.40	10.11	12.97	15.97	19.15	22.50	26.04	29.80	33.78	38.02	42.54	47.36	52.52	58.06	<b>58.06</b>
El. 49	H-U	2.58	5.30	8.16	11.18	14.38	17.77	21.36	25.18	29.25	33.59	38.24	43.21	48.56	54.33	60.56	67.31	<b>67.31</b>
El. 1	V-S-L	2.09	4.27	6.54	8.92	11.40	14.00	16.72	19.58	22.57	25.73	29.04	32.54	36.23	40.13	44.27	48.65	<b>48.65</b>
El. 2	V-C-L	1.85	3.78	5.78	7.86	10.02	12.26	14.61	17.05	19.60	22.26	25.04	27.95	31.01	34.21	37.57	41.10	<b>41.10</b>
El. 6	V-S-L	2.16	4.63	7.46	10.69	14.36	18.54	23.29	28.70	34.83	41.81	49.75	58.78	69.07	80.82	94.26	109.65	<b>109.65</b>
El. 7	V-C-L	2.07	4.24	6.49	8.84	11.31	13.88	16.58	19.40	22.37	25.49	28.77	32.23	35.88	39.74	43.82	48.14	<b>48.14</b>
El. 21	V-S-M	2.51	5.16	7.95	10.89	14.00	17.28	20.77	24.47	28.41	32.60	37.09	41.89	47.05	52.60	58.59	65.08	<b>65.08</b>
El. 22	V-C-M	2.17	4.43	6.80	9.28	11.88	14.60	17.45	20.46	23.62	26.95	30.47	34.18	38.11	42.29	46.72	51.43	<b>51.43</b>
El. 26	V-S-M	2.51	5.16	7.94	10.88	13.99	17.28	20.76	24.47	28.41	32.61	37.10	41.92	47.09	52.66	58.68	65.20	<b>65.20</b>
El. 27	V-C-M	2.18	4.46	6.84	9.34	11.95	14.69	17.57	20.60	23.78	27.14	30.69	34.44	38.42	42.63	47.11	51.88	<b>51.88</b>
El. 41	V-S-L	2.55	5.24	8.07	11.05	14.21	17.55	21.09	24.86	28.86	33.13	37.69	42.57	47.81	53.45	59.54	66.13	<b>66.13</b>
El. 42	V-C-L	2.25	4.60	7.06	9.64	12.34	15.18	18.18	21.33	24.65	28.16	31.87	35.80	39.98	44.42	49.15	54.20	<b>54.20</b>
El. 46	V-S-L	2.57	5.29	8.14	11.16	14.35	17.73	21.31	25.12	29.18	33.51	38.13	43.09	48.42	54.17	60.37	67.10	<b>67.10</b>
El. 47	V-C-L	2.25	4.60	7.07	9.65	12.35	15.20	18.18	21.33	24.64	28.13	31.82	35.73	39.86	44.25	48.92	53.88	<b>53.88</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>54.50</b>

- 2-Bentang, 12-Tingkat

Tabel 18. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 12-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	$\epsilon$ -max
El.61	D-L	1.55	3.15	4.80	6.51	8.27	10.09	11.97	13.92	15.94	18.03	20.20	22.45	24.78	27.21	29.73	32.35	<b>32.35</b>
El. 64	D-L	1.86	3.78	5.78	7.86	10.02	12.28	14.62	17.07	19.62	22.28	25.07	27.99	31.04	34.25	37.62	41.16	<b>41.16</b>
El. 65	D-M	1.85	3.78	5.78	7.85	10.01	12.26	14.60	17.05	19.59	22.25	25.04	27.95	31.00	34.20	37.56	41.09	<b>41.09</b>
El. 68	D-M	1.91	3.90	5.97	8.13	10.37	12.70	15.14	17.69	20.35	23.13	26.05	29.10	32.31	35.68	39.23	42.97	<b>42.97</b>
El. 69	D-U	1.89	3.85	5.89	8.02	10.22	12.53	14.92	17.43	20.04	22.78	25.64	28.64	31.78	35.08	38.55	42.21	<b>42.21</b>
El. 72	D-U	2.06	4.20	6.43	8.77	11.20	13.75	16.42	19.22	22.15	25.23	28.47	31.89	35.49	39.29	43.31	47.57	<b>47.57</b>
El. 4	H-L	2.23	4.56	7.00	9.55	12.23	15.04	18.00	21.12	24.40	27.87	31.53	35.41	39.53	43.91	48.57	53.54	<b>53.54</b>
El.9	H-L	2.25	4.60	7.06	9.64	12.34	15.19	18.18	21.33	24.66	28.17	31.88	35.82	40.00	44.44	49.18	54.23	<b>54.23</b>
El. 24	H-M	2.25	4.60	7.06	9.64	12.35	15.20	18.19	21.34	24.67	28.18	31.90	35.84	40.02	44.47	49.21	54.27	<b>54.27</b>
El. 39	H-M	2.27	4.64	7.13	9.74	12.48	15.36	18.39	21.58	24.95	28.52	32.29	36.29	40.54	45.07	49.89	55.05	<b>55.05</b>
El. 44	H-U	2.27	4.64	7.13	9.74	12.48	15.36	18.39	21.59	24.96	28.52	32.30	36.30	40.55	45.08	49.90	55.06	<b>55.06</b>
El. 59	H-U	2.57	5.28	8.14	11.16	14.34	17.72	21.31	25.11	29.17	33.49	38.12	43.08	48.41	54.15	60.35	67.07	<b>67.07</b>
El. 1	V-S-L	2.11	4.30	6.60	8.99	11.50	14.13	16.88	19.76	22.80	25.99	29.35	32.89	36.64	40.60	44.79	49.25	<b>49.25</b>
El. 2	V-C-L	1.86	3.79	5.79	7.87	10.04	12.29	14.64	17.09	19.65	22.32	25.11	28.03	31.10	34.31	37.68	41.23	<b>41.23</b>
El. 16	V-S-LU	2.41	4.94	7.60	10.39	13.33	16.43	19.70	23.16	26.82	30.71	34.83	39.22	43.91	48.91	54.27	60.03	<b>60.03</b>
El. 17	V-C-LU	2.16	4.41	6.76	9.23	11.81	14.51	17.35	20.33	23.47	26.77	30.26	33.94	37.84	41.97	46.36	51.02	<b>51.02</b>
El. 21	V-S-M	1.49	3.00	4.52	6.06	7.61	9.15	10.70	12.22	13.72	15.17	16.56	17.86	19.04	20.07	20.90	21.48	<b>21.48</b>
El. 22	V-C-M	2.16	4.42	6.79	9.26	11.85	14.56	17.41	20.41	23.56	26.88	30.38	34.09	38.01	42.16	46.58	51.27	<b>51.27</b>
El. 36	V-S-MU	2.31	4.73	7.26	9.92	12.69	15.61	18.67	21.89	25.27	28.84	32.60	36.56	40.75	45.17	49.85	54.80	<b>54.80</b>
El. 37	V-C-MU	2.18	4.46	6.85	9.34	11.96	14.70	17.59	20.62	23.81	27.17	30.72	34.48	38.46	42.68	47.16	51.94	<b>51.94</b>
El. 41	V-S-U	2.59	5.32	8.19	11.23	14.44	17.84	21.45	25.28	29.36	33.71	38.36	43.35	48.70	54.46	60.68	67.42	<b>67.42</b>
El. 42	V-C-U	2.19	4.47	6.86	9.36	11.99	14.74	17.62	20.66	23.86	27.23	30.80	34.56	38.55	42.79	47.29	52.09	<b>52.09</b>



El. 56	V-S-UU	2.56	5.27	8.13	11.14	14.32	17.69	21.27	25.07	29.12	33.44	38.05	43.00	48.32	54.04	60.23	66.93	<b>66.93</b>
El. 57	V-C-UU	2.45	5.00	7.69	10.52	13.50	16.65	19.98	23.50	27.24	31.21	35.44	39.94	44.76	49.93	55.47	61.43	<b>61.43</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>50.64</b>

- 2-Bentang, 14-Tingkat

Tabel 19. Analisa Error Global Struktur 2-Bentang, 14-Tingkat Rangka 2D

% Damage Severity		2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	$\epsilon$ -max
El.71	D-L	1.56	3.17	4.84	6.55	8.33	10.16	12.06	14.03	16.06	18.17	20.36	22.62	24.98	27.43	29.98	32.63	<b>32.63</b>
El. 74	D-L	1.87	3.81	5.82	7.92	10.10	12.37	14.73	17.20	19.77	22.46	25.28	28.22	31.31	34.55	37.95	41.54	<b>41.54</b>
El. 76	D-M	1.86	3.80	5.80	7.89	10.06	12.32	14.68	17.14	19.70	22.38	25.18	28.11	31.18	34.41	37.80	41.36	<b>41.36</b>
El. 78	D-M	1.87	3.81	5.82	7.91	10.09	12.36	14.72	17.19	19.76	22.45	25.26	28.20	31.29	34.53	37.93	41.51	<b>41.51</b>
El. 80	D-U	1.89	3.85	5.88	8.00	10.21	12.50	14.90	17.40	20.01	22.74	25.59	28.58	31.72	35.01	38.48	42.12	<b>42.12</b>
El. 84	D-U	2.05	4.18	6.41	8.73	11.15	13.69	16.34	19.12	22.04	25.10	28.32	31.71	35.29	39.07	43.06	47.28	<b>47.28</b>
El. 4	H-L	2.23	4.56	7.00	9.56	12.24	15.06	18.02	21.14	24.43	27.91	31.58	35.47	39.59	43.98	48.64	53.63	<b>53.63</b>
El.19	H-L	2.25	4.61	7.07	9.66	12.37	15.23	18.23	21.39	24.72	28.24	31.97	35.92	40.11	44.57	49.33	54.41	<b>54.41</b>
El. 29	H-M	2.25	4.61	7.07	9.66	12.37	15.22	18.22	21.38	24.71	28.23	31.96	35.91	40.10	44.56	49.31	54.39	<b>54.39</b>
El. 39	H-M	2.25	4.60	7.07	9.65	12.36	15.21	18.20	21.36	24.69	28.21	31.93	35.87	40.06	44.51	49.26	54.32	<b>54.32</b>
El. 49	H-U	2.26	4.63	7.11	9.71	12.44	15.31	18.33	21.51	24.87	28.42	32.17	36.15	40.38	44.88	49.68	54.81	<b>54.81</b>
El. 69	H-U	2.57	5.28	8.13	11.14	14.32	17.70	21.27	25.07	29.12	33.44	38.06	43.00	48.32	54.04	60.23	66.93	<b>66.93</b>
El. 1	V-S-L	2.13	4.35	6.66	9.08	11.62	14.27	17.06	19.98	23.06	26.29	29.70	33.30	37.10	41.13	45.40	49.94	<b>49.94</b>
El. 2	V-C-L	1.86	3.79	5.80	7.88	10.05	12.31	14.66	17.12	19.68	22.35	25.15	28.08	31.15	34.37	37.75	41.31	<b>41.31</b>
El. 16	V-S-LU	2.37	4.86	7.47	10.21	13.09	16.13	19.34	22.73	26.32	30.12	34.16	38.46	43.04	47.94	53.18	58.80	<b>58.80</b>
El. 17	V-C-LU	2.16	4.42	6.78	9.25	11.83	14.54	17.38	20.37	23.52	26.83	30.33	34.03	37.94	42.08	46.48	51.17	<b>51.17</b>
El. 26	V-S-M	2.24	4.59	7.04	9.61	12.30	15.13	18.11	21.24	24.53	28.01	31.69	35.58	39.70	44.07	48.73	53.68	<b>53.68</b>
El. 27	V-C-M	2.17	4.43	6.80	9.28	11.88	14.60	17.46	20.46	23.62	26.95	30.47	34.18	38.12	42.29	46.72	51.44	<b>51.44</b>
El. 36	V-S-MU	1.95	3.96	6.06	8.23	10.48	12.82	15.25	17.77	20.39	23.10	25.93	28.85	31.89	35.04	38.29	41.65	<b>41.65</b>
El. 37	V-C-MU	2.18	4.45	6.83	9.32	11.93	14.67	17.54	20.56	23.74	27.09	30.63	34.37	38.33	42.53	47.00	51.75	<b>51.75</b>

El. 46	V-S-U	2.46	5.05	7.77	10.64	13.66	16.85	20.23	23.80	27.59	31.62	35.92	40.50	45.39	50.64	56.28	62.35	<b>62.35</b>
El. 47	V-C-U	2.19	4.47	6.85	9.34	11.95	14.69	17.57	20.60	23.79	27.15	30.70	34.45	38.42	42.64	47.12	51.89	<b>51.89</b>
El. 66	V-S-UU	2.54	5.25	8.12	11.13	14.30	17.67	21.25	25.04	29.09	33.40	38.01	42.95	48.26	53.97	60.15	66.83	<b>66.83</b>
El. 67	V-C-UU	2.50	5.08	7.76	10.63	13.63	16.81	20.18	23.75	27.53	31.55	35.84	40.41	45.31	50.55	56.19	62.27	<b>62.27</b>
<b>ERROR GLOBAL</b>																		<b>51.17</b>



### 4.3.3 Perbandingan Hasil Analisa Error Global Terhadap Penambahan Bentang dan Tingkat

Data error global untuk tiap variasi penambahan bentang dan penambahan tingkat dirangkum kedalam tabel dibawah ini, dimana kita dapat melihat secara global kecenderungan yang terjadi terhadap keakuratan hasil identifikasi tingkat kerusakan struktur dengan penggunaan properti dinamik, ketika terjadi perubahan geometris sistem struktur.

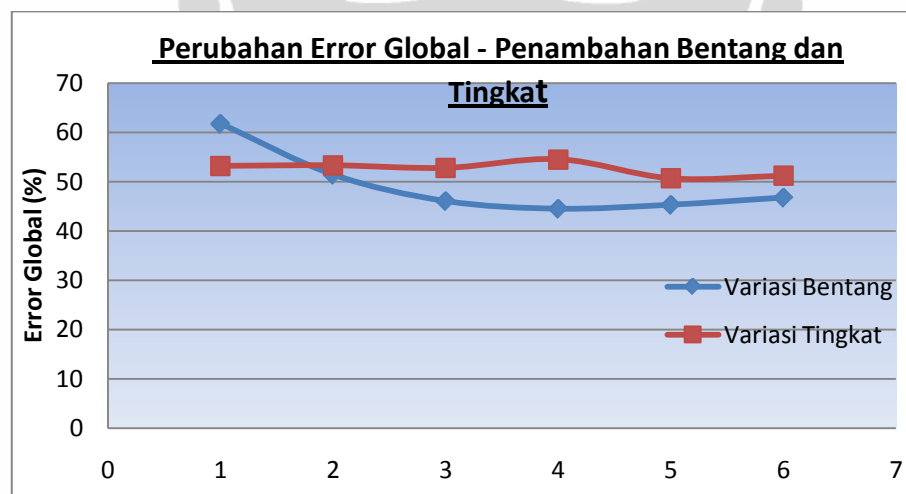
Tabel 20. Perubahan Error Global Berdasarkan Variasi Bentang dan Tingkat

No.	Variasi Bentang					Variasi Tingkat				
	Kondisi Variasi		B (m)	H (m)	Error Global	Kondisi Variasi		B (m)	H (m)	Error Global
	Bentang	Tingkat				Bentang	Tingkat			
1	1	2	4.00	6.00	61.73	2	1	8.00	3.00	53.16
2	3	2	12.00	6.00	51.41	2	3	8.00	6.00	53.28
3	8	2	32.00	6.00	46.06	2	8	8.00	24.00	52.76
4	10	2	49.00	6.00	44.51	2	10	8.00	30.00	54.50
5	12	2	48.00	6.00	45.31	2	12	8.00	36.00	50.64
6	14	2	56.00	6.00	46.76	2	14	8.00	42.00	51.17

B = Panjang Bentang Total Struktur

H = Tinggi Total Struktur

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas, perubahan error global terhadap penambahan bentang dan tingkat ditampilkan dalam suatu grafik dibawah ini :



Gambar 23. Perubahan Error Global - Penambahan Bentang dan Tingkat Sistem Struktur

Dari grafik dan tabel-tabel diatas kita dapat memperhatikan evolusi nilai error global setiap sistem struktur seiring dengan penambahan tingkat dan penambahan bentang. Dari hasil yang kita dapatkan, dapat kita ambil dua kesimpulan utama, yaitu :

- Semakin kompleks suatu sistem struktur (jumlah bentang dan tingkat), semakin buruk hasil identifikasi yang diberikan oleh metode identifikasi tingkat kerusakan struktur dengan penggunaan properti dinamik. Hal ini ditunjukkan oleh trend yang relatif sama antara kasus penambahan tingkat dan penambahan bentang, yaitu error global yang didapat relatif naik.

Namun perlu diperhatikan bahwa struktur yang terlalu sederhana pun tidak memberikan hasil identifikasi yang baik. Pada kasus pertama untuk penambahan bentang (1-bentang, 2-tingkat) dan tingkat (2-bentang, 1-tingkat) nilai error global masing-masing adalah 61.7% dan 53.1% yang lebih besar dibanding setelah masing-masing sistem struktur ditambah bentang dan tingkatnya. Struktur 8-bentang, 2-tingkat memiliki error global 46.05% sedang untung struktur 2-bentang, 8-tingkat memiliki error global 52.75%.

- Penambahan bentang pada sistem struktur memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan penambahan tingkat. Hal ini dapat dilihat pada grafik dan tabel diatas bahwa nilai error global sistem struktur yang bentangnya ditambah memiliki nilai error global yang relatif lebih kecil dibanding sistem struktur yang ditambah tingkatnya.

#### **4.4 SIMULASI PENGGUNAAN PASANGAN MODA YANG BERBEDA UNTUK IDENTIFIKASI TINGKAT KERUSAKAN STRUKTUR ELEMEN TUNGGAL**

Pada simulasi terakhir ini identifikasi tingkat kerusakan dilakukan pada elemen-elemen sistem struktur 3-Bentang, 4-Tingkat rangka 2D dengan menggunakan 6 data modal awal. Karena kita hanya melakukan identifikasi untuk elemen tunggal setiap kalinya, maka hanya dibutuhkan 2 set data modal. Sehingga dengan tersedianya 6 data modal kita akan melakukan beberapa skenario pemasangan data modal untuk tiap identifikasi tingkat kerusakan pada salah satu elemen yang kita tinjau.

Berikut adalah elemen-elemen yang dipilih untuk di-identifikasi :

- Kolom (V) : elemen 1 (VL), elemen 15 (VM) dan elemen 22 (VU).
- Balok (H) : elemen 5 (HL), elemen 19 (HM) dan elemen 26 (HU).
- Pengaku (D) : elemen 29 (DL), elemen 31 (DM) dan elemen 32 (DU).

Tujuan dari simulasi ini adalah agar supaya kita mampu melakukan pemilihan pemasangan data modal yang memberikan hasil yang terbaik dalam pengidentifikasian tingkat kerusakan. Untuk itu, hal yang dilakukan adalah dengan secara virtual menginduksikan kerusakan pada setiap elemen secara satu persatu. Induksi kerusakan seperti simulasi-simulasi sebelumnya, berupa pelemahan kekakuan per-elemen yang berinterval antara 2.5% hingga 40%. Kemudian untuk tiap elemen dengan tiap pasangan pada interval pelemahan kekakuan tersebut, kita akan ambil nilai error maksimum, yaitu persentase perbedaan terbesar antara besar persentase pelemahan kekakuan (induksi kerusakan) dengan data hasil identifikasi tingkat kerusakan dengan metode yang digunakan pada penelitian ini tentunya.

Berikut adalah tabel yang menampilkan hasil identifikasi tingkat kerusakan, yang berupa error maksimum (persentase perbedaan hasil identifikasi dengan induksi kerusakan) untuk tiap elemen yang ditinjau dan untuk tiap pasangan data modal (dari 6 data modal yang tersedia) :

Tabel 21. Error Maksimum Hasil Identifikasi dengan Pasangan Data Modal Berbeda

Pasangan Data Modal	Elemen Diagonal (Bracing)			Elemen Horizontal (Balok)			Elemen Vertikal (Kolom)		
	29 (D-L)	31 (D-M)	32 (D-U)	5 (H-L)	19 (H-M)	26 (H-U)	1 (V-L)	15 (V-M)	22 (V-U)
	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$	$\varepsilon\text{-max}(\delta_{ki})$
1,2	18.763	45.1645	45.1645	49.1692	61.2089	73.5252	52.6954	19.6298	71.7314
1,3	17.4088	38.3392	44.8071	52.2867	55.7368	74.5437	76.0127	60.9861	71.4558
1,4	18.719	52.7423	79.5246	49.4494	81.4601	91.6876	25.4401	61.4788	73.2621
1,5	19.1443	36.7422	77.5478	52.975	58.7852	86.7266	51.7661	39.4487	70.9082
1,6	18.3954	41.6534	59.6772	49.3623	84.1176	83.5966	46.2185	58.9896	73.4652
2,3	50.0304	45.0637	45.0637	52.8773	61.2022	79.1503	241.7324	100.2702	72.0275
2,4	3.0697	36.1609	91.165	55.7652	61.5999	78.9326	20.6874	57.5605	73.3544
2,5	11.5576	44.2687	45.6265	59.853	61.1864	84.8366	55.4885	47.0531	70.939
2,6	23.7908	35.804	60.3606	53.6955	59.7748	86.1513	39.8992	74.7404	73.2317
3,4	12.684	50.7816	50.7816	52.8774	76.3334	106.5711	26.7659	60.9582	75.9086
3,5	9.1604	35.2423	162.5027	52.0532	97.0553	78.3643	19.457	42.5063	70.9823
3,6	1.3027	41.4855	59.8015	52.8801	87.1373	69.1503	19.2048	60.3129	73.1665
4,5	2.0557	52.4707	52.4707	60.1581	67.315	81.5271	33.5096	10.0981	62.8071
4,6	10.7884	35.9408	53.1565	65.8387	83.3923	84.3069	17.9433	61.3309	73.3172
5,6	39.8912	56.7212	56.7212	60.1688	86.8599	75.5259	1.521	37.7198	82.1435
$\varepsilon\text{-min}$	<b>1.3027</b>	<b>35.2423</b>	<b>44.8071</b>	<b>49.1692</b>	<b>55.7368</b>	<b>69.1503</b>	<b>1.521</b>	<b>10.0981</b>	<b>62.8071</b>
$\varepsilon\text{-max}$	<b>50.0304</b>	<b>56.7212</b>	<b>162.5027</b>	<b>65.8387</b>	<b>97.0553</b>	<b>106.5711</b>	<b>241.7324</b>	<b>100.2702</b>	<b>82.1435</b>
Pasangan Moda( $\varepsilon\text{-min}$ )	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>3,6</b>	<b>5,6</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>
Pasangan Moda( $\varepsilon\text{-max}$ )	<b>2,3</b>	<b>5,6</b>	<b>3,5</b>	<b>4,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,4</b>	<b>2,3</b>	<b>2,3</b>	<b>5,6</b>

Dari sini kita telah mengetahui pasangan data modal mana (dari 6 data modal) yang memberikan hasil terbaik dan hasil terburuk untuk tiap elemen yang kita tinjau. Kemudian untuk mengetahui kecenderungan mengapa pasangan-pasangan data modal tersebut memberikan hasil yang baik dan yang buruk dalam identifikasi tingkat kerusakan, kita akan membahas mengenai moda getar dan frekuensi natural tiap pasangan data modal yang digunakan pada proses identifikasi tingkat kerusakan elemen per elemen.

Berikut adalah nilai frekuensi natural (*undamaged*) untuk data modal pertama hingga ke-enam :

Tabel 22. Frekuensi Natural Struktur Tanpa Kerusakan Moda 1 - 6

Moda ke-	1	2	3	4	5	6
<b>Frek. Natural (undamaged)</b>	33180	269300	372430	622930	795270	1017780

Lalu dibawah ini adalah tabel-tabel yang menunjukkan komponen moda getar pertama hingga ke-enam yang berhubungan langsung dengan DOF-DOF tiap elemen yang bersangkutan, serta hubungan pasangan moda getar (moda getar simetrik atau asimetrik) yang memberikan error terbaik dan yang terburuk, beserta jarak antara kedua pasangan moda tersebut. Hubungan pasangan moda getar dapat diketahui dengan cara melihat bentuk moda getar per-elemen untuk tiap pasangan moda yang memberikan hasil yang terbaik dan terburuk, dimana posisi elemen tanpa perpindahan menjadi suatu titik acuan yang menentukan apakah kedua elemen tersebut simetrik atau asimetrik.

Mengapa kita hanya meninjau komponen moda getar yang berhubungan langsung dengan DOF-DOF tiap elemen? Untuk mengetahui hal ini, kita kembali lagi ke persamaan (2.3.16), dimana tiap moda getar akan dikalikan hanya dengan matriks kekakuan atau matriks massa elemen yang diidentifikasi kerusakannya, sehingga hanya komponen moda getar yang berhubungan langsung dengan DOF-DOF pada elemen tersebut lah yang memberikan kontribusi.

- Elemen-elemen diagonal

Tabel 23. Moda-Moda Getar Elemen-Elemen Diagonal

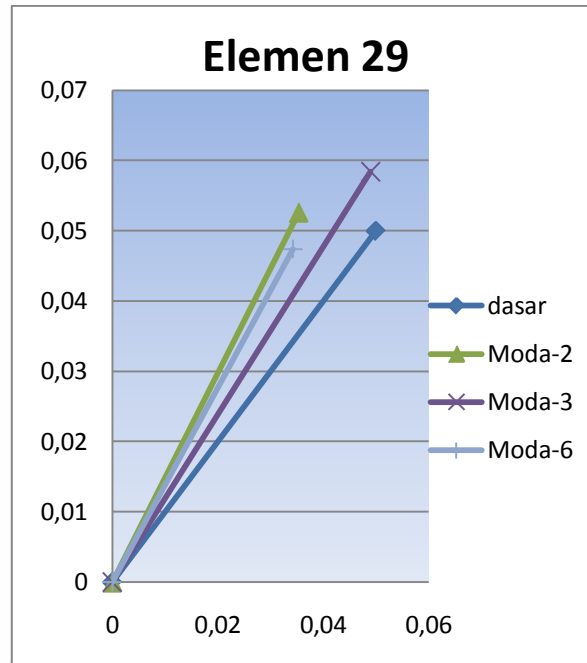
Elemen	DOF		Moda Getar ke-							Modes Couple Type	Jarak		Jarak Moda (j-i)+(j-j)
			1	2	3	4	5	6			i	j	
29 (D-L)	i-x	1	0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0	0	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0	0.01836	<b>1.84E-02</b>
	i-y	2	0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0	0	<b>3,6</b>				
	j-x	11	0.0056	<b>-0.015</b>	<b>-0.001</b>	-0.01	0.007	<b>-0.016</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0	0.01488	1.49E-02
	j-y	12	-3E-04	<b>0.0026</b>	<b>0.008</b>	-1E-04	-0.008	<b>-0.003</b>	<b>2,3</b>				
31 (D-M)	i-x	17	0.013	-0.014	<b>-1E-04</b>	0.001	<b>-0.012</b>	<b>0.009</b>	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0137	0.0372	<b>5.09E-02</b>
	i-y	18	0.0022	0.0126	<b>0.015</b>	-0.017	<b>0.008</b>	<b>0.011</b>	<b>3,5</b>				
	j-x	27	0.0171	-9E-04	<b>-0.004</b>	0.009	<b>-0.004</b>	<b>0.012</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0211	0.01644	3.75E-02
	j-y	28	-5E-04	0.0041	<b>0.021</b>	-0.007	<b>-0.016</b>	<b>-0.011</b>	<b>5,6</b>				
32 (D-U)	i-x	25	<b>0.0177</b>	0.0022	<b>-0.004</b>	0.013	<b>-0.005</b>	0.001	<b>Best Modes Couple</b>	Symmetric	0.0272	0.03639	<b>6.36E-02</b>
	i-y	26	<b>0.0025</b>	0.0163	<b>0.019</b>	-0.024	<b>0.014</b>	0.012	<b>1,3</b>				
	j-x	35	<b>0.0205</b>	0.0161	<b>-0.007</b>	0.006	<b>0.017</b>	-0.012	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0056	0.04776	5.33E-02
	j-y	36	<b>-5E-04</b>	0.0038	<b>0.023</b>	-0.009	<b>-0.018</b>	-0.008	<b>3,5</b>				

jarak-i : jarak antara titik-i satu moda getar dengan titik-i moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

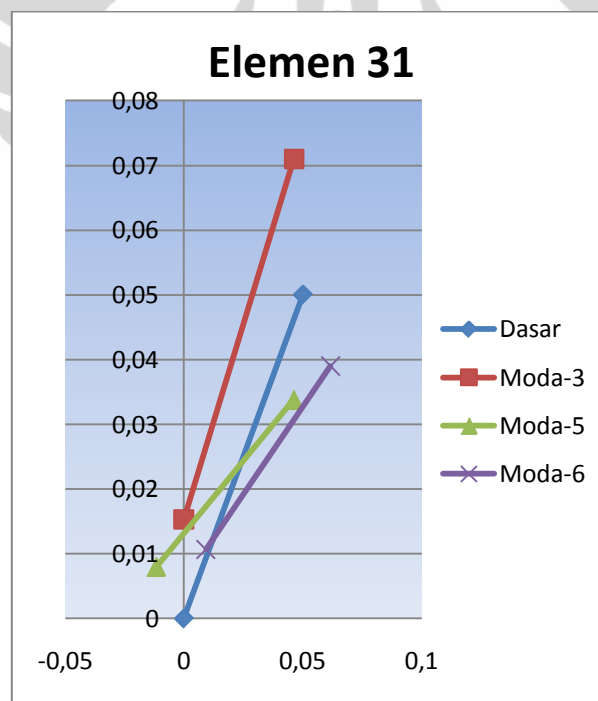
jarak-j : jarak antara titik-j satu moda getar dengan titik-j moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

Berikut adalah gambar moda getar elemen-elemen diagonal untuk beberapa moda yang menjadi pasangan moda dengan hasil error terbaik dan terburuk :

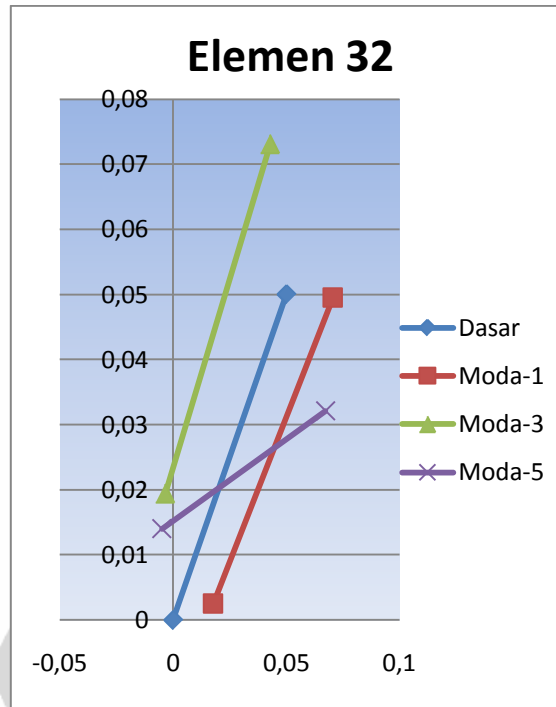




Gambar 24. Pasangan Moda Getar Elemen 29



Gambar 25. Pasangan Moda Getar Elemen 31



Gambar 26. Pasangan Moda Getar Elemen 32

Hampir keseluruhan pasangan moda getar untuk elemen vertikal memiliki hubungan asimetrik, kecuali untuk pasangan moda getar 1 dan 3 untuk elemen 32, dimana kedua moda getar ini simetrik. Lebih banyaknya hubungan moda getar yang asimetrik disebabkan oleh bentuk sistem struktur yang memiliki komposisi elemen yang tidak simetris, sehingga pasangan moda getar didominasi oleh tipe pasangan asimetrik ataupun pasangan sembarang. Hal ini juga kerap berlaku pada elemen-elemen lainnya, hasil dapat kita lihat pada bagian berikutnya.

- Elemen-elemen horizontal

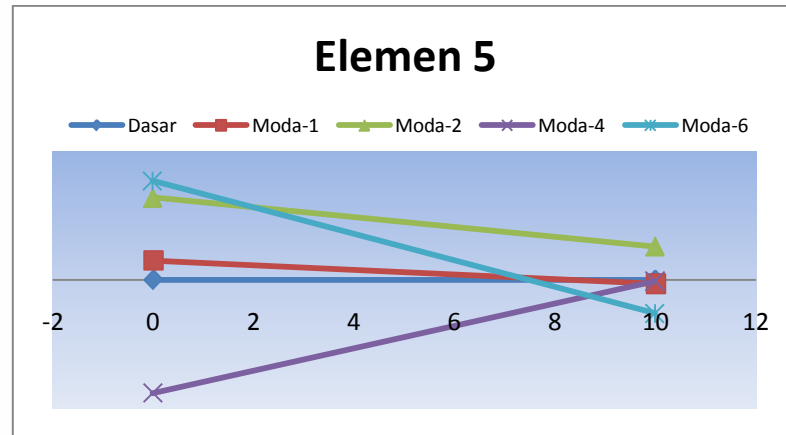
Tabel 24. Moda-Moda Getar Elemen-Elemen Horizontal

Elemen	DOF		Moda Getar ke-							Modes Couple Type	Jarak	Jarak	Jarak Moda (j-i)+(j-j)
			1	2	3	4	5	6			i	j	
5 (H-L)	i-x	9	<b>0.0072</b>	<b>-0.017</b>	0.001	<b>-0.009</b>	8E-04	<b>-0.016</b>	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0247	0.02051	<b>4.52E-02</b>
	i-y	10	<b>0.0015</b>	<b>0.0064</b>	0.009	<b>-0.009</b>	0.003	<b>0.008</b>	<b>1,2</b>				
	j-x	11	<b>0.0056</b>	<b>-0.015</b>	-0.001	<b>-0.01</b>	0.007	<b>-0.016</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0178	0.00632	2.42E-02
	j-y	12	<b>-3E-04</b>	<b>0.0026</b>	0.008	<b>-1E-04</b>	-0.008	<b>-0.003</b>	<b>4,6</b>				
19 (H-M)	i-x	25	<b>0.0177</b>	0.0022	<b>-0.004</b>	0.013	<b>-0.005</b>	0.001	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0272	0.02991	<b>5.71E-02</b>
	i-y	26	<b>0.0025</b>	0.0163	<b>0.019</b>	-0.024	<b>0.014</b>	0.012	<b>1,3</b>				
	j-x	27	<b>0.0171</b>	-9E-04	<b>-0.004</b>	0.009	<b>-0.004</b>	0.012	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0056	0.0372	4.28E-02
	j-y	28	<b>-5E-04</b>	0.0041	<b>0.021</b>	-0.007	<b>-0.016</b>	-0.011	<b>3,5</b>				
26 (H-U)	i-x	33	0.0207	0.0175	<b>-0.008</b>	<b>0.008</b>	0.022	<b>-0.017</b>	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0109	0.03104	4.20E-02
	i-y	34	0.0025	0.0171	<b>0.021</b>	<b>-0.027</b>	0.016	<b>0.014</b>	<b>3,6</b>				
	j-x	35	0.0205	0.0161	<b>-0.007</b>	<b>0.006</b>	0.017	<b>-0.012</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.05	0.03451	<b>8.45E-02</b>
	j-y	36	-5E-04	0.0038	<b>0.023</b>	<b>-0.009</b>	-0.018	<b>-0.008</b>	<b>3,4</b>				

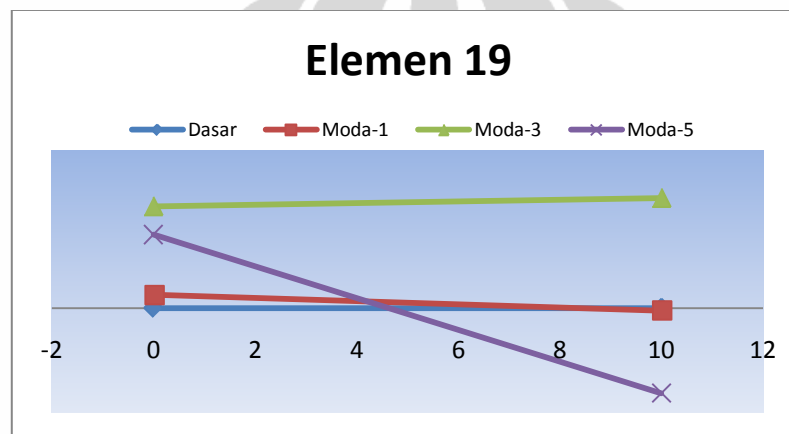
jarak-i : jarak antara titik-i satu moda getar dengan titik-i moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

jarak-j : jarak antara titik-j satu moda getar dengan titik-j moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

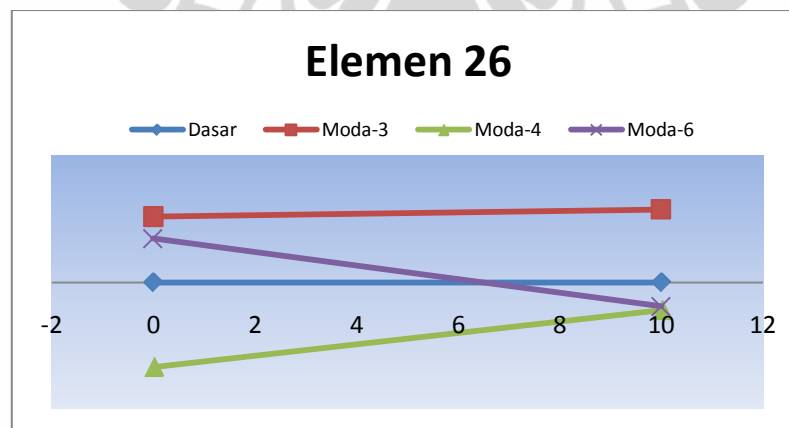
Berikut adalah gambar moda getar elemen-elemen horizontal untuk beberapa moda yang menjadi pasangan moda dengan hasil error terbaik dan terburuk :



Gambar 27. Pasangan Moda Getar Elemen 5



Gambar 28. Pasangan Moda Getar Elemen 19



Gambar 29. Pasangan Moda Getar Elemen 26

Hampir sama seperti pada elemen diagonal, semua pasangan moda getar memiliki hubungan asimetrik.

- Elemen-elemen vertikal

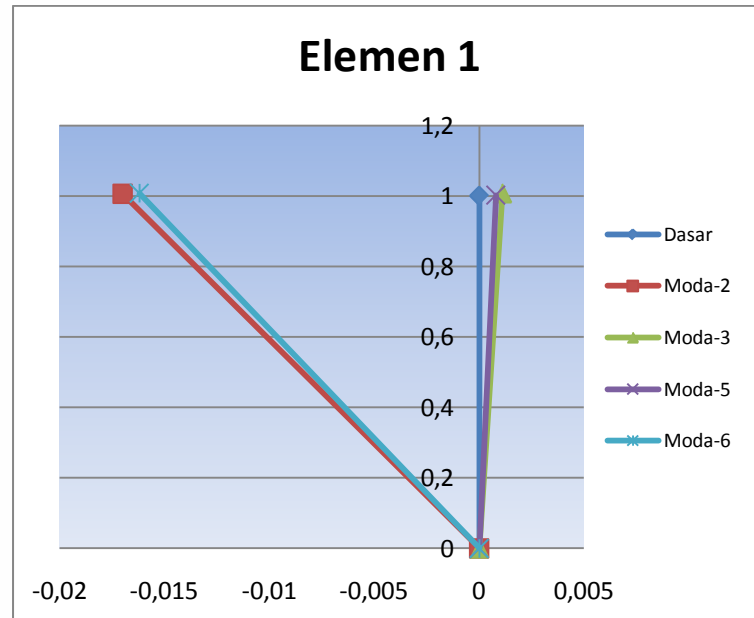
Tabel 25. Moda-Moda Getar Elemen-Elemen Vertikal

Elemen	DOF		Moda Getar ke-							Modes Couple Type	Jarak	Jarak	Jarak Moda (j-i)+(j-j)
			1	2	3	4	5	6			i	j	
1 (V-L)	i-x	1	0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0	0.01772	1.77E-02
	i-y	2	0	<b>0</b>	<b>0</b>	0	<b>0</b>	<b>5,6</b>					
	j-x	9	0.0072	<b>-0.017</b>	<b>0.001</b>	-0.009	<b>8E-04</b>	<b>-0.016</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0	0.01825	<b>1.82E-02</b>
	j-y	10	0.0015	<b>0.0064</b>	<b>0.009</b>	-0.009	<b>0.003</b>	<b>0.008</b>	<b>2,3</b>				
15 (V-M)	i-x	17	0.013	<b>-0.014</b>	<b>-1E-04</b>	<b>0.001</b>	<b>-0.012</b>	0.009	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.028	0.04179	<b>6.98E-02</b>
	i-y	18	0.0022	<b>0.0126</b>	<b>0.015</b>	<b>-0.017</b>	<b>0.008</b>	0.011	<b>4,5</b>				
	j-x	25	0.0177	<b>0.0022</b>	<b>-0.004</b>	<b>0.013</b>	<b>-0.005</b>	0.001	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0141	0.00658	2.06E-02
	j-y	26	0.0025	<b>0.0163</b>	<b>0.019</b>	<b>-0.024</b>	<b>0.014</b>	0.012	<b>2,3</b>				
22 (V-U)	i-x	25	0.0177	0.0022	-0.004	<b>0.013</b>	<b>-0.005</b>	<b>0.001</b>	<b>Best Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0418	0.04538	<b>8.72E-02</b>
	i-y	26	0.0025	0.0163	0.019	<b>-0.024</b>	<b>0.014</b>	<b>0.012</b>	<b>4,5</b>				
	j-x	33	0.0207	0.0175	-0.008	<b>0.008</b>	<b>0.022</b>	<b>-0.017</b>	<b>Worst Modes Couple</b>	Antisymmetric	0.0066	0.03907	4.57E-02
	j-y	34	0.0025	0.0171	0.021	<b>-0.027</b>	<b>0.016</b>	<b>0.014</b>	<b>5,6</b>				

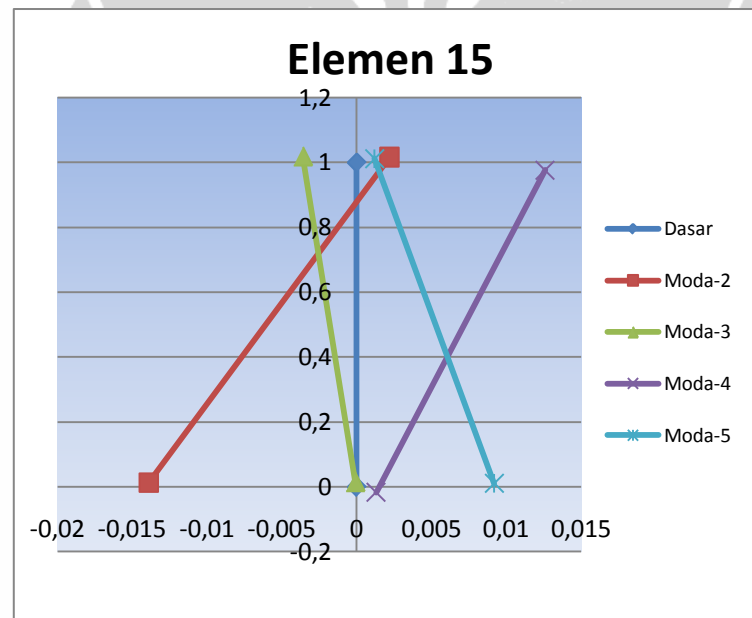
jarak-i : jarak antara titik-i satu moda getar dengan titik-i moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

jarak-j : jarak antara titik-j satu moda getar dengan titik-j moda getar lainnya yang menjadi pasangannya

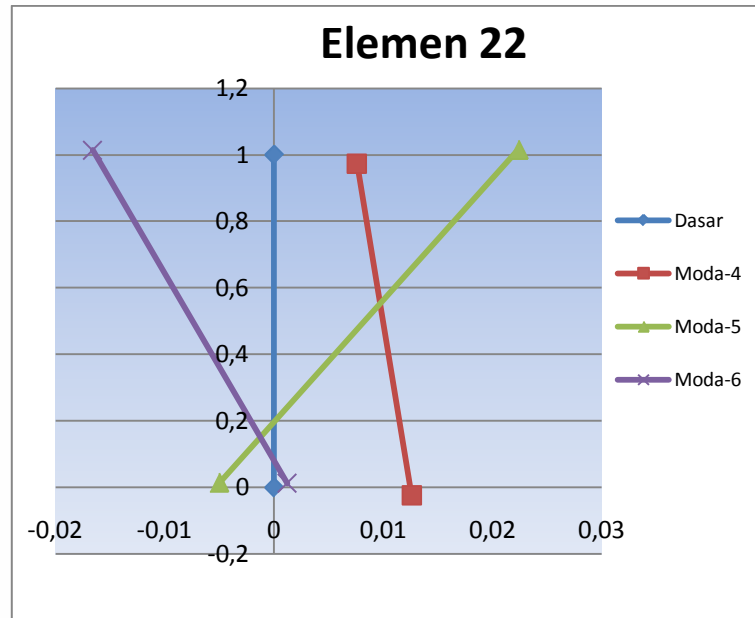
Berikut adalah gambar moda getar elemen-elemen vertikal untuk beberapa moda yang menjadi pasangan moda dengan hasil error terbaik dan terburuk :



Gambar 30. Pasangan Moda Getar Elemen 1



Gambar 31. Pasangan Moda Getar Elemen 15



Gambar 32. Pasangan Moda Getar Elemen 22

Seperti pada elemen vertikal, semua pasangan moda memiliki hubungan asimetrik.

Dari hasil analisa moda getar yang dilakukan pada tiap pasangan moda getar yang memberikan hasil identifikasi yang terbaik dan terburuk untuk tiap elemen-elemen diagonal, horizontal dan vertikal, baik itu analisa hubungan pasangan moda getar dan juga analisa besar jarak antara pasangan moda getar, tidak diketahui hubungan yang jelas antara pemasangan moda getar dengan hasil identifikasi tingkat kerusakan. Dari tabel-tabel dan gambar-gambar diatas hampir tiap pasangan moda memberikan hubungan asimetrik, baik untuk pasangan moda dengan hasil identifikasi terbaik ataupun terburuk, sehingga hubungan moda ini tidak dapat dijadikan acuan dalam pemilihan pasangan moda.

Selain itu jarak antara moda-moda yang dijadikan moda getar, juga didapatkan hasil yang tidak konsisten. Memang sebagian besar pasangan moda getar yang memberikan hasil identifikasi tingkat kerusakan terbaik relatif memiliki jarak antar modal yang lebih besar. Namun hal ini tidak dapat dijadikan suatu patokan, dikarenakan ditemukan juga pasangan moda getar dengan hasil identifikasi buruk yang memiliki jarak antar moda yang lebih besar dibandingkan dengan pasangan moda getar dengan hasil identifikasi yang baik. Hal ini ditemui pada kasus elemen 1 dan elemen 26.

Sehingga, kesimpulan yang dapat diambil untuk simulasi ini adalah dengan data modal yang terbatas, kita belum bisa mengontrol error yang diberikan oleh hasil

identifikasi tingkat kerusakan dengan metode yang digunakan pada penelitian ini dengan cara pemasangan data modal yang berbeda.

