

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil *Mode Shape* dan Pembahasan

Mode shape yang diperoleh sebelum dilakukan perkuatan dan setelah dilakukan perkuatan berupa penggantian profil dengan pemodelan SAP2000 terdapat 12 *mode number* dengan 3 arah gerak, yaitu UX, UY dan UZ. Setiap ketiga arah tersebut memiliki nilai *ratio* perpindahan yang maksimum. Perbandingan hasil *mode shape* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

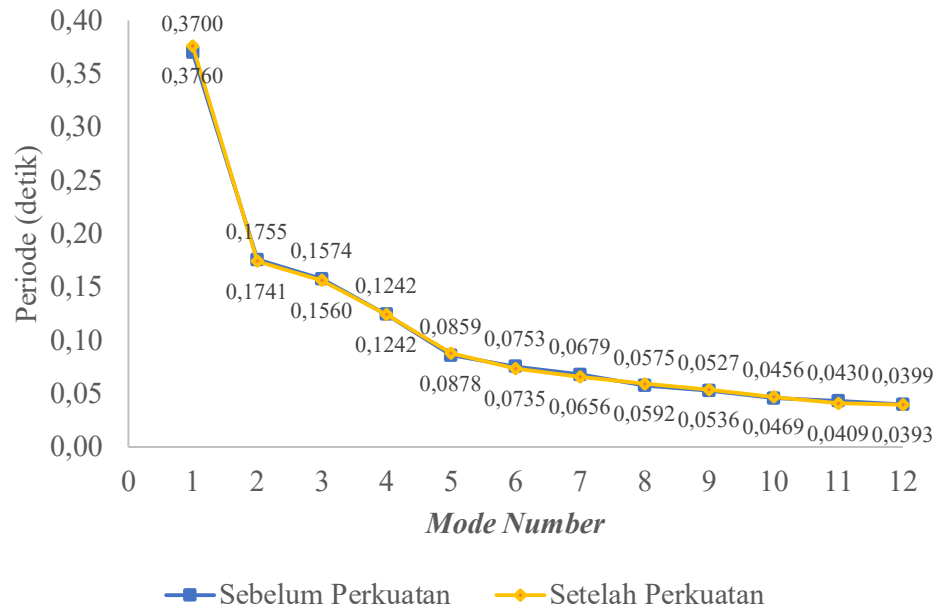
Tabel 4. 1 Nilai *Mode Shapes* Sebelum Perkuatan

<i>Output Case</i>	<i>Step Type</i>	<i>Mode Number</i>	<i>Period (second)</i>	UX	UY	UZ
MODAL	Mode	1	0,370023	0	0,432378	0
MODAL	Mode	2	0,175541	7,689E-20	0,426263	3,477E-20
MODAL	Mode	3	0,157414	1,369E-19	0,01464	5,114E-20
MODAL	Mode	4	0,124213	0,093841	0	0,7308
MODAL	Mode	5	0,085859	3,153E-17	0,001381	8,461E-18
MODAL	Mode	6	0,075276	0,825365	6,431E-18	0,065012
MODAL	Mode	7	0,067887	1,252E-19	0,003442	3,824E-20
MODAL	Mode	8	0,057461	7,66E-16	0,044413	2,169E-15
MODAL	Mode	9	0,052658	0,043815	6,579E-19	0,001564
MODAL	Mode	10	0,045598	5,997E-17	0,000077	4,012E-18
MODAL	Mode	11	0,043002	8,057E-15	0,000042	2,66E-14
MODAL	Mode	12	0,039863	8,772E-18	0,002803	9,194E-16

Tabel 4. 2 Nilai *Mode Shapes* Setelah Perkuatan

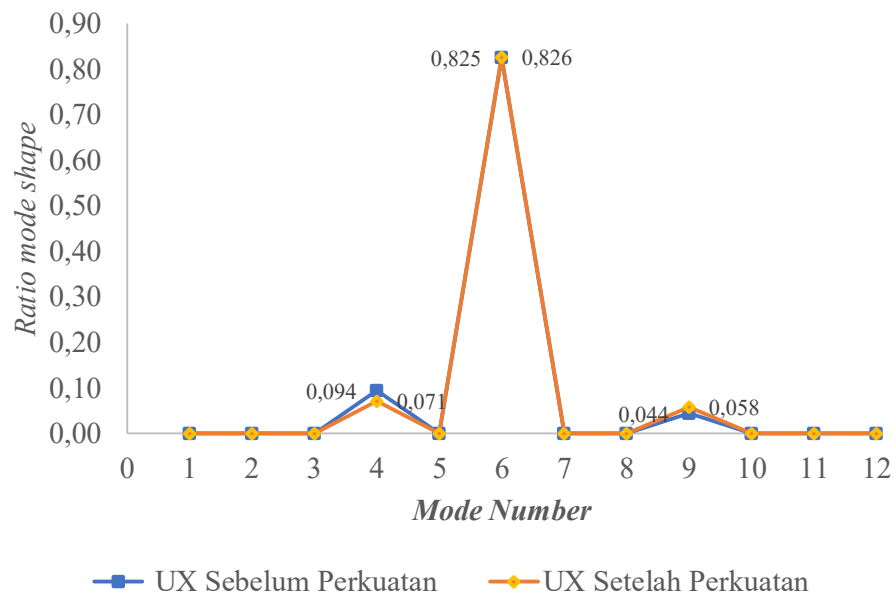
<i>Output Case</i>	<i>Step Type</i>	<i>Mode Number</i>	<i>Period (second)</i>	UX	UY	UZ
MODAL	Mode	1	0,375957	0	0,418263	0
MODAL	Mode	2	0,17412	0	0,442645	2,915E-20
MODAL	Mode	3	0,155985	4,925E-19	0,006921	6,162E-20
MODAL	Mode	4	0,124167	0,070648	1,109E-20	0,742044
MODAL	Mode	5	0,087811	1,822E-18	0,000739	1,45E-20
MODAL	Mode	6	0,073472	0,825962	1,315E-17	0,04707
MODAL	Mode	7	0,065619	4,054E-19	0,00421	1,367E-18
MODAL	Mode	8	0,059152	0	0,044421	3,065E-18
MODAL	Mode	9	0,053558	0,058267	8,848E-19	0,001648
MODAL	Mode	10	0,046892	1,769E-15	0,000054	1,473E-20
MODAL	Mode	11	0,040877	2,201E-15	0,002619	4,99E-15
MODAL	Mode	12	0,039347	2,989E-16	0,000028	7,677E-17

Hasil dari analisis perbandingan *mode shapes*, nilai periode terbesar sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 dengan nilai 0,370023 detik sedangkan nilai periode terbesar setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 dengan nilai 0,375957 detik. Nilai *ratio mode shapes* maksimum arah perpindahan UX sebelum dan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 6, untuk nilai *ratio mode shapes* maksimum perpindahan arah UY sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 2 dan nilai *ratio mode shapes* maksimum perpindahan arah UZ sebelum dan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 4. Perbandingan nilai periode dan nilai *ratio mode shape* perpindahan arah UX, UY, dan UZ dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.



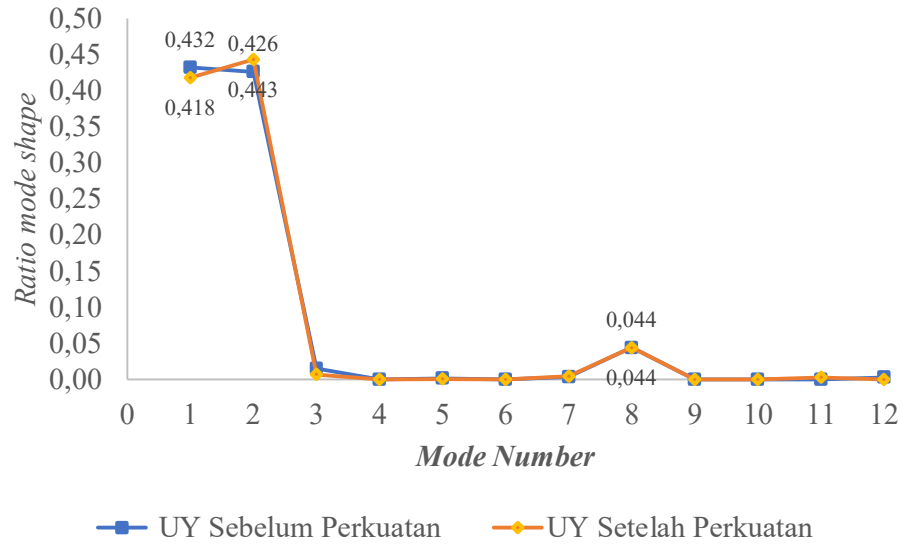
Gambar 4. 1. Grafik perbandingan periode sebelum dan setelah perkuatan

Berdasarkan Gambar 4.1 grafik menunjukkan bahwa nilai periode maksimum sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 dengan nilai 0,370023 detik, sedangkan nilai periode maksimum setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 dengan nilai 0,375957 detik.



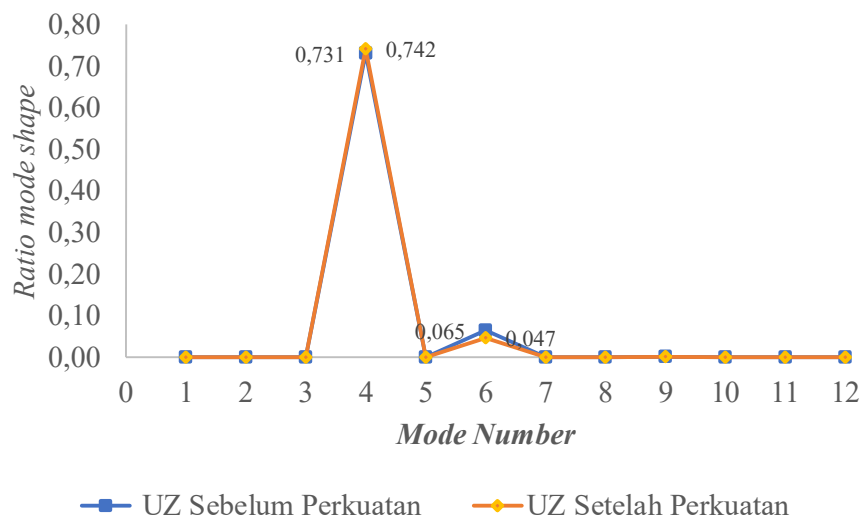
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan nilai *ratio mode shape* arah UX

Berdasarkan Gambar 4.2 grafik menunjukkan bahwa nilai *ratio mode shape* maksimum perpindahan arah UX sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 6 dengan nilai 0,825365 sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode shape* 6 dengan nilai 0,825962.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai *ratio mode shape* arah UY

Berdasarkan Gambar 4.3 grafik menunjukkan bahwa nilai *ratio mode shape* maksimum perpindahan arah UY sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 1 dengan nilai 0,432378 sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode shape* 2 dengan nilai 0,442645.



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan nilai *ratio mode shape* arah UZ

Berdasarkan Gambar 4.4 grafik menunjukkan bahwa nilai *ratio mode shape* maksimum perpindahan arah UZ sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 4 dengan nilai 0,7308 sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode shape* 4 dengan nilai 0,742044.

Tabel 4. 3 Nilai *Ratio Mode Shape* Maksimum Arah UX, UY, UZ Sebelum Perkuatan

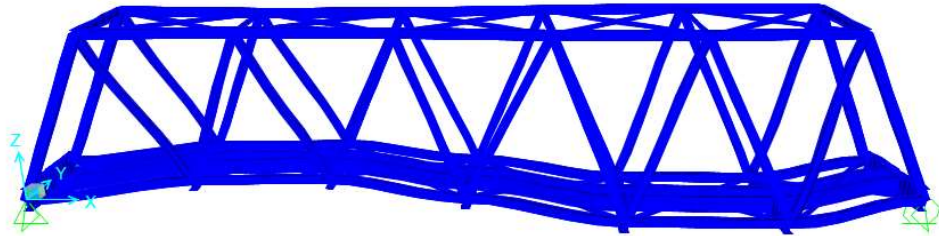
<i>Output Case</i>	<i>Step Type</i>	<i>Mode Number</i>	<i>Period (second)</i>	UX	UY	UZ
MODAL	Mode	6	0,075276	0,825365	6,431E-18	0,065012
MODAL	Mode	1	0,370023	0	0,432378	0
MODAL	Mode	4	0,124213	0,093841	0	0,7308

Tabel 4. 4 Nilai *Ratio Mode Shape* Maksimum Arah UX, UY, UZ Setelah Perkuatan

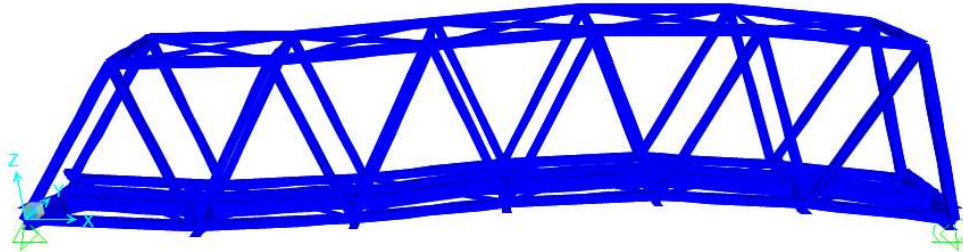
<i>Output Case</i>	<i>Step Type</i>	<i>Mode Number</i>	<i>Period (second)</i>	UX	UY	UZ
MODAL	Mode	6	0,073472	0,825962	1,315E-17	0,04707
MODAL	Mode	2	0,17412	0	0,442645	2,915E-20
MODAL	Mode	4	0,124167	0,070648	1,109E-20	0,742044

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 perbandingan nilai *ratio mode shapes* maksimum pada perpindahan arah UX sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 6 sebesar 0,825365 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,075276 detik, sedangkan nilai *ratio mode shapes* setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 6 sebesar 0,825962 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,073472 detik. Nilai *ratio mode shapes* maksimum pada perpindahan arah UY sebelum dilakukan perbaikan terjadi pada *mode number* 1 sebesar 0,432378 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,370023 detik, sedangkan nilai *ratio mode shape* setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 2 sebesar 0,442645 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,17412 detik. Nilai *ratio mode shapes* maksimum pada perpindahan arah UZ sebelum dilakukan perbaikan terjadi pada *mode number* 4 sebesar 0,7308 satuan perpindahan dengan nilai periode

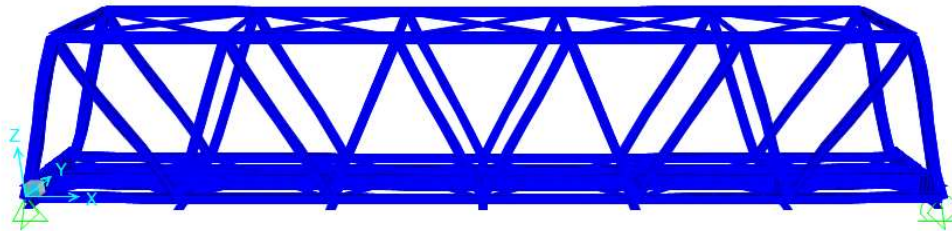
0,124213 detik, sedangkan nilai *ratio mode shapes* setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *mode number* 4 sebesar 0,742044 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,124167 detik. Hasil *mode shapes* pada pemodelan SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.10.



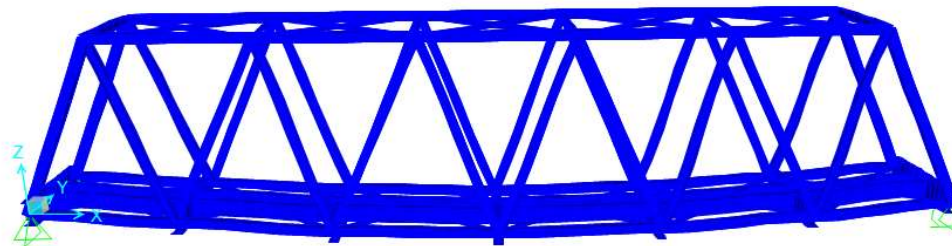
Gambar 4. 5 *Mode shapes* 6 arah UX sebelum perkuatan



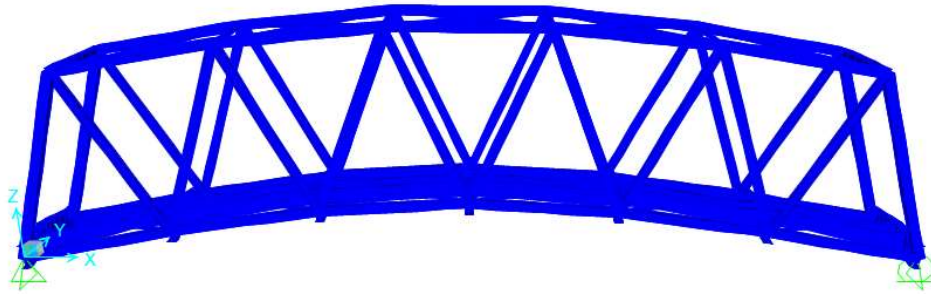
Gambar 4. 6 *Mode shapes* 6 arah UX setelah perkuatan



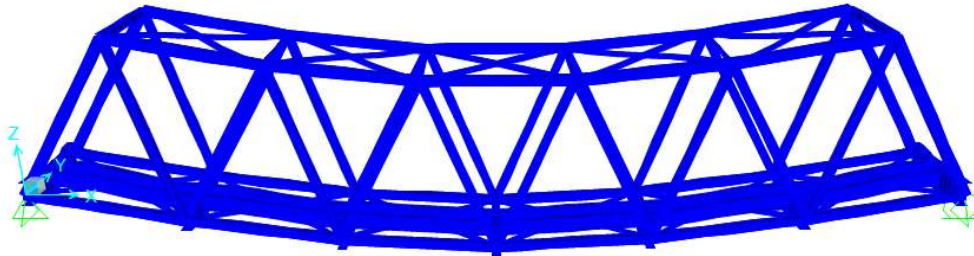
Gambar 4. 7 *Mode shapes* 1 arah UY sebelum perkuatan



Gambar 4. 8 *Mode shapes* 2 arah UY setelah perkuatan



Gambar 4. 9 *Mode shapes* 4 arah UZ sebelum perkuatan



Gambar 4. 10 *Mode shapes* 4 arah UZ setelah perkuatan

4.2. Hasil *Displacement* dan Pembahasan

Displacement yang diperoleh sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dan setelah dilakukan perkuatan berupa penggantian profil dengan pemodelan SAP2000 terjadi pada 3 arah perpindahan, yakni arah perpindahan U1, U2, dan U3. Dari ketiga arah perpindahan tersebut dicari nilai *displacement* maksimum dari seluruh *joint* pada struktur jembatan. Lendutan maksimum terjadi pada *displacement* maksimum pada arah perpindahan U3. Nilai lendutan yang terjadi kemudian dibandingkan dengan nilai lendutan ijin yang telah dihitung berdasarkan SNI T-03-2005. Nilai *displacement* maksimum arah perpindahan U1, U2, U3 sebelum dan setelah perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan maksimum} &= \frac{1}{800} \times \text{bentang} \dots\dots\dots (4.1) \\
 &= \frac{1}{800} \times 42000 \text{ mm} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

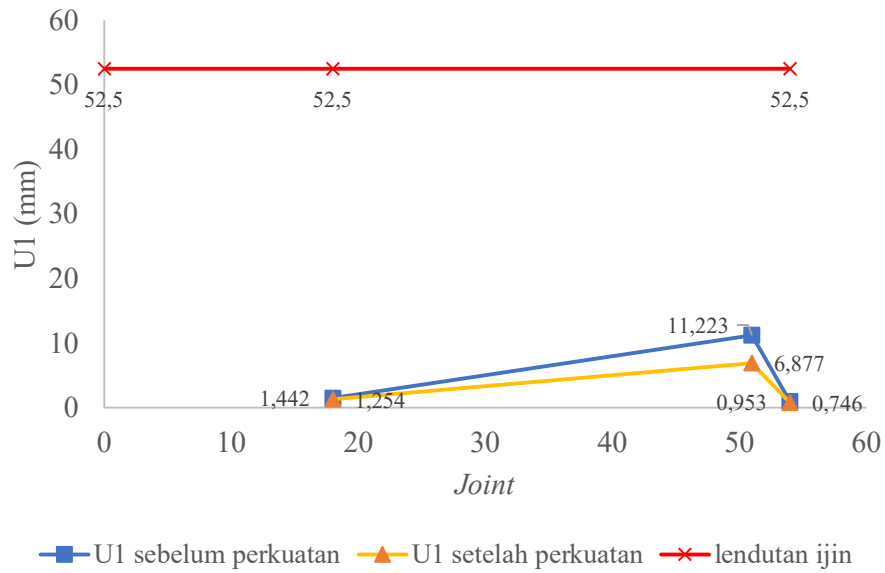
Tabel 4. 5 Nilai *Displacement* Maksimum Arah Perpindahan U1, U2, U3 Sebelum Perkuatan

<i>Joint</i>	<i>Step Type</i>	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
51	LL+K	11,222773	0,00398	-2,500445
54	LL+K	0,953279	-0,615116	-33,340201
18	LL+K	1,441909	-0,026005	-36,437377

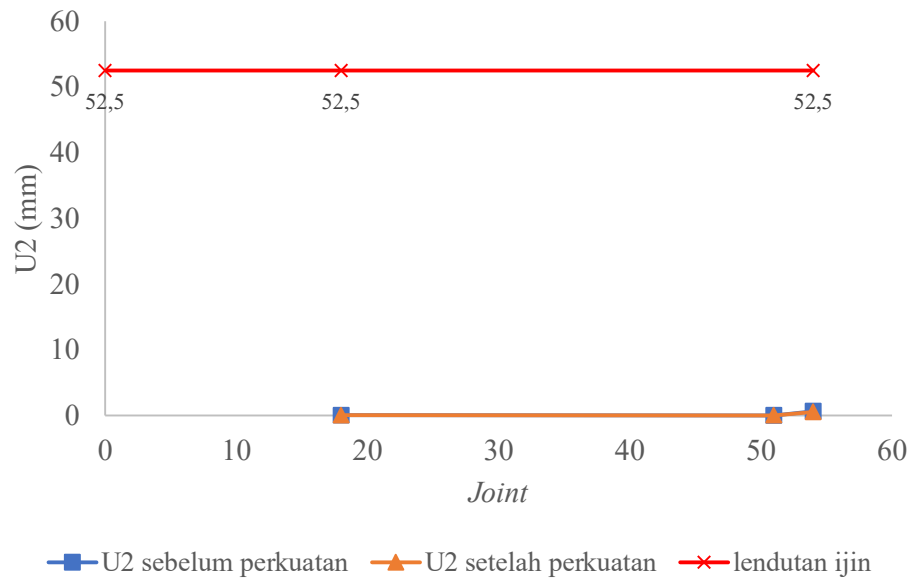
Tabel 4. 6 Nilai *Displacement* Maksimum Arah Perpindahan U1, U2, U3 Setelah Perkuatan

<i>Joint</i>	<i>Step Type</i>	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
51	LL+K	6,877212	-0,011753	-2,400426
54	LL+K	0,746442	-0,53632	-22,277119
18	LL+K	1,253836	-0,017243	-24,467447

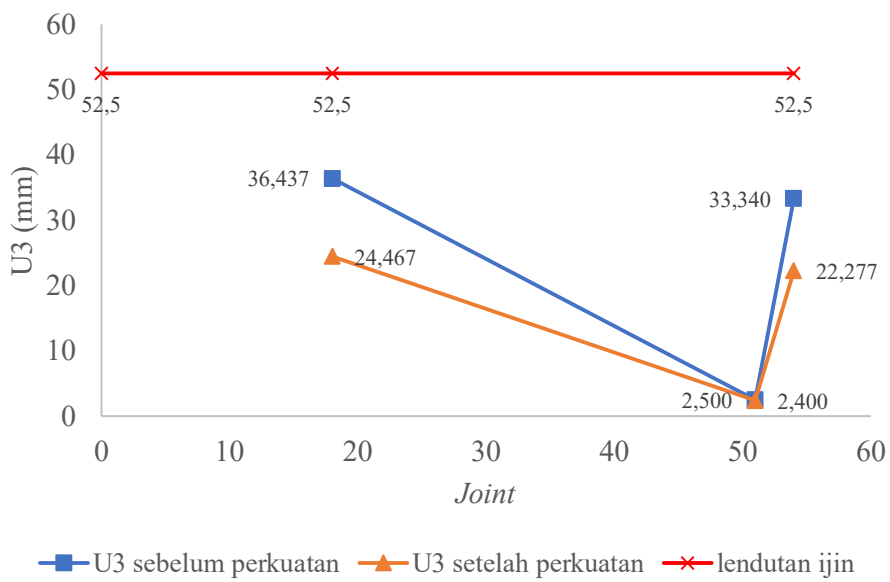
Berdasarkan Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 perbandingan nilai *displacement* maksimum pada arah perpindahan U1 sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 51 dengan nilai 11,222773 mm, sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 51 dengan nilai 6,877212 mm. Nilai *displacement* maksimum pada arah perpindahan U2 sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 54 dengan nilai -0,53632 mm, sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 53 dengan nilai -0,534355 mm. Nilai *displacement* maksimum pada arah perpindahan U3 sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 18 dengan nilai -36,437377 mm, sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 18 dengan nilai -24,467447 mm. Tanda min (-) menunjukkan arah *displacement* berlawanan dengan arah perpindahan sumbu U2 dan U3. Perbandingan nilai *displacement* arah gerak U1, U2, dan U3 dapat dilihat pada Gambar 4.11 sampai Gambar 4.13.



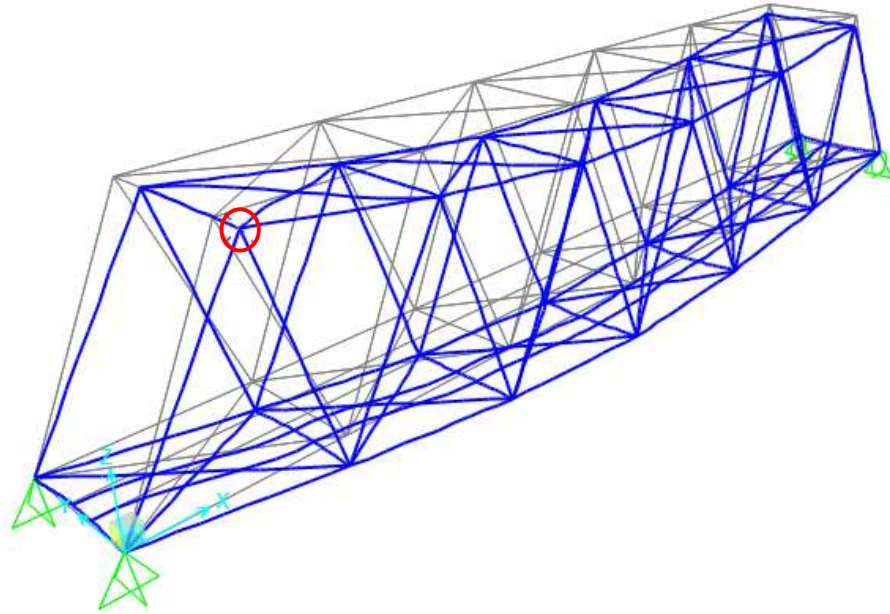
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan *displacement* arah perpindahan U1



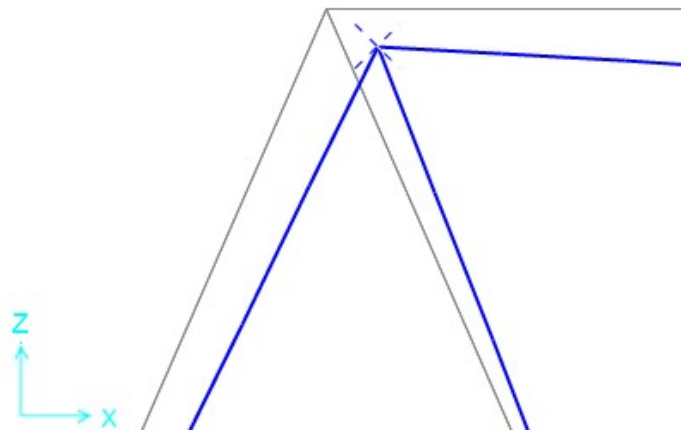
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan *displacement* arah perpindahan U2



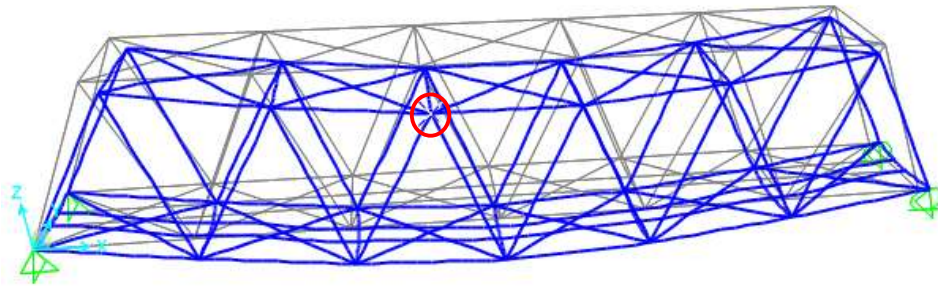
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan displacement arah perpindahan U3



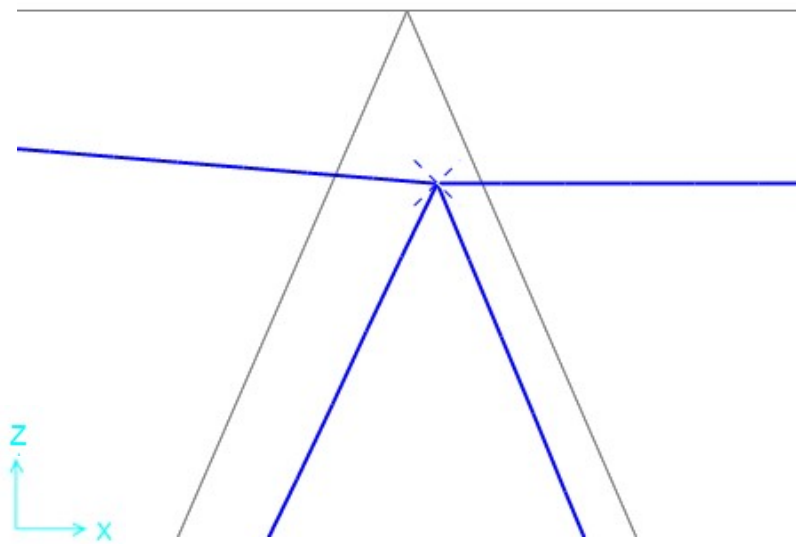
Gambar 4. 14 Posisi joint 51



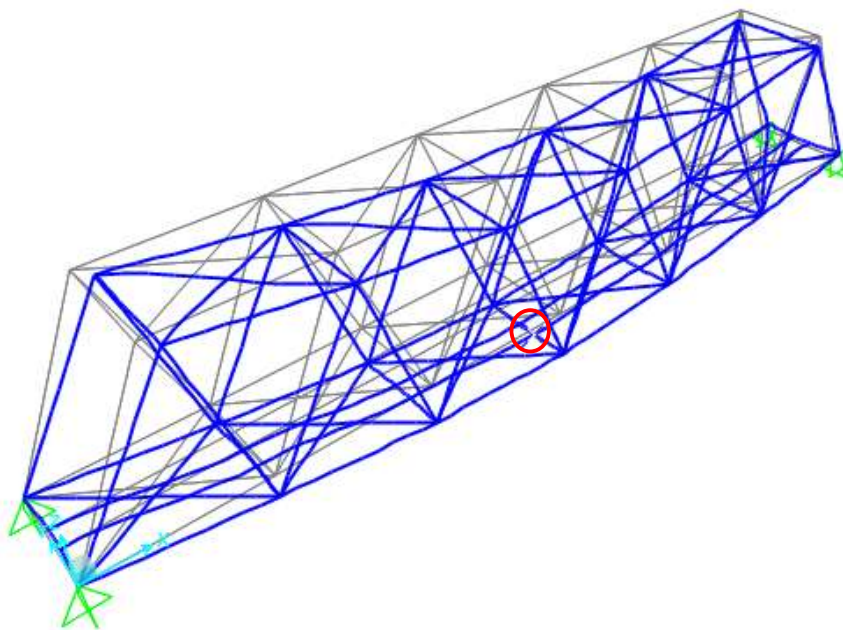
Gambar 4. 15 Detail *displacement joint 51*



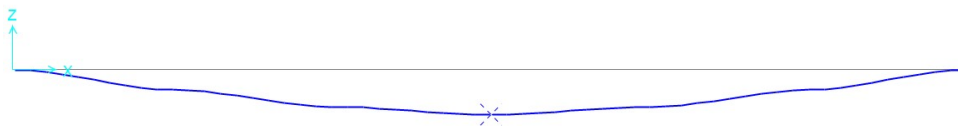
Gambar 4. 16 Posisi *displacement joint 54*



Gambar 4. 17 Detail *displacement joint 54*



Gambar 4. 18 Posisi *displacement joint* 18



Gambar 4. 19 Detail *displacement joint* 18

Lendutan pada struktur ditunjukkan oleh hasil *displacement* maksimum yang terjadi pada arah perpindahan U3. *Displacement* maksimum yang terjadi pada arah perpindahan U3 sebelum dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 18 dengan nilai sebesar 36,437377 mm, sedangkan setelah dilakukan perkuatan terjadi pada *joint* 18 dengan nilai sebesar 24,467447 mm. Lendutan yang terjadi pada struktur memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai lendutan ijin, yaitu sebesar 52,5 mm. Maka, struktur dinyatakan aman terhadap lendutan yang terjadi.

4.3. Hasil Kontrol Tegangan dan Pembahasan

Tegangan yang terjadi diakibatkan oleh pengaruh gaya luar. Tegangan merupakan gaya dalam pada elemen-elemen batang/*frame*. Pada penelitian ini, struktur jembatan ditinjau melalui nilai *ratio capacity* dan kapasitas batang tekan dan batang tarik. Nilai *ratio capacity* untuk menentukan batang/*frame* mengalami

overstressed atau tidak. Dari hasil analisis terhadap nilai *ratio capacity*, batang/*frame* yang mengalami *overstressed* kemudian dilakukan analisis terhadap besar kapasitas batang tekan dan batang tarik untuk menyatakan aman atau tidak aman.

4.3.1. Capacity Ratio

Kondisi saat *Run analysis* dengan beban-beban yang terjadi pada struktur sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Kondisi *Run Analysis* pada Beban yang Terjadi Sebelum Perkuatan

No.	Case Name	Keterangan
1	DL	Aman
2	DL+ADL	Aman
3	DL+ADL+ANGIN	Aman
4	DL+ADL+ANGIN+KEJUT	Aman
5	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM	Aman
6	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA	Tidak Aman
7	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG	Tidak Aman
8	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU	Tidak Aman
9	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y	Tidak Aman
10	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+MOVING LOAD	Tidak Aman
11	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y+MOVING LOAD	Tidak Aman

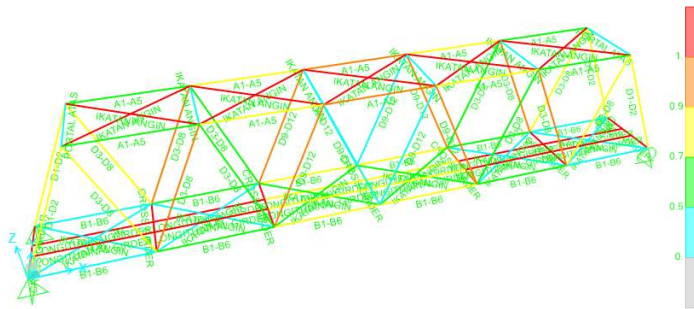
Tabel 4. 8 Kondisi *Run Analysis* pada Beban yang Terjadi Sebelum Perkuatan

No.	Case Name	Keterangan
1	DL	Aman
2	DL+ADL	Aman
3	DL+ADL+ANGIN	Aman
4	DL+ADL+ANGIN+KEJUT	Aman
5	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM	Aman
6	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA	Aman
7	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG	Aman

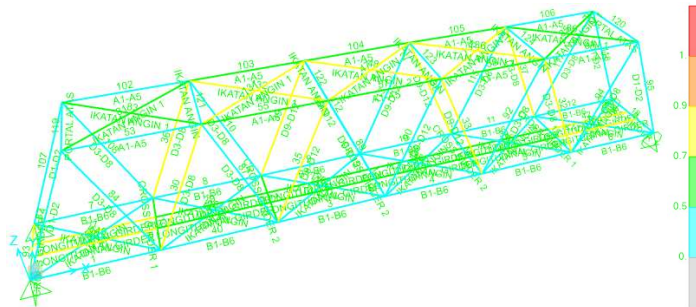
Tabel 4. 8 Kondisi *Run Analysis* pada Beban yang Terjadi Sebelum Perkuatan (Lanjutan)

No.	Case Name	Keterangan
8	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU	Aman
9	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y	Aman
10	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+MOVING LOAD	Aman
11	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y+MOVING LOAD	Aman

Hasil *run analysis* dan *check structure* pada struktur rangka sebelum dilakukan perkuatan kondisi 1 sampai 5, *steel frame* aman terhadap beban-beban yang terdapat pada kondisi 1-5 yang di *running*. Pada kondisi ke 6 sampai 11, beban ditambahkan dan dilakukan *running*, memiliki nilai *capacity ratio* yang melewati batas/*limit*. Hasilnya menunjukkan terdapat 25 *steel frame* yang mengalami *failed capacity*. Perbandingan hasil *Run Analysis* dan *check structure* seluruh beban pada struktur rangka sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4. 20 Hasil *Run Analysis* dan *check structure* sebelum dilakukan perkuatan



Gambar 4. 21 Hasil *Run Analysis* dan *check structure* setelah dilakukan perkuatan

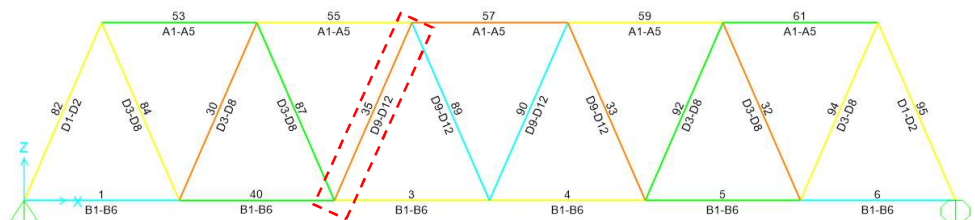
Setelah mutu baja diturunkan menjadi 70% pada rangka utama jembatan terdapat 2 batang/frame mengalami *overstressed* yang merupakan profil baja IWF 350.250.9.12 mm. Nilai perbandingan *ratio* batang/frame sebelum dan setelah dilakukan perbaikan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dan posisi *frame* 35 dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai Gambar 4.25 serta grafik perbandingan sebelum dan setelah perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.26.

Tabel 4. 9 Kondisi Batang/Frame yang Mengalami *Overstressed* pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12 mm) Sebelum Perkuatan

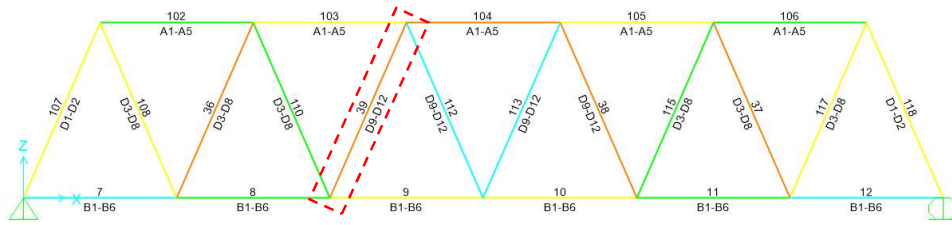
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
35 (IWF350.250.9.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,956	0,950	<i>overstressed</i>	-
39 (IWF350.250.9.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,956	0,950	<i>overstressed</i>	-

Tabel 4. 10 Kondisi Batang/Frame pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12 mm) Setelah Perkuatan

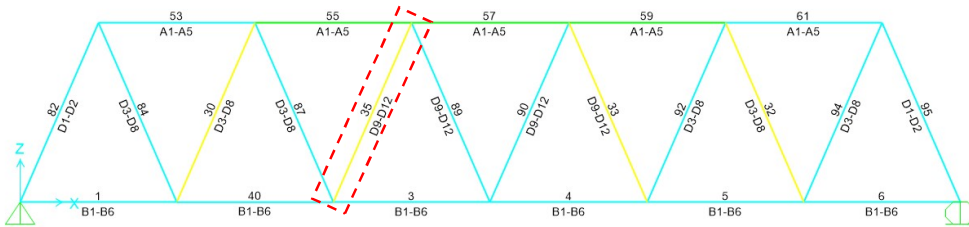
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
35 (IWF350.250.9.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,719	0,950	-	-
39 (IWF350.250.9.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,719	0,950	-	-



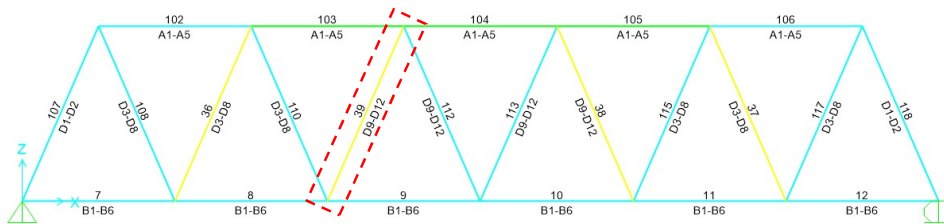
Gambar 4. 22 Posisi dan kondisi *frame* 35 sebelum perkuatan



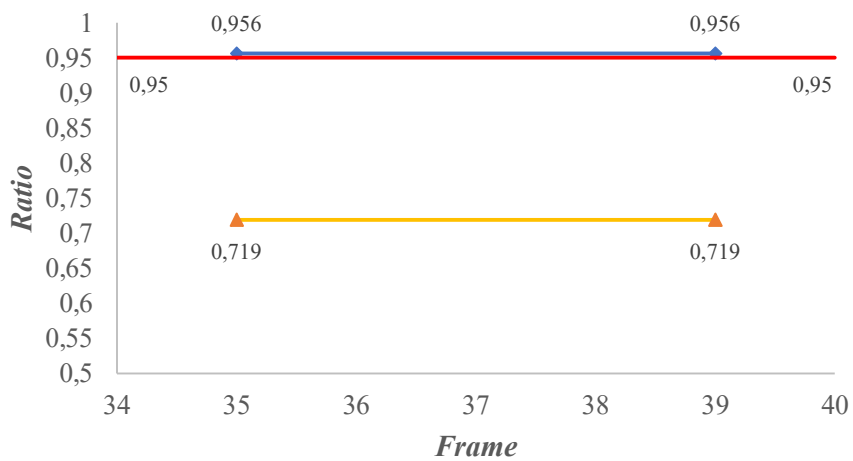
Gambar 4. 23 Posisi dan kondisi *frame* 39 sebelum perkuatan



Gambar 4. 24 Posisi dan kondisi *frame* 35 setelah perkuatan



Gambar 4. 25 Posisi dan kondisi *frame* 39 setelah perkuatan



◆ sebelum perkuatan ▲ setelah perkuatan — limit ratio

Gambar 4. 26 Grafik perbandingan nilai *ratio* *frame* 35 dan 36

Setelah mutu baja diturunkan menjadi 70% pada ikatan angin atas jembatan seluruh batang/*frame* mengalami *overstressed* dan *warning* $kl/r > 200$ yang merupakan profil baja IWF150.150.7.10 mm Kemudian dilakukan perkuatan dengan mengganti profil dengan IWF200.200.8.12 mm pada batang 128 dan 133 serta batang lain menggunakan IWF175.175.7.11 mm dengan mutu 100%. Nilai perbandingan *ratio* batang/*frame* sebelum dan setelah perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 dan hasil run analysis sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.

Tabel 4. 9 Kondisi Batang/*Frame* yang Mengalami *Overstressed* pada Ikatan Angin Atas (IWF 150.150.7.10 mm) Sebelum Perkuatan

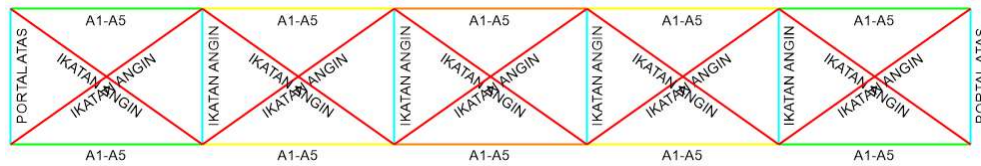
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
125 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,299	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
126 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,299	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
134 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,888	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
127 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,888	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
128 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	2,120	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
133 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	2,120	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
132 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,892	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
129 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,892	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
130 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,306	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$
131 (IWF150.150.7.10 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	1,306	0,950	<i>overstressed</i>	$kl/r > 200$

Tabel 4. 10 Kondisi Batang/*Frame* pada Ikatan Angin Atas Setelah Perkuatan

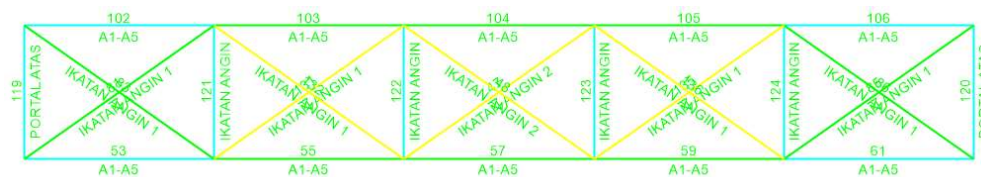
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
125 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,530	0,950	-	-
126 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,530	0,950	-	-

Tabel 4. 13 Kondisi Batang/*Frame* pada Ikatan Angin Atas Setelah Perkuatan (Lanjutan)

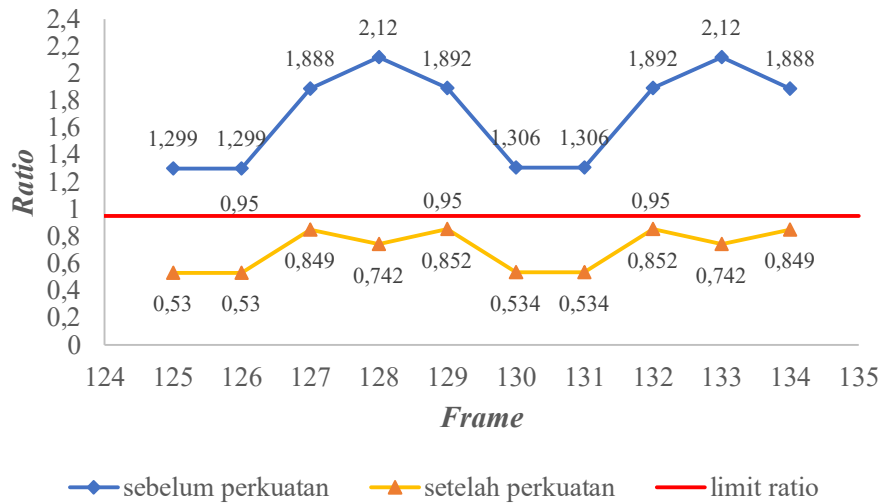
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
134 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,849	0,950	-	-
127 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,849	0,950	-	-
128 (IWF200.200.8.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,742	0,950	-	-
133 (IWF200.200.8.12 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,742	0,950	-	-
132 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,852	0,950	-	-
129 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,852	0,950	-	-
130 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,534	0,950	-	-
131 (IWF175.175.7.11 mm)	(10)1.4DL+ADL+1.8 LL+1.8B+1.2Lf+1.2T	0,534	0,950	-	-



Gambar 4. 27 Hasil *run analysis* dan *check structure* pada ikatan angin atas sebelum dilakukan perkuatan



Gambar 4. 28 Hasil *run analysis* dan *check structure* pada ikatan angin atas setelah dilakukan perkuatan



Gambar 4. 29 Grafik perbandingan nilai *ratio* pada ikatan angin atas sebelum dan setelah dilakukan perkuatan

Setelah mutu baja diturunkan menjadi 70% pada gelagar melintang jembatan terdapat 5 batang/*frame* mengalami *overstressed* yang merupakan profil baja IWF1100.400.16.28 mm. Penampang profil tersebut ternyata termasuk penampang langsing sehingga rawan mengalami tekuk lokal sehingga dilakukan perkuatan dengan mengganti profil dengan IWF1100.500.26.28 mm pada batang 13, 21, 34 dan 19 serta batang 24, 28 dan 31 menggunakan IWF1100.500.26.28 mm dengan mutu 100%. Nilai perbandingan *ratio* batang/*frame* gelagar melintang dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 dan hasil *run analysis* sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.31.

Tabel 4. 14 Kondisi Batang/*Frame* yang Mengalami *Overstressed* pada Gelagar Melintang (IWF1100.400.16.28 mm) Sebelum Perkuatan

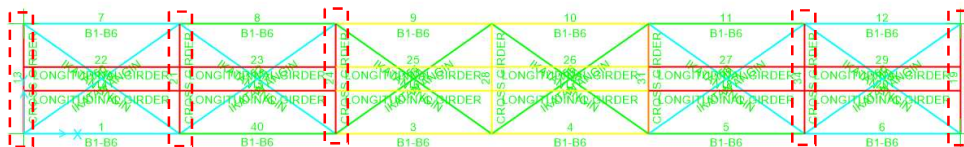
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>						
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>	
13 (IWF1100.400.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	2,268	0,950	<i>overstressed</i>	-	
21 (IWF1100.400.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,804	0,950	<i>overstressed</i>	-	
24 (IWF1100.400.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,286	0,950	<i>overstressed</i>	-	

Tabel 4. 14 Kondisi Batang/*Frame* yang Mengalami *Overstressed* pada Gelagar Melintang (IWF1100.400.16.28 mm) Sebelum Perkuatan (Lanjutan)

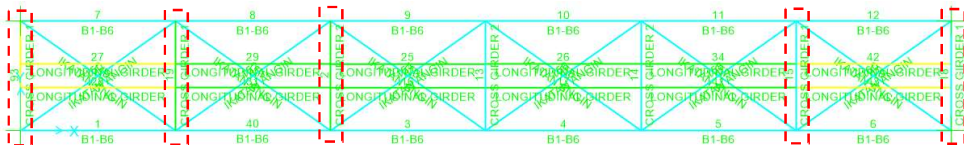
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
34 (IWF1100.400.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,283	0,950	<i>overstressed</i>	-
19 (IWF1100.400.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,509	0,950	<i>overstressed</i>	-

Tabel 4. 15 Kondisi Batang/*Frame* pada Gelagar Melintang Setelah Perkuatan

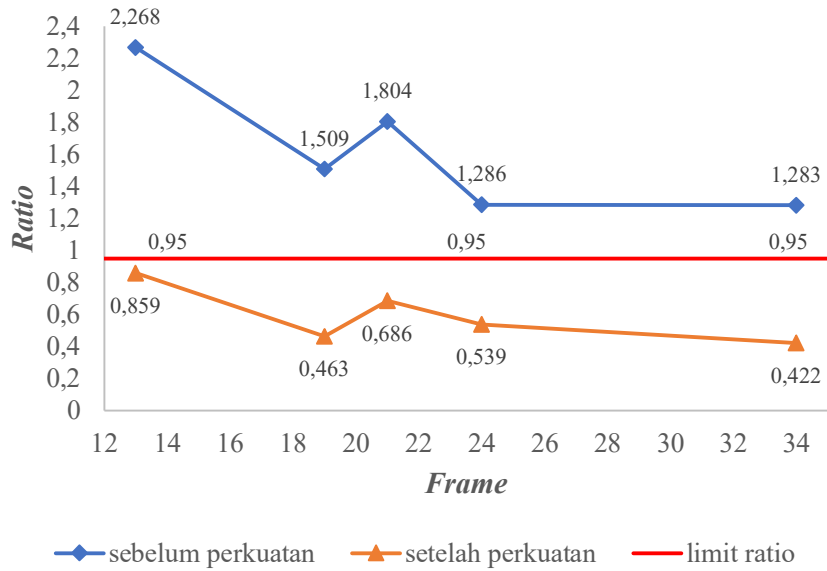
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
13 (IWF1100.500.26.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,859	0,950	-	-
21 (IWF1100.500.26.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,686	0,950	-	-
24 (IWF1100.400.26.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,539	0,950	-	-
34 (IWF1100.500.26.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,422	0,950	-	-
19 (IWF1100.500.26.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,463	0,950	-	-



Gambar 4. 30 Hasil *run analysis* dan *check structure* pada gelagar melintang sebelum dilakukan perkuatan



Gambar 4. 31 Hasil *run analysis* dan *check structure* pada gelagar melintang setelah dilakukan perkuatan



Gambar 4. 32 Grafik perbandingan nilai *ratio* pada gelagar melintang sebelum dan setelah dilakukan perkuatan

Setelah mutu baja diturunkan menjadi 70% pada gelagar memanjang jembatan terdapat 8 batang/*frame* mengalami *overstressed* yang merupakan profil baja IWF700.350.16.28 mm. Nilai perbandingan *ratio* batang/*frame* sebelum dan setelah dilakukan perbaikan dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 dan hasil run analysis dapat dilihat pada Gambar 4.33 dan Gambar 4.34.

Tabel 4. 16 Kondisi Batang/*Frame* yang Mengalami *Overstressed* pada Gelagar Memanjang (IWF700.350.16.28 mm) Sebelum Perkuatan

Frame	Steel Frame Failed Capacity				Status	Warning
	Combo	Ratio	Limit Ratio			
22 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,350	0,950		<i>overstressed</i>	-
14 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,350	0,950		<i>overstressed</i>	-
23 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,045	0,950		<i>overstressed</i>	-

Tabel 4. 16 Kondisi Batang/*Frame* yang Mengalami *Overstressed* pada Gelagar Memanjang (IWF700.350.16.28 mm) Sebelum Perkuatan (Lanjutan)

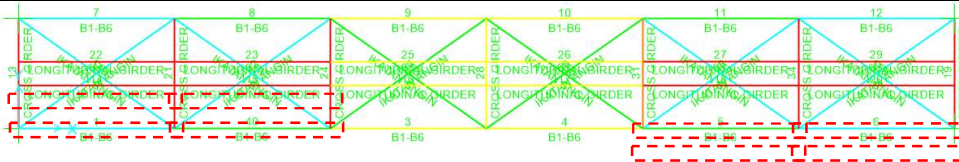
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
15 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,045	0,950	<i>overstressed</i>	-
27 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,044	0,950	<i>overstressed</i>	-
18 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,044	0,950	<i>overstressed</i>	-
29 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,300	0,950	<i>overstressed</i>	-
20 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	1,300	0,950	<i>overstressed</i>	-

Tabel 4. 17 Kondisi Batang/*Frame* pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12 mm) Setelah Perkuatan

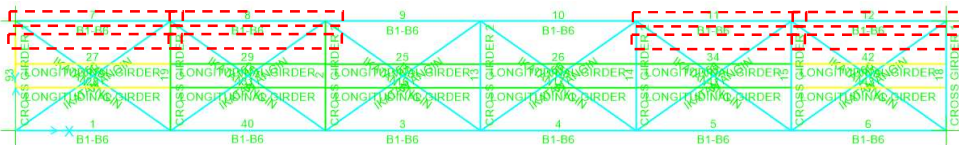
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
22 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,762	0,950	-	-
14 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,762	0,950	-	-
23 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,599	0,950	-	-
15 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,599	0,950	-	-
27 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,595	0,950	-	-

Tabel 4. 17 Kondisi Batang/Frame pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12 mm) Setelah Perkuatan (Lanjutan)

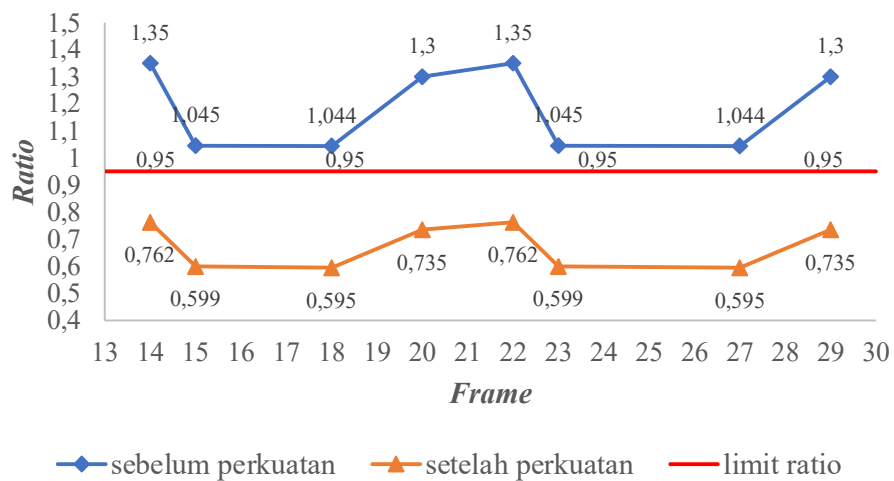
<i>Steel Frame Failed Capacity</i>					
<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	<i>Ratio</i>	<i>Limit Ratio</i>	<i>Status</i>	<i>Warning</i>
18 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,595	0,950	-	-
29 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,735	0,950	-	-
20 (IWF700.350.16.28 mm)	(10)1.4DL+ADL+ 1.8LL+1.8B+ 1.2Lf+1.2T	0,735	0,950	-	-



Gambar 4. 33 Hasil Run Analysis dan check structure pada gelagar memanjang sebelum dilakukan perkuatan



Gambar 4. 34 Hasil Run Analysis dan check structure pada gelagar memanjang setelah dilakukan perkuatan



Gambar 4. 35 Grafik perbandingan nilai ratio pada gelagar memanjang sebelum dan setelah dilakukan perkuatan

4.3.2. Batang Tekan dan Batang Tarik

Nilai tahanan pada batang/*frame* yang mengalami *overstressed* sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.

Tabel 4. 18 Nilai Tahanan pada Batang/*Frame Overstressed* Sebelum Perkuatan

<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	Pu (ton)	Pn _{tekan} (ton)	Pn _{tarik} (ton)	Status	Ket.
13 (IWF1100.40 0.16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	0,002	-	623,540	Aman	Tarik
21 (IWF1100.40 0.16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-22,142	570,894	-	Aman	Tekan
24 (IWF1100.40 0.16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-30,312	570,894	-	Aman	Tekan
34 (IWF1100.40 0.16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-12,567	570,894	-	Aman	Tekan
19 (IWF1100.40 0.16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-0,005	570,894	-	Aman	Tekan
22 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	63,456	-	476,838	Aman	Tarik
14 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	63,456	-	476,838	Aman	Tarik
23 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	67,517	-	476,838	Aman	Tarik
15 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	67,517	-	476,838	Aman	Tarik
27 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	67,117	-	476,838	Aman	Tarik
18 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	67,117	-	476,838	Aman	Tarik
29 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	34,554	-	476,838	Aman	Tarik
20 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	34,554	-	476,838	Aman	Tarik

Tabel 4. 18 Nilai Tahanan pada batang/*Frame Overstressed* Sebelum Perkuatan (Lanjutan)

<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	Pu (ton)	Pn _{tekan} (ton)	Pn _{tarik} (ton)	Status	Ket.
35 (IWF350.250. 9.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-61,235	65,339	-	Aman	Tekan
39 (IWF350.250. 9.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-61,235	65,339	-	Aman	Tekan
125 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-15,026	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
126 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-15,026	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
134 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-22,407	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
127 (IWF150.150. 7.10 mm)	1.4DL+ADL+ 1.8 LL+1.8B+1.2L f+1.2T	-22,407	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
128 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-25,324	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
133 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-25,324	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
132 (IWF150.150. 7.10 mm)	1.4DL+ADL+ 1.8 LL+1.8B+1.2L f+1.2T	-22,462	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
129 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-22,462	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
130 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-15,104	12,612	-	Tidak Aman	Tekan
131 (IWF150.150. 7.10 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-15,104	12,612	-	Tidak Aman	Tekan

Tabel 4. 19 Nilai Tahanan pada Batang/*Frame Overstressed* Setelah Perkuatan

<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	Pu (ton)	Pn _{tekan} (ton)	Pn _{tarik} (ton)	Status	Ket.
13 (IWF1100.50 0.26.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	0,0007	-	1256,15	Aman	Tarik
21 (IWF1100.50 0.26.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-13,409	1233,56	-	Aman	Tekan
24 (IWF1100.40 0.26.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-18,772	1083,14	-	Aman	Tekan
34 (IWF1100.50 0.26.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-7,733	1233,46	-	Aman	Tekan
19 (IWF1100.50 0.26.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-0,0009	1233,46	-	Aman	Tekan
22 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	47,092	-	476,838	Aman	Tarik
14 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	47,092	-	476,838	Aman	Tarik
23 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	82,880	-	476,838	Aman	Tarik
15 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	82,880	-	476,838	Aman	Tarik
27 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	74,697	-	476,838	Aman	Tarik
18 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	74,697	-	476,838	Aman	Tarik
29 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	37,262	-	476,838	Aman	Tarik
20 (IWF700.350. 16.28 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	37,262	-	476,838	Aman	Tarik
35 (IWF350.250. 9.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-45,772	65,339	-	Aman	Tekan
39 (IWF350.250. 9.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-45,772	65,339	-	Aman	Tekan

Tabel 4. 19 Nilai Tahanan pada Batang/*Frame Overstressed* Setelah Perkuatan (Lanjutan)

<i>Frame</i>	<i>Combo</i>	Pu (ton)	Pn _{tekan} (ton)	Pn _{tarik} (ton)	Status	Ket.
125 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-9,607	21,389	-	Aman	Tekan
126 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-9,607	21,389	-	Aman	Tekan
134 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-16,623	21,389	-	Aman	Tekan
127 (IWF175.175. 7.11 mm)	1.4DL+ADL+ 1.8 LL+1.8B+1.2L f+1.2T	-16,623	21,389	-	Aman	Tekan
128 (IWF200.200. 8.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-23,861	34,824	-	Aman	Tekan
133 (IWF200.200. 8.12 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-23,861	34,824	-	Aman	Tekan
132 (IWF175.175. 7.11 mm)	1.4DL+ADL+ 1.8 LL+1.8B+1.2L f+1.2T	-16,672	21,389	-	Aman	Tekan
129 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-16,672	21,389	-	Aman	Tekan
130 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-9,683	21,389	-	Aman	Tekan
131 (IWF175.175. 7.11 mm)	(10)1.4DL+A DL+1.8LL+1.8 B+1.2Lf+1.2T	-9,683	21,389	-	Aman	Tekan

Analisis pada struktur rangka menggunakan *software* SAP2000 V.20. didapatkan perbandingan hasil dari besaran tahanan pada batang/*frame* yang mengalami *overstressed* sebelum dan setelah dilakukan perkuatan. Setiap batang/*frame* memiliki kapasitas besaran untuk dapat menahan tegangan yang terjadi pada batang/*frame* akibat beban. Tegangan terbesar sebelum dilakukan perkuatan terdapat pada batang/*frame* tekan IWF700.350.16.28 mm yaitu dengan nilai Pu sebesar 67,517 ton dengan kapasitas Pn_{tekan} sebesar 476,838 ton, sedangkan

tegangan terbesar setelah dilakukan perkuatan terdapat pada batang/*frame* tekan IWF700.350.16.28 mm yaitu dengan nilai P_u sebesar 82,880 ton dengan kapasitas P_{ntekan} sebesar 476,838 ton.