

BAB V

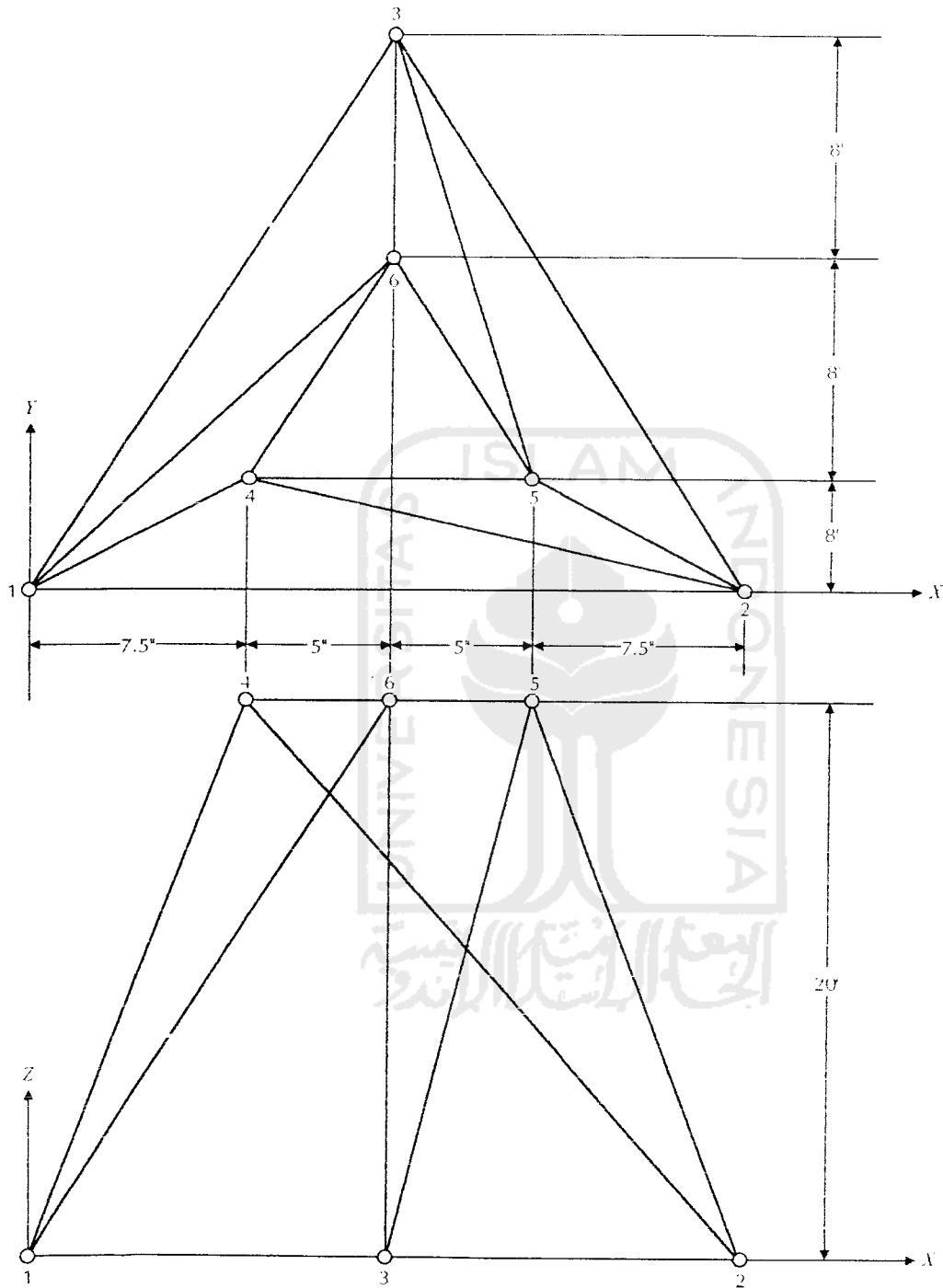
ANALISIS DAN PEMBAHASAN RESPONS STRUKTUR

5.1 Spesifikasi Struktur

5.1.1 Beban statis

Untuk pengujian prosedur yang digunakan dalam program, khususnya matriks kekakuan global struktur, perlu dilakukan analisis terhadap struktur rangka batang ruang. Hasil perhitungan yang diperoleh melalui perangkat lunak ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan yang tercantum pada halaman 57-60 pustaka nomor 5.

Gambar 5.1 menunjukkan struktur kubah Schwedler dengan dua belas elemen berkekuatan tinggi. Struktur tidak dikekang dan tidak dibebani beban apapun selain berat sendiri. Untuk memudahkan perhitungan matriks kekakuan global struktur, dianggap nilai AE/L sama untuk semua elemen.



Gambar 5.1 Struktur kubah Schwedler dengan dua belas elemen.

Tabel 5.1 Cosinus arah elemen rangka batang ruang pada Gambar 5.1.

Member	x	y	z	L	λ	μ	v
1-2	25.0	0.0	0.0	25.0	1	0	0
1-3	12.5	20.0	0.0	23.6	0.530	0.848	0
1-4	7.5	4.0	20.0	21.7	0.345	0.184	0.920
1-6	12.5	12.0	20.0	26.5	0.471	0.452	0.753
2-3	-12.5	20.0	0.0	23.6	-0.530	0.848	0
2-4	-17.5	4.0	20.0	26.9	-0.650	0.149	0.743
2-5	-7.5	4.0	20.0	21.7	-0.345	0.184	0.920
3-5	5.0	-16.0	20.0	26.1	0.192	-0.613	0.765
3-6	0.0	-8.0	20.0	21.5	0	-0.372	0.930
4-5	10.0	0.0	0.0	10.0	1	0	0
4-6	5.0	8.0	0.0	9.43	0.531	0.848	0
5-6	-5.0	8.0	0.0	9.43	-0.531	0.848	0

Sumber: Tabel 3.11 halaman 57 (Martin, H. C., 1966).

Tabel 5.2 Produk cosinus arah untuk rangka batang ruang pada Gambar 5.1.

Member	λ^2	μ^2	v^2	$\lambda\mu$	λv	μv
1-2	1	0	0	0	0	0
1-3	0.281	0.720	0	0.450	0	0
1-4	0.119	0.034	0.847	0.064	0.318	0.170
1-6	0.222	0.204	0.567	0.212	0.354	0.341
2-3	0.281	0.720	0	-0.450	0	0
2-4	0.422	0.022	0.552	-0.097	-0.483	0.111
2-5	0.119	0.034	0.847	-0.064	-0.317	0.170
3-5	0.037	0.376	0.585	-0.118	0.147	-0.470
3-6	0	0.138	0.865	0	0	-0.346
4-5	1	0	0	0	0	0
4-6	0.282	0.720	0	0.450	0	0
5-6	0.282	0.720	0	-0.450	0	0

Sumber: Tabel 3.4 halaman 59 (Martin, H. C., 1966).

Tabel 5.3 Matriks Kekakuan Global Struktur kubah Schwedler.

$K_{11} = AE/L$

u_1	v_1	w_1	u_2	v_2	w_2	u_3	v_3	w_3
1.622								
0.726	0.958						<i>Sym.</i>	
0.672	0.511	1.414						
-1	0	0	1.822					
0	0	0	-0.611	0.776				
0	0	0	-0.801	0.281	1.399			
-0.281	-0.450	0	-0.281	0.450	0	0.599		
-0.450	-0.720	0	0.450	-0.720	0	-0.118	1.954	
0	0	0	0	0	0	0.147	-0.816	1.450

$K_{21} = AE/L$

u_1	v_1	w_1	u_2	v_2	w_2	u_3	v_3	w_3
-0.119	-0.064	-0.318	-0.422	0.097	0.483	0	0	0
-0.064	-0.034	-0.170	0.097	-0.022	-0.111	0	0	0
-0.318	-0.170	-0.847	0.483	-0.111	-0.552	0	0	0
0	0	0	-0.119	0.064	0.318	-0.037	0.118	-0.147
0	0	0	0.064	-0.034	-0.170	0.118	-0.376	0.470
0	0	0	0.318	-0.170	-0.847	-0.147	0.470	-0.585
-0.222	-0.212	-0.354	0	0	0	0	0	0
-0.212	-0.204	-0.341	0	0	0	0	-0.138	0.346
-0.354	-0.341	-0.567	0	0	0	0	0.346	-0.865

$K_{22} = AE/L$

u_4	v_4	w_4	u_5	v_5	w_5	u_6	v_6	w_6
1.823								
0.417	0.776						<i>Sym.</i>	
-0.165	0.280	1.399						
-1	0	0	1.438					
0	0	0	-0.632	1.130				
0	0	0	-0.171	-0.300	1.432			
-0.282	-0.450	0	-0.281	0.450	0	0.786		
-0.450	-0.720	0	0.450	-0.720	0	0.212	1.782	
0	0	0	0	0	0	0.354	-0.005	1.432

Sumber: Halaman 59-60 (Martin, H. C., 1966).

Pada Tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 terlihat bahwa elemen matriks kekakuan global struktur mengandung nilai ≤ 0 yang berarti matriks bersifat singular. Dengan demikian struktur bersifat tidak stabil dan perhitungan selanjutnya tidak dapat dilakukan.

Perhitungan yang dilakukan dalam perangkat lunak Castreet Version 1.1 terhadap struktur kubah Schwedler pada Gambar 5.1 di atas memberikan hasil sesuai dengan urutan pada Tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Cosinus arah elemen rangka batang ruang pada Gambar 5.1. menurut hasil perhitungan perangkat lunak Castreet Version 1.1.

Member	x	y	z	L	λ	μ	ν
1-2	25.0	0.0	0.0	25	1	0	0
1-3	12.5	20.0	0.0	23.5849528301415	.52999894000318	.847998304005088	0
1-4	7.5	4.0	20.0	21.7313138121007	.345124094421928	.184066183691695	.920330918458475
1-6	12.5	12.0	20.0	26.4622372447985	.472371246783265	.453476396911934	.755790994853223
2-3	-12.5	20.0	0.0	23.5849528301415	-.52999894000318	.847998304005088	0
2-4	-17.5	4.0	20.0	26.8747093007534	-.651169834216939	.148838819249586	.74419409624793
2-5	-7.5	4.0	20.0	21.7313138121007	-.345124094421928	.184066183691695	.920330918458475
3-5	5.0	-16.0	20.0	26.0959767013998	.191600416309837	-.613121332191478	.766401665239347
3-6	0.0	-8.0	20.0	21.540659228538	0	-.371390676354104	.928476690885259
4-5	10.0	0.0	0.0	10	1	0	0
4-6	5.0	8.0	0.0	9.4339811320566	.52999894000318	.847998304005088	0
5-6	-5.0	8.0	0.0	9.4339811320566	-.52999894000318	.847998304005088	0

Tabel 5.5 Produk cosinus arah untuk rangka batang ruang pada Gambar 5.1 menurut hasil perhitungan perangkat lunak

Castreet Version 1.1.

Member	λ^2	μ^2	ν^2	$\lambda\mu$	$\lambda\nu$	$\mu\nu$
1-2	1	0	0	0	0	0
1-3	0.280898876	0.719101124	0	0.449438202	0	0
1-4	0.119110641	0.03388036	0.847008999	0.063525675	0.317628375	0.1694018
1-6	0.223134595	0.205640843	0.571224563	0.214209211	0.357015352	0.342734738
2-3	0.280898876	0.719101124	0	-0.449438202	0	0
2-4	0.424022153	0.022152994	0.553824853	-0.096919349	-0.484596746	0.110764971
2-5	0.119110641	0.03388036	0.847008999	-0.063525675	-0.317628375	0.1694018
3-5	0.03671072	0.375917768	0.587371512	-0.117474302	0.146842878	-0.46989721
3-6	0	0.137931034	0.862068965	0	0	-0.344827586
4-5	1	0	0	0	0	0
4-6	0.280898876	0.719101124	0	0.449438202	0	0
5-6	0.280898876	0.719101124	0	-0.449438202	0	0

Tabel 5.6 Matriks Kekakuan Global Struktur kubah Schwedler menurut hasil perhitungan perangkat lunak Castreet Version 1.1.

u_1	v_1	w_1	u_2	v_2	w_2	u_3	v_3	w_3
1.6231441117								
.7271730882	0.958622326							
.6746437265	0.512136537	1.418233562						
-1	0	0	1.82403167					
0	0	0	-0.609883226	0.775134478				
0	0	0	-0.802225121	0.28016677	1.400833852			
-.2808988764	-0.449438202	0	-0.280898876	0.449438202	0	0.598508472		
-.4494382022	-0.719101124	0	0.449438202	-0.719101124	0	-0.117474302	1.95205105	
0	0	0	0	0	0	0.146842878	-0.814724796	1.449440478

$K_{11} = AE/L$

u_1	v_1	w_1	u_2	v_2	w_2	u_3	v_3	w_3
-0.119110641	-0.063525675	-0.317628375	-0.424022153	0.096919349	0.484596746	0	0	0
-0.063525675	-0.03388036	-0.1694018	0.096919349	-0.022152994	-0.110764971	0	0	0
-0.317628375	-0.1694018	-0.847008999	0.484596746	-0.110764971	-0.553824853	0	0	0
0	0	0	-0.119110641	0.063525675	0.317628375	-0.03671072	0.117474302	-0.146842678
0	0	0	0.063525675	-0.03388036	-0.1694018	0.117474302	-0.375917768	0.46989721
0	0	0	0.317628375	-0.1694018	-0.847008999	-0.146842878	0.46989721	-0.587371512
-0.223134595	-0.214209211	-0.357015352	0	0	0	0	0	0
-0.214209211	-0.205640843	-0.342734738	0	0	0	0	-0.137931034	0.344827586
-0.357015352	-0.342734738	-0.571224563	0	0	0	0	0.344827586	-0.862068966

$K_{21} = AE/L$

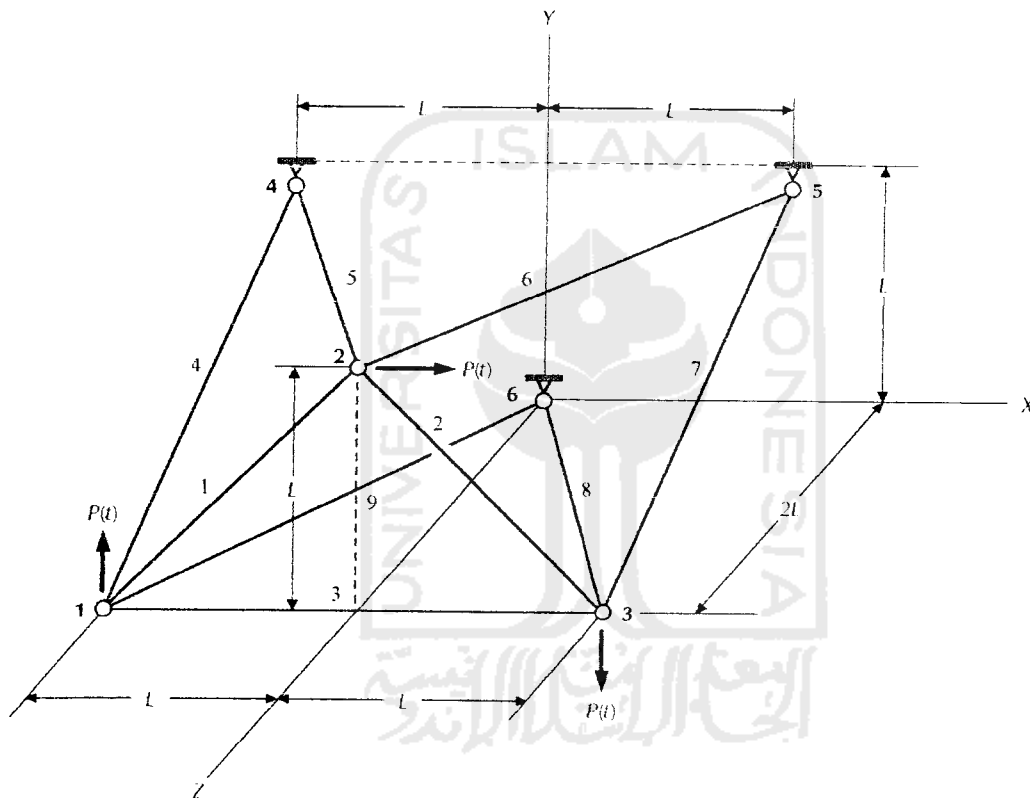
u_4	v_4	w_4	u_5	v_5	w_5	u_6	v_6	w_6
1.824031669								
0.416044528	0.775134478							
-0.166968371	0.280166770	1.400833852						
-1	0	0	1.4367202365					
0	0	0	-0.630438180	1.128899252				
0	0	0	-0.170785497	-0.300495410	1.4343805120			
-0.280898876	-0.449438202	0	-0.280898876	0.449438202	0	0.784932348		
-0.449438202	-0.719101124	0	0.4494382022	-0.719101124	0	0.214209211	1.781774124	
0	0	0	0	0	0	0.357015352	-0.002092849	1.433293528

$$K_{22} = AE/L$$

Dengan membandingkan Tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 dengan Tabel 5.4, 5.5, dan 5.6 dapat dilihat selisih hasil perhitungan yang terjadi sangat kecil. Selisih ini terjadi karena adanya perbedaan ketelitian dalam perhitungan. Ketelitian pada Tabel 5.4, 5.5, dan 5.6 yang dihitung dengan perangkat lunak Castreer Version 1.1 mencapai *double precision*, sedangkan perhitungan pada Tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 hanya *single precision* atau bahkan kurang dari itu. Berdasarkan hasil perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa proses perakitan matriks kekakuan global struktur yang dilakukan dalam perangkat lunak Castreer Version 1.1 telah mengikuti urutan yang baik dan benar.

5.1.2 Beban dinamis

Untuk pengujian prosedur analisis dinamis yang digunakan dalam program, perlu dilakukan analisis terhadap struktur rangka batang ruang. Hasil analisis yang diperoleh melalui program ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan yang tercantum pada halaman 278 dari pustaka nomor 9.



Gambar 5.2 Struktur rangka batang ruang dengan sembilan elemen.

Gambar 5.2 menunjukkan struktur rangka batang ruang dengan sembilan elemen dari titanium berkekuatan tinggi. Struktur dibebani tiga rangkaian impuls segitiga ganda $P(t)$ sebagaimana terlihat pada gambar. Semua elemen mempunyai luasampang sama dengan parameter fisik sebagai berikut.

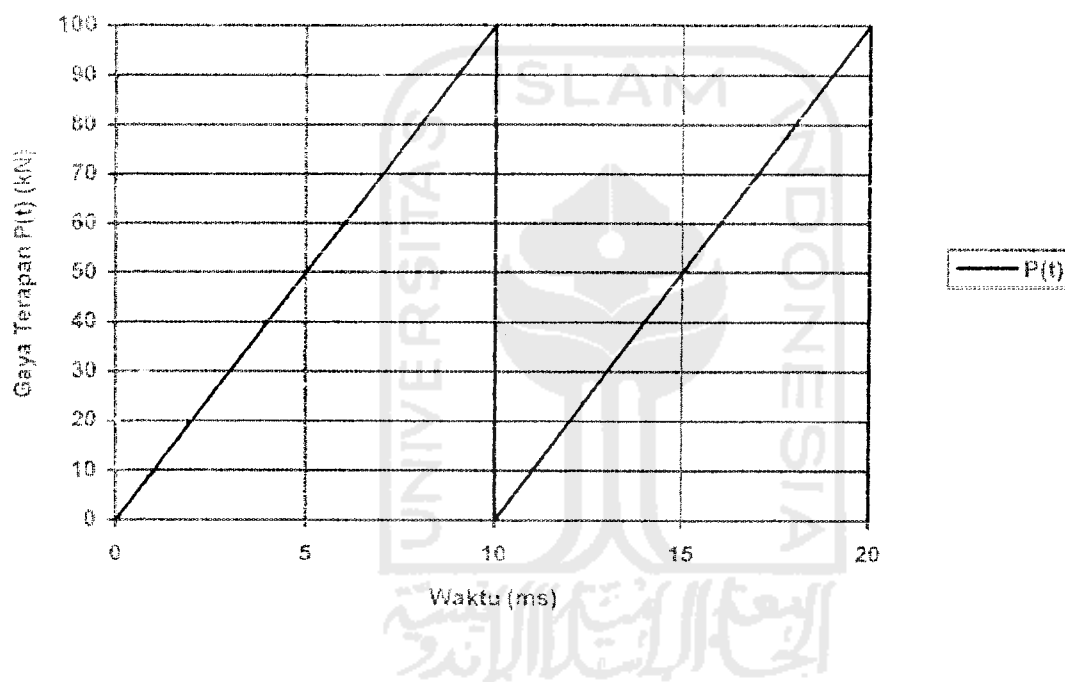
$$E = 117E6 \text{ kN/m}^2 \quad \rho = 4.49 \text{ Mg/m}^3$$

$$A = 9E-4 \text{ m}^2 \quad P_{\max} = 100 \text{ kN}$$

$$\text{Rasio Redaman} = 2E-2 \quad L = 1 \text{ m}$$

Satuan yang digunakan adalah SI.

Beban berupa rangkaian impuls segitiga ganda $P(t)$ digambarkan sebagai berikut.



Gambar 5.3 Grafik Impuls Segitiga.

Parameter struktur di atas kemudian ditulis dalam file berformat teks sesuai dengan urutan yang tertera pada Tabel 4.2 dan 4.3 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Data struktur rangka batang ruang sembilan elemen.

Data pada file masukan	Keterangan
Contoh pada Halaman 274-278 Structural Dynamics by Finite Element	Title
2 1	StructureType, Method
6 9 3 117E6 4.49	NN, NE, NRN, E, RHO
1 -1 0 2 2 0 1 2 3 1 0 2 4 -1 1 0 5 1 1 0 6 0 0 0	J, X(), Y(), Z()
1 1 2 9E-4 2 2 3 9E-4 3 1 3 9E-4 4 1 4 9E-4 5 2 4 9E-4 6 2 5 9E-4 7 3 5 9E-4 8 3 6 9E-4 9 1 6 9E-4	J, JN(), KN(), AX()
4 1 1 1 5 1 1 1 6 1 1 1	J, NRL(3J-2), NRL(3J-1), NRL(3J)
20 1E-3 .02	NTS, DT, DampingRatio
0 0	NNID, NNIV
3 0	NLN, NEL
1 0 100 0 2 100 0 0 3 0 -100 0	J, ASS(3J-2), ASS(3J-1), ASS(3J)
0	IGA
5	NFO
1 0 0 2 .01 1 3 .01 0 4 .02 1	K, T(K), FO(K)

5 .02 0	
-1 .3025 .6	α, β, γ
6 7	NNO, NEO
1	JNO(j)
2	
3	
4	
5	
6	
1	IEO(j)
2	
3	
4	
5	
6	
7	



5.2 Penyelesaian Respons Struktur

Data struktur yang telah diurutkan sesuai dengan format data masukan kemudian diolah dengan perangkat lunak Castreet memberikan hasil sebagai berikut.

```
*****
Computer Aided Structural Dynamic Analysis of Three Dimension Structural System
<<<= Castreet Version 1.1 =>>>
Copyright: Zainuddin Husainy
ZeePC Software, Inc., Yogyakarta, Indonesia.
*****
```

Problem Title
Contoh pada Halaman 274-278 Structural Dynamics by Finite Element

Structural Parameters

NN	NF	NRN	E	RHO
6	9	3	117000000	4.49

Nodal Coordinates

Node	X	Y	Z
1	-1	0	2
2	0	1	2
3	1	0	2
4	-1	1	0
5	1	1	0
6	0	0	0

Member	J	K	AX	EL
1	1	2	.0009	1.4142135623731
2	2	3	.0009	1.4142135623731
3	1	3	.0009	2
4	1	4	.0009	2.23606797749979
5	2	4	.0009	2.23606797749979
6	2	5	.0009	2.23606797749979
7	3	5	.0009	2.23606797749979
8	3	6	.0009	2.23606797749979
9	1	6	.0009	2.23606797749979

Nodal Restraints

Node	NR-X	NR-Y	NR-Z
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1

Number of Degrees of Freedom = 9

Number of Nodal Restraints = 9

Mode 1

Angular Frequency 829.690969349388

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	-.980162178414138	-.1646410367538	-.312701413214553
2	-1	-9.48106849590317E-08	2.06104181119992E-08
3	-.98016212355956	.164641119084193	.312701416404609
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 2

Angular Frequency 468.876531943611

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	5.31155672059329E-02	.912715450754002	.250200138541525
2	-1.01359044200728E-09	1	1.43175005035308E-03
3	-.053115569244584	.912715451089303	.2502001393071
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 3

Angular Frequency 985.845766401371

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	.400903757726827	-1	-.170130091651098
2	-.523844819428155	4.45079126700412E-07	-9.8286406344774E-08
3	.400903520055145	.999999565739768	.170130071093658
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 4

Angular Frequency 2862.41685883082

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	-1.73414623895527E-02	2.59244937960147E-02	.329621256592841
2	3.60388354964177E-03	-.183022842932	-1
3	1.74642976079715E-02	2.49173066051585E-02	.345226832242253
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 5

Angular Frequency 2439.12905877414

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	-.242128359319836	.227302614829855	-1
2	2.69223087660944E-03	9.80724929714148E-02	-.67130946917987
3	.242255215397462	.226503661000172	-.988164090467837
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 6

Angular Frequency 4247.21878163685

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	.447335141951082	.475633519633322	-.18862177223994
2	-1	3.95998264344949E-04	-7.88555798129571E-05
3	.446797778231255	-.476054268865258	.188684759545626
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 7

Angular Frequency 2875.02956624767

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	-2.85698596370145E-02	9.22971207013024E-02	-.990482006302976
2	.459308301192305	-.05807032716379	3.37752586974796E-02
3	4.45360410463137E-02	-.036482123352485	1
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 8

Angular Frequency 2678.25253037451

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	-.632857189636381	.485864035964776	.12871352541051
2	-2.58990433518277E-02	-1	.270570319581415
3	.632144866183333	.49288413080809	.017419322401762
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Mode 9

Angular Frequency 4679.26202123603

Node	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
1	1	.422159883160159	-.148402278028534
2	2.79680550314299E-06	-.876764206761657	4.42181386201865E-02
3	-.999996234908766	.42216364940888	-.148382843227008
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Dynamic Parameters

NTS	DT	Damping Ratio
20	.001	.02

Applied Actions

NLN	NEL
3	0

Nodal Loads

Node	AJ-X	AJ-Y	AJ-Z
1	0	100	0
2	100	0	0
3	0	-100	0

Forcing Function

NFO

5

Function Ordinates

K	Time	Factor
1	0	0
2	.01	1
3	.01	0
4	.02	1
5	.02	0

Direct Numerical Integration Parameters

Alpha = -.1, Beta = .3025, Gamma = .6

Output Selection

NNO NEO

6 7

Nodes : 1, 2, 3, 4, 5, 6

Elements :1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Displacement Time History for Node 1

Step	Time	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
0	0	0	0	0
1	.001	-1.21121414251731E-05	2.53756642257642E-04	4.16815673828994E-05
2	.002	-4.15144919352012E-05	1.22838876712123E-03	2.52189087945861E-04
3	.003	-4.03939516293355E-05	3.00522018168496E-03	7.15870793433294E-04
4	.004	7.36741746345683E-05	5.07528014167905E-03	1.30569449209051E-03
5	.005	3.34379200140999E-04	6.74137110870622E-03	1.79807750650004E-03
6	.006	6.60568205855882E-04	7.63221921292781E-03	2.09311308981042E-03
7	.007	8.82203332396124E-04	7.96010142715491E-03	2.22245787764031E-03
8	.008	8.58881860007696E-04	8.33974097742606E-03	2.28811487054553E-03
9	.009	6.00944644856865E-04	9.31422700551722E-03	2.44529081192719E-03
10	.01	2.94154823832054E-04	1.09610716816087E-02	2.79211274065956E-03
11	.011	3.13360530510364E-04	.010326347137535	2.85037546824341E-03
12	.012	7.32412519972547E-04	4.69608264245154E-03	1.62816522611037E-03
13	.013	9.35488140860181E-04	-2.38268009680577E-03	-5.3757778939997E-04
14	.014	2.99644177849985E-04	-4.83216901459066E-03	-1.55772793388386E-03
15	.015	-9.77060414741685E-04	-2.65873160257234E-04	-4.21536449267688E-04
16	.016	-1.84676469090733E-03	8.49826731452513E-03	1.73723093731433E-03
17	.017	-1.25107422329754E-03	1.56816322292378E-02	3.67523831923564E-03
18	.018	8.49159133536976E-04	1.69123362940696E-02	4.6721450207436E-03
19	.019	3.22464485316743E-03	1.24341945249354E-02	4.13683277231444E-03
20	.02	4.15202031287047E-03	6.66380963363347E-03	2.59243781835056E-03
Maximum		4.15202031287047E-03	1.69123362940696E-02	4.6721450207436E-03
Time of Maximum		.02	.018	.018
Minimum		-1.84676469090733E-03	-4.83216901459066E-03	-1.55772793388386E-03
Time of Minimum		.016	.014	.014

Displacement Time History for Node 2

Step	Time	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
0	0	0	0	0
1	.001	2.24002486360314E-04	6.95685059637007E-09	-2.83207134600793E-09
2	.002	1.07526490198911E-03	1.57551404353519E-08	-6.5189223175066E-09
3	.003	2.64407618881514E-03	4.91988734738411E-09	-2.21935204700252E-09
4	.004	4.56340234358296E-03	-5.38635320500031E-09	2.2436484551812E-09
5	.005	6.26806250080547E-03	1.24923133111025E-08	-4.85293121413906E-09
6	.006	7.35042209719264E-03	1.77461370713187E-08	-7.51547567305506E-09
7	.007	7.84249994524549E-03	-5.0858562962858E-09	1.68415404937748E-09
8	.008	8.17056699871869E-03	-4.76866440527E-10	6.22382453121171E-09
9	.009	8.81690543861981E-03	2.16982766340078E-08	-8.59126617111846E-09
10	.01	1.00030204330755E-02	6.47460409733979E-09	-3.40430377008942E-09
11	.011	9.35135319259197E-03	-7.8521403926614E-08	3.18117998968625E-08
12	.012	4.69225997182525E-03	-7.44650721446615E-08	3.21951528418707E-08
13	.013	-1.19775254061009E-03	1.26511457798321E-07	-5.06487606900473E-08
14	.014	-3.83587578842142E-03	9.73216978330366E-08	-4.32327355998949E-08
15	.015	-1.04614890874423E-03	-1.77712832974673E-07	7.10746783746552E-08
16	.016	5.89169576049776E-03	-2.20612581678901E-08	1.89833471203233E-08
17	.017	1.27743465750245E-02	2.3319969938088E-07	-9.49591366702992E-08
18	.018	1.56531067955542E-02	-5.20126828834114E-08	1.2543337616851E-08
19	.019	1.37992742771256E-02	-2.08150483602408E-07	8.76674665659426E-08
20	.02	9.63392993686477E-03	1.66693214933075E-07	-5.77877032225681E-08
Maximum		1.56531067955542E-02	2.3319969938088E-07	8.76674665659426E-08
Time of Maximum		.018	.017	.019
Minimum		-3.83587578842142E-03	-2.08150483602408E-07	-9.49591366702992E-08
Time of Minimum		.014	.019	.017

Displacement Time History for Node 3

Step	Time	DJ-X	DJ-Y	DJ-Z
0	0	0	0	0
1	.001	-1.21201696858416E-05	-2.53762732571413E-04	-4.16851505384341E-05
2	.002	-4.1532575498351E-05	-1.22840244529119E-03	-2.52197623566765E-04
3	.003	-4.03994824752259E-05	-3.00522426575699E-03	-7.15874152818337E-04
4	.004	7.36801873563848E-05	-5.07527550804123E-03	-1.30569143765742E-03
5	.005	3.34364500854815E-04	-6.74138228911925E-03	-1.79808306159778E-03
6	.006	6.60548155382141E-04	-7.63223440164853E-03	-2.09312349294584E-03
7	.007	8.82209610640772E-04	-7.96009659522967E-03	-2.2245663886665E-03
8	.008	8.58881822693181E-04	-8.33974105949151E-03	-2.28811281777314E-03
9	.009	6.00919379148923E-04	-9.31424618703907E-03	-2.44530133200492E-03
10	.01	2.94148186410349E-04	-1.09610765206419E-02	-2.79211910164786E-03
11	.011	3.13451060985819E-04	-1.03262783651844E-02	-2.85033513933724E-03
12	.012	7.32496520468543E-04	-4.69601944470161E-03	-1.62811959863203E-03
13	.013	9.35342181429847E-04	2.38256868622136E-03	5.37515099471747E-04
14	.014	2.9953632878961E-04	4.83208774362321E-03	1.5576635749032E-03
15	.015	-9.76855351599302E-04	2.66029658713133E-04	4.21624549831244E-04
16	.016	-1.84673542380129E-03	-8.49824569251616E-03	-1.7371911006048E-03
17	.017	-1.25134203832977E-03	-1.56818356386213E-02	-3.67536115114808E-03
18	.018	8.49229284462447E-04	-1.69122817227814E-02	-4.67215098459739E-03
19	.019	3.22488025319624E-03	-1.24340164945093E-02	-4.1367102320883E-03
20	.02	4.15181770975341E-03	-6.66396542427809E-03	-2.5924879442741E-03
Maximum		4.15181770975341E-03	4.83208774362321E-03	1.5576635749032E-03
Time of Maximum		.02	.014	.014
Minimum		-1.84673542380129E-03	-1.69122817227814E-02	-4.67215098459739E-03
Time of Minimum		.016	.018	.018

Axial Force Time History for Element 1

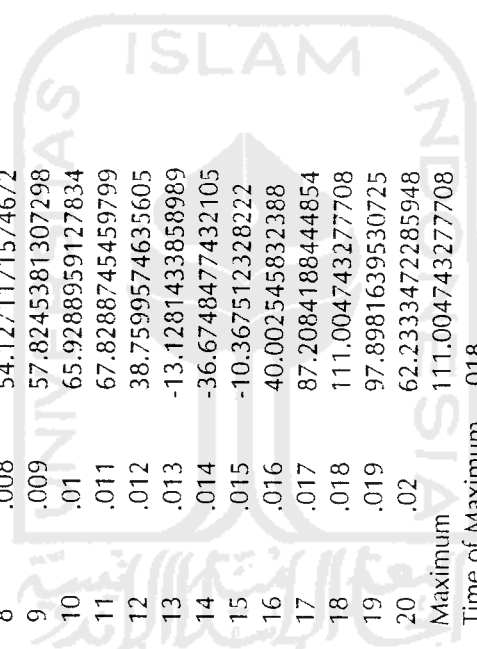
Step	Time	AM1
0	0	0
1	.001	-.928485783775074
2	.002	-5.87540399067387
3	.003	-16.8872306392427
4	.004	-30.8295949557657
5	.005	-42.5241053731022
6	.006	-49.6145998476521
7	.007	-52.639991243521
8	.008	-54.1271650153666
9	.009	-57.8225736345978
10	.01	-65.9283088221266
11	.011	-67.83599728454
12	.012	-38.766703371077
13	.013	13.1396460456667
14	.014	36.6836963813997
15	.015	10.3513560976532
16	.016	-40.0055193685126
17	.017	-87.1872538735466
18	.018	-111.009399945312
19	.019	-97.9170616894092
20	.02	-62.2182591097362
Maximum		36.6836963813997
Time of Maximum		.014
Minimum		-111.009399945312
Time of Minimum		.018

Axial Force Time History for Element 2

Step	Time	AM1
0	0	0
1	.001	.92911630723871
2	.002	5.87683106301016
3	.003	16.8876725307366
4	.004	30.8291003815454
5	.005	42.5232355450229
6	.006	49.6162125445892
7	.007	52.63953185157
8	.008	54.1271171574672
9	.009	57.8245381307298
10	.01	65.9288959127834
11	.011	67.8288745459799
12	.012	38.7599574635605
13	.013	-13.1281433858989
14	.014	-36.6748477432105
15	.015	-10.367512328222
16	.016	40.002545832388
17	.017	87.2084188444854
18	.018	111.004743277708
19	.019	97.8981639530725
20	.02	62.233472285948
Maximum		111.004743277708
Time of Maximum		.018
Minimum		-36.6748477432105
Time of Minimum		.014

Axial Force Time History for Element 3

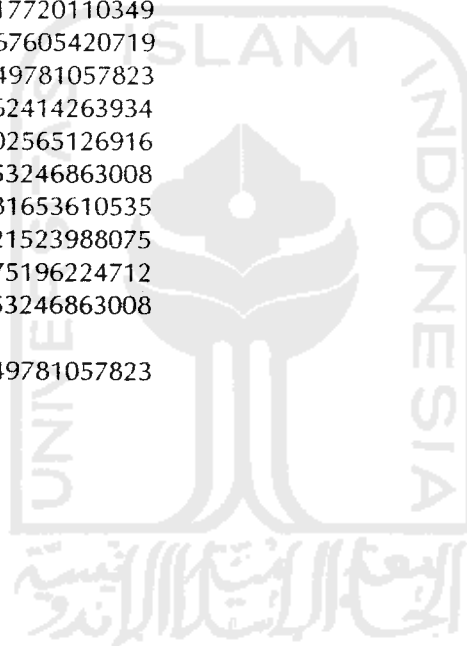
Step	Time	AM1
0	0	0
1	.001	-4.22687924199457E-04
2	.002	-9.52099599834828E-04
3	.003	-2.91199036127528E-04
4	.004	3.16569803636198E-04
5	.005	-7.73917417572009E-04
6	.006	-1.05565744244978E-03
7	.007	3.3054958075775E-04
8	.008	-1.964609207787E-06
9	.009	-1.33023952318293E-03
10	.01	-3.49460252769906E-04
11	.011	4.76642953268968E-03
12	.012	4.42262611417548E-03
13	.013	-7.68476400711439E-03
14	.014	-5.67825302873897E-03
15	.015	1.07965744464711E-02
16	.016	1.54091313296605E-03
17	.017	-1.41004614470149E-02
18	.018	3.69344622600988E-03
19	.019	1.23938115172063E-02
20	.02	-1.06670541128504E-02
Maximum		1.23938115172063E-02
Time of Maximum		.019
Minimum		-1.41004614470149E-02
Time of Minimum		.017



Axial Force Time History for Element 4				Axial Force Time History for Element 5				Axial Force Time History for Element 6			
Step	Time	AM1		Step	Time	AM1		Step	Time	AM1	
0	0	0		0	0	0		0	0	0	
1	.001	-3.58848726777822		1	.001	4.71737307590312		1	.001	-4.71761164959331	
2	.002	-15.2476630512935		2	.002	22.6448042588827		2	.002	-22.64533534128987	
3	.003	-33.137459206875		3	.003	55.6841510573387		3	.003	-55.6843380155551	
4	.004	-51.8895477769085		4	.004	96.10534785833		4	.004	-96.1051588533841	
5	.005	-66.2382509755711		5	.005	132.0051918615		5	.005	-132.005600672426	
6	.006	-72.5726132814447		6	.006	154.799572815042		6	.006	-154.800205918712	
7	.007	-74.0298102496726		7	.007	165.163119783439		7	.007	-165.162977910301	
8	.008	-79.2595466372151		8	.008	172.072167207765		8	.008	-172.072114778267	
9	.009	-93.1619717378191		9	.009	185.683666673202		9	.009	-185.684390401464	
10	.01	-113.236380978099		10	.01	210.663466931295		10	.01	-210.663753709844	
11	.011	-97.4150559940756		11	.011	196.940838148999		11	.011	-196.938158322975	
12	.012	-30.3211811262608		12	.012	98.8203510664775		12	.012	-98.8176389468021	
13	.013	27.5364667897768		13	.013	-25.2268018310488		13	.013	25.2225351794483	
14	.014	36.1539788720911		14	.014	-80.7853650669785		14	.014	80.7817231413316	
15	.015	-12.1558264881377		15	.015	-22.0289023527004		15	.015	22.0348896836066	
16	.016	-103.80134256422		16	.016	124.079912294664		16	.016	-124.078313137502	
17	.017	-175.454136741543		17	.017	269.023739191178		17	.017	-269.031738548851	
18	.018	-159.383054079385		18	.018	329.654957439752		18	.018	-329.653900788991	
19	.019	-87.6207403252548		19	.019	290.616408829958		19	.019	-290.609023722574	
20	.02	-31.1463499753954		20	.02	202.888130452312		20	.02	-202.892998488432	
Maximum		36.1539788720911		Maximum		329.654957439752		Maximum		80.7817231413316	
Time of Maximum		.014		Time of Maximum		.018		Time of Maximum		.014	
Minimum		-175.454136741543		Minimum		-80.7853650669785		Minimum		-329.653900788991	
Time of Minimum		.017		Time of Minimum		.014		Time of Minimum		.018	

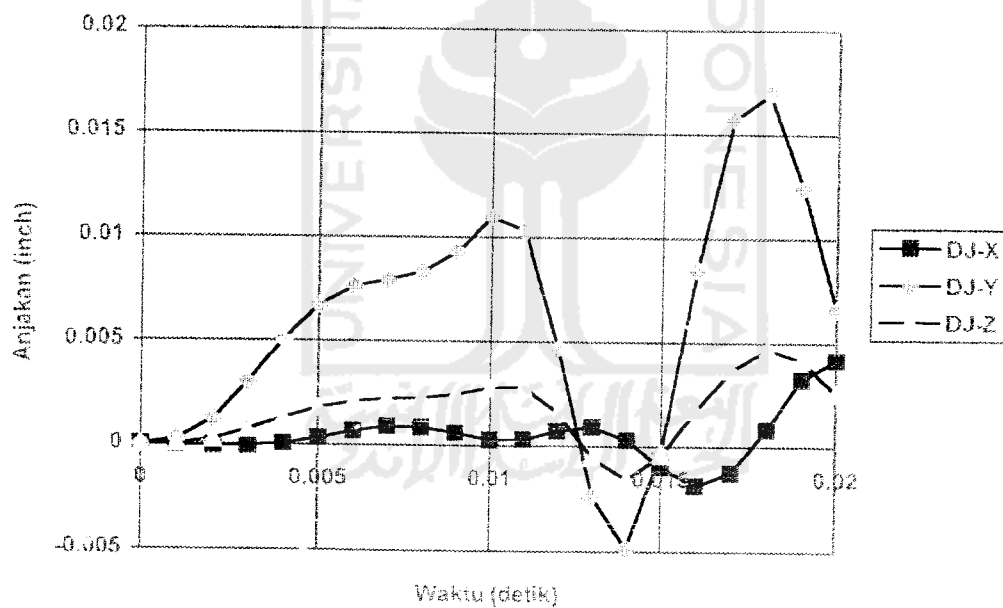
Axial Force Time History for Element 7

Step	Time	AM1
0	0	0
1	.001	3.58846460727512
2	.002	15.2475915932003
3	.003	33.1374037201339
4	.004	51.8895788452177
5	.005	66.2382524543529
6	.006	72.5724949758393
7	.007	74.0297606664738
8	.008	79.2596348282866
9	.009	93.1619325949955
10	.01	113.236214963311
11	.011	97.4153063018998
12	.012	30.3217720110349
13	.013	-27.5367605420719
14	.014	-36.1549781057823
15	.015	12.1562414263934
16	.016	105.802565126916
17	.017	175.453246863008
18	.018	159.381653610535
19	.019	87.6221523988075
20	.02	31.1475196224712
Maximum		175.453246863008
Time of Maximum		.017
Minimum		-36.1549781057823
Time of Minimum		.014

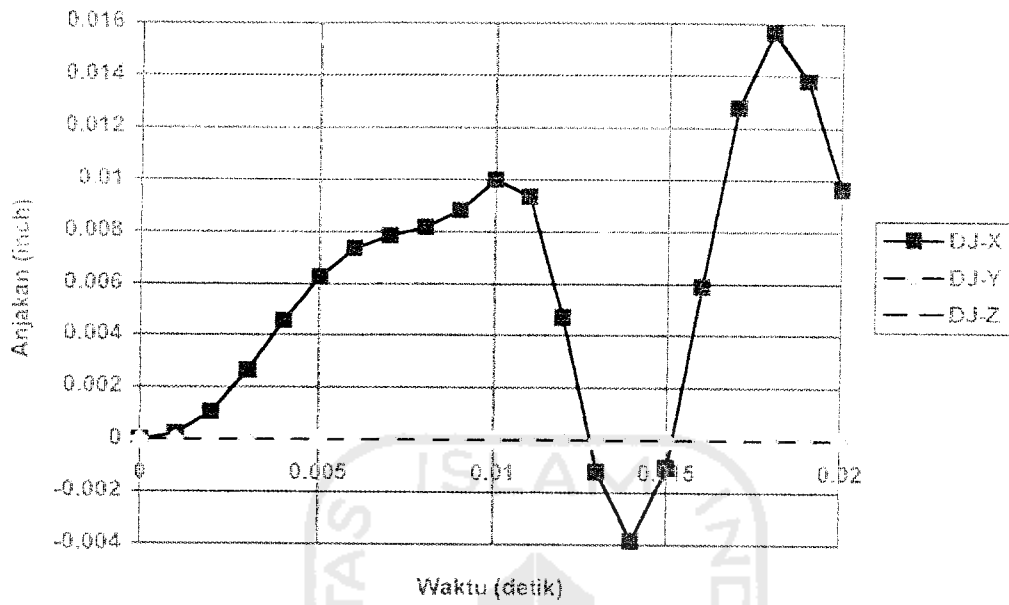


5.3 Penyajian Respons Struktur

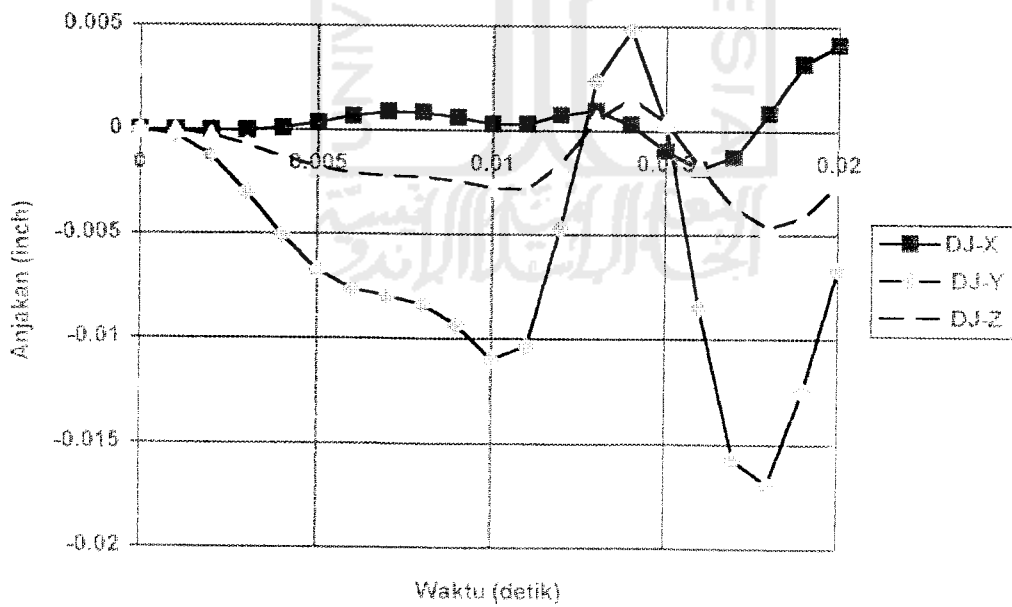
Untuk memperoleh respons yang menentukan bagi tahap perhitungan selanjutnya maka dicari harga respons maksimum dan minimum beserta waktu terjadinya. Nilai-nilai ini tercantum pada bagian dari keluaran program sesuai dengan Tabel 4.3. Untuk memudahkan pengguna dalam memanfaatkan respons yang dihasilkan, maka respons struktur dapat pula disajikan dalam Gambar 5.4, 5.5, 5.6, dan 5.7 berikut.



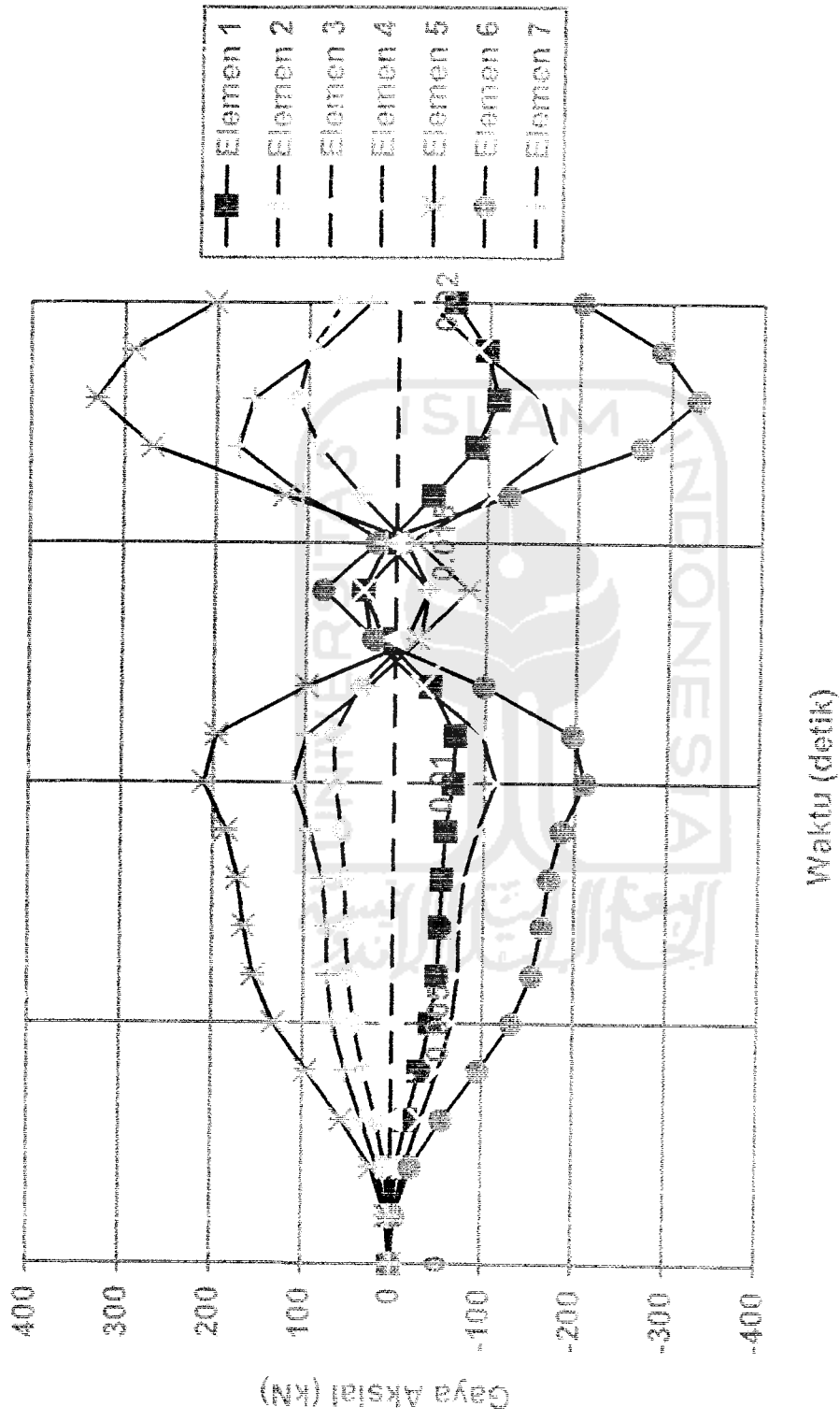
Gambar 5.4 Grafik Riwayat Waktu Anjakan untuk Titik Buhul 1.



Gambar 5.5 Grafik Riwayat Waktu Anjakan untuk Titik Buhul 2.

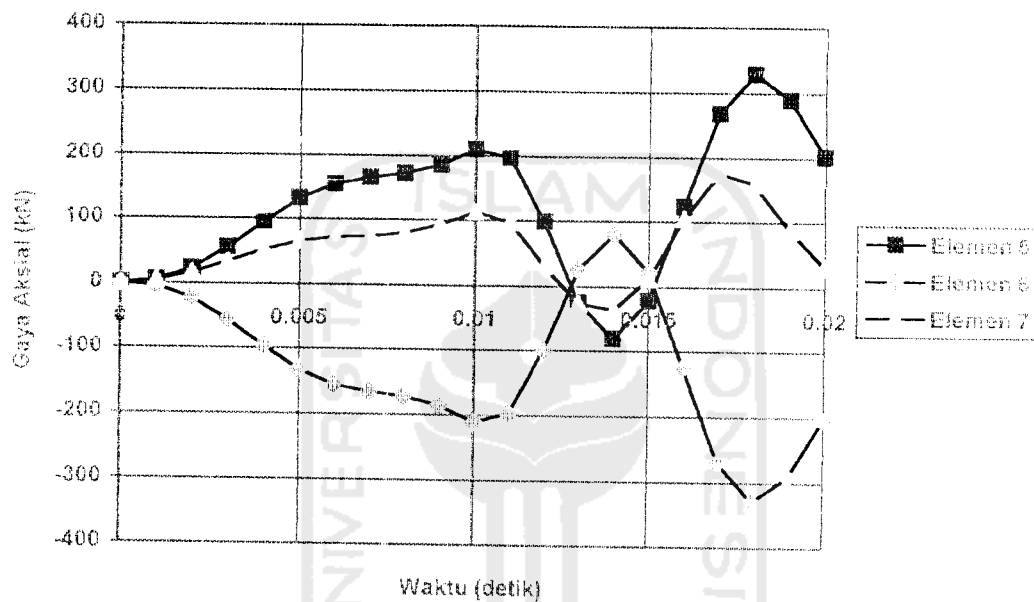


Gambar 5.6 Grafik Riwayat Waktu Anjakan untuk Titik Buhul 3.



Gambar 5.7 Grafik Riwayat Waktu Gaya Aksial untuk Seluruh Elemen Struktur.

Untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari perangkat lunak Castreet Version 1.1 dengan hasil perhitungan yang tercantum pada halaman 278 dari pustaka nomor 9, maka Respons Riwayat Waktu Gaya Aksial untuk elemen 5, 6 dan 7 diberikan tersendiri dalam Gambar berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik Riwayat Waktu Gaya Aksial untuk Elemen 5, 6, dan 7.

Untuk memperoleh respons struktur di atas diperlukan puluhan bahkan ratusan kali putaran untuk mencapai hasil yang diinginkan, dengan demikian ketepatan penerapan teori dalam program dapat diketahui melalui ketelitian respons struktur yang diperoleh. Berikut ini diberikan perbandingan respons struktur yang dituangkan dalam bentuk tabel.

Tabel 5.8 Perbandingan antara respons struktur menurut Castreet Version 1.1 dengan respons struktur yang tercantum pada halaman 278 dari pustaka nomor 9.

	Castreet Version 1.1	Halaman 278	Kesalahan (%)
Gaya pada Elemen 5			
Maksimum	329.654957439752	325.6	1.230061
Waktu terjadi	.018	.018	
Minimum	-80.7853650669785	-	
Waktu terjadi	.014	.014	
Gaya pada Elemen 6			
Maksimum	80.7817231413316	-	1.229745
Waktu terjadi	.014	.014	
Minimum	-329.653900788991	-325.6	
Waktu terjadi	.018	.018	
Gaya pada Elemen 7			
Maksimum	175.453246863008	175.1	0.201334
Waktu terjadi	.017	.017	
Minimum	-36.1549781057823	-	
Waktu terjadi	.014	.014	

1. Pada tabel di atas terlihat respons struktur menurut Castreet Version 1.1 tidak jauh berbeda dengan respons struktur yang diberikan oleh contoh soal pada halaman 278 dari pustaka nomor 9. Kesalahan maksimum yang terjadi adalah sebesar 1.230061% ($< 5\%$), hal ini terjadi karena adanya perbedaan toleransi yang digunakan yaitu $1E-12$ untuk Castreet Version 1.1 dan $1E-6$ untuk contoh soal tersebut, selain itu dalam Castreet Version 1.1 digunakan metode Jacobi untuk perhitungan nilai eigen dan vektor

dalam contoh soal digunakan metode Householder-QR. Dengan demikian prosedur yang telah dituangkan dalam perangkat lunak Castreet Version 1.1 ini dapat digunakan untuk struktur dengan spesifikasi lain.

