

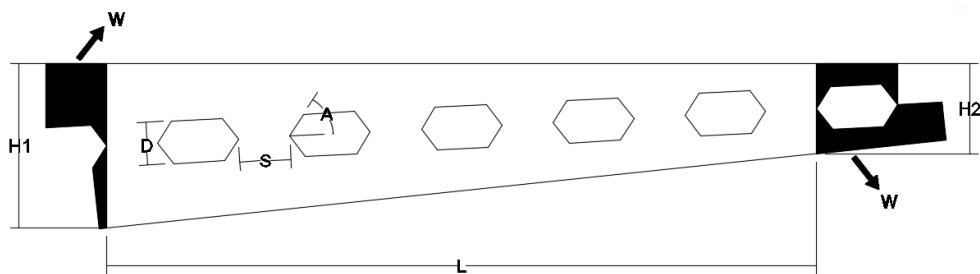
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemodelan Benda Uji pada Program AutoCAD

1. Hasil Dimensi Benda Uji pada Program AutoCAD

Pemodelan dengan menggunakan program AutoCAD digunakan untuk mencari dimensi yang sesuai dengan variasi dan ukuran baja yang optimal yang digunakan supaya sisa pemotongan yang pada hasil pemodelan tidak terlalu banyak. Berikut adalah parameter yang dijadikan sebagai acuan dalam pemodelan 2D pada AutoCAD seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Benda uji dan parameter yang digunakan

Keterangan:

H1 : Tinggi balok bagian kiri

W : Waste (sisa pemotongan baja untuk dibuang)

D : Tinggi Lubang

S : Jarak antar lubang yang juga merupakan lebar lubang (diameter)

A : Sudut Lubang

H2 : Tinggi balok bagian kanan

Pemodelan yang dilakukan menghasilkan 72 buah benda uji dengan variasi yang telah ditentukan. Data pemodelan dapat dilihat pada Tabel 5.1 hingga Tabel 5.4 yang dikelompokkan berdasarkan panjang bentang benda uji.

Tabel 5.1 Data–data dimensi benda uji bentang 2000 ± 100 mm

No	Bentang (mm)	Tinggi Kiri (mm)	Tinggi Kanan (mm)	Sudut (°)	Diameter (mm)	Jarak Antar Lubang (mm)
1	1993	255	101	45	50	50
2	1944		101		50	70
3	1925		104		50	90
4	1964		125		75	50
5	2000		113		75	70
6	2121		111		75	90
7	2041		139		100	50
8	1988		151		100	70
9	2048		137		100	90
10	2030		100	50	50	50
11	2068		88		50	70
12	2082		86		50	90
13	2002		125		75	50
14	2096		113		75	70
15	2031		112		75	90
16	2072		140		100	50
17	2083		139		100	70
18	1908		151		100	90

Tabel 5.2 Data–data dimensi benda uji bentang 2500 ± 100 mm

No	Bentang (mm)	Tinggi Kiri (mm)	Tinggi Kanan (mm)	Sudut (°)	Diameter (mm)	Jarak Antar Lubang (mm)
1	2592	255	90	45	50	50
2	2500	255	111	45	50	70
3	2606	255	87	45	50	90
4	2496	255	125	45	75	50
5	2417	255	125	45	75	70
6	2382	255	127	45	75	90
7	2446	255	149	45	100	50
8	2461	255	150	45	100	70
9	2592	255	138	45	100	90
10	2599	255	90	50	50	50
11	2428	255	101	50	50	70
12	2526	255	87	50	50	90
13	2489	255	124	50	75	50
14	2500	255	126	50	75	70
15	2500	255	13	50	75	90
16	2434	255	149	50	100	50
17	2528	255	140	50	100	70
18	2463	255	151	50	100	90

Tabel 5.3 Data–data dimensi benda uji bentang 3000 ± 100 mm

No	Bentang (mm)	Tinggi Kiri (mm)	Tinggi Kanan (mm)	Sudut (°)	Diameter (mm)	Jarak Antar Lubang (mm)
1	3041	255	91	45	50	50
2	3105	255	90	45	50	90
3	3063	255	88	45	50	70
4	3018	255	124	45	75	50
5	3067	255	115	45	75	70
6	3126	255	113	45	75	90
7	3040	255	141	45	100	50
8	2930	255	149	45	100	70
9	2880	255	150	45	100	90
10	3021	255	98	50	50	50
11	2973	255	100	50	50	70
12	2935	255	99	50	50	90
13	2976	255	123	50	75	50
14	3095	255	115	50	75	70
15	3000	255	114	50	75	90
16	2988	255	148	50	100	50
17	2979	255	149	50	100	70
18	2982	255	149	50	100	90

Tabel 5.4 Data–data dimensi benda uji bentang 3500 ± 100 mm

No	Bentang (mm)	Tinggi Kiri (mm)	Tinggi Kanan (mm)	Sudut (°)	Diameter (mm)	Jarak Antar Lubang (mm)
1	3494	255	98	45	50	50
2	3484	255	99	45	50	70
3	3524	255	89	45	50	90
4	3539	255	116	45	75	50
5	3500	255	124	45	75	70
6	3400	255	125	45	75	90
7	3439	255	148	45	100	50
8	3420	255	141	45	100	70
9	3427	255	149	45	100	90
10	3592	255	92	50	50	50
11	3500	255	98	50	50	70
12	3392	255	99	50	50	90
13	3467	255	123	50	75	50
14	3512	255	124	50	75	70
15	3487	255	125	50	75	90
16	3541	255	142	50	100	50
17	3411	255	148	50	100	70
18	3500	255	150	50	100	90

Pemodelan benda uji dilakukan toleransi ± 100 mm adalah kesulitannya benda uji yang dilakukan pemotongan zig-zag secara miring. Benda uji yang telah dimodelkan ada beberapa yang tidak bisa dimodelkan sesuai dengan toleransi yang diberikan yaitu ± 100 mm yang terjadi pada 7 benda uji. Hal tersebut dikarekan jarak antar lubang yang maksimal yaitu 90 mm sehingga ketika dilakukan pemotongan sesuai bentang, akan terjadi kelebihan panjang jika dilakukan pemotongan dengan syarat sisa baja utuh pada bagian kanan adalah sama dengan jarak antar lubang.

Tinggi optimal sisi jepit profil non prismatis yang dapat diperoleh pada seluruh benda uji adalah sama sebesar 255 mm. Sisi kiri profil non prismatis dibuat sama agar semua benda uji dapat dibandingkan satu sama lain karena sisi kiri profil merupakan acuan pemodelan yang bertumpuan jepit.

2. Perhitungan Sisa Pemotongan Benda Uji

Sisa pemotongan benda uji dihitung dengan cara luas sisa pemotongan benda uji pada bagian *flange* dan *web* yang diketahui dari program AutoCAD dikalikan dengan tebal profil, kemudian dikalikan dengan berat jenis baja yaitu 7850 kg/m^3 agar menjadi kilogram. Berikut contoh perhitungan sisa pemotongan:

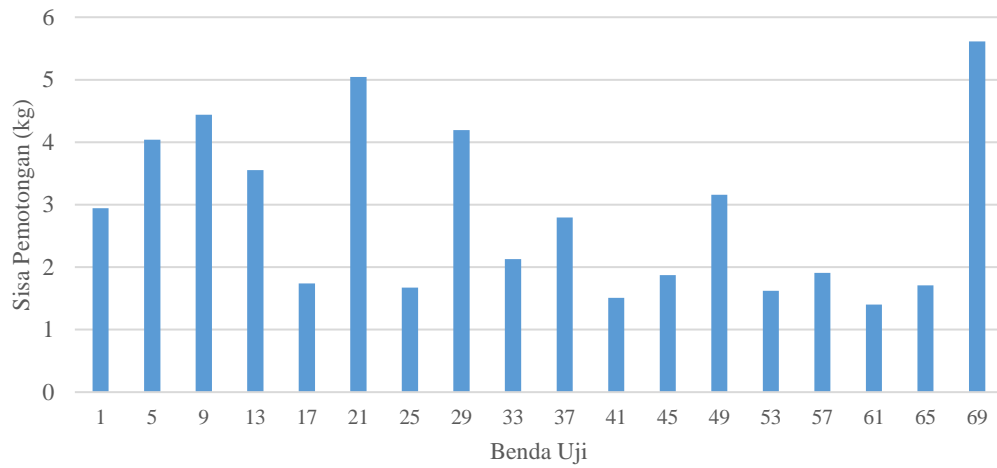
Diketahui :

- Luas sisa pemotongan pada badan profil (*web*) = $20937,51 \text{ mm}^2$
- Panjang sisa pemotongan = $456,6757 \text{ mm}$
- Tebal badan profil (*web*) = 5 mm
- Luas *flange* = 525 mm^2
- Luas radius corner = 67.469 mm^2
- Berat Jenis Baja (*density*) = 7850 kg/m^3

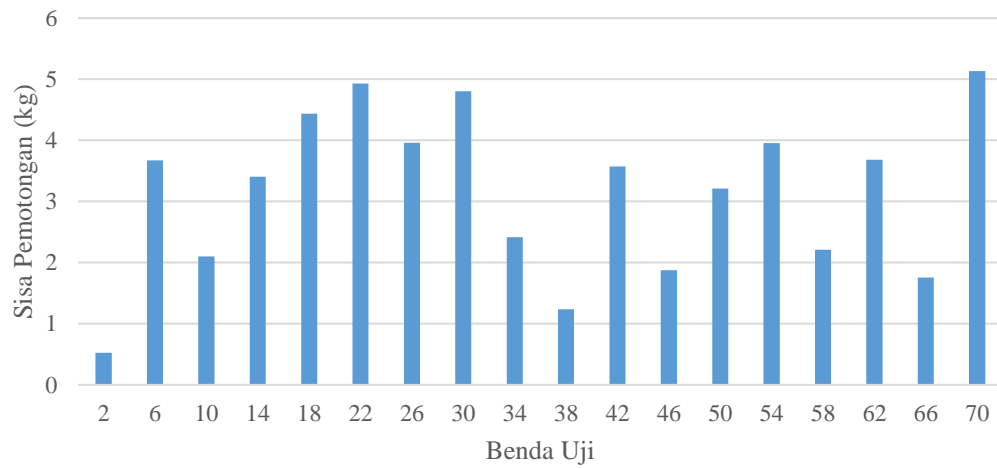
Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 &= [(Luas\ sisa\ pemotongan\ web \times Tebal\ web) + (Panjang\ sisa\ pemotongan \\
 &\quad flange \times Luas\ flange) + (Panjang\ sisa\ pemotongan\ radius\ coener \times Luas \\
 &\quad radius\ corner)] \times Berat\ Jenis\ Baja \\
 &= [(20937.51 \text{ mm}^2 \times 5 \text{ mm}) + (456,6757 \text{ mm} \times 525 \text{ mm}^2) + (456,6757 \text{ mm} \\
 &\quad \times 67,469 \text{ mm}^2)] \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\
 &= [375253.7203 \text{ mm}^3] \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 3,75254 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 2,9457 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

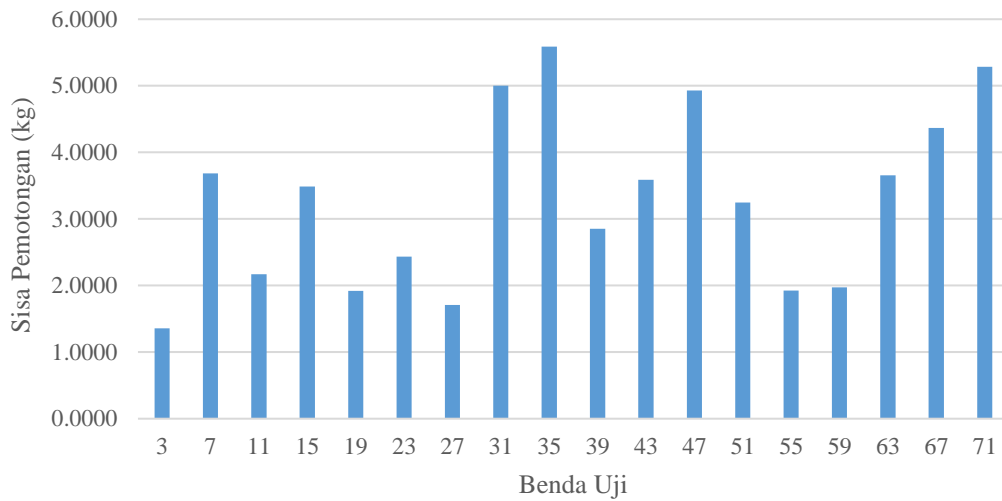
Grafik hasil perhitungan sisa pemotongan benda uji untuk setiap bentang disajikan dalam gambar 5.2 hingga 5.5.



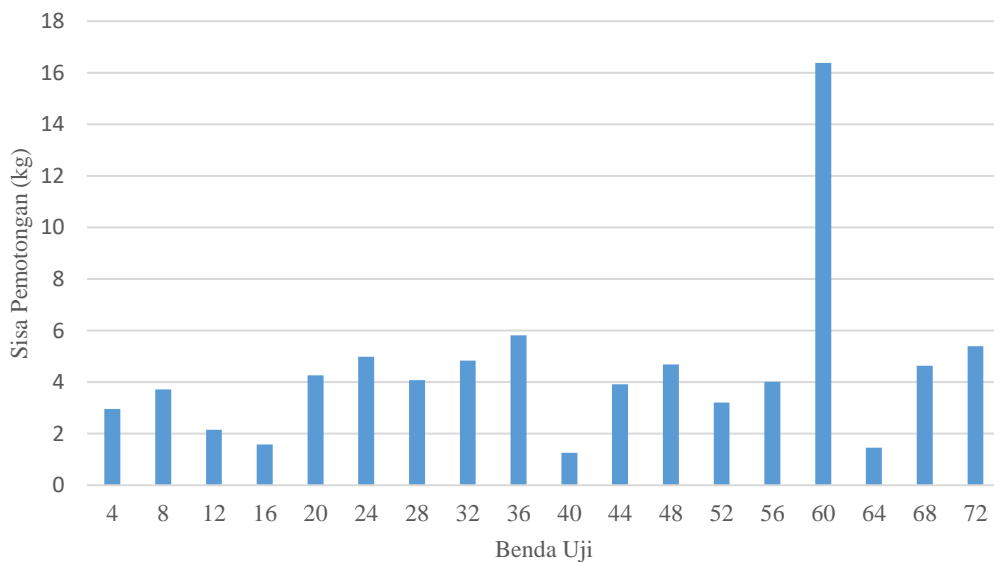
Gambar 5.2 Grafik sisa pemotongan (kg) benda uji bentang 2000 mm



Gambar 5.3 Grafik sisa pemotongan (kg) benda uji bentang 2500 mm



Gambar 5.4 Grafik sisa pemotongan (kg) benda uji bentang 3000 mm

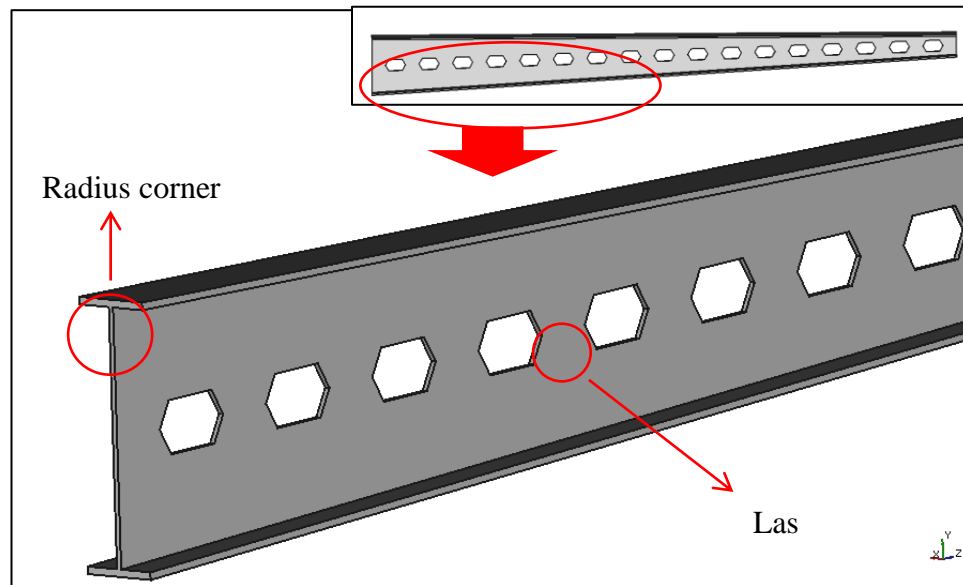


Gambar 5.5 Grafik sisa pemotongan (kg) benda uji bentang 3500 mm

Grafik sisa pemotongan dipengaruhi oleh terjadinya kesalahan pada awal pembuatan benda uji yang dibuat dalam 2 bentuk dengan hanya memundurkan garis batas panjang, maka sisa pemotongan tidak dapat diidentifikasi oleh variasi yang mempengaruhi, yakni besarnya sisa pemotongan tidak dapat diprediksi oleh variasi yang telah ditentukan.

B. Hasil Pemodelan Benda Uji pada Program FreeCAD

Hasil pemodelan pada program FreeCAD berupa benda uji dalam bentuk 3D dengan input nilai yang digunakan adalah hasil pemodelan yang dilakukan pada program AutoCAD. Benda uji yang telah menjadi balok kastela non-prismatis disimpan dalam format .STEP untuk dilanjutkan pada analisis numeris dengan program LISA FEA.



Gambar 5.6 Hasil pemodelan 3D pada program FreeCAD

Pemodelan dilakukan dengan mengabaikan *radius corner* dan pengelasan karena pemodelan pernah dilakukan namun tidak dapat dilakukan *generate mesh* pada program LISA FEA. Hal tersebut yang menjadi batasan masalah dalam pemodelan yang dilakukan dalam program FreeCAD.

C. Hasil Pemodelan dan Analisis pada Program LISA FEA

1. Kovergensi

Pemodelan yang dilakukan pada program LISA-FEA adalah dengan dilakukannya konvergensi yang dilakukan pada setiap bentang dengan membandingkan jumlah elemen dan *displacement*. Proses analisis yang dilakukan pada balok kastela dengan menggunakan program LISA-FEA telah dijelaskan pada BAB IV.

Pada Tabel 4.3 disediakan parameter besar elemen, jumlah elemen dan *displacement*. Jumlah elemen dan *displacement* kemudian dibuat grafik untuk menentukan ukuran elemen yang akan digunakan dalam proses *running* agar nilai yang didapatkan tetap presisi.

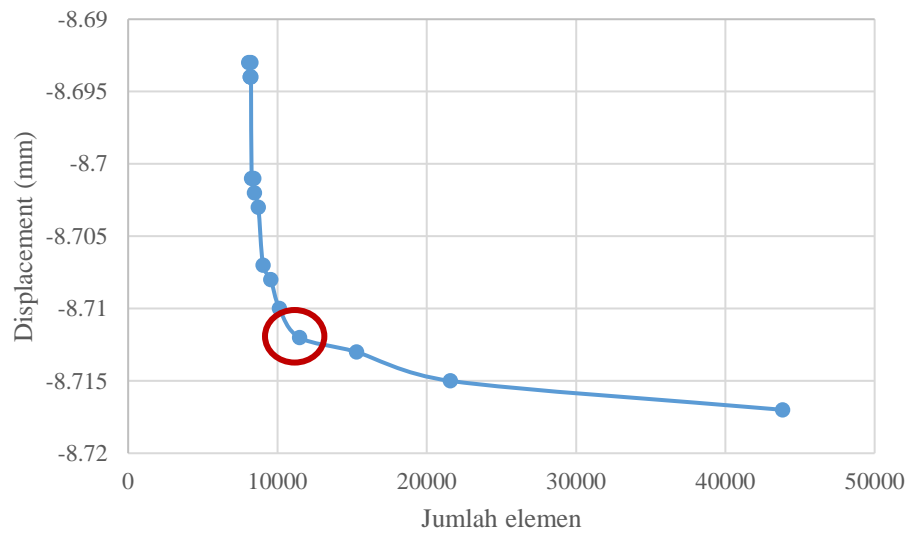
Analisis konvergensi dilakukan pada salah satu benda uji pada masing-masing variasi bentang dengan mengubah ukuran dan jumlah elemen yang digunakan dengan diberikan beban yang tetap dan dicatat nilai *displacement*-nya. Data-data hasil jumlah elemen dan *displacement* dari setiap besar volume *element size* dikumpulkan dalam program *microsoft excel* untuk kemudian diolah kedalam bentuk grafik hasil konvergensi.

Hasil analisis konvergensi pada setiap bentang disajikan pada Tabel 5.5 hingga Tabel 5.8 dan Gambar 5.7 hingga Gambar 5.10.

a. Bentang 2000 mm

Tabel 5.5 Hasil *running* ukuran elemen

Besar	Jumlah	Disp
250	8083	-8.693
100	8175	-8.694
95	8181	-8.694
90	8217	-8.693
80	8230	-8.694
60	8271	-8.701
55	8421	-8.701
50	8456	-8.702
45	8720	-8.703
40	9032	-8.707
35	9554	-8.708
30	10131	-8.71
25	11481	-8.712
20	15298	-8.713
15	21581	-8.715
10	43850	-8.717



Gambar 5.7 Grafik konvergensi benda uji bentang 2000 mm

Tabel 5.6 Beban dan tegangan pada benda uji

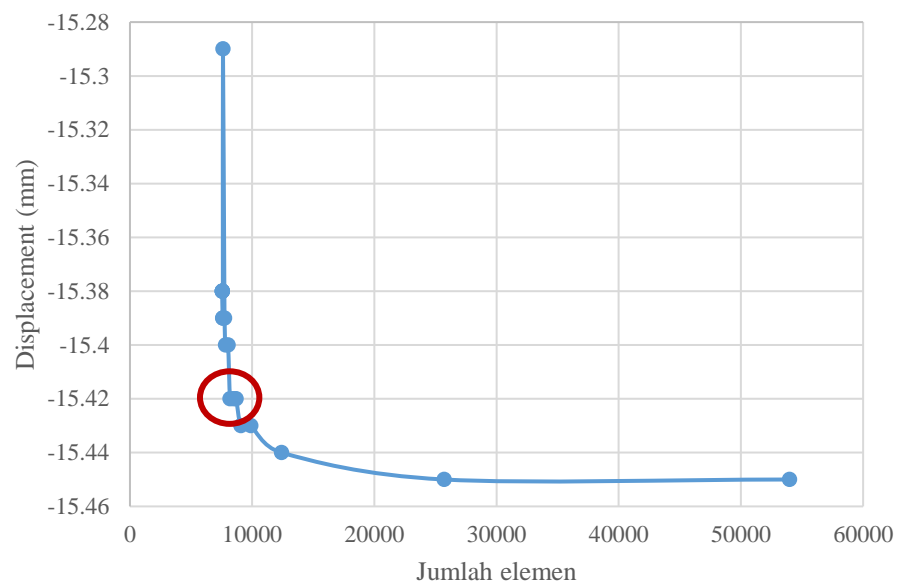
Beban	Tegangan
2	282.1
2.5	352.6
2.6	366.7
3	423.2
2.8	395
2.85	402

Pembebanan yang diberikan pada benda uji dengan bentang 2000 mm adalah 2,8 Ton dengan hasil tegangan yang ditunjukkan adalah 395 MPa sebelum baja mengalami leleh.

b. Bentang 2500 mm

Tabel 5.7 Hasil *running* ukuran elemen

Besar	Jumlah	Disp
300	7549	-15.38
250	7549	-15.38
200	7549	-15.38
150	7549	-15.38
100	7594	-15.39
80	7605	-15.39
75	7611	-15.29
70	7737	-15.39
65	7814	-15.4
60	8022	-15.4
50	8197	-15.42
45	8470	-15.42
40	8678	-15.42
35	9084	-15.43
30	9899	-15.43
25	12391	-15.44
15	25717	-15.45
10	53986	-15.45



Gambar 5.8 Grafik konvergensi benda uji bentang 2500 mm

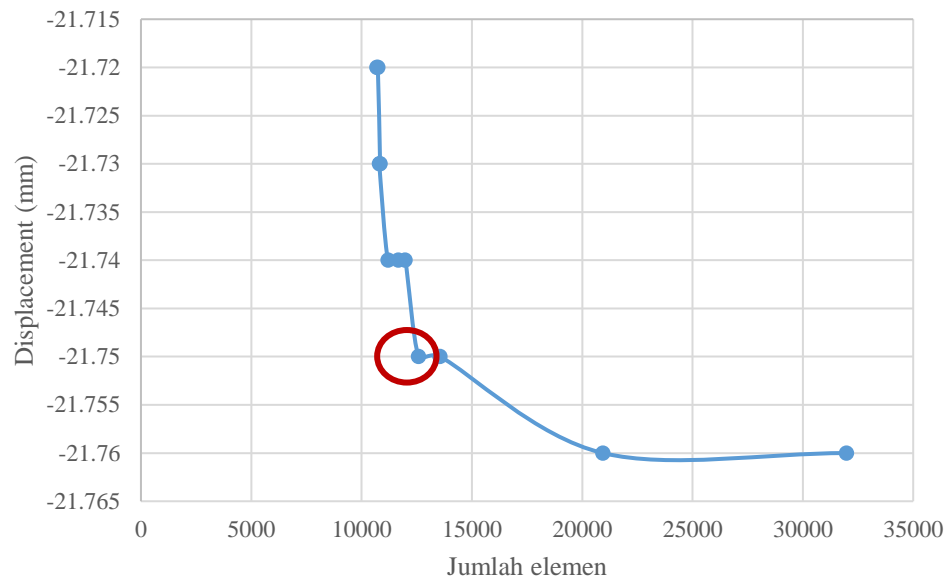
Tabel 5.8 Beban dan tegangan pada benda uji

Beban	Tegangan
2	299
3	448.5
2.5	373.8
2.65	391.8
2.7	399.2
2.75	411.1

c. Bentang 3000 mm

Tabel 5.9 Hasil *running* ukuran elemen

Besar	Jumlah	Disp
150	10686	-21.72
100	10736	-21.72
70	10839	-21.73
65	10801	-21.73
50	11194	-21.74
45	11671	-21.74
40	11975	-21.74
35	12583	-21.75
30	13556	-21.75
20	20934	-21.76
15	31977	-21.76



Gambar 5.9 Grafik konvergensi benda uji bentang 3000 mm

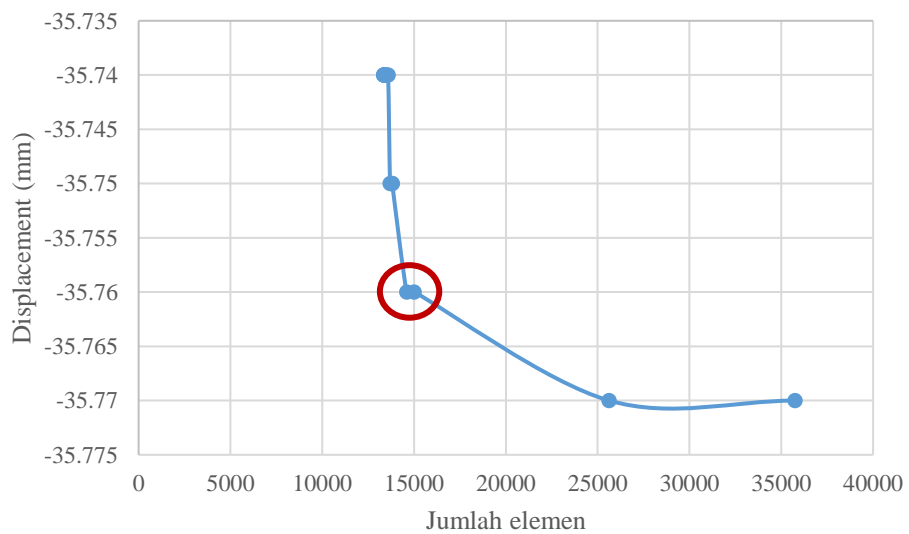
Tabel 5.10 Beban dan tegangan pada benda uji

Beban	Tegangan
2	336.4
3	504.6
2.3	386.9
2.5	420.5
2.35	395.3
2.4	403.7

d. Bentang 3500 mm

Tabel 5.11 Hasil *running* ukuran elemen

Besar	Jumlah	Disp
300	13353	-35.74
250	13353	-35.74
200	13353	-35.74
150	13447	-35.74
90	13482	-35.74
85	13588	-35.74
70	13693	-35.75
60	13774	-35.75
55	13824	-35.75
50	13809	-35.75
45	14601	-35.76
40	15011	-35.76
20	25628	-35.77
15	35748	-35.77



Gambar 5.10 Grafik konvergensi benda uji bentang 3500 mm

Tabel 5.12 Beban dan tegangan pada benda uji

Beban	Tegangan
2.3	421.3
2.2	403
2.15	393.9

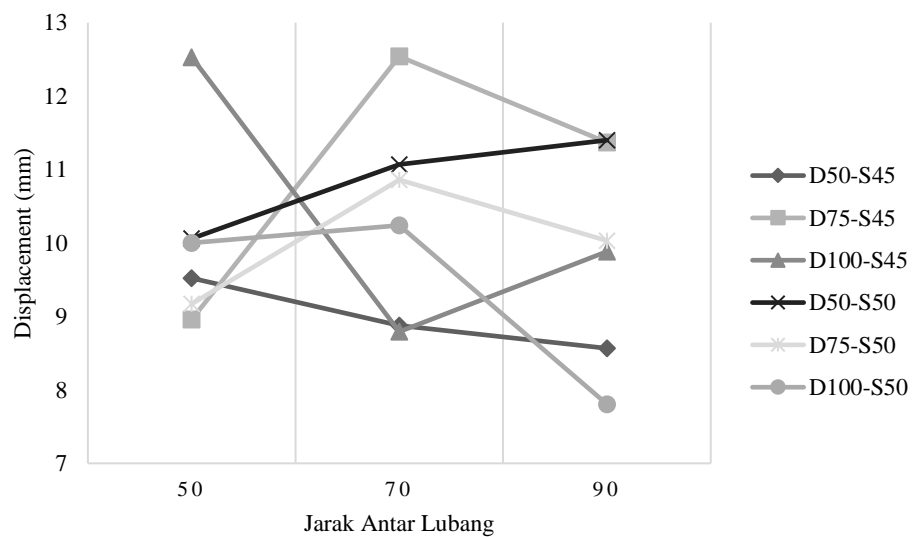
2. Hasil Tegangan *Von Mises* dan *Displacement*

Beban yang telah diketahui setelah melakukan konvergensi kemudian dimasukkan pada pembebanan secara tetap pada setiap variasi bentang. Pembebanan yang dilakukan pada program LISA-FEA akan menghasilkan beberapa hasil yaitu *Displacement* pada sumbu X, Y, Z; Tegangan XX, YY, ZZ, XY, YZ, dan ZX; Tegangan Von Mises; *Displacement Magnitude*; Tegangan Principal 1, 2, dan 3.

Hasil *running* yang dipakai pada penelitian ini adalah tegangan von mises dan *displacement magnitude*. *Running* dilakukan pada setiap benda uji untuk kemudian disajikan dalam grafik. Pemberian beban pada benda uji akan menyebabkan tegangan leleh profil baja yang digunakan. Tegangan leleh profil baja yang digunakan pada penelitian ini adalah 400 MPa.

Berikut data–data hasil tegangan *von mises* dan *displacement* :

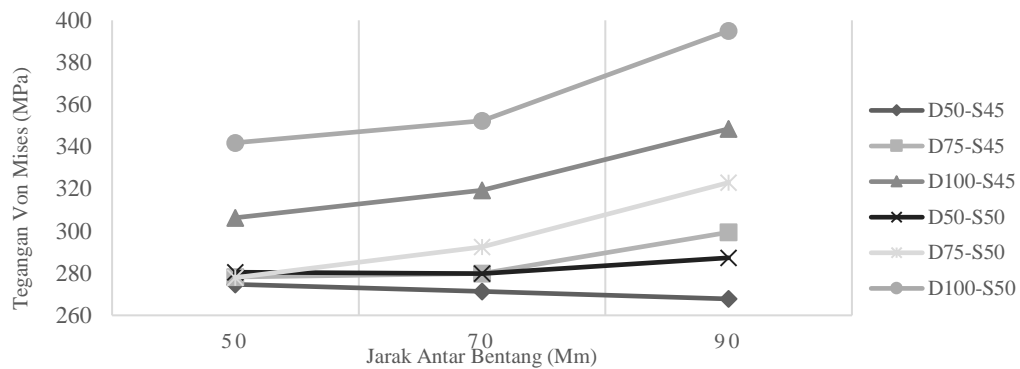
a. Bentang 2000 mm



Gambar 5.11 Grafik hasil *displacement* bentang 2000 mm

Pada Gambar 5.11 ditunjukkan bahwa *displacement* terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 75 mm dan sudut 45° yaitu -12,53 mm dan nilai *displacement* terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar -7.806 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin

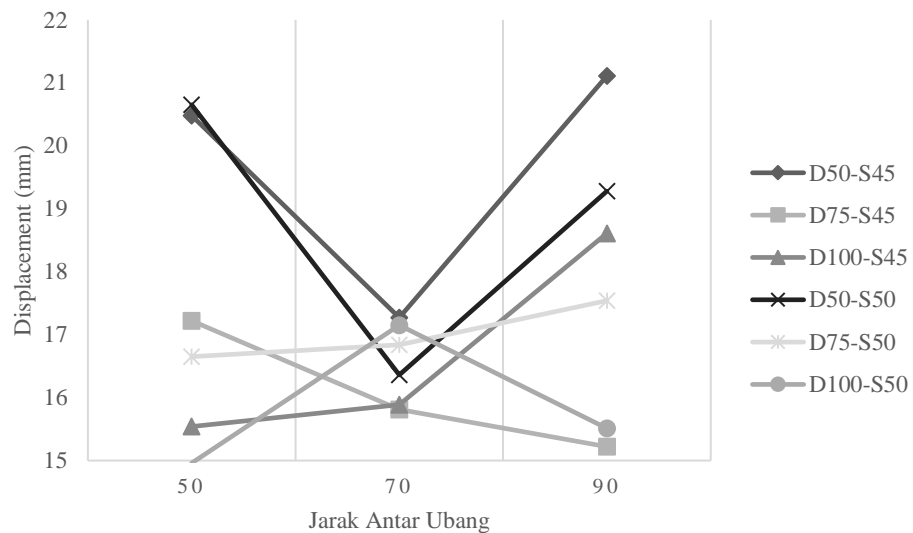
tinggi diameter lubang maka *displacement* yang terjadi pada bentang 2000 mm semakin kecil.



Gambar 5.12 Grafik hasil tegangan bentang 2000 mm

Pada Gambar 5.12 ditunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° yaitu 395 MPa dan nilai tegangan terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 45° dengan nilai sebesar 267,8 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka tegangan yang terjadi pada bentang 2000 mm semakin besar.

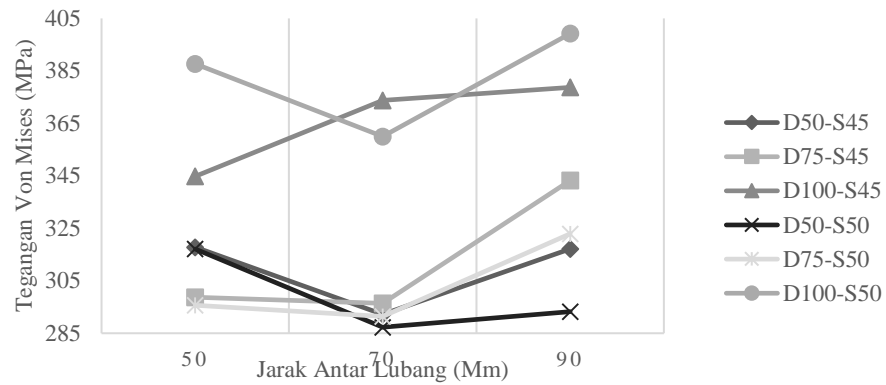
b. Bentang 2500 mm



Gambar 5.13 Grafik hasil *displacement* bentang 2500 mm

Pada Gambar 5.13 ditunjukkan bahwa *displacement* terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 45° yaitu -21,11 mm dan nilai

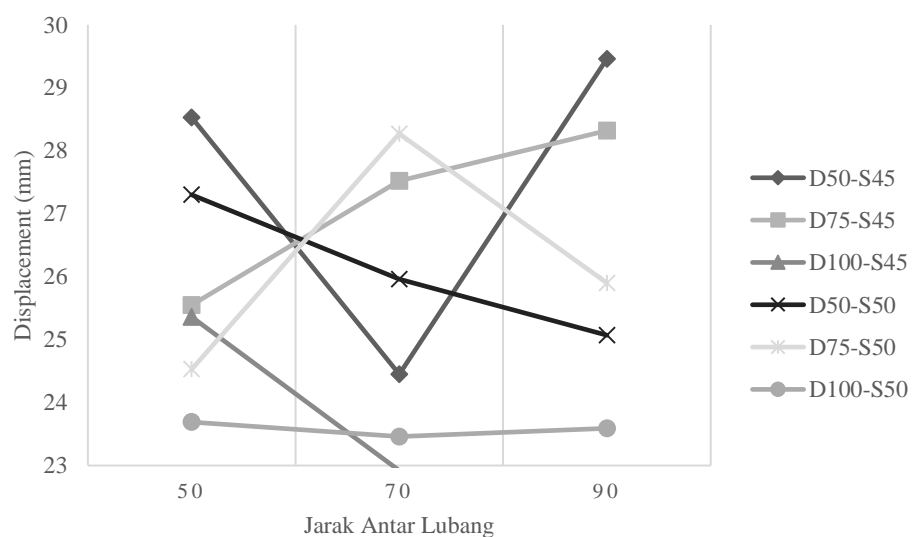
displacement terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar $-14,96$ mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka *displacement* yang terjadi pada bentang 2500 mm semakin kecil.



Gambar 5.14 Grafik hasil tegangan bentang 2500 mm

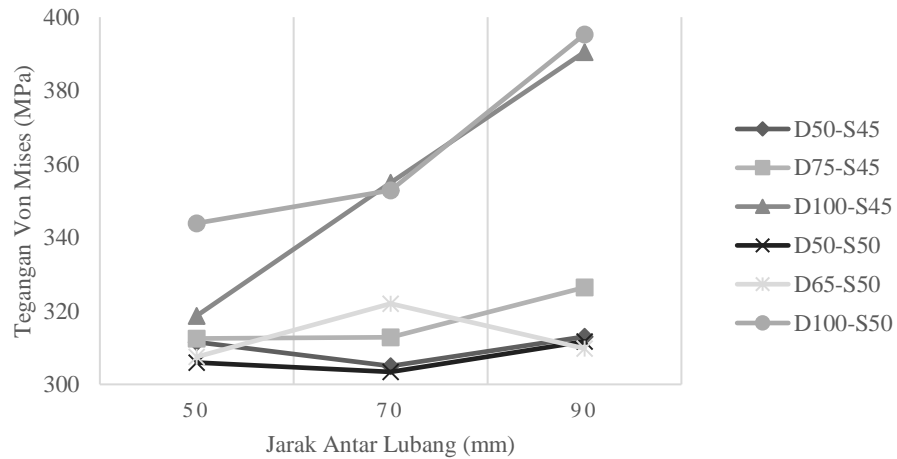
Pada Gambar 5.14 ditunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° yaitu 399,2 MPa dan nilai tegangan terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar 287,3 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka tegangan yang terjadi pada bentang 2500 mm semakin besar.

c. Bentang 3000 mm



Gambar 5.15 Grafik hasil *displacement* bentang 3000 mm

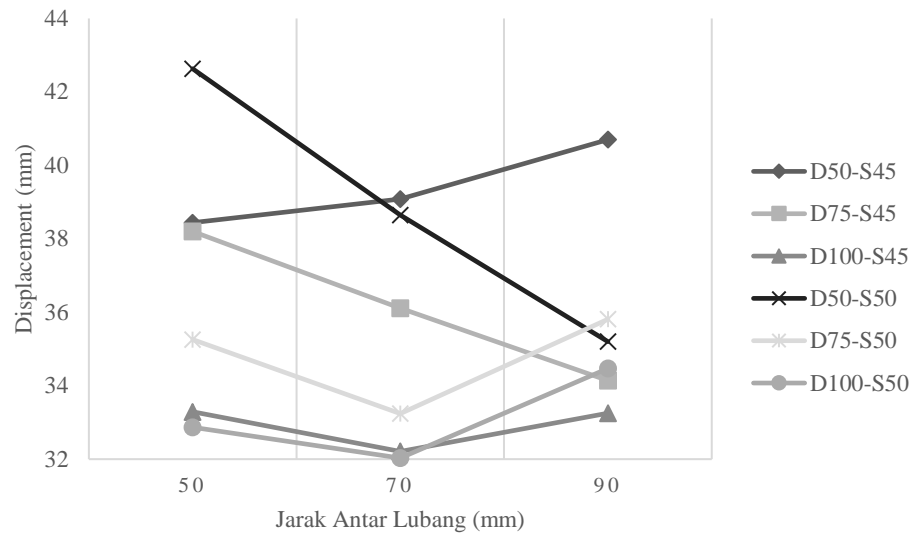
Pada Gambar 5.15 ditunjukkan bahwa *displacement* terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 45° yaitu $-29,46$ mm dan nilai *displacement* terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 45° dengan nilai sebesar $-14,96$ mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka *displacement* yang terjadi pada bentang 3000 mm semakin kecil.



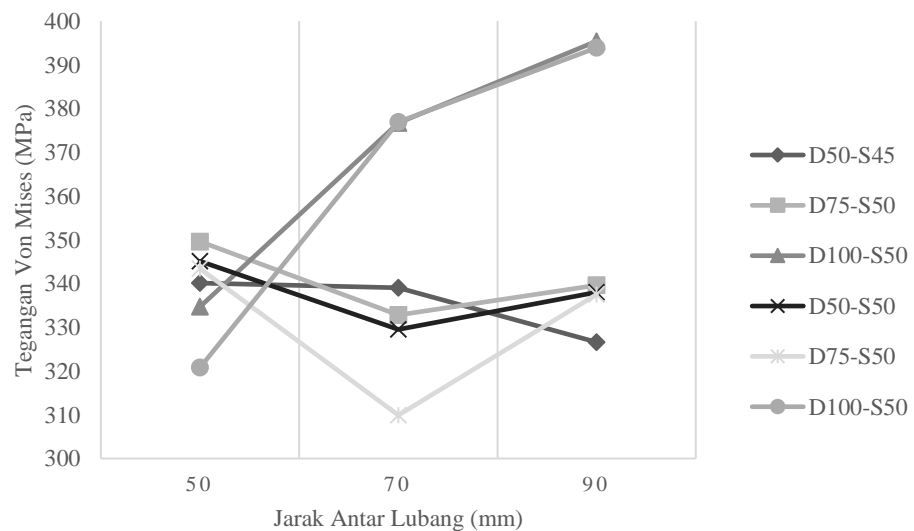
Gambar 5.16 Grafik hasil tegangan bentang 3000 mm

Pada Gambar 5.16 ditunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° yaitu $395,3$ MPa dan nilai tegangan terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar $303,3$ MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka tegangan yang terjadi pada bentang 3000 mm semakin besar.

d. Bentang 3500 mm

Gambar 5.17 Grafik hasil *displacement* bentang 3500 mm

Pada Gambar 5.17 ditunjukkan bahwa *displacement* terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 50 mm dan sudut 50° yaitu $-42,63$ mm dan nilai *displacement* terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar $-32,03$ mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka *displacement* yang terjadi pada bentang 3500 mm semakin kecil.



Gambar 5.18 Grafik hasil tegangan bentang 3500 mm

Pada Gambar 5.18 ditunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada benda uji dengan diameter 100 mm dan sudut 50° yaitu 395,4 MPa dan nilai tegangan terkecil terjadi pada benda uji dengan diameter 75 mm dan sudut 50° dengan nilai sebesar 309,9 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi diameter lubang maka tegangan yang terjadi pada bentang 3500 mm semakin besar.