

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Desain Sambungan

Berdasarkan perhitungan di sub bab 3.6, hasil kekuatan sambungan berdasarkan kapasitas masing-masing telah diperoleh. Rincian hasil tersebut disajikan dalam tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas Desain pada Sambungan

No	Kapasitas	Pelat 6 mm (kN)	Pelat 10 mm (kN)
1	Leleh	192.38	192.38
2	Fraktur / Tarik	135.38	225.64
3	Geser Blok	155.07	258.46
4	Geser Baut	26.47	26.47
5	Sobek Lubang Baut	88.61	147.69
6	Tumpu Lubang Baut	94.521	157.536
7	Geser tipe Friksi	23.39	23.39

Hasil perhitungan desain sambungan tipe pin dibagi menjadi tiga kategori: desain awal tumpu (DAT), desain awal friksi (DAF), dan desain awal tumpu dan friksi (DATF). Hasil perhitungan untuk berbagai arah sambungan ini disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Perhitungan SNI 1729 - 2020 Parameter Lain

Model	Gaya Maksimal (kN)	Regangan	Luas Penampang	Panjang Awal	Perpanjangan (mm)	Tegangan (MPa)
a	b	c	d	e	f = c*e	g = b*1000 / d
DAT 6 mm	26.47	17%	450	180.00	30.60	58.83
DAT 10 mm	26.47	17%	750	180.00	30.60	35.30
DAF 6 mm	23.39	17%	450	180.00	30.60	51.98
DAF 10 mm	23.39	17%	750	180.00	30.60	31.19
DATF 6 mm	49.86	17%	450	180.00	30.60	110.81
DATF 10 mm	49.86	17%	750	180.00	30.60	66.49

Kegagalan sambungan pada desain awal dievaluasi dengan membandingkan gaya maksimum dengan kapasitas maksimal dari perhitungan analitis. Jika hasil perhitungan lebih dari 1, sambungan dianggap gagal, sedangkan jika gaya kurang dari atau sama dengan 1, sambungan dianggap aman. Nilai gaya yang diberikan

kepada sambungan tercantum dalam Tabel 4.2, sementara nilai kapasitas berdasarkan jenisnya terdapat dalam Tabel 4.2. Dari kedua tabel tersebut, diperoleh hubungan antara gaya maksimum dan kapasitas sambungan. Nilai perhitungan untuk sambungan dapat ditemukan dalam tabel berikut.

Tabel 4.3 Tabel Hubungan Kapasitas dengan Gaya Maksimal pada Sambungan Baut

Benda Uji	Akibat Gaya Geser			Akibat Gaya Tarik			Kegagalan Lain
	Geser Pelat	Geser Baut	Slip Pelat	Leleh Pelat	Fraktur	Geser Blok	Tumpu Pelat
DAT A0	0.30	1.00	1.13	0.14	0.20	0.17	0.28
DAF A0	0.26	0.88	1.00	0.12	0.17	0.15	0.25
DATF A0	0.56	1.88	2.13	0.26	0.37	0.32	0.53
DAT A1	0.30	1.00	1.13	0.14	0.20	0.17	0.28
DAF A1	0.26	0.88	1.00	0.12	0.17	0.15	0.25
DATF A1	0.56	1.88	2.13	0.26	0.37	0.32	0.53
DAT B0	0.18	1.00	1.13	0.14	0.12	0.10	0.17
DAF B0	0.16	0.88	1.00	0.12	0.10	0.09	0.15
DATF B0	0.34	1.88	2.13	0.26	0.22	0.19	0.32
DAT B1	0.18	1.00	1.13	0.14	0.12	0.10	0.17
DAF B1	0.16	0.88	1.00	0.12	0.10	0.09	0.15
DATF B1	0.34	1.88	2.13	0.26	0.22	0.19	0.32
DAT B2	0.30	1.00	1.13	0.14	0.20	0.17	0.28
DAF B2	0.26	0.88	1.00	0.12	0.17	0.15	0.25
DATF B2	0.56	1.88	2.13	0.26	0.37	0.32	0.53
DAT C0	0.18	1.00	1.13	0.14	0.12	0.10	0.17
DAF C0	0.16	0.88	1.00	0.12	0.10	0.09	0.15
DATF C0	0.34	1.88	2.13	0.26	0.22	0.19	0.32
DAT C1	0.18	1.00	1.13	0.14	0.12	0.10	0.17
DAF C1	0.16	0.88	1.00	0.12	0.10	0.09	0.15
DATF C1	0.34	1.88	2.13	0.26	0.22	0.19	0.32

Sehingga dari perhitungan pada tabel di atas dapat dihasilkan jenis kegagalan tiap jenis sambungannya. Seluruh spesimen uji menunjukkan tidak akan mengalami kegagalan geser pelat berdasarkan teori. Prediksi kegagalan geser baut akan terjadi pada semua spesimen uji DAT dan DATF. Kegagalan selip pelat ditunjukkan dengan nilai yang sama atau lebih besar dari 1 untuk semua spesimen uji, menandakan bahwa kegagalan selip pelat diperkirakan akan terjadi pada semua spesimen uji. Kegagalan akibat gaya tarik dan kegagalan tumpu pelat semuanya menunjukkan hasil di bawah satu, menandakan bahwa kegagalan akibat gaya tarik dan kegagalan tumpu pelat tidak diperkirakan akan terjadi. Untuk menjelaskan lebih lanjut hasil-hasil ini, kegagalan teoritis akan disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4 Tabel Pola Kegagalan Sambungan Berdasarkan Hasil Perhitungan SNI 1729
- 2020**

Benda Uji	Akibat Gaya Geser			Akibat Gaya Tarik			Kegagalan Lain
	Geser Pelat	Geser Baut	Slip Pelat	Leleh Pelat	Fraktur	Geser Blok	
DAT A0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF A0	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF A0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT A1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF A1	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF A1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT B0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF B0	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF B0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT B1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF B1	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF B1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT B2	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF B2	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF B2	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT C0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF C0	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF C0	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAT C1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DAF C1	Aman	Aman	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman
DATF C1	Aman	Gagal	Gagal	Aman	Aman	Aman	Aman

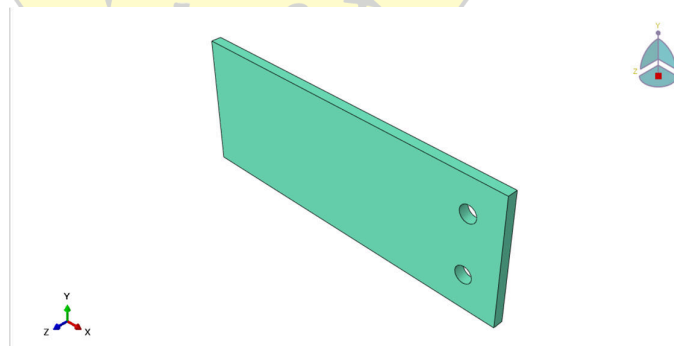
4.2 Hasil Pengujian Numerikal Menggunakan Abaqus

4.2.1. Input Data dan Properties Benda Uji

a. Desain Sambungan

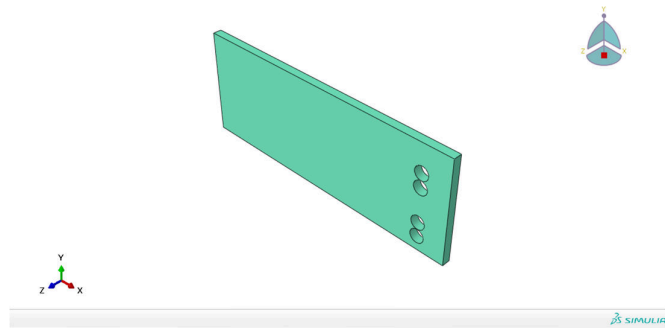
Berikut adalah permodelan dari elemen elemen desain sambungan yang di desain di dalam aplikasi abaqus.

1) Pelat dengan tebal 6mm.



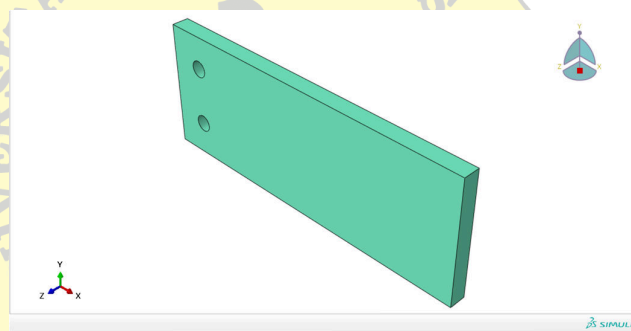
Gambar 4. 1 Gambar Pelat 6mm Tanpa Pergeseran Lubang pada Aplikasi Abaqus

2) Pelat dengan tebal 6mm dengan pergeseran lubang 10mm.



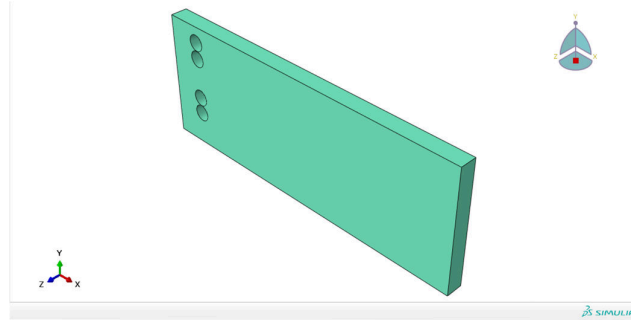
Gambar 4.2 Gambar Pelat 6mm dengan Pergeseran Lubang 10mm Arah Vertikal pada Aplikasi Abaqus

3) Pelat dengan tebal 10mm.



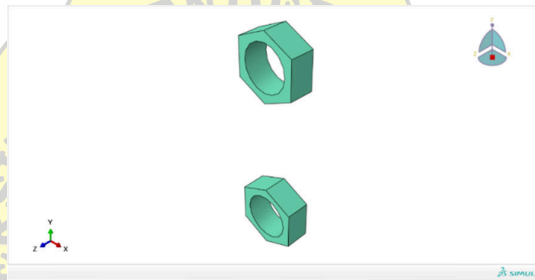
Gambar 4.3 Gambar Pelat 10mm Tanpa Pergeseran Lubang pada Aplikasi Abaqus

4) Pelat dengan tebal 10mm dengan pergeseran lubang 10mm.



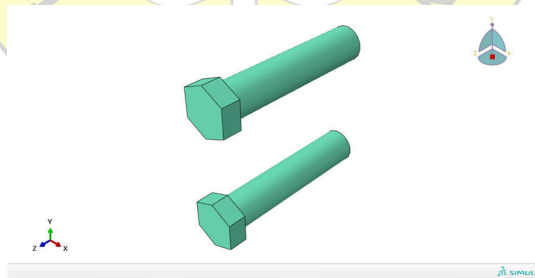
Gambar 4. 4 Gambar Pelat 6mm dengan Pergeseran Lubang 10mm Arah Vertikal pada Aplikasi Abaqus

5) Mur



Gambar 4. 5 Gambar Mur pada Aplikasi Abaqus

6) Baut

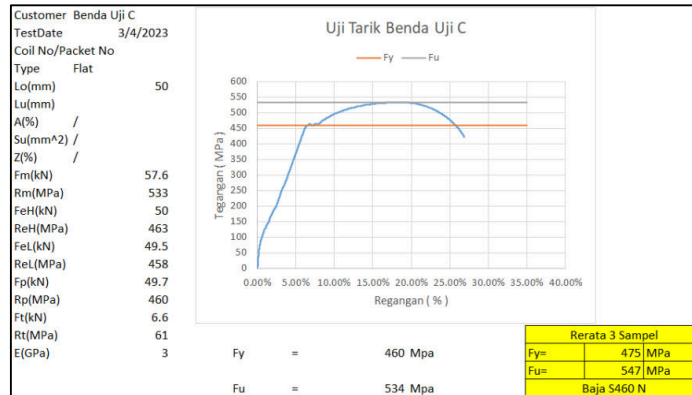


Gambar 4. 6 Gambar Baut pada Aplikasi Abaqus

b. Property Data

1) Pelat (Baja S460)

Data material diambil dari hasil mesin *universal tension machine* yang telah dilakukan pada penelitian terdahulu (Indah, Nihlah, Rohman) pada pelat Baja dengan kualitas kode material S460 berikut data hasil pengujiannya.



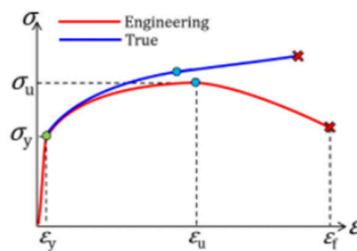
Gambar 4. 7 Gambar Hasil Pengujian Pelat S460 dengan UTM oleh Peneliti Terdahulu

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan Modulus Elastisitas baja yang terjadi dengan menggunakan rumus $E = \text{Tegangan/Regangan}$ pada daerah elastis baja didapatkan E sebesar 55864 Mpa yang di Inputkan kedalam aplikasi abaqus

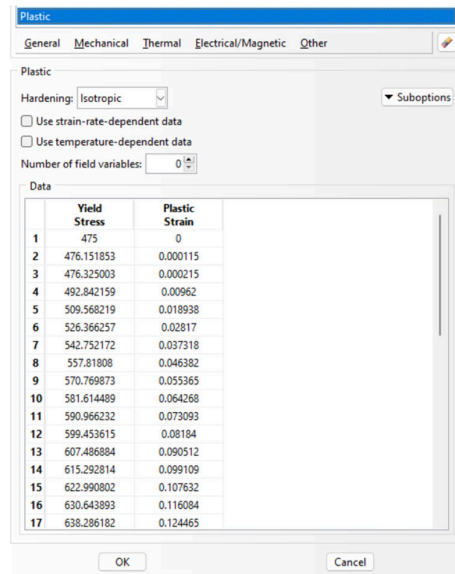
	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	55864	0.33

Gambar 4. 8 Gambar Parameter Elastis Pelat pada Aplikasi Abaqus

Kemudian data plastisitas dimasukan juga kedalam abaqus dengan memasukan plastic strain dan yield strain sesuai dengan Fu mutu material S460. Kemudian data tersebut dimasukan dengan menggunakan grafik *true strain* khusus abaqus.



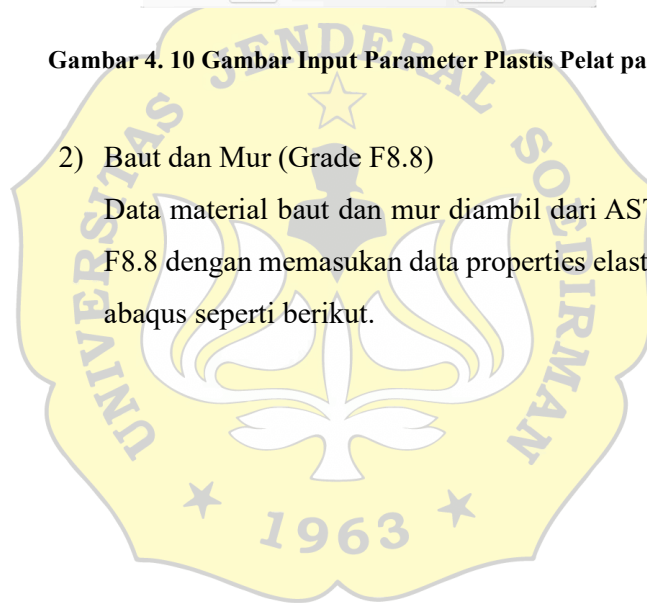
Gambar 4. 9 Gambar Grafik Konversi True Strain dan Engineering Strain

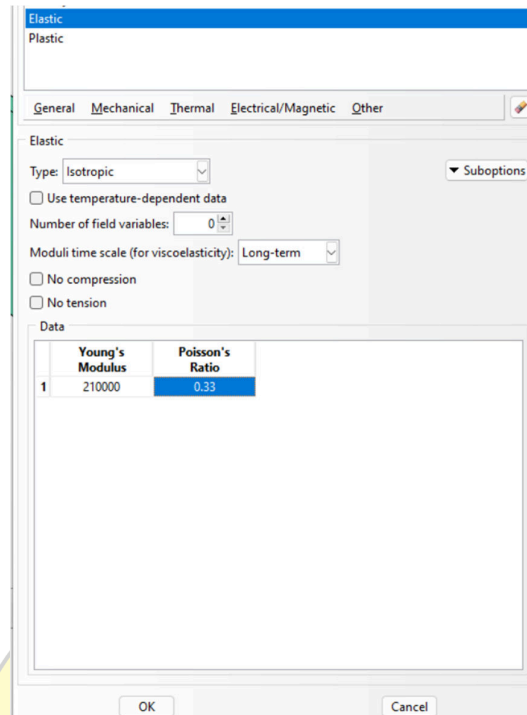


Gambar 4. 10 Gambar Input Parameter Plastis Pelat pada Abaqus

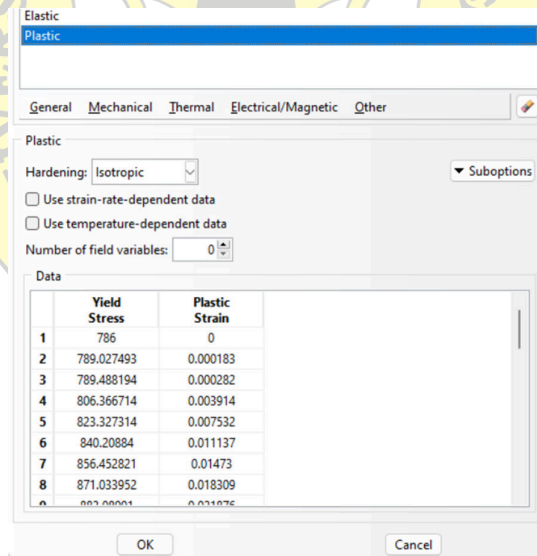
2) Baut dan Mur (Grade F8.8)

Data material baut dan mur diambil dari ASTM dengan Grade F8.8 dengan memasukan data properties elastis dan plastis pada abaqus seperti berikut.





Gambar 4. 11 Gambar Parameter Elastis Material pada Baut dan Mur

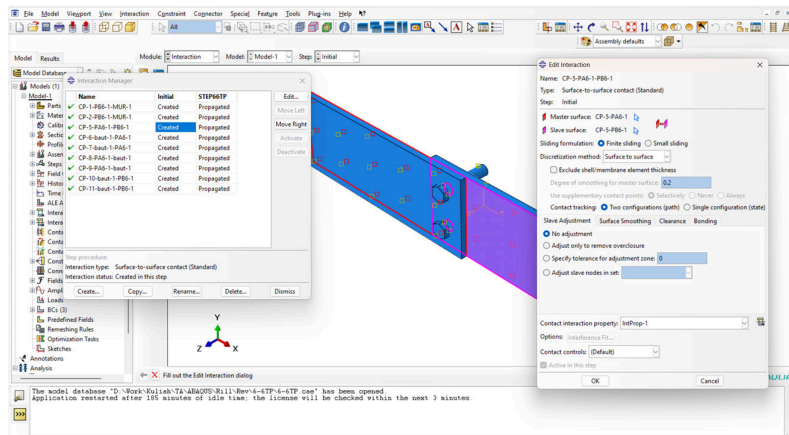


Gambar 4. 12 Gambar Parameter Elastis Material pada Baut dan Mur

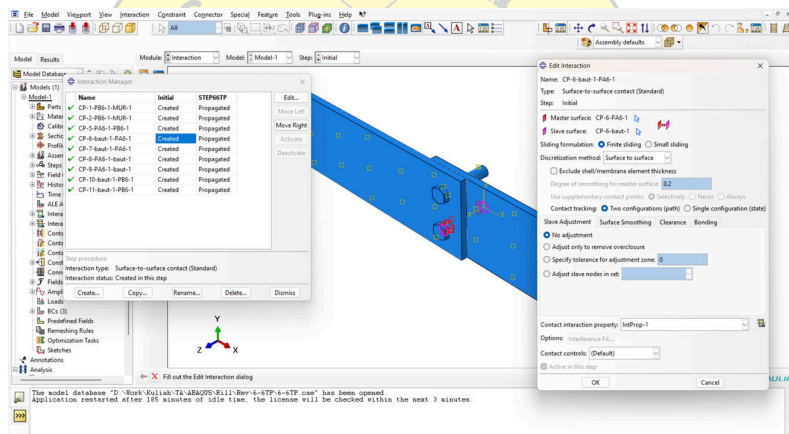
c. Perilaku interaksi pada model sambungan

Pada analisis numerikal menggunakan abaqus diperlukan aksi mendefinisikan perilaku antar elemen pada model yang akan dianalisis. Yaitu perilaku gesek pada antar elemen, perilaku tumpu pada pelat kepada baut, dan perilaku ikat pada mur kepada baut.

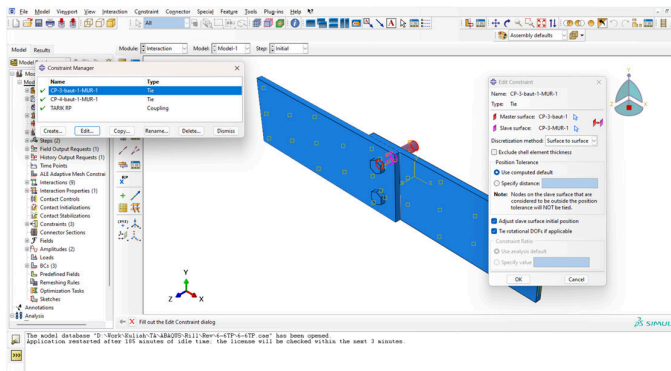
Sehingga dalam aplikasi abaqus dapat di masukan perilaku perilaku tersebut sebagai berikut.



Gambar 4. 13 Gambar Konfigurasi Interaksi Antar Pelat



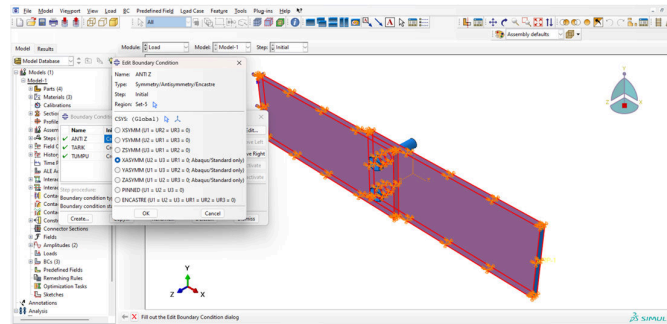
Gambar 4. 14 Gambar Konfigurasi Interaksi Pelat dengan Baut



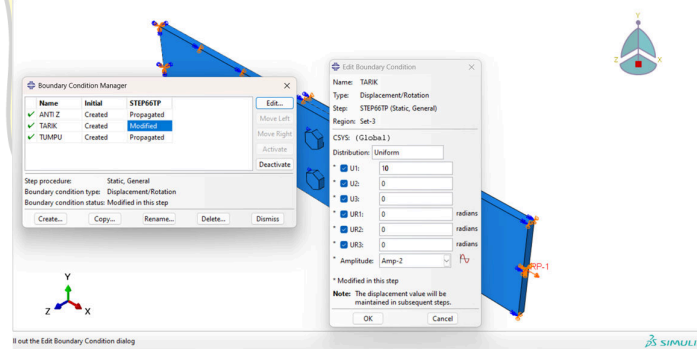
Gambar 4. 15 Gambar Konfigurasi Interaksi Mur dengan Baut

d. Kondisi Batas dan Pembebanan

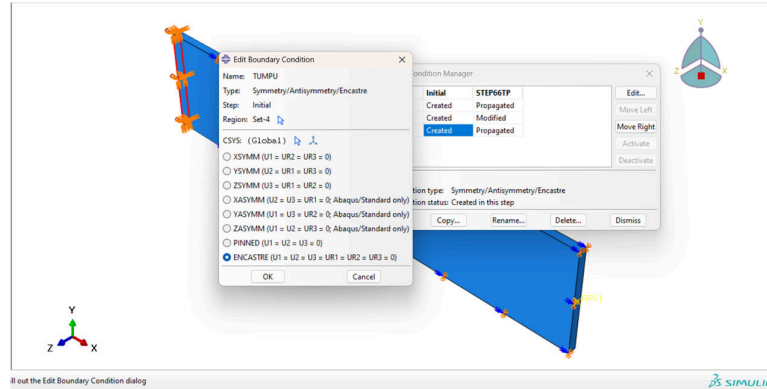
Pada analisis numerikal pada aplikasi abaqus diperlukan kondisi batas untuk mendefinisikan perilaku jepit pada model dan mendefinisikan arah gaya dan elemen bekerja serta mendefinisikan apa saja hasil yang ingin diketahui pada pengujian model pada abaqus. Pada penelitian kali ini berikut kondisi kondisi batas yang dimasukan kedalam model dalam aplikasi abaqus.



Gambar 4. 16 Gambar Kondisi Batas Arah Pergerakan Arah Benda Uji



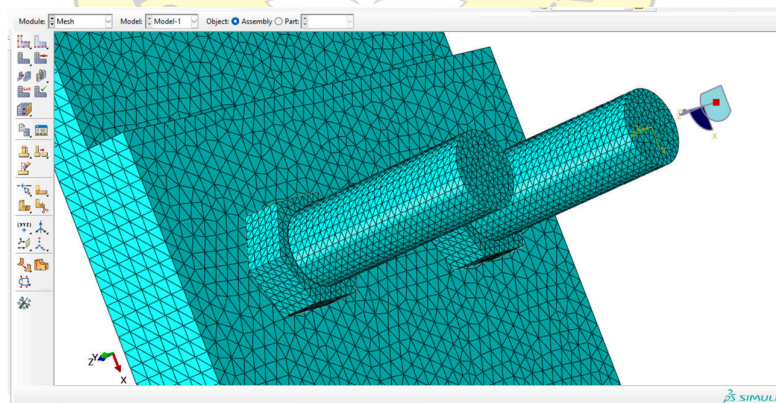
Gambar 4. 17 Gambar Konfigurasi Gaya Tarik pada Benda Uji



Gambar 4. 18 Gambar Konfigurasi Jepit pada Benda Uji

e. *Meshing* Elemen

Meshing Elemen adalah proses diskretisasi model dalam analisis elemen hingga atau analisis numerikal yang memodelkan sebuah elemen menjadi sesuatu yang lebih kecil agar dapat di analisis perilaku mekaniknya terhadap aksi dan reaksi yang terjadi dalam proses pengujian secara numerikal. Di dalam penelitian ini pada aplikasi abaqus *meshing* yang digunakan untuk menganalisis model sambungan adalah *meshing* tetrahedral dengan ukuran 2mm pelat dan 1mm pada baut dan mur per elemen *meshing* seperti pada gambar berikut.



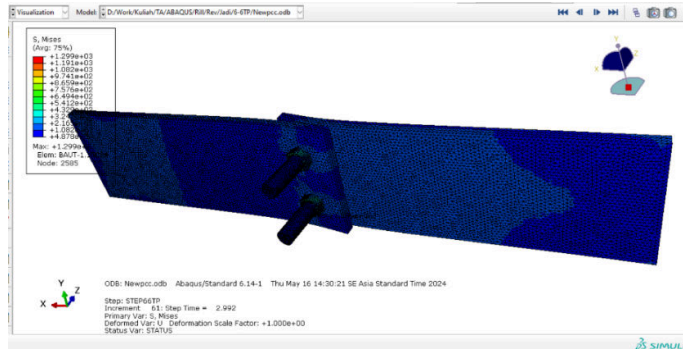
Gambar 4. 19 Gambar Konfigurasi *Meshing* Elemen Benda Uji

Semakin kecil ukuran *meshing*nya maka proses komputasi akan semakin lama dan semakin akurat hasilnya tetapi perlu dipertimbangkan juga kemampuan perangkat yang akan digunakan untuk menjalankan analisis numerikal aplikasi abaqus.

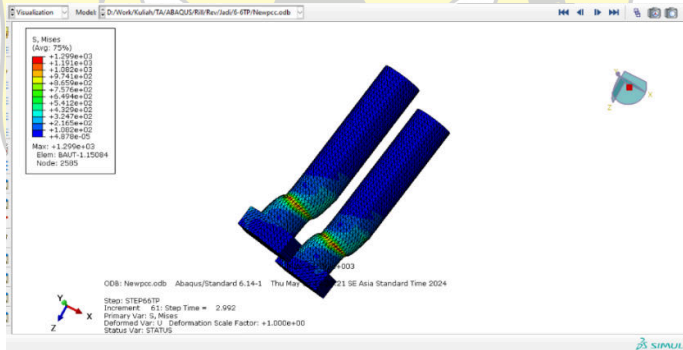
4.2.2. Hasil Pengujian Numerikal pada Perangkat Lunak Abaqus

a. Benda Uji A0

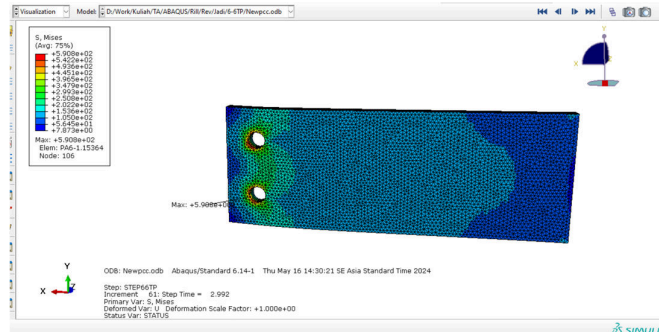
Benda Uji A0 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 6 mm dan 6 mm dengan ukuran lubang baut 10mm. Visualisasi tegangan mises yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



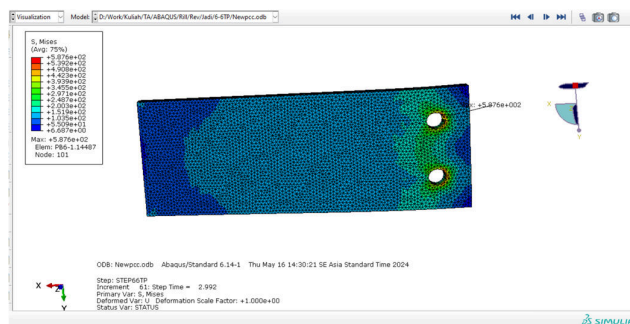
Gambar 4. 20 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji A0



Gambar 4. 21 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji A0



Gambar 4. 22 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji A0



Gambar 4. 23 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji A0

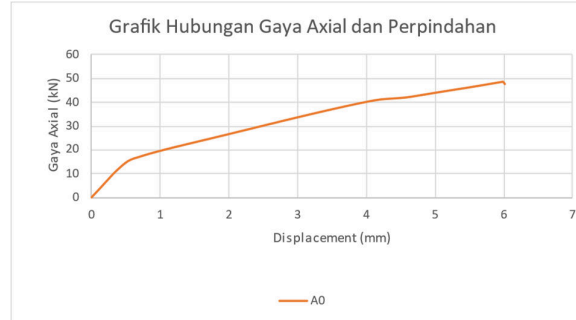
Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 5 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji A0

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	33	43.603	4.905
2	0.854	0.025	34	44.440	5.080
3	1.601	0.050	35	45.240	5.255
4	2.736	0.087	36	46.033	5.430
5	4.508	0.144	37	46.186	5.463
6	7.177	0.228	38	46.340	5.495
7	11.042	0.355	39	46.497	5.528
8	15.279	0.530	40	46.654	5.561
9	17.171	0.705	41	46.813	5.594
10	18.687	0.880	42	46.972	5.627
11	20.035	1.055	43	47.132	5.659
12	21.303	1.230	44	47.292	5.692
13	22.529	1.405	45	47.453	5.725
14	23.743	1.580	46	47.613	5.758
15	24.957	1.755	47	47.854	5.807
16	26.185	1.930	48	48.097	5.856
17	27.422	2.105	49	48.188	5.875
18	28.663	2.280	50	48.280	5.893
19	29.907	2.455	51	48.369	5.912
20	31.146	2.630	52	48.460	5.930
21	32.380	2.805	53	48.483	5.935
22	33.601	2.980	54	48.505	5.939
23	34.805	3.155	55	48.528	5.944
24	35.989	3.330	56	48.551	5.949
25	37.152	3.505	57	48.585	5.955
26	38.288	3.680	58	48.635	5.966
27	39.386	3.855	59	48.654	5.970
28	40.412	4.030	60	48.674	5.974
29	41.256	4.205	61	48.693	5.978
30	41.637	4.380	62	48.721	5.983
31	42.019	4.555	63	47.719	6.011
32	42.768	4.730			

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 48.721 kN dengan perpindahan sebesar 5.983 mm

Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 24 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji A0

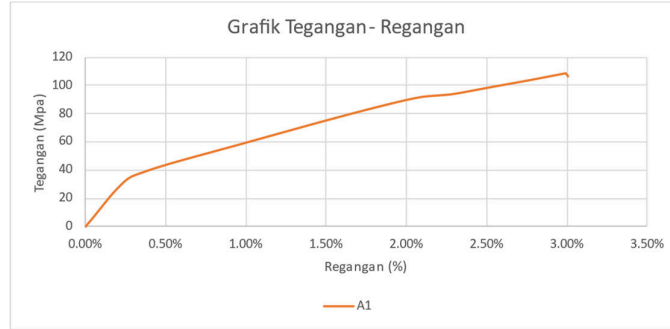
Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji A0

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	33	96.895	2.36%
2	1.899	0.01%	34	98.755	2.45%
3	3.557	0.03%	35	100.533	2.54%
4	6.080	0.04%	36	102.295	2.63%
5	10.018	0.07%	37	102.635	2.71%
6	15.950	0.11%	38	102.978	2.73%
7	24.538	0.18%	39	103.326	2.75%
8	33.953	0.26%	40	103.676	2.76%
9	38.157	0.35%	41	104.028	2.78%
10	41.527	0.44%	42	104.383	2.80%
11	44.523	0.53%	43	104.738	2.81%
12	47.341	0.61%	44	105.094	2.83%
13	50.064	0.70%	45	105.451	2.85%
14	52.762	0.79%	46	105.807	2.86%
15	55.460	0.88%	47	106.342	2.88%
16	58.188	0.96%	48	106.881	2.90%
17	60.939	1.05%	49	107.083	2.93%
18	63.696	1.14%	50	107.288	2.94%
19	66.459	1.23%	51	107.486	2.95%
20	69.213	1.31%	52	107.688	2.96%
21	71.956	1.40%	53	107.741	2.97%
22	74.669	1.49%	54	107.790	2.97%
23	77.344	1.58%	55	107.840	2.97%
24	79.976	1.66%	56	107.891	2.97%
25	82.560	1.75%	57	107.966	2.97%
26	85.085	1.84%	58	108.079	2.98%
27	87.525	1.93%	59	108.121	2.98%
28	89.805	2.01%	60	108.164	2.98%
29	91.679	2.10%	61	108.206	2.99%
30	92.527	2.19%	62	108.270	2.99%
31	93.375	2.28%	63	106.042	2.99%
32	95.040	2.36%			

Dari data diatas didapat tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 108.270 Mpa dengan regangan sebesar 2.99 % .

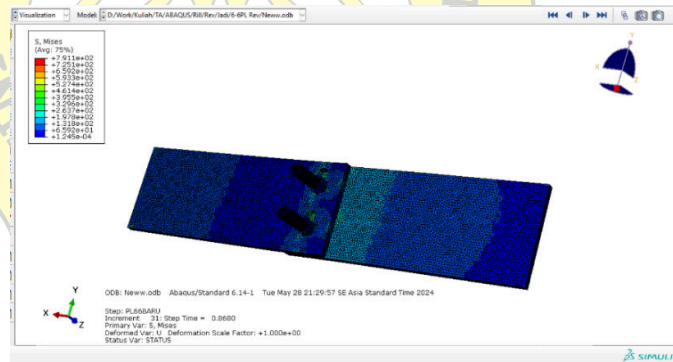
Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



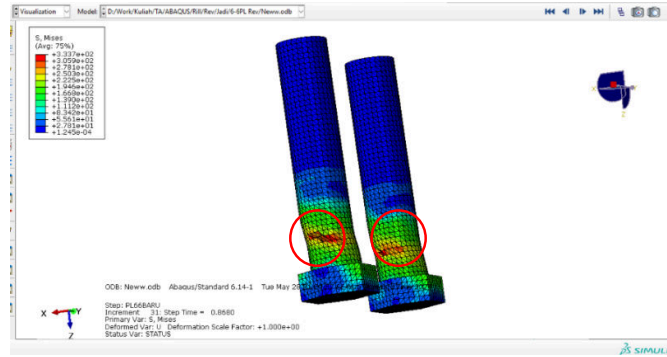
Gambar 4. 25 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji A0

b. Benda Uji A1

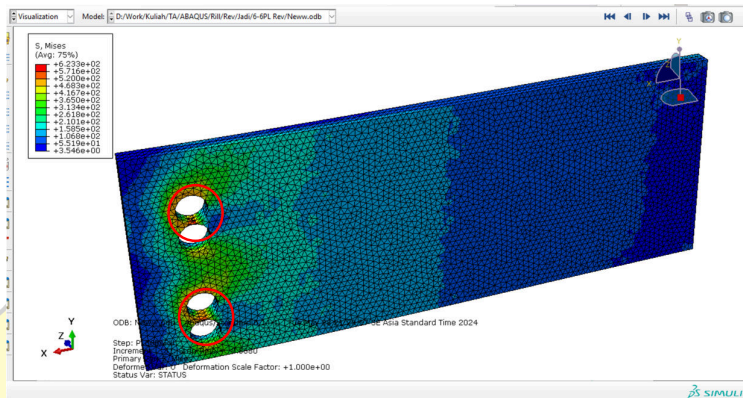
Benda Uji A1 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 6 mm dan 6 mm dengan ukuran lubang baut 10mm yang mengalami pergeseran lubang baut sejauh 10mm kearah vertikal. Visualisasi tegangan mises yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



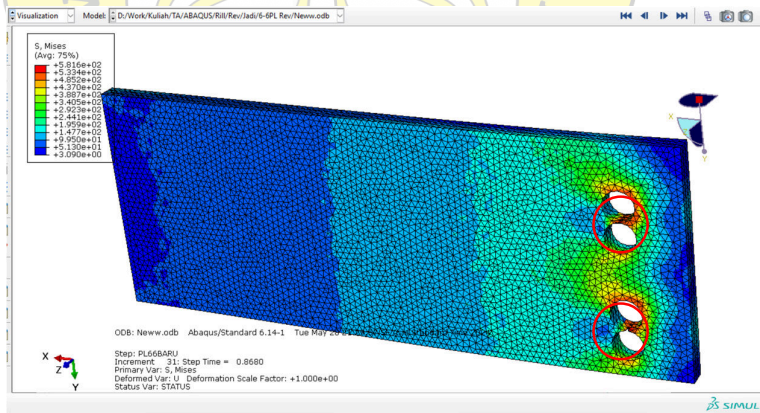
Gambar 4. 26 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji A1



Gambar 4. 27 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji A1



Gambar 4. 28 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji A1



Gambar 4. 29 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji A1

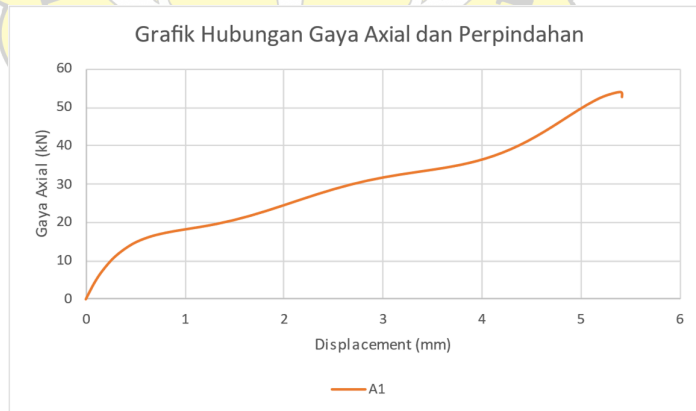
Dari hasil analisis numerikal tersebut dapat dilihat bahwa baut mengalami kegagalan geser, dan pelat terdapat sobekan pada lubang baut.

Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji A1

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	19	31.064	2.848
2	4.210	0.085	20	31.940	3.017
3	7.516	0.170	21	32.682	3.188
4	11.216	0.298	22	33.343	3.358
5	14.402	0.468	23	33.998	3.527
6	16.273	0.637	24	34.734	3.697
7	17.396	0.808	25	35.649	3.868
8	18.176	0.978	26	36.835	4.037
9	18.886	1.148	27	38.370	4.207
10	19.688	1.317	28	40.300	4.378
11	20.664	1.487	29	42.626	4.548
12	21.829	1.658	30	45.280	4.718
13	23.155	1.827	31	48.105	4.887
14	24.587	1.997	32	50.835	5.057
15	26.055	2.168	33	53.064	5.227
16	27.489	2.338	34	54.218	5.398
17	28.829	2.507	35	52.913	5.413
18	30.028	2.678			

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 54.218 kN dengan perpindahan sebesar 5.398 mm Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



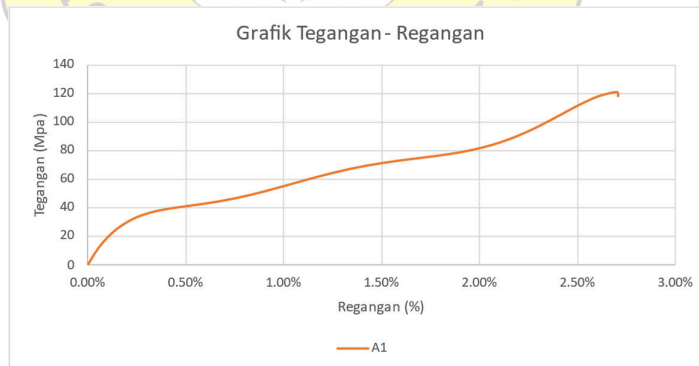
Gambar 4. 30 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji A1

Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji A1

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	19	69.032	1.42%
2	9.355	0.04%	20	70.977	1.51%
3	16.703	0.09%	21	72.626	1.59%
4	24.925	0.15%	22	74.096	1.68%
5	32.005	0.23%	23	75.550	1.76%
6	36.162	0.32%	24	77.187	1.85%
7	38.657	0.40%	25	79.220	1.93%
8	40.391	0.49%	26	81.856	2.02%
9	41.968	0.57%	27	85.267	2.10%
10	43.752	0.66%	28	89.557	2.19%
11	45.920	0.74%	29	94.725	2.27%
12	48.509	0.83%	30	100.622	2.36%
13	51.456	0.91%	31	106.901	2.44%
14	54.637	1.00%	32	112.968	2.53%
15	57.900	1.08%	33	117.920	2.61%
16	61.087	1.17%	34	120.485	2.70%
17	64.064	1.25%	35	117.584	2.71%
18	66.729	1.34%			

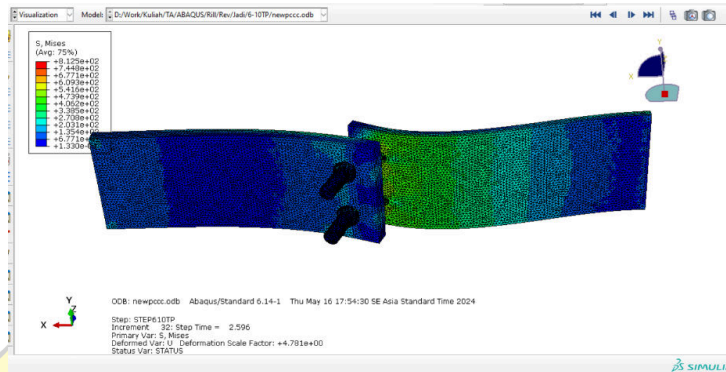
Dari data diatas didapat tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 120 Mpa dengan regangan sebesar 2.7 % Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



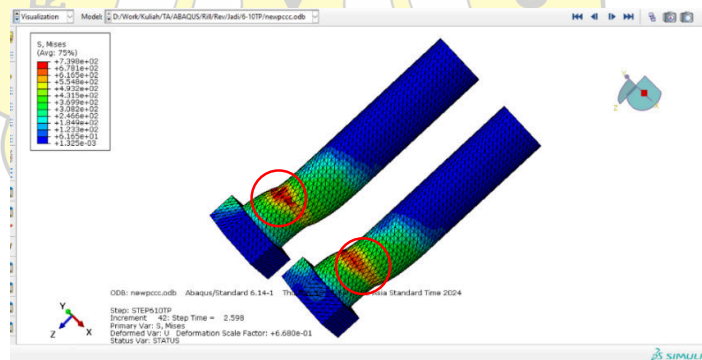
Gambar 4. 31 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji A1

c. Benda Uji B0

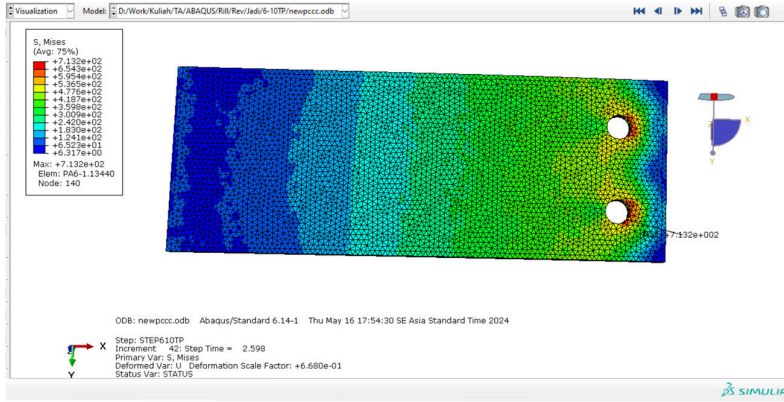
Benda Uji B0 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 6 mm dan 10 mm dengan ukuran lubang baut 10mm. Visualisasi tegangan yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



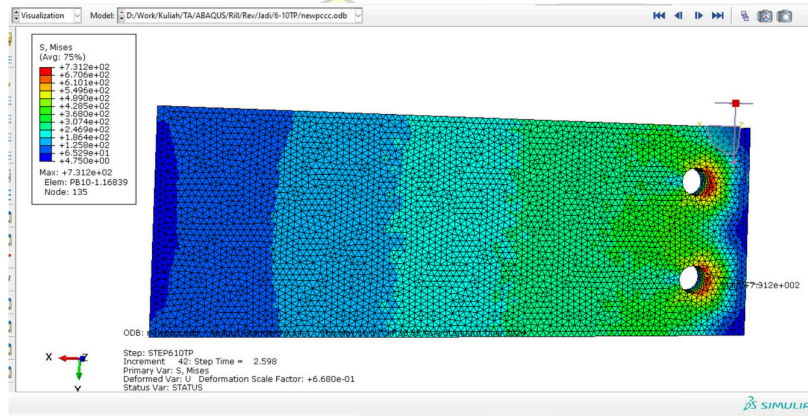
Gambar 4. 32 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji B0



Gambar 4. 33 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji B0



Gambar 4. 34 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B0



Gambar 4. 35 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B0

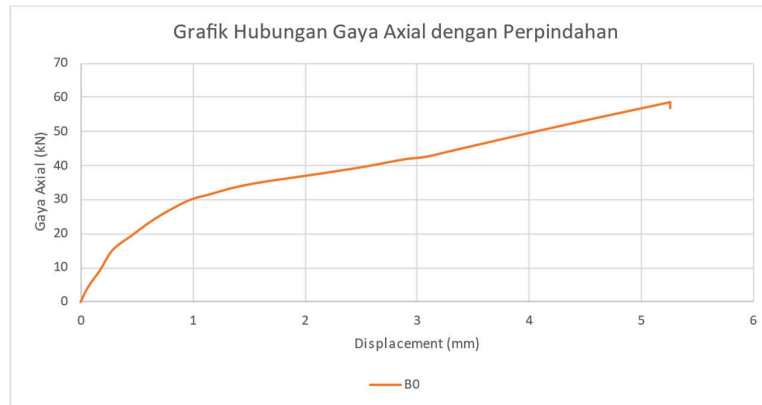


Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 9 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji B0

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	22	43.806	3.256
2	3.397	0.050	23	45.140	3.431
3	5.991	0.100	24	46.470	3.606
4	9.376	0.175	25	47.795	3.781
5	15.267	0.287	26	49.108	3.956
6	19.448	0.456	27	50.408	4.131
7	23.657	0.631	28	51.689	4.306
8	27.099	0.806	29	52.958	4.481
9	29.934	0.981	30	54.213	4.656
10	31.526	1.156	31	55.454	4.831
11	33.182	1.331	32	56.682	5.006
12	34.418	1.506	33	57.898	5.181
13	35.393	1.681	34	58.200	5.225
14	36.206	1.856	35	58.313	5.241
15	37.041	2.031	36	58.356	5.248
16	37.890	2.206	37	58.419	5.257
17	38.776	2.381	38	58.443	5.260
18	39.703	2.556	39	58.444	5.260
19	40.803	2.731	40	58.445	5.260
20	41.822	2.906	41	56.714	5.260
21	42.473	3.081			

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 58.445 kN dengan perpindahan sebesar 5.260 mm Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 36 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji B0

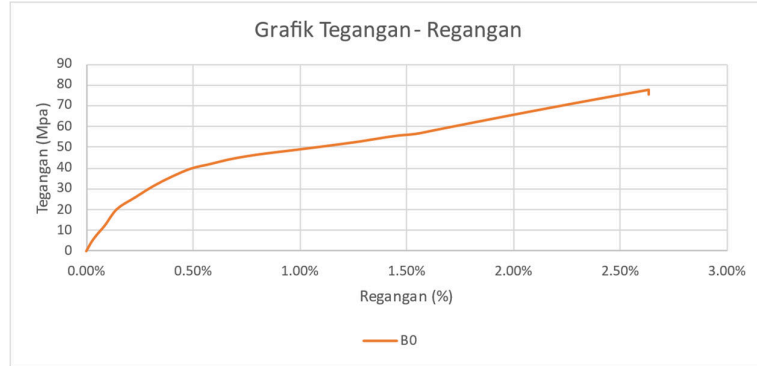
Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 10 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji B0

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	22	58.408	1.63%
2	4.530	0.03%	23	60.186	1.72%
3	7.987	0.05%	24	61.961	1.80%
4	12.502	0.09%	25	63.727	1.89%
5	20.356	0.14%	26	65.478	1.98%
6	25.931	0.23%	27	67.210	2.07%
7	31.542	0.32%	28	68.919	2.15%
8	36.131	0.40%	29	70.610	2.24%
9	39.912	0.49%	30	72.285	2.33%
10	42.034	0.58%	31	73.938	2.42%
11	44.243	0.67%	32	75.576	2.50%
12	45.891	0.75%	33	77.198	2.59%
13	47.190	0.84%	34	77.601	2.61%
14	48.275	0.93%	35	77.751	2.62%
15	49.388	1.02%	36	77.808	2.62%
16	50.520	1.10%	37	77.892	2.63%
17	51.702	1.19%	38	77.924	2.63%
18	52.937	1.28%	39	77.925	2.63%
19	54.404	1.37%	40	77.926	2.63%
20	55.762	1.45%	41	75.619	2.63%
21	56.631	1.54%			

Dari data di atas tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 77.926 Mpa dengan regangan sebesar 2.63 %

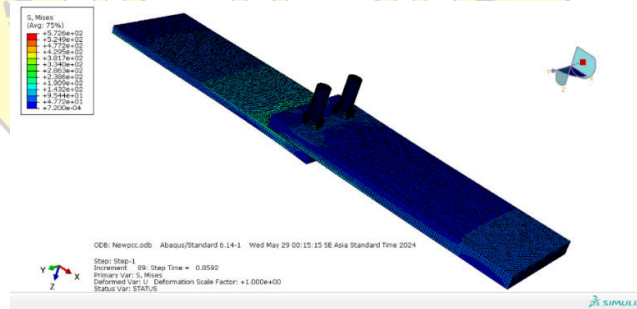
Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



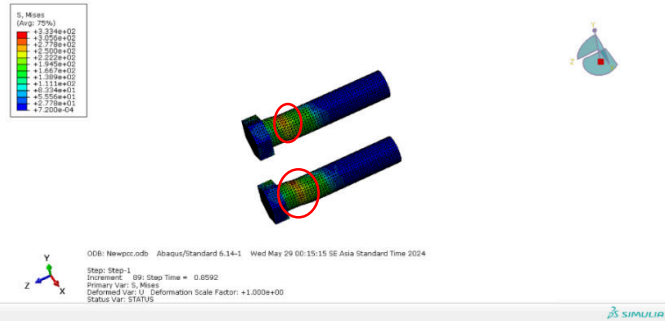
Gambar 4. 37 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji B0

d. Benda Uji B1

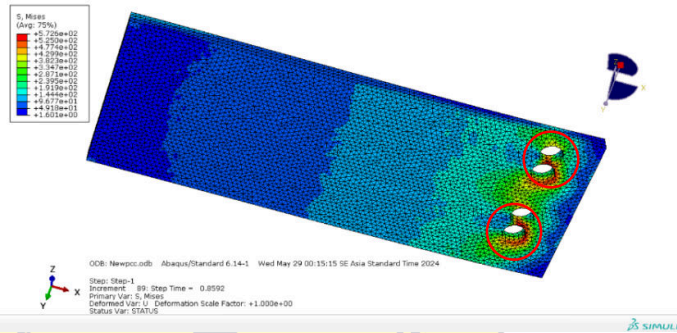
Benda Uji B1 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 6 mm dan 10 mm dengan ukuran lubang baut 10mm yang mengalami pergeseran lubang baut sejauh 10mm kearah vertikal pada pelat 6mm. Visualisasi tegangan mises yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



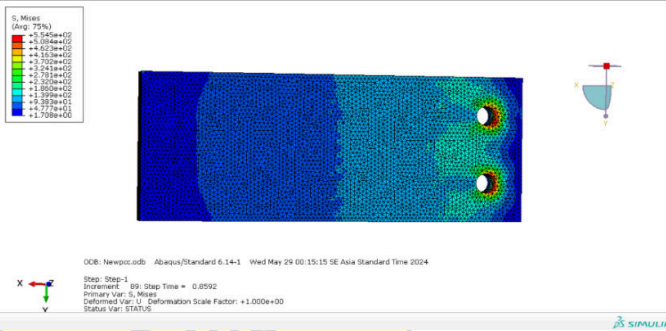
Gambar 4. 38 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji B1



Gambar 4. 39 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji B1



Gambar 4. 40 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B1



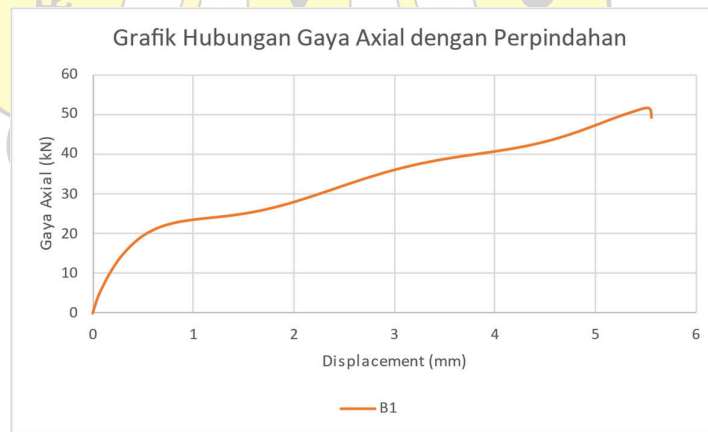
Gambar 4. 41 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B1

Dari hasil analisis numerikal tersebut dapat dilihat bahwa baut mengalami kegagalan geser, dan pelat terdapat sobekan pada lubang baut. Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 11 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji B1

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	19	34.009	2.731
2	3.908	0.050	20	35.347	2.906
3	6.667	0.100	21	36.538	3.081
4	10.217	0.175	22	37.566	3.256
5	14.400	0.287	23	38.436	3.431
6	18.653	0.456	24	39.178	3.606
7	21.243	0.631	25	39.837	3.781
8	22.663	0.806	26	40.476	3.956
9	23.434	0.981	27	41.165	4.131
10	23.931	1.156	28	41.976	4.306
11	24.408	1.331	29	42.969	4.481
12	25.020	1.506	30	44.185	4.656
13	25.844	1.681	31	45.627	4.831
14	26.897	1.856	32	47.248	5.006
15	28.155	2.031	33	48.929	5.181
16	29.565	2.206	34	50.465	5.356
17	31.057	2.381	35	51.539	5.531
18	32.561	2.556	36	49.157	5.561

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 51.539 kN dengan perpindahan sebesar 5.531 mm Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



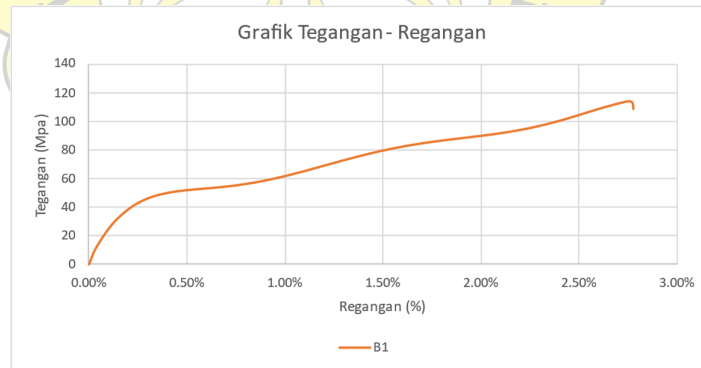
Gambar 4. 42 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji B1

Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji B1

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	19	75.576	1.37%
2	8.685	0.03%	20	78.549	1.45%
3	14.816	0.05%	21	81.196	1.54%
4	22.704	0.09%	22	83.480	1.63%
5	32.000	0.14%	23	85.414	1.72%
6	41.451	0.23%	24	87.062	1.80%
7	47.207	0.32%	25	88.526	1.89%
8	50.363	0.40%	26	89.946	1.98%
9	52.076	0.49%	27	91.477	2.07%
10	53.180	0.58%	28	93.279	2.15%
11	54.240	0.67%	29	95.487	2.24%
12	55.600	0.75%	30	98.189	2.33%
13	57.431	0.84%	31	101.394	2.42%
14	59.772	0.93%	32	104.995	2.50%
15	62.568	1.02%	33	108.732	2.59%
16	65.699	1.10%	34	112.145	2.68%
17	69.016	1.19%	35	114.530	2.77%
18	72.358	1.28%	36	109.239	2.78%

Dari data diatas didapat tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 114 Mpa dengan regangan sebesar 2.7 % Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.

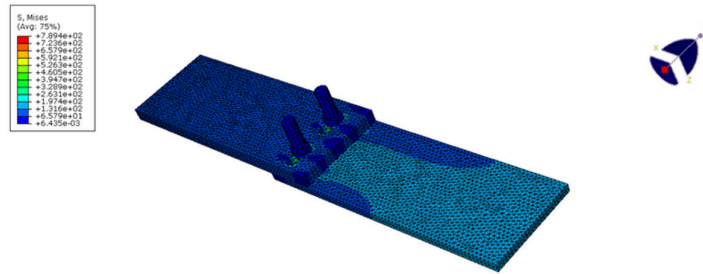


Gambar 4. 43 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji B1

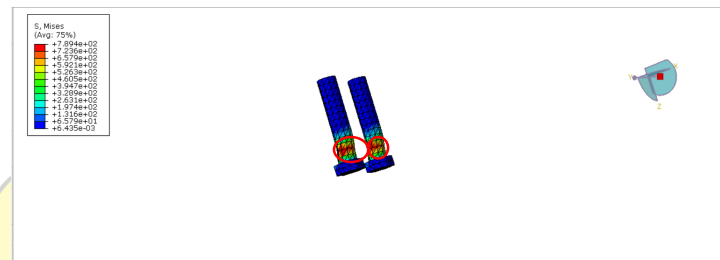
e. Benda Uji B2

Benda Uji B2 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 6 mm dan 10 mm dengan ukuran lubang baut 10mm yang mengalami pergeseran lubang baut sejauh 10mm kearah vertical pada pelat 10mm. Visualisasi tegangan mises yang

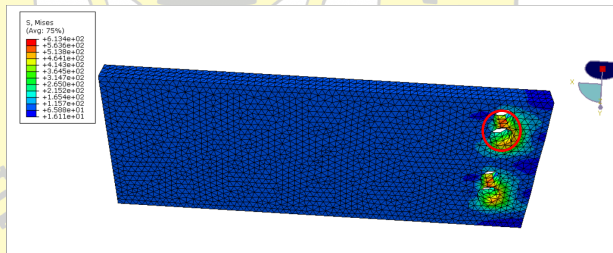
terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



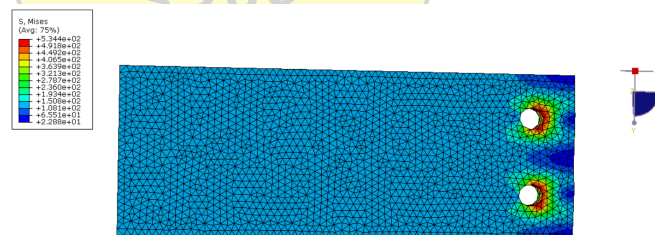
Gambar 4. 44 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji B2



Gambar 4. 45 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji B2



Gambar 4. 46 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B2



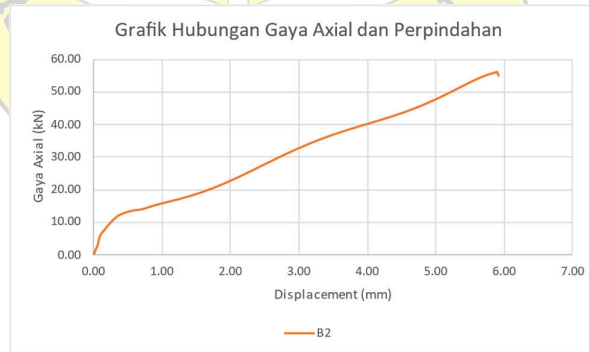
Gambar 4. 47 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji B2

Dari hasil analisis numerikal tersebut dapat dilihat bahwa baut mengalami kegagalan geser, dan pelat terdapat pada lubang baut. Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 13 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji B2

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	27	39.165	3.855
2	1.471	0.025	28	40.264	4.030
3	2.570	0.050	29	41.369	4.205
4	5.578	0.087	30	42.528	4.380
5	7.237	0.144	31	43.786	4.555
6	9.355	0.228	32	45.182	4.730
7	11.838	0.355	33	46.735	4.905
8	13.237	0.530	34	48.443	5.080
9	13.838	0.705	35	50.269	5.255
10	14.988	0.880	36	52.130	5.430
11	15.939	1.055	37	52.473	5.463
12	16.871	1.230	38	52.811	5.495
13	17.896	1.405	39	53.143	5.528
14	19.078	1.580	40	53.469	5.561
15	20.438	1.755	41	53.785	5.594
16	21.967	1.930	42	54.092	5.627
17	23.637	2.105	43	54.387	5.659
18	25.404	2.280	44	54.669	5.692
19	27.218	2.455	45	54.936	5.725
20	29.030	2.630	46	55.185	5.758
21	30.793	2.805	47	55.522	5.807
22	32.472	2.980	48	55.809	5.856
23	34.040	3.155	49	55.902	5.875
24	35.485	3.330	50	55.986	5.893
25	36.809	3.505	51	54.916	5.911
26	38.026	3.680			

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 55.986 kN dengan perpindahan sebesar 5.893 mm Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 48 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji B2

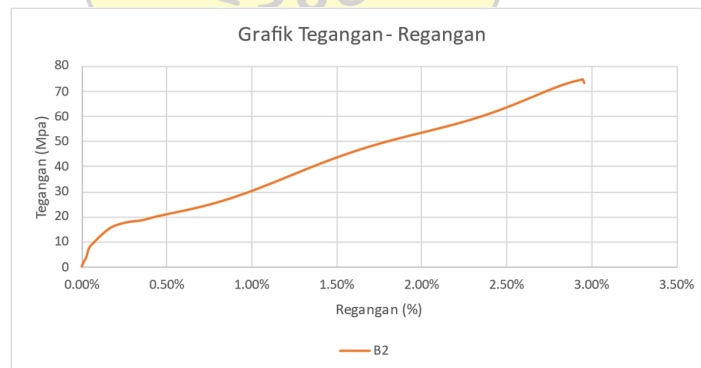
Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji B2

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	27	52.220	1.93%
2	1.961	0.01%	28	53.686	2.01%
3	3.427	0.03%	29	55.159	2.10%
4	7.437	0.04%	30	56.703	2.19%
5	9.649	0.07%	31	58.381	2.28%
6	12.474	0.11%	32	60.242	2.36%
7	15.784	0.18%	33	62.314	2.45%
8	17.649	0.26%	34	64.591	2.54%
9	18.451	0.35%	35	67.025	2.63%
10	19.983	0.44%	36	69.506	2.71%
11	21.252	0.53%	37	69.963	2.73%
12	22.494	0.61%	38	70.414	2.75%
13	23.862	0.70%	39	70.858	2.76%
14	25.437	0.79%	40	71.291	2.78%
15	27.250	0.88%	41	71.714	2.80%
16	29.290	0.96%	42	72.123	2.81%
17	31.516	1.05%	43	72.516	2.83%
18	33.872	1.14%	44	72.892	2.85%
19	36.291	1.23%	45	73.247	2.86%
20	38.706	1.31%	46	73.580	2.88%
21	41.058	1.40%	47	74.030	2.90%
22	43.296	1.49%	48	74.412	2.93%
23	45.387	1.58%	49	74.536	2.94%
24	47.314	1.66%	50	74.648	2.95%
25	49.079	1.75%	51	73.221	2.96%
26	50.702	1.84%			

Dari data diatas didapat tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 74.648 Mpa dengan regangan sebesar 2.95 %

Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.

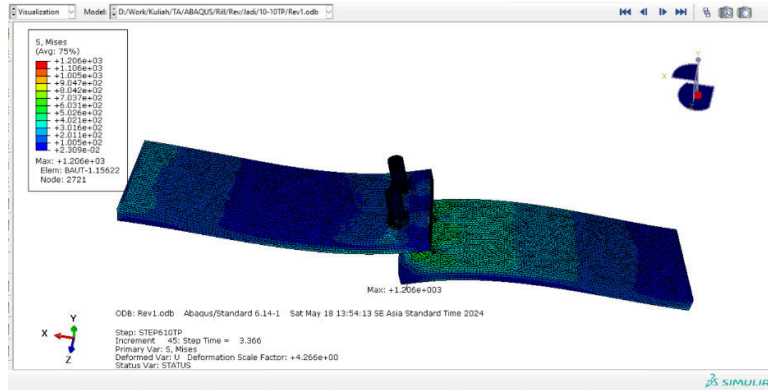


Gambar 4. 49 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji B2

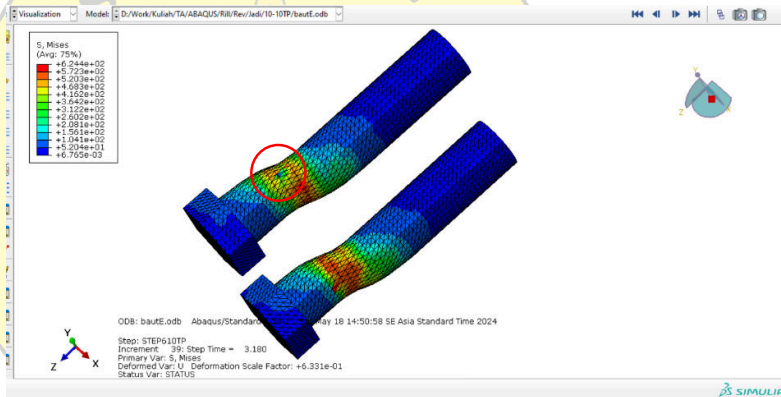
f. Benda Uji C0

Benda Uji C0 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat

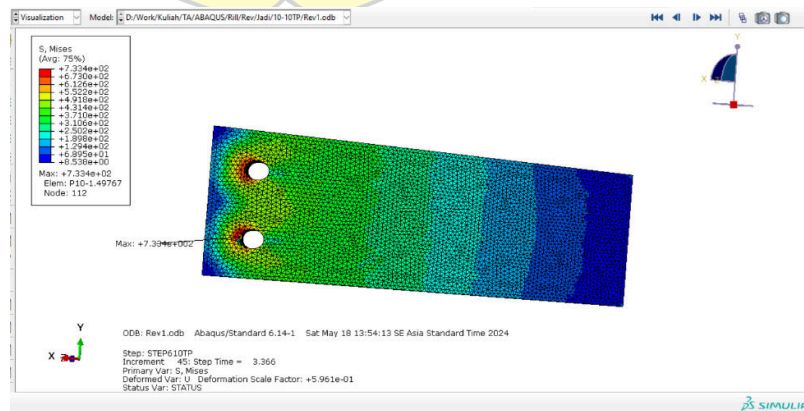
baja S460 dengan tebal 10 mm dan 10 mm dengan ukuran lubang baut 10mm. Visualisasi tegangan mises yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



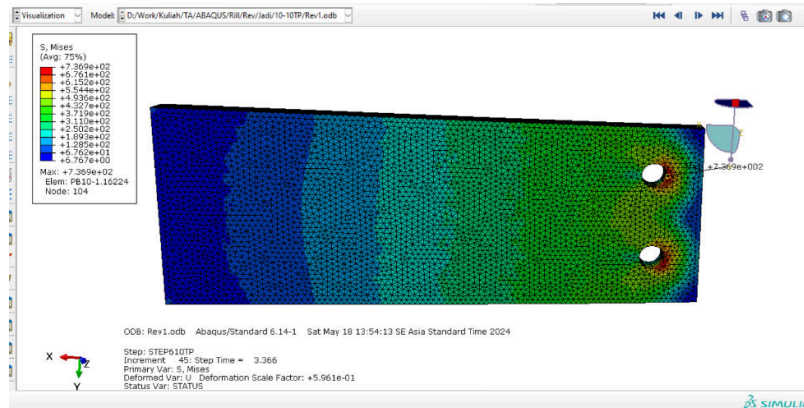
Gambar 4. 50 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji C0



Gambar 4. 51 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji C0



Gambar 4. 52 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji C0



Gambar 4. 53 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji C0

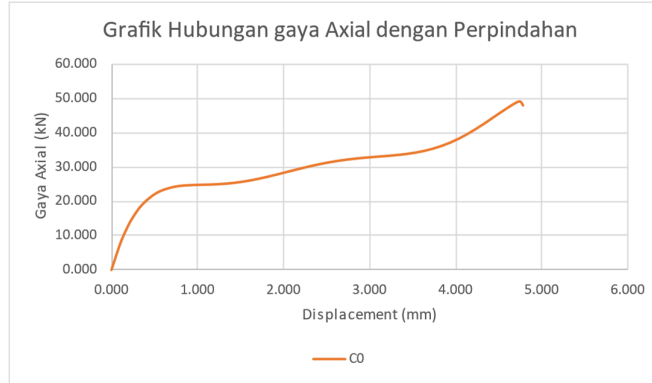
Dari hasil visualisasi dapat dilihat bahwa baut mengalami kegagalan geser yang mengakibatkan fraktur pada beberapa titik. Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 15 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji C0

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	15	30.478	2.331
2	7.542	0.100	16	31.500	2.531
3	11.943	0.175	17	32.272	2.731
4	15.425	0.250	18	32.812	2.931
5	19.241	0.363	19	33.217	3.131
6	22.618	0.531	20	33.651	3.331
7	24.334	0.731	21	34.321	3.531
8	24.831	0.931	22	35.448	3.731
9	24.971	1.131	23	37.212	3.931
10	25.240	1.331	24	39.698	4.131
11	25.842	1.531	25	42.822	4.331
12	26.791	1.731	26	46.245	4.531
13	27.984	1.931	27	49.280	4.731
14	29.266	2.131	28	48.125	4.782

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 49.280 kN dengan perpindahan sebesar 4.731 mm.

Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 54 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji C0

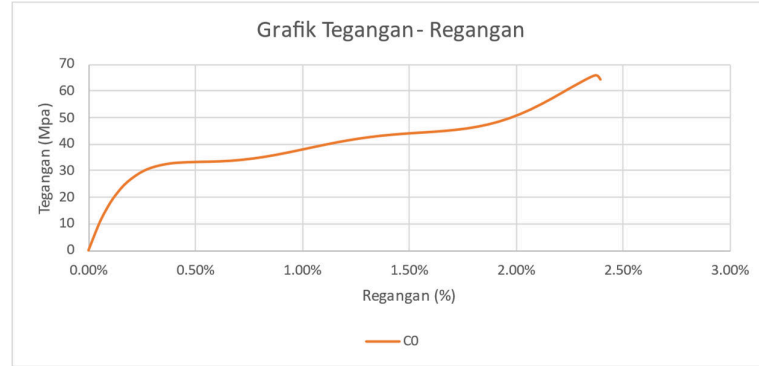
Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji C0

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	15	40.638	1.17%
2	10.056	0.05%	16	42.000	1.27%
3	15.924	0.09%	17	43.029	1.37%
4	20.567	0.13%	18	43.750	1.47%
5	25.655	0.18%	19	44.290	1.57%
6	30.158	0.27%	20	44.867	1.67%
7	32.445	0.37%	21	45.761	1.77%
8	33.107	0.47%	22	47.264	1.87%
9	33.295	0.57%	23	49.616	1.97%
10	33.654	0.67%	24	52.931	2.07%
11	34.456	0.77%	25	57.096	2.17%
12	35.722	0.87%	26	61.660	2.27%
13	37.312	0.97%	27	65.707	2.37%
14	39.021	1.07%	28	64.167	2.39%

Dari data di atas tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 65.707 Mpa dengan regangan sebesar 2.37 %.

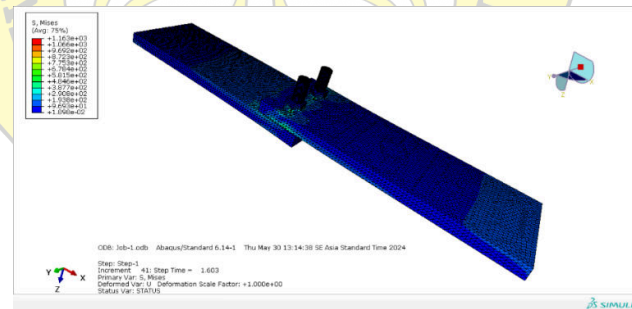
Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



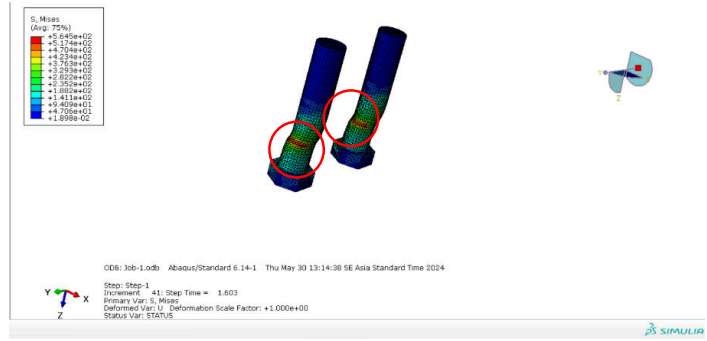
Gambar 4. 55 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji C0

g. Benda Uji C1

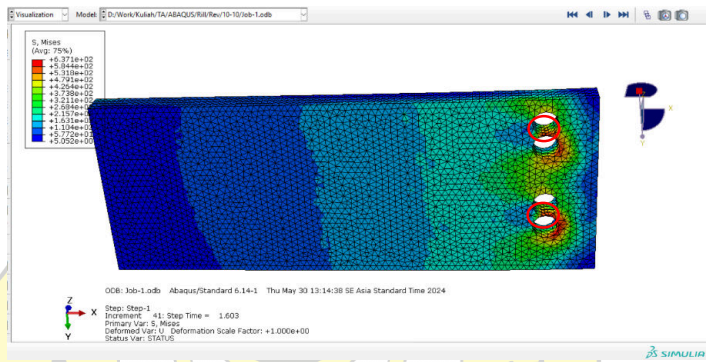
Benda Uji C1 merupakan sambungan pelat baja tipe tumpu dan friksi dengan lubang baut standar. Sambungan ini terdiri dari pelat baja S460 dengan tebal 10 mm dan 10 mm dengan ukuran lubang baut 10mm yang mengalami pergeseran lubang baut sejauh 10mm kearah vertikal pada pelat 10mm. Visualisasi tegangan mises yang terjadi pada sambungan dan detail tegangan pada baut dapat dilihat pada gambar berikut.



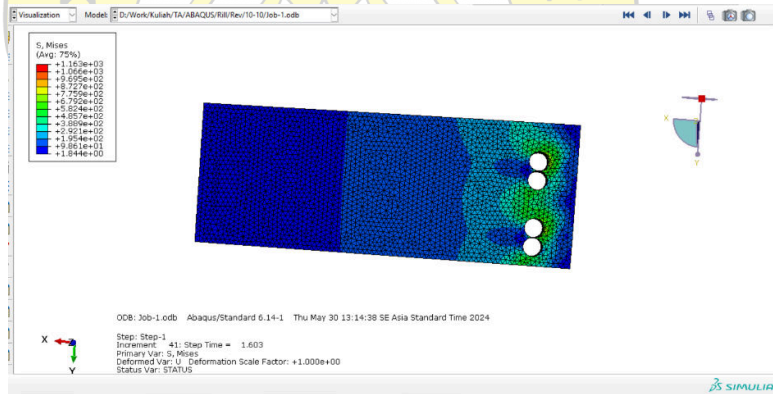
Gambar 4. 56 Visualisasi Tegangan Mises pada Benda Uji C1



Gambar 4. 57 Visualisasi Tegangan Mises pada Baut Benda Uji C1



Gambar 4. 58 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji C1



Gambar 4. 59 Visualisasi Tegangan Mises pada Pelat Benda Uji C1

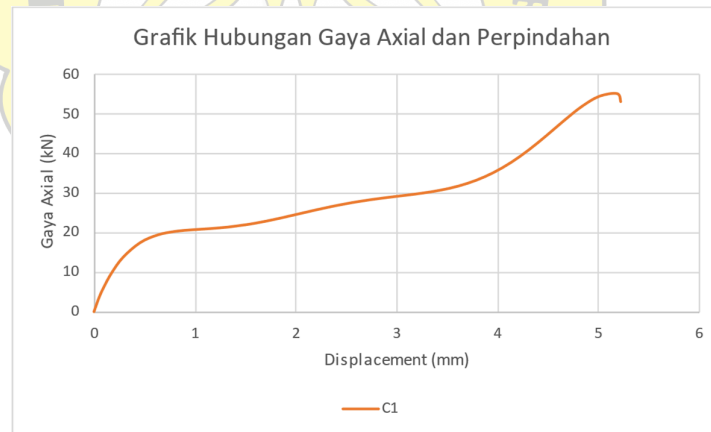
Dari hasil analisis numerikal tersebut dapat dilihat bahwa baut mengalami kegagalan geser, dan pelat terdapat sobekan pada lubang baut.

Hasil analisis pada abaqus menghasilkan data gaya dan perpindahan yang terjadi pada model sambungan pada tabel berikut.

Tabel 4. 17 Tabel Hasil Pengujian Numerikal Benda Uji C1

No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)	No.	Gaya (kN)	Perpanjangan (mm)
1	0.000	0.000	18	27.620	2.556
2	3.570	0.050	19	28.327	2.731
3	6.347	0.100	20	28.920	2.906
4	9.829	0.175	21	29.457	3.081
5	13.760	0.287	22	30.031	3.256
6	17.458	0.456	23	30.762	3.431
7	19.437	0.631	24	31.786	3.606
8	20.343	0.806	25	33.233	3.781
9	20.754	0.981	26	35.215	3.956
10	21.046	1.156	27	37.794	4.131
11	21.435	1.331	28	40.958	4.306
12	22.018	1.506	29	44.584	4.481
13	22.805	1.681	30	48.402	4.656
14	23.752	1.856	31	51.953	4.831
15	24.782	2.031	32	54.546	5.006
16	25.814	2.206	33	55.202	5.181
17	26.777	2.381	34	53.179	5.216

Dari data diatas didapat gaya maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 55.202 kN dengan perpindahan sebesar 5.181 mm Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 60 Grafik Hasil Pengujian Benda Uji C1

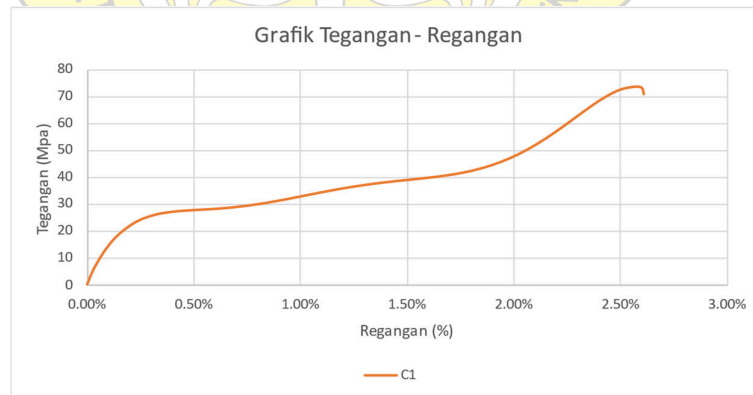
Kemudian dari hasil pengujian model sambungan juga dapat dihasilkan tegangan regangan yang dihasilkan dari perbandingan gaya axial yang terjadi dengan luas penampang dari model sambungan benda uji sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Tabel Tegangan - Regangan Benda Uji C1

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan	No.	Tegangan (Mpa)	Regangan
1	0.000	0.00%	18	36.826	1.28%
2	4.759	0.03%	19	37.770	1.37%
3	8.463	0.05%	20	38.560	1.45%
4	13.106	0.09%	21	39.275	1.54%
5	18.347	0.14%	22	40.041	1.63%
6	23.277	0.23%	23	41.016	1.72%
7	25.916	0.32%	24	42.381	1.80%
8	27.124	0.40%	25	44.311	1.89%
9	27.672	0.49%	26	46.953	1.98%
10	28.061	0.58%	27	50.392	2.07%
11	28.580	0.67%	28	54.611	2.15%
12	29.358	0.75%	29	59.445	2.24%
13	30.407	0.84%	30	64.535	2.33%
14	31.669	0.93%	31	69.271	2.42%
15	33.043	1.02%	32	72.728	2.50%
16	34.419	1.10%	33	73.603	2.59%
17	35.702	1.19%	34	70.905	2.61%

Dari data diatas didapat tegangan maksimum yang terjadi pada analisis numerikal adalah 73.603 Mpa dengan regangan sebesar 2.59 %.

Grafik dari tabel data diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 61 Grafik Tegangan - Regangan Benda Uji C1

4.3 Hasil Pengujian Numerikal Menggunakan SAP2000

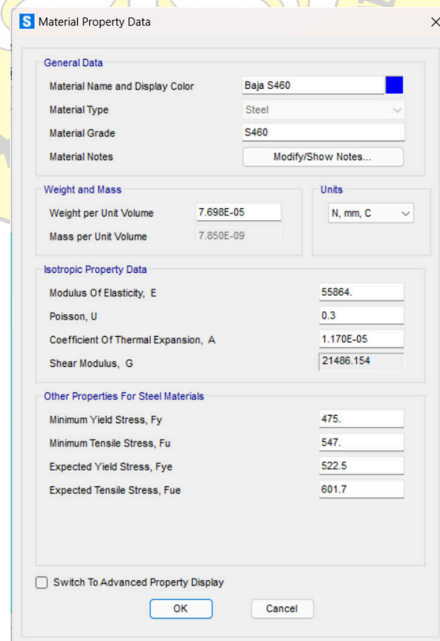
SAP2000 tidak dapat digunakan dalam analisis numerikal keseluruhan model benda uji dikarenakan keterbatasan komputasi di dalam elemen hingganya yang hanya bisa memodelkan sebuah elemen pelat sederhana 2 dimensi (plane stress), dan tidak bisa mendetailkan model sambungan berbaut secara 3 dimensi karena tidak bisa mendefinisikan gesekan dan model baut 3 dimensi.

Jadi SAP2000 hanya digunakan di dalam analisis numerikal model sambungan untuk mengetahui pola persebaran tegangan dan sebagai kontrol perbandingan perpindahan yang terjadi akibat gaya maksimum yang terjadi pada pelatnya saja di dalam analisis numerikal abaqus.

4.3.1. Input Data dan Properties Benda Uji

a. Input Material

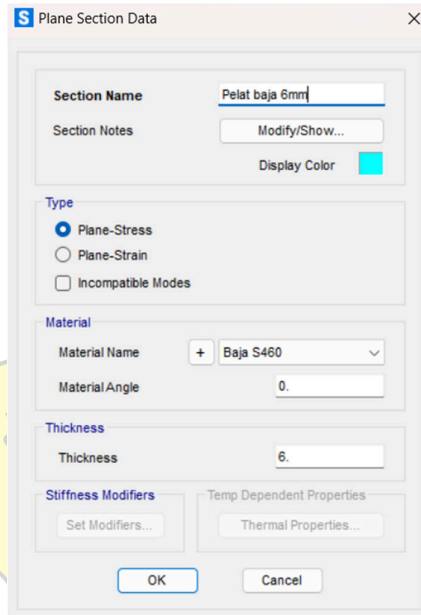
Untuk Material yang digunakan di dalam analisis pada aplikasi SAP2000 disesuaikan dengan properti benda uji eksperimental pada Baja S460 sesuai dengan hasil uji tarik UTM yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Dengan properties $E = 55864$ Mpa, $F_y = 475$ MPa dan $F_u = 574$ Mpa.



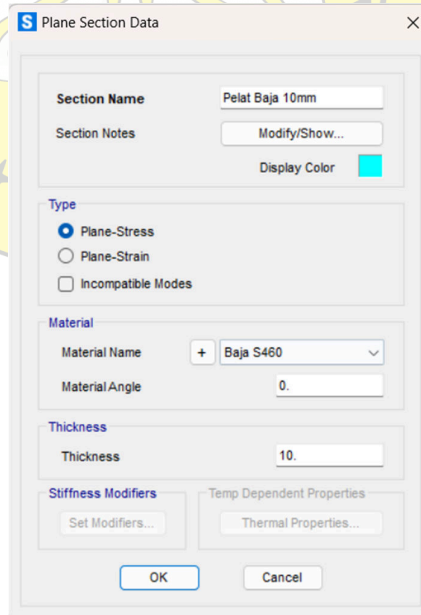
Gambar 4. 62 Konfigurasi Material pada SAP2000

b. *Input Penampang*

Desain penampang adalah *plane stress* 6mm untuk pelat 6mm dan 10 mm untuk pelat 10mm dengan material baja S460 yang sudah di *inputkan*.



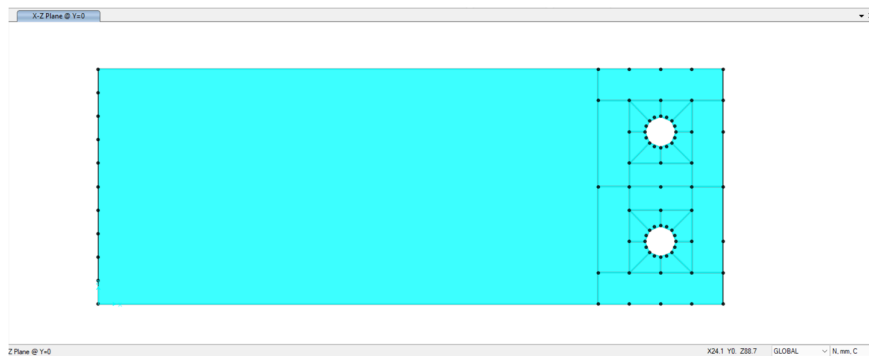
Gambar 4. 63 Konfigurasi Penampang Pelat 6mm pada SAP2000



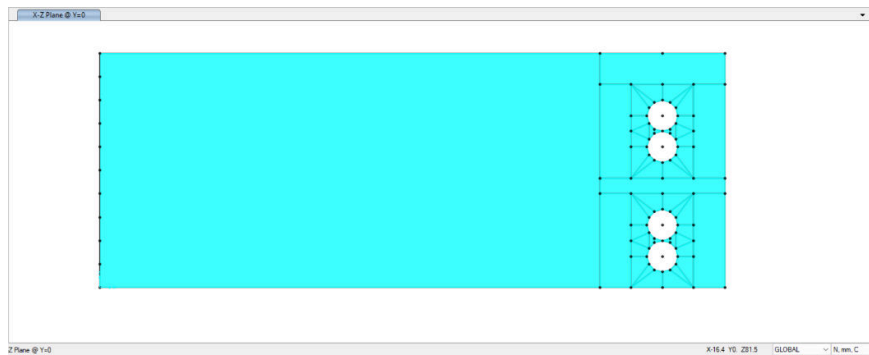
Gambar 4. 64 Konfigurasi Penampang Pelat 10mm pada SAP2000

c. Desain Model

Berikut permodelan desain pelat yang akan diujikan di dalam SAP2000



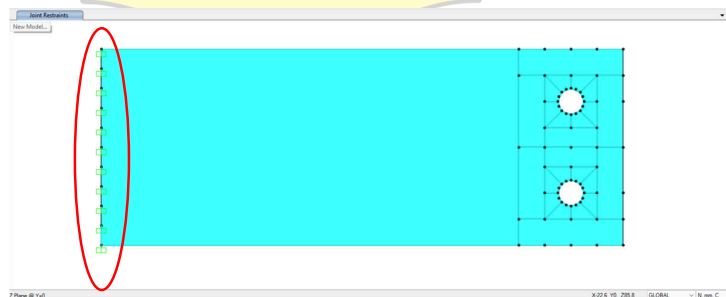
Gambar 4. 65 Desain Penampang A0,dan C0 pada SAP2000



Gambar 4. 66 Desain Penampang A1, dan C1 pada SAP2000

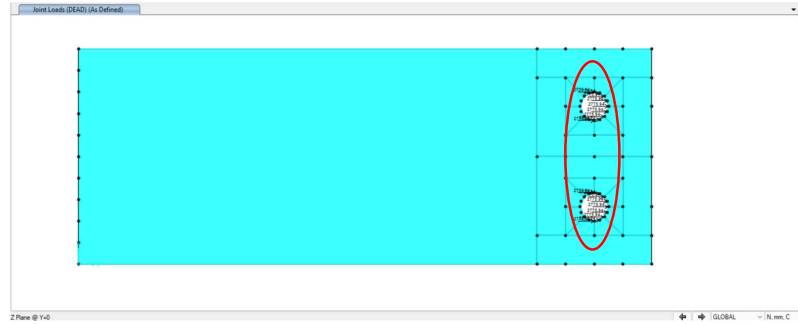
d. Kondisi Batas dan Gaya

Kondisi batas yang terjadi di dalam penampang yang akan dianalisis adalah permodelan pelat jepit yang di jepit pada ujung terjauh dari lubang sambungan.



Gambar 4. 67 Kondisi Batas Jepit pada Model SAP2000

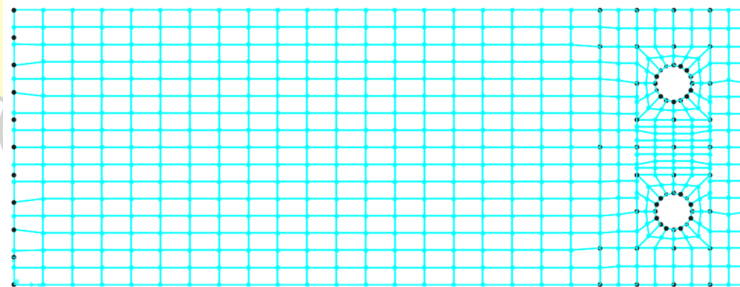
Gaya yang dimasukkan kedalam aplikasi SAP2000 adalah gaya maksimal yang terjadi dari hasil pengujian dengan aplikasi abaqus yang didistribusikan secara merata pada tiap titiknya pada titik sambungannya.



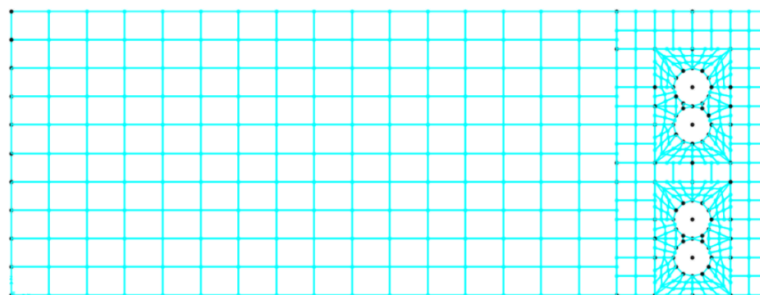
Gambar 4. 68 *Input* Gaya Benda Uji pada SAP2000

e. *Meshing* Model

Meshing Elemen adalah proses diskretisasi model dalam analisis elemen hingga atau analisis numerikal yang memodelkan sebuah elemen menjadi sesuatu yang lebih kecil agar dapat di analisis perilaku mekaniknya terhadap aksi dan reaksi yang terjadi dalam proses pengujian secara numerikal. Di dalam penelitian ini pada aplikasi SAP2000 *meshing* di setting secara otomatis dengan ukuran per meshingnya adalah 3mm pada area dekat lubang dan 6mm untuk sisanya. Contoh *meshing* yang sudah di *generate* pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 69 Hasil *Meshing* Penampang A0, dan C0 pada SAP2000



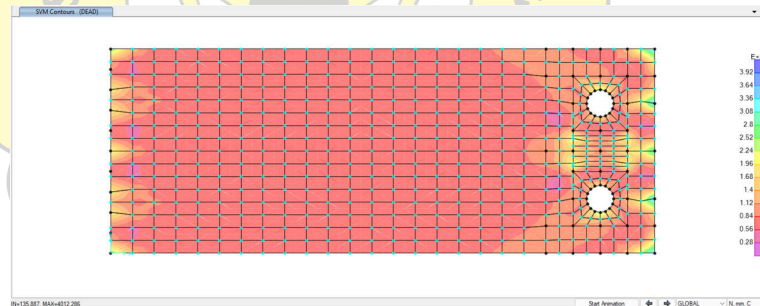
Gambar 4. 70 Hasil *Meshing* Penampang A1, dan C1 pada SAP2000

4.3.1. Hasil Pengujian Numerikal pada Perangkat Lunak SAP2000

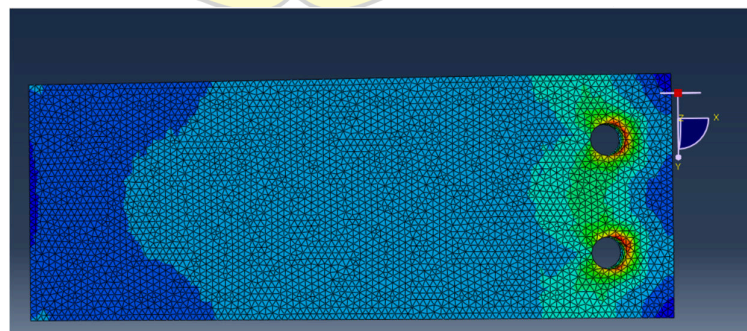
Hasil pengujian secara numerikal pada aplikasi SAP2000 hanya bisa memodelkan 1 pelat yang diberi gaya pada lubang bautnya dengan model sambungan yang sejenis saja. Dikarenakan pada aplikasi SAP2000 untuk analisis elemen hingga hanya bisa dilakukan dengan model plane stress (2D). Hasil analisis pada SAP2000 berupa perpindahan elemen pada gaya yang diberikan, dan gaya yang diberikan adalah gaya maksimal yang terdapat pada hasil pengujian numerikal pada aplikasi Abaqus. Kemudian hasil perpindahan yang dipakai adalah 2x dari hasil perpindahan analisisnya karena dianggap 1 model sambungan adalah 2 pelat.

a. Benda Uji A0

Pada hasil pengujian menggunakan aplikasi abaqus pada pelat 6mm tanpa ada pergeseran lubang. Gaya maksimal yang terjadi adalah 48.721 kN, kemudian dari hasil tersebut dianalisis menggunakan SAP2000 menghasilkan Pola Tegangan seperti pada gambar berikut.



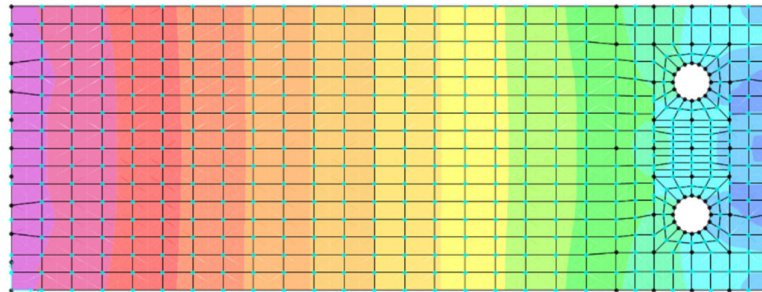
Gambar 4. 71 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji A0 pada SAP2000



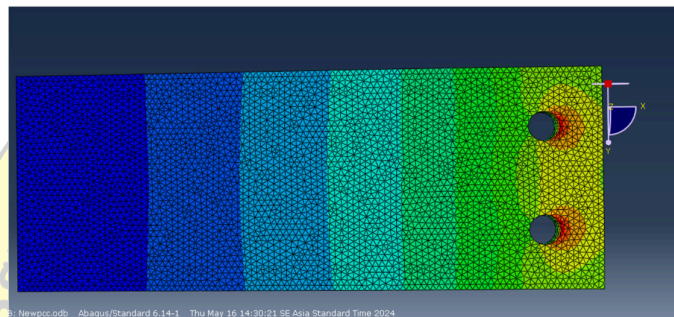
Gambar 4. 72 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji A0 pada Abaqus

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola persebaran tegangan mises yang mirip.

Kemudian pada SAP2000 juga dapat dihasilkan pola perpindahan tiap titik yang terjadi yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 73 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji A0 pada SAP2000

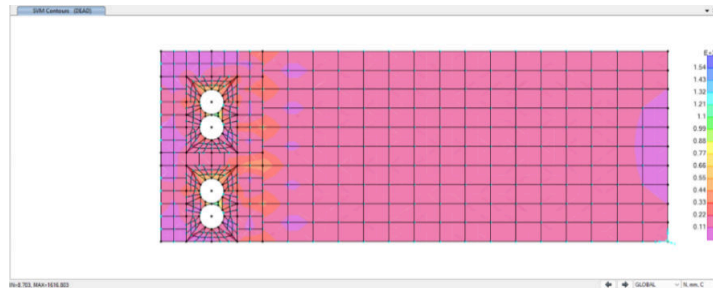


Gambar 4. 74 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji A0 pada Abaqus

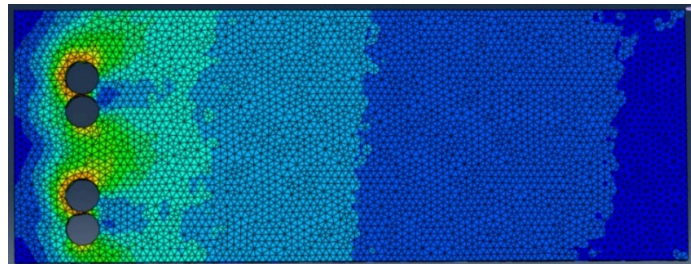
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola pergeseran tiap titik yang sama. Dan pada 1 pelat menghasilkan perpindahan sebesar 2.85 mm per pelatnya sehingga apabila dijadikan 2 pelat yang disambung akan menghasilkan mm perpindahan sekitar 5.7 mm.

b. Benda Uji A1

Pada hasil pengujian menggunakan aplikasi abaqus pada pelat 6mm dengan ada pergeseran lubang secara vertikal. Gaya maksimal yang terjadi adalah 54.218 kN, kemudian dari hasil tersebut dianalisis menggunakan SAP2000 menghasilkan Pola Tegangan seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 75 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji A1 pada SAP2000

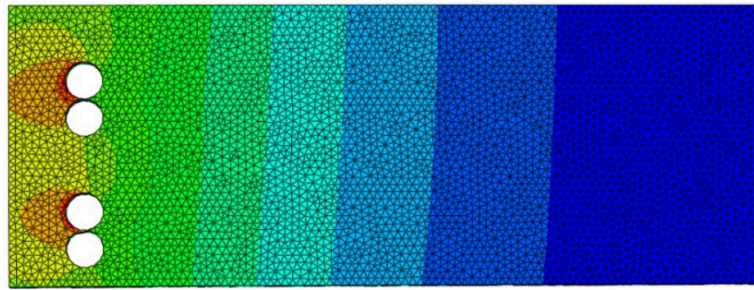


Gambar 4. 76 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji A1 pada Abaqus

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola persebaran tegangan mises yang mirip. Kemudian pada SAP2000 juga dapat dihasilkan pola perpindahan tiap titik yang terjadi yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 77 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji A1 pada SAP2000

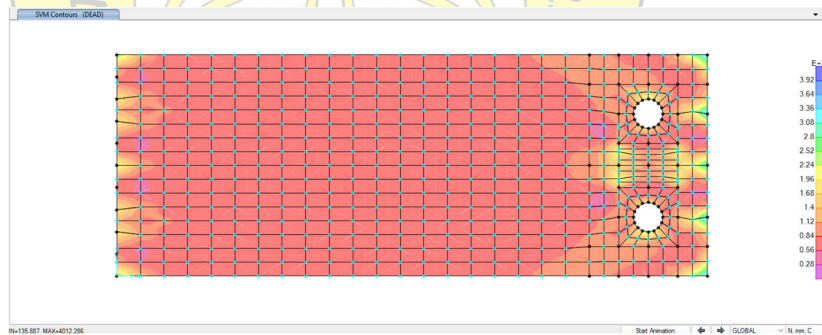


Gambar 4. 78 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji A0 pada Abaqus

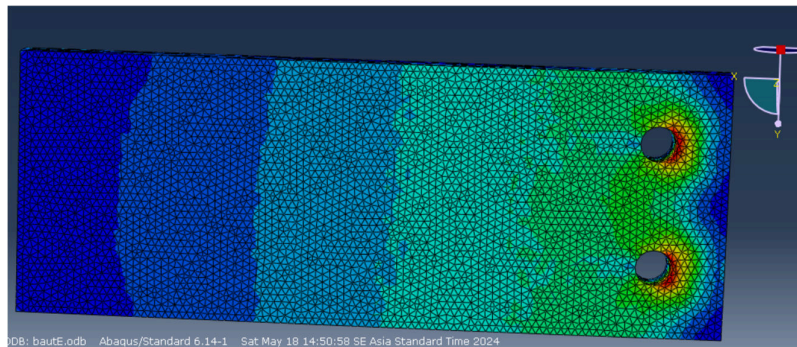
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola pergeseran tiap titik yang sama. Dan pada 1 pelat menghasilkan perpindahan sebesar 2.513 mm per pelatnya sehingga apabila dijadikan 2 pelat yang disambung akan menghasilkan mm perpindahan sekitar 5.026 mm.

c. Benda Uji C0

Pada hasil pengujian menggunakan aplikasi abaqus pada pelat 10mm tanpa ada pergeseran lubang. Gaya maksimal yang terjadi adalah 48.721 kN, kemudian dari hasil tersebut dianalisis menggunakan SAP2000 menghasilkan Pola Tegangan seperti pada gambar berikut.

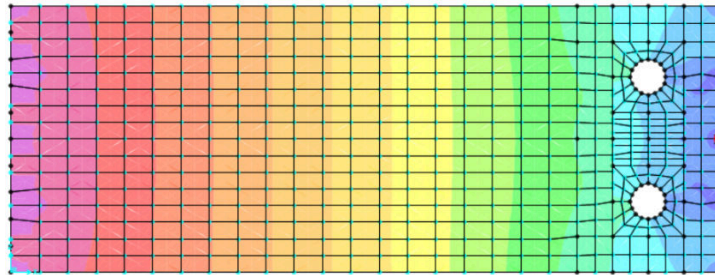


Gambar 4. 79 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji C0 pada SAP2000

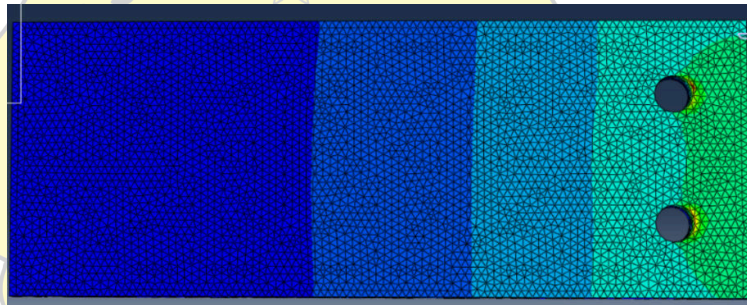


Gambar 4. 80 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji C0 pada Abaqus

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola persebaran tegangan mises yang cukup mirip perbedaannya terletak pada gaya gesek yang tidak bisa di inputkan dalam analisis pada aplikasi SAP2000. Kemudian pada SAP2000 juga dapat dihasilkan pola perpindahan tiap titik yang terjadi yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 81 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji C0 pada SAP2000

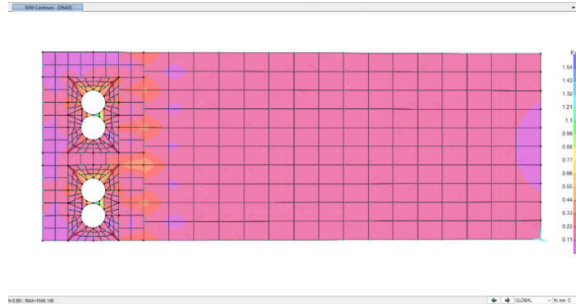


Gambar 4. 82 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji C0 pada Abaqus

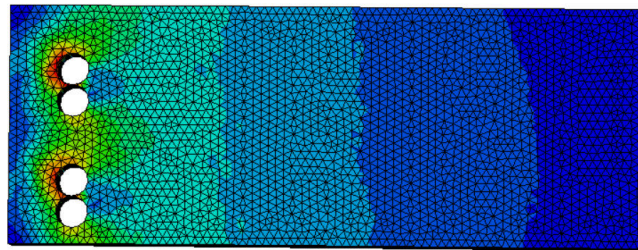
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola pergeseran tiap titik yang sama. Dan pada 1 pelat menghasilkan perpindahan sebesar 2.0793 mm per pelatnya sehingga apabila dijadikan 2 pelat yang disambung akan menghasilkan mm perpindahan sekitar 4.15 mm.

d. Benda Uji C1

Pada hasil pengujian menggunakan aplikasi abaqus pada pelat 10mm dengan ada pergeseran lubang sebesar 10mm ke arah vertikal. Gaya maksimal yang terjadi adalah 55.202 kN, kemudian dari hasil tersebut dianalisis menggunakan SAP2000 menghasilkan Pola Tegangan seperti pada gambar berikut.

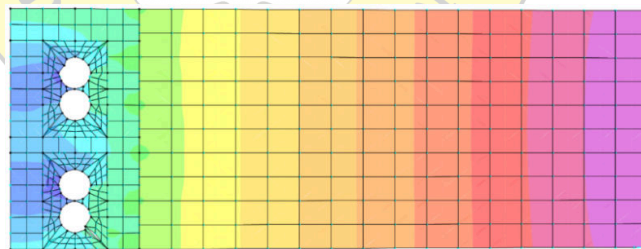


Gambar 4. 83 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji C1 pada SAP2000

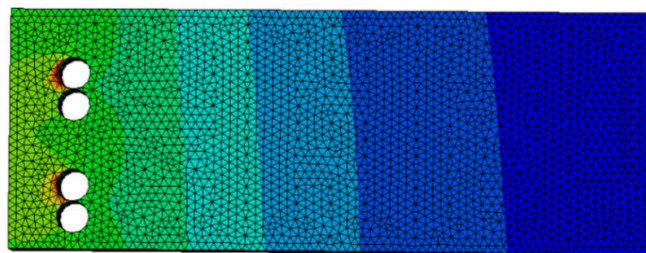


Gambar 4. 84 Hasil Analisis Tegangan Mises Benda Uji C1 pada Abaqus

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola persebaran tegangan mises yang cukup mirip perbedaannya terletak pada gaya gesek yang tidak bisa di inputkan dalam analisis pada aplikasi SAP2000. Kemudian pada SAP2000 juga dapat dihasilkan pola perpindahan tiap titik yang terjadi yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 85 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji C1 pada SAP2000



Gambar 4. 86 Hasil Analisis Pola Perpindahan Benda Uji A0 pada Abaqus

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa analisis pada SAP2000 dan Abaqus menghasilkan pola pergeseran tiap titik yang sama. Dan pada 1 pelat menghasilkan perpindahan sebesar 2.418 mm per pelatnya sehingga apabila dijadikan 2 pelat yang disambung akan menghasilkan mm perpindahan sekitar 4.836 mm.

4.4 Perbandingan Hasil Pengujian Antar Metode Pengujian dan Model Sambungan

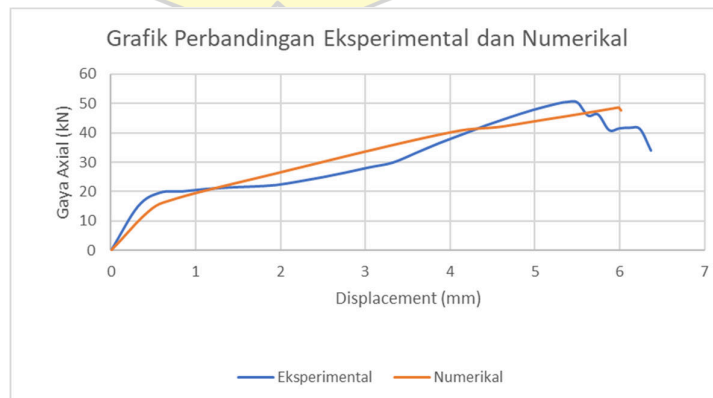
Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil data yang dihasilkan berdasarkan pengujian model sambungan yang sama tetapi berbeda metode yaitu metode eksperimental pada penelitian sebelumnya, metode numerikal dengan aplikasi abaqus dan SAP2000, dan juga hasil analisis manual sesuai dengan SNI 1729-2020. Beberapa aspek yang jadi perbandingan adalah perbandingan hasil berdasarkan kapasitas model sambungannya.

4.4.1. Perbandingan Hasil Pengujian Numerikal dengan Eksperimental

Berikut perbandingan hasil analisis numerikal aplikasi abaqus terhadap hasil eksperimental terdahulu terhadap model sambungan benda uji.

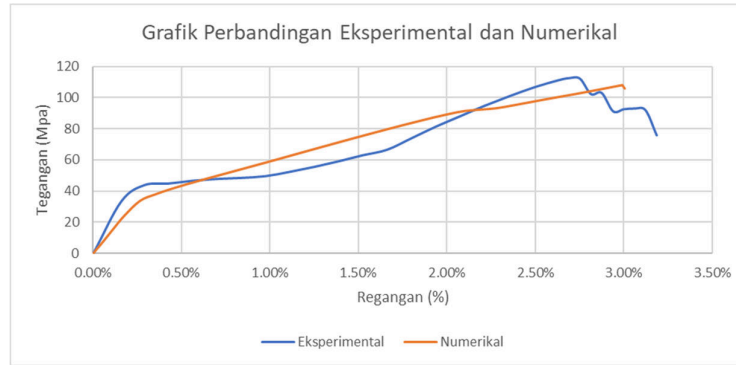
a. Benda Uji A0

Pada benda uji sambungan 2 pelat 6mm dan 6mm tanpa ada pergeseran lubang bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. 87 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan A0

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

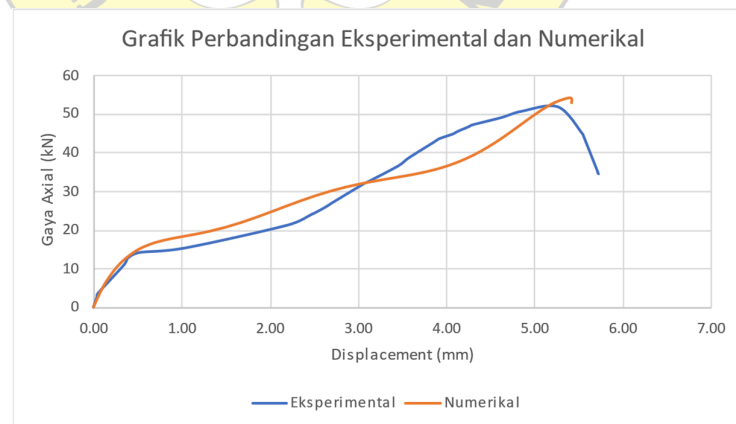


Gambar 4.88 Grafik Tegangan dan Regangan A0

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

b. Benda Uji A1

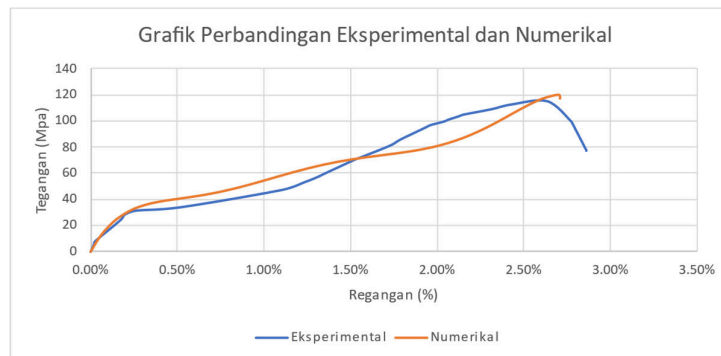
Pada benda uji sambungan 2 pelat 6mm dan 6mm yang terdapat pergeseran lubang sebesar 10mm secara vertikal bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.89 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan A1

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian

grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

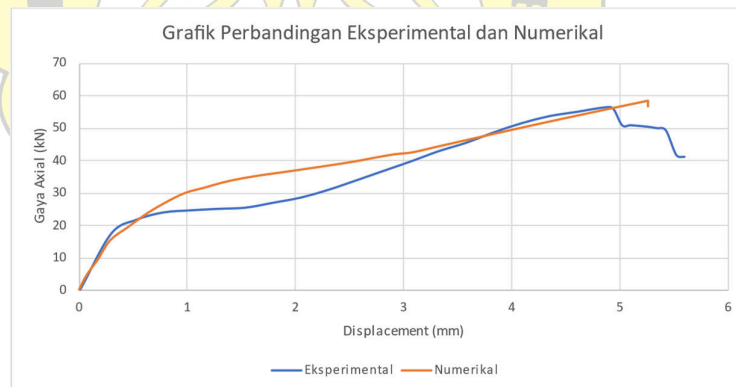


Gambar 4. 90 Grafik Tegangan dan Regangan A1

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

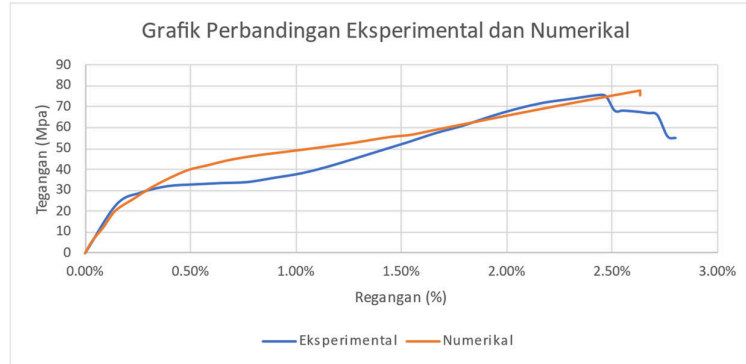
c. Benda Uji B0

Pada benda uji sambungan 2 pelat 6mm dan 10mm tanpa ada pergeseran lubang bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. 91 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan B0

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

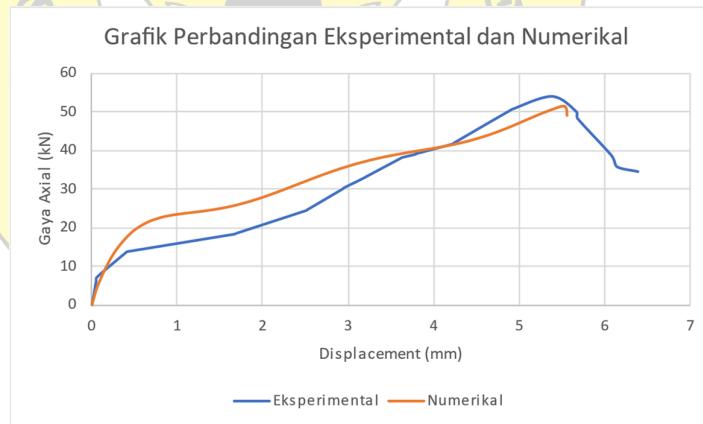


Gambar 4.92 Grafik Tegangan dan Regangan B0

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

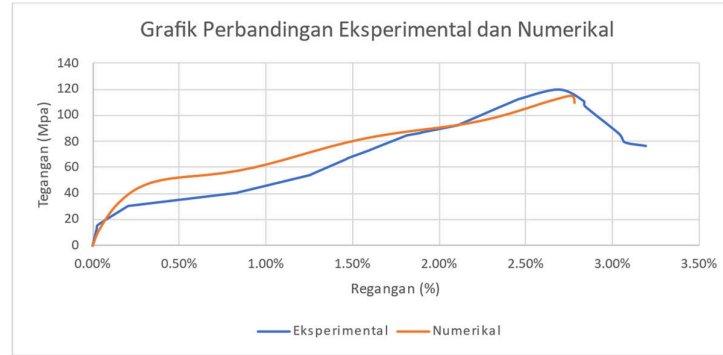
d. Benda Uji B1

Pada benda uji sambungan 2 pelat 6mm dan 10mm yang terdapat pergeseran lubang sebesar 10mm secara vertikal pada pelat 6mm bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.93 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan B1

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

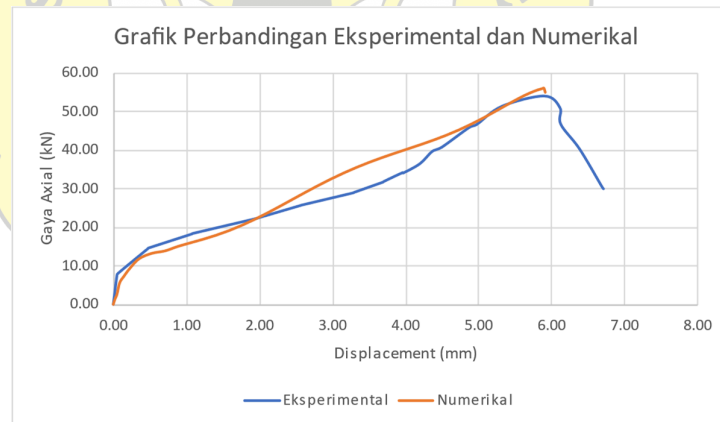


Gambar 4. 94 Grafik Tegangan dan Regangan B1

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

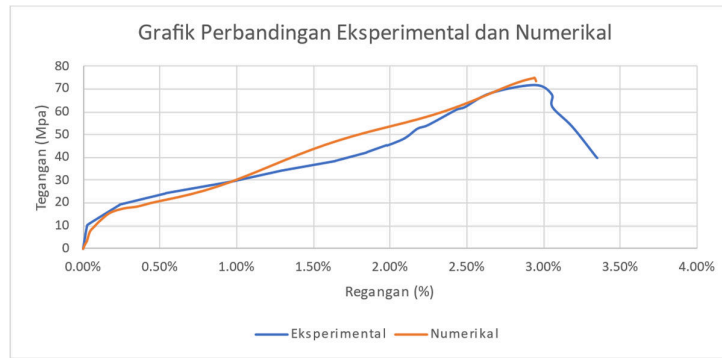
e. Benda Uji B2

Pada benda uji sambungan 2 pelat 6mm dan 10mm yang terdapat pergeseran lubang sebesar 10mm secara vertikal pada pelat 10mm bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. 95 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan B2

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

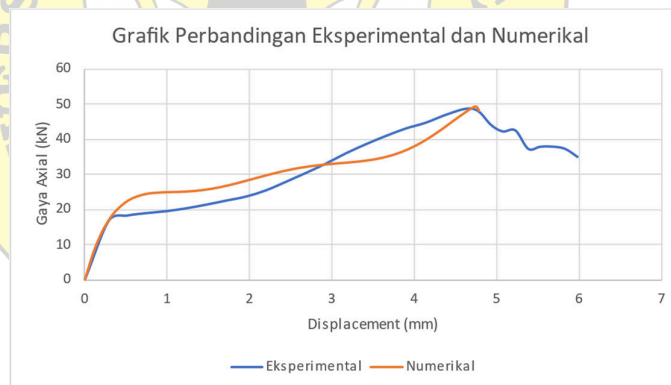


Gambar 4. 96 Grafik Tegangan dan Regangan B2

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

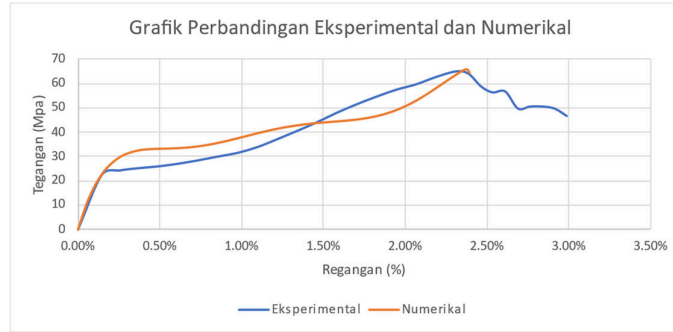
f. Benda Uji C0

Pada benda uji sambungan 2 pelat 10mm dan 10mm tanpa ada pergeseran lubang bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. 97 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan C0

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

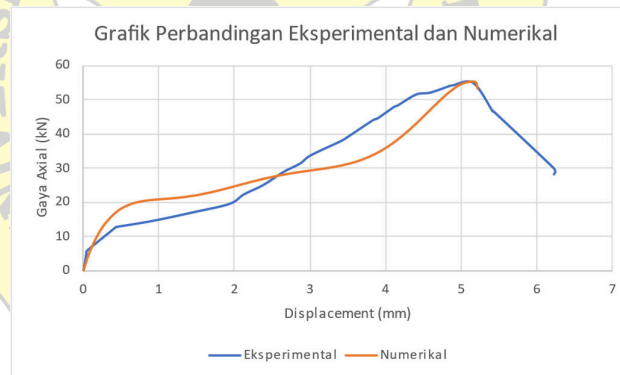


Gambar 4. 98 Grafik Tegangan dan Regangan C0

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

g. Benda Uji C1

Pada benda uji sambungan 2 pelat 10mm dan 10mm yang terdapat pergeseran lubang sebesar 10mm secara vertikal bila ditinjau dari gaya maksimal dan perpindahannya perbandingan hasil numerikal dan eksperimental dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. 99 Grafik Gaya Axial dan Perpindahan C1

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya maksimal dan perpindahan maksimal dari kapasitas benda uji terlihat tidak jauh berbeda, kemudian grafik tegangan dan regangan yang terjadi pada model sambungan benda uji dapat dilihat pada grafik berikut.

Gambar 4. 100 Grafik Tegangan dan Regangan C1

Dapat dilihat bahwa hasil pengujian numerikal dan eksperimental menghasilkan pola tegangan dan regangan yang tidak jauh berbeda.

4.4.2. Perbandingan Hasil Pengujian Numerikal, Eksperimental dan Analisis Pedoman SNI 1729 – 2020

Pada penelitian kali ini parameter yang dijadikan sebagai pembanding terdiri dari gaya maksimal, tegangan dan regangan yang terjadi yang dianalisis dengan presentase perbedaan antar hasil eksperimen numerikal,eksperimental, dan hasil dari analisis SNI 1729 – 2020. Berikut adalah tabel hasil dari beberapa pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini maupun dari penelitian pendahulu. Jenis model sambungan yang akan dibandingkan adalah sambungan dengan tipe tumpu dan friksi dengan variasi ketebalan yang berbeda. A0 (6mm, 6mm, tanpa pergeseran lubang), A1 (6mm, 6mm, dengan pergeseran lubang vertikal 10mm), B0 (6mm, 10mm, tanpa pergeseran lubang), B1 (6mm, 10mm, dengan pergeseran lubang vertikal 10mm pada pelat 6mm), B2 (6mm, 10mm, dengan pergeseran lubang vertikal 10mm pada pelat 10mm), C0 (10mm, 10mm, tanpa pergeseran lubang), C1 (10mm, 10mm, dengan pergeseran lubang vertikal 10mm).

SAP2000 tidak dapat digunakan dalam analisis numerikal keseluruhan model benda uji dikarenakan keterbatasan komputasi di dalam elemen hingjanya yang hanya bisa memodelkan sebuah elemen pelat sederhana 2 dimensi (plane stress), dan tidak bisa mendetailkan model sambungan berbaut secara 3 dimensi karena tidak bisa mendefinisikan gesekan dan model baut 3 dimensi. Sehingga untuk hasil pada benda uji B0, B1, dan B2 dikosongkan (N/A).

Tabel 4. 19 Tabel Hasil Pengujian antar Metode dan Analisis

Model Benda Uji	Hasil Numerikal Abaqus				Hasil Numerikal SAP2000			
	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
a	b	c	d	e	f	g	h	i
A0	48.721	5.983	108.270	2.99%	48.721	5.700	108.270	2.85%
A1	54.218	5.398	120.485	2.86%	54.218	5.026	120.485	2.51%
B0	58.445	5.260	77.926	2.63%	N/A			
B1	51.539	5.531	114.530	2.77%				
B2	55.986	5.893	74.648	2.95%				
C0	49.280	4.731	65.707	2.37%				
C1	55.202	5.181	73.603	2.37%	49.280	4.159	65.707	2.08%
					55.202	4.836	73.603	2.42%

Model Benda Uji	Hasil Eksperimental				Hasil Analisis SNI 1729 -2020			
	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
a	j	k	l	m	n	o	p	q
A0	46.333	5.745	92.963	3.06%	49.860	30.600	110.808	17.00%
A1	51.867	5.269	115.259	2.63%	49.860	30.600	110.808	17.00%
B0	51.033	5.094	68.044	2.55%	49.860	30.600	66.485	17.00%
B1	53.833	5.376	119.630	2.69%	49.860	30.600	110.808	17.00%
B2	53.900	5.896	71.867	2.95%	49.860	30.600	66.485	17.00%
C0	48.767	4.622	65.022	2.31%	49.860	30.600	66.485	17.00%
C1	54.933	5.158	73.244	2.58%	49.860	30.600	66.485	17.00%

Dari hasil tabel di atas dapat digunakan sebagai pembandingan dari masing masing parameter untuk menunjukkan presentase pembandingan dari beberapa hasil metode pengujian yang sudah dilakukan pada penelitian ini maupun penelitian terdahulu. Berikut adalah tabel perbandingan berdasarkan parameter gaya maksimal, perpindahan maksimal, tegangan maksimal, dan regangan maksimal. Dengan cara pembacaan tabel adalah jenis sambungan pada nama baris lebih besar x % dari jenis sambungan pada nama kolom.

Tabel 4. 20 Tabel Perbandingan % Gaya Antar Metode dan Analisis

% Gaya	Abaqus							SAP 2000					Eksperimental							SNI 1727 - 2020										
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1		
Abaqus	A0	100%	111%	120%	106%	115%	101%	113%	100%	111%			101%	113%	95%	106%	105%	110%	111%	100%	113%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	
	A1	111%	100%	108%	95%	103%	91%	102%	90%	100%			91%	102%	85%	96%	94%	99%	99%	90%	101%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	
	B0	120%	108%	100%	88%	96%	84%	94%	83%	93%			84%	94%	79%	89%	87%	92%	92%	83%	94%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	
	B1	106%	95%	88%	100%	109%	96%	107%	95%	105%			100%	113%	90%	101%	99%	104%	105%	95%	107%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	
	B2	115%	103%	96%	109%	100%	88%	99%	87%	97%			88%	99%	83%	93%	91%	96%	96%	87%	98%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	
	C0	101%	91%	84%	96%	88%	100%	112%	99%	110%			100%	112%	94%	105%	104%	109%	109%	99%	111%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	
	C1	113%	102%	94%	107%	99%	112%	100%	88%	98%			89%	100%	84%	94%	92%	98%	98%	88%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
SAP 2000	A0	100%	90%	83%	95%	87%	99%	88%	100%	111%			101%	113%	95%	106%	105%	110%	111%	100%	113%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	
	A1	111%	100%	93%	105%	97%	110%	98%	111%	100%			91%	102%	85%	96%	94%	99%	99%	90%	101%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	
	B0																													
	B1																													
	B2																													
	C0	101%	91%	84%	100%	88%	100%	89%	101%	91%			100%	112%	94%	105%	104%	109%	109%	99%	111%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	
C1	113%	102%	94%	113%	99%	112%	100%	113%	102%			112%	100%	84%	94%	92%	98%	98%	88%	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%		
Eksperimental	A0	95%	85%	79%	90%	83%	94%	84%	95%	85%			94%	84%	100%	112%	110%	116%	116%	105%	119%	108%	108%	108%	108%	108%	108%	108%	108%	
	A1	106%	96%	89%	101%	93%	105%	94%	106%	96%			105%	94%	112%	100%	98%	104%	104%	94%	106%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	
	B0	105%	94%	87%	99%	91%	104%	92%	105%	94%			104%	92%	110%	98%	100%	105%	106%	96%	108%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
	B1	110%	99%	92%	104%	96%	109%	98%	110%	99%			109%	98%	116%	104%	105%	100%	100%	91%	102%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	
	B2	111%	99%	92%	105%	96%	109%	98%	111%	99%			109%	98%	116%	104%	106%	100%	100%	90%	102%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	
	C0	100%	90%	83%	95%	87%	99%	88%	100%	90%			99%	88%	105%	94%	96%	91%	90%	100%	113%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	
	C1	113%	101%	94%	107%	98%	111%	100%	113%	101%			111%	100%	119%	106%	108%	102%	102%	113%	100%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	
SNI 1727 - 2020	A0	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	A1	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B0	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B1	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	B2	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C0	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C1	102%	92%	85%	97%	89%	101%	90%	102%	92%			101%	90%	108%	96%	98%	93%	93%	102%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel 4. 21 Tabel Perbandingan % Perpindahan Antar Metode dan Analisis

% Perpindahan	Abaqus								SAP 2000					Eksperimental						SNI 1727 - 2020								
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	100%	90%	88%	92%	98%	79%	87%	95%	84%			70%	81%	96%	88%	85%	90%	99%	77%	86%	511%	511%	511%	511%	511%	511%	511%
	A1	90%	100%	97%	102%	109%	88%	96%	106%	93%			77%	90%	106%	98%	94%	100%	109%	86%	96%	567%	567%	567%	567%	567%	567%	567%
	B0	88%	97%	100%	105%	112%	90%	98%	108%	96%			79%	92%	109%	100%	97%	102%	112%	88%	98%	582%	582%	582%	582%	582%	582%	582%
	B1	92%	102%	105%	100%	107%	86%	94%	103%	91%			75%	87%	104%	95%	92%	97%	107%	84%	93%	553%	553%	553%	553%	553%	553%	553%
	B2	98%	109%	112%	107%	100%	80%	88%	97%	85%			71%	82%	97%	89%	86%	91%	100%	78%	88%	519%	519%	519%	519%	519%	519%	519%
	C0	79%	88%	90%	86%	80%	100%	110%	120%	106%			88%	102%	121%	111%	108%	114%	125%	98%	109%	647%	647%	647%	647%	647%	647%	647%
	C1	87%	96%	98%	94%	88%	110%	100%	110%	97%			80%	93%	111%	102%	98%	104%	114%	89%	100%	591%	591%	591%	591%	591%	591%	591%
SAP 2000	A0	95%	106%	108%	103%	97%	120%	110%	100%	88%			73%	85%	101%	92%	89%	94%	103%	81%	90%	537%	537%	537%	537%	537%	537%	537%
	A1	84%	93%	96%	91%	85%	106%	97%	88%	100%			83%	96%	114%	105%	101%	107%	117%	92%	103%	609%	609%	609%	609%	609%	609%	609%
	B0																											
	B1												N/A															
	B2																											
	C0	70%	77%	79%	75%	71%	88%	80%	73%	83%			100%	116%	138%	127%	122%	129%	142%	111%	124%	736%	736%	736%	736%	736%	736%	736%
	C1	81%	90%	92%	87%	82%	102%	93%	85%	96%			116%	100%	119%	109%	105%	111%	122%	96%	107%	633%	633%	633%	633%	633%	633%	633%
Eksperimental	A0	96%	106%	109%	104%	97%	121%	111%	101%	114%			138%	119%	100%	92%	89%	94%	103%	80%	90%	533%	533%	533%	533%	533%	533%	533%
	A1	88%	98%	100%	95%	89%	111%	102%	92%	105%			127%	109%	92%	100%	97%	102%	112%	88%	98%	581%	581%	581%	581%	581%	581%	581%
	B0	85%	94%	97%	92%	86%	108%	98%	89%	101%			122%	105%	89%	97%	100%	106%	116%	91%	101%	601%	601%	601%	601%	601%	601%	601%
	B1	90%	100%	102%	97%	91%	114%	104%	94%	107%			129%	111%	94%	102%	106%	100%	110%	86%	96%	569%	569%	569%	569%	569%	569%	569%
	B2	99%	109%	112%	107%	100%	125%	114%	103%	117%			142%	122%	103%	112%	116%	110%	100%	78%	87%	519%	519%	519%	519%	519%	519%	519%
	C0	77%	86%	88%	84%	78%	98%	89%	81%	92%			111%	96%	80%	88%	91%	86%	78%	100%	112%	662%	662%	662%	662%	662%	662%	662%
	C1	86%	96%	98%	93%	88%	109%	100%	90%	103%			124%	107%	90%	98%	101%	96%	87%	112%	100%	593%	593%	593%	593%	593%	593%	593%
SNI 1727 - 2020	A0	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	A1	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B0	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B1	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	B2	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C0	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C1	511%	567%	582%	553%	519%	647%	591%	537%	609%			736%	633%	533%	581%	601%	569%	519%	662%	593%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel 4. 22 Tabel Perbandingan % Tegangan Antar Metode dan Analisis

% Tegangan	Abaqus								SAP 2000				Eksperimental								SNI 1727 - 2020							
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	100%	111%	72%	106%	69%	61%	68%	100%	111%			61%	68%	86%	106%	63%	110%	66%	60%	68%	102%	102%	61%	102%	61%	61%	61%
	A1	111%	100%	65%	95%	62%	55%	61%	90%	100%			55%	61%	77%	96%	56%	99%	60%	54%	61%	92%	92%	55%	92%	55%	55%	55%
	B0	72%	65%	100%	147%	96%	84%	94%	139%	155%			84%	94%	119%	148%	87%	154%	92%	83%	94%	142%	142%	85%	142%	85%	85%	85%
	B1	106%	95%	147%	100%	65%	57%	64%	95%	105%			57%	64%	81%	101%	59%	104%	63%	57%	64%	97%	97%	58%	97%	58%	58%	58%
	B2	69%	62%	96%	65%	100%	88%	99%	145%	161%			88%	99%	125%	154%	91%	160%	96%	87%	98%	148%	148%	89%	148%	89%	89%	89%
	C0	61%	55%	84%	57%	88%	100%	112%	165%	183%			100%	112%	141%	175%	104%	182%	109%	99%	111%	169%	169%	101%	169%	101%	101%	101%
	C1	68%	61%	94%	64%	99%	112%	100%	147%	164%			89%	100%	126%	157%	92%	163%	98%	88%	100%	151%	151%	90%	151%	90%	90%	90%
SAP 2000	A0	100%	90%	139%	95%	145%	165%	147%	100%	111%			61%	68%	86%	106%	63%	110%	66%	60%	68%	102%	102%	61%	102%	61%	61%	61%
	A1	111%	100%	155%	105%	161%	183%	164%	111%	100%			55%	61%	77%	96%	56%	99%	60%	54%	61%	92%	92%	55%	92%	55%	55%	55%
	B0																											
	B1																											
	B2																											
Eksperimental	A0	86%	77%	119%	81%	125%	141%	126%	86%	77%			141%	126%	100%	124%	73%	129%	77%	70%	79%	119%	119%	72%	119%	72%	72%	72%
	A1	106%	96%	148%	101%	154%	175%	157%	106%	96%			175%	157%	124%	100%	59%	104%	62%	56%	64%	96%	96%	58%	96%	58%	58%	58%
	B0	63%	56%	87%	59%	91%	104%	92%	63%	56%			104%	92%	73%	59%	100%	176%	106%	96%	108%	163%	163%	98%	163%	98%	98%	98%
	B1	110%	99%	154%	104%	160%	182%	163%	110%	99%			182%	163%	129%	104%	176%	100%	60%	54%	61%	93%	93%	56%	93%	56%	56%	56%
	B2	66%	60%	92%	63%	96%	109%	98%	66%	60%			109%	98%	77%	62%	106%	60%	100%	90%	102%	154%	154%	93%	154%	93%	93%	93%
	C0	60%	54%	83%	57%	87%	99%	88%	60%	54%			99%	88%	70%	56%	96%	54%	90%	100%	113%	170%	170%	102%	170%	102%	102%	102%
	C1	68%	61%	94%	64%	98%	111%	100%	68%	61%			111%	100%	79%	64%	108%	61%	102%	113%	100%	151%	151%	91%	151%	91%	91%	91%
SNI 1727 - 2020	A0	102%	92%	142%	97%	148%	169%	151%	102%	92%			169%	151%	119%	96%	163%	93%	154%	170%	151%	100%	100%	60%	100%	60%	60%	60%
	A1	102%	92%	142%	97%	148%	169%	151%	102%	92%			169%	151%	119%	96%	163%	93%	154%	170%	151%	100%	100%	60%	100%	60%	60%	60%
	B0	61%	55%	85%	58%	89%	101%	90%	61%	55%			101%	90%	72%	58%	98%	56%	93%	102%	91%	60%	60%	100%	167%	100%	100%	100%
	B1	102%	92%	142%	97%	148%	169%	151%	102%	92%			169%	151%	119%	96%	163%	93%	154%	170%	151%	100%	100%	167%	100%	60%	60%	60%
	B2	61%	55%	85%	58%	89%	101%	90%	61%	55%			101%	90%	72%	58%	98%	56%	93%	102%	91%	60%	60%	100%	60%	100%	100%	100%
	C0	61%	55%	85%	58%	89%	101%	90%	61%	55%			101%	90%	72%	58%	98%	56%	93%	102%	91%	60%	60%	100%	60%	100%	100%	100%
	C1	61%	55%	85%	58%	89%	101%	90%	61%	55%			101%	90%	72%	58%	98%	56%	93%	102%	91%	60%	60%	100%	60%	100%	100%	100%

Tabel 4. 23 Tabel Perbandingan % Regangan Antar Metode dan Analisis

% Regangan	Abaqus									SAP 2000					Eksperimental					SNI 1727 - 2020								
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	100%	96%	88%	92%	98%	79%	79%	95%	84%			70%	81%	102%	88%	85%	90%	99%	77%	86%	568%	568%	568%	568%	568%	568%	568%
	A1	96%	100%	92%	97%	103%	83%	83%	100%	88%			73%	85%	107%	92%	89%	94%	103%	81%	90%	595%	595%	595%	595%	595%	595%	595%
	B0	88%	92%	100%	105%	112%	90%	90%	108%	96%			79%	92%	116%	100%	97%	102%	112%	88%	98%	646%	646%	646%	646%	646%	646%	646%
	B1	92%	97%	105%	100%	107%	86%	86%	103%	91%			75%	87%	111%	95%	92%	97%	107%	84%	93%	615%	615%	615%	615%	615%	615%	615%
	B2	98%	103%	112%	107%	100%	80%	80%	97%	85%			71%	82%	104%	89%	86%	91%	100%	78%	88%	577%	577%	577%	577%	577%	577%	577%
	C0	79%	83%	90%	86%	80%	100%	100%	120%	106%			88%	102%	129%	111%	108%	114%	125%	98%	109%	719%	719%	719%	719%	719%	719%	719%
	C1	79%	83%	90%	86%	80%	100%	100%	120%	106%			88%	102%	129%	111%	108%	114%	125%	98%	109%	719%	719%	719%	719%	719%	719%	719%
SAP 2000	A0	95%	100%	108%	103%	97%	120%	120%	100%	88%			73%	85%	107%	92%	89%	94%	103%	81%	90%	596%	596%	596%	596%	596%	596%	596%
	A1	84%	88%	96%	91%	85%	106%	106%	88%	100%			83%	96%	122%	105%	101%	107%	117%	92%	103%	676%	676%	676%	676%	676%	676%	676%
	B0																											
	B1																											
	B2																											
Eksperimental	A0	102%	107%	116%	111%	104%	129%	129%	107%	122%			147%	126%	100%	86%	83%	88%	96%	76%	84%	556%	556%	556%	556%	556%	556%	556%
	A1	88%	92%	100%	95%	89%	111%	111%	92%	105%			127%	109%	86%	100%	97%	102%	112%	88%	98%	645%	645%	645%	645%	645%	645%	645%
	B0	85%	89%	97%	92%	86%	108%	108%	89%	101%			122%	105%	83%	97%	100%	106%	116%	91%	101%	668%	668%	668%	668%	668%	668%	668%
	B1	90%	94%	102%	97%	91%	114%	114%	94%	107%			129%	111%	88%	102%	106%	100%	110%	86%	96%	632%	632%	632%	632%	632%	632%	632%
	B2	99%	103%	112%	107%	100%	125%	125%	103%	117%			142%	122%	96%	112%	116%	110%	100%	78%	87%	577%	577%	577%	577%	577%	577%	577%
	C0	77%	81%	88%	84%	78%	98%	98%	81%	92%			111%	96%	76%	88%	91%	86%	78%	100%	112%	736%	736%	736%	736%	736%	736%	736%
	C1	86%	90%	98%	93%	88%	109%	109%	90%	103%			124%	107%	84%	98%	101%	96%	87%	112%	100%	659%	659%	659%	659%	659%	659%	659%
SNI 1727 - 2020	A0	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	A1	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B0	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B1	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	B2	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C0	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	C1	568%	595%	646%	615%	577%	719%	719%	596%	676%			818%	703%	556%	645%	668%	632%	577%	736%	659%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Berdasarkan tabel perbandingan setiap parameter, hasil kemudian dikategorikan menjadi pengaruh yang signifikan (S) dan pengaruh yang tidak signifikan (TS). Pengkategorian ini dilakukan dengan menggunakan toleransi sebesar 20% (Salmon, 1986 dalam Nabila, 2022). Dengan toleransi tersebut, rentang nilai 0,8 hingga 1,2 dianggap tidak signifikan (TS), sedangkan nilai di luar rentang tersebut dianggap signifikan (S).

Tabel 4. 24 Tabel Kategori Pengaruh antar Pengujian pada Parameter Gaya

Gaya	Abaqus						SAP 2000						Eksperimental						SNI 1727 - 2020								
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0
Abaqus	A0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
	C0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
SAP 2000	A0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B0																										
	B1																										
	B2																										
	C0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS		
Eksperimental	A0	TS	TS	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	C0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS		
SNI 1727 - 2020	A0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	C0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS		

Dari tabel dapat dilihat bahwa pada parameter pembanding gaya maksimal pada model sambungan yang berjenis sama tidak ada pengaruh signifikan dalam pengujian seperti model sambungan A0 dengan A1 dengan berbagai metode pengujian tidak ada hasil yang signifikan terhadap pengaruh gaya maksimal pada hasil pengujian sambungan.

Kemudian untuk tabel dengan parameter pembanding perpindahan maksimal bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 25 Tabel Kategori Pengaruh antar Pengujian pada Parameter Perpindahan

Perpindahan	Abaqus							SAP 2000					Eksperimental					SNI 1727 - 2020										
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S
	C0	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS				TS	TS	S	TS	TS	TS	S	TS	TS	S	S	S	S	S	S
	C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S
SAP 2000	A0	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	B0												N/A															
	B1																											
	B2																											
Eksperimental	A0	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS				TS	TS	S	S	S	S	S	S	TS	S	S	S	S	S	S	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	TS	TS				S	S	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	
SNI 1727 - 2020	A0	S	S	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	A1	S	S	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B0	S	S	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B1	S	S	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B2	S	S	S	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	

Dari tabel dapat dilihat bahwa pada parameter pembandingan perpindahan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama ada perbedaan hasil yang cukup signifikan yaitu pada analisis dengan peraturan SNI 1729 – 2020 dengan metode pengujian yang lainnya. Dikarenakan analisis SNI memperhitungkan kekuatan mekanika pelat secara murni dengan kapasitas terhadap 1 gaya. Sementara pada pengujian baik eksperimental maupun numerikal banyak kombinasi gaya yang bekerja secara bersamaan. Sehingga menghasilkan data perpindahan maksimal yang cukup signifikan.

Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran seperti pada kode A0 dengan A1, B0 dengan B1 dan B2, tidak ada perbedaan hasil yang signifikan pada pengujian eksperimental dengan numerikalnya.

Kemudian pada parameter pembanding tegangan maksimal dapat dilihat tabel berikut.

Tabel 4. 26 Tabel Kategori Pengaruh antar Pengujian pada Parameter Tegangan

Tegangan	Abaqus							SAP 2000					Eksperimental					SNI 1727 - 2020										
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	A1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	S	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	TS	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	B1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B2	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C1	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
SAP 2000	A0	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	A1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	S	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B0																											
	B1													N/A														
	B2																											
Eksperimental	A0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	A1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				TS	TS	S	S	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S
	B0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	B1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	S	TS	S	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B2	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C1	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
SNI 1727 - 2020	A0	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	A1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	B1	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	S	TS	S	S	S	TS	TS	S	TS	S	S
	B2	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C0	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS
	C1	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S				TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS	TS	S	S	TS	S	TS	TS

Dari tabel dapat dilihat bahwa pada parameter pembanding tegangan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama seperti A0 pada abaqus dengan model sambungan A0 pada aplikasi atau metode yang lainnya tidak ada perbedaan hasil yang signifikan.

Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran pada kode B1 menunjukkan hasil yang signifikan terhadap sambungan standarnya B0 maupun dengan model sambungan B2 yang mengalami pergeseran lubang baut tetapi pada pelat yang berbeda. Hasil perbedaan yang signifikan tersebut terjadi pada semua aplikasi dan metode pengujian dan analisis.

Tabel 4. 27 Tabel Kategori Pengaruh antar Pengujian pada Parameter Regangan

Regangan	Abaqus							SAP 2000					Eksperimental						SNI 1727 - 2020									
	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1	A0	A1	B0	B1	B2	C0	C1
Abaqus	A0	TS	TS	TS	TS	S	S	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	S	S
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	S
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	S
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S
	C0	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS					TS	TS	S	TS	TS	TS	S	TS	TS	S	S	S	S	S
	C1	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS					TS	TS	S	TS	TS	TS	S	TS	TS	S	S	S	S	S
SAP 2000	A0	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					TS	TS	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	
	B0										N/A																	
	B1																											
	B2																											
Eksperimental	A0	TS	TS	TS	TS	S	S	TS	TS					S	S	TS	TS	TS	TS	TS	S	TS	S	S	S	S	S	
	A1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	
	B0	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	
	B1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS				S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	
	B2	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	TS	TS				S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	
	C0	S	TS	TS	TS	S	TS	TS	TS	TS					TS	TS	S	TS	TS	TS	S	TS	TS	S	S	S	S	S
	C1	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS					S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	S	S	S	S	S	S
SNI 1727 - 2020	A0	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	A1	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B0	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B1	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	B2	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	C0	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	
	C1	S	S	S	S	S	S	S	S					S	S	S	S	S	S	S	S	TS	TS	TS	TS	TS	TS	

Dari tabel dapat dilihat bahwa pada parameter pembanding regangan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama ada perbedaan hasil yang cukup signifikan yaitu pada analisis dengan peraturan SNI 1729 – 2020 dengan metode pengujian yang lainnya. Dikarenakan analisis SNI memperhitungkan kekuatan mekanika pelat secara murni dengan kapasitas terhadap 1 gaya. Sementara pada pengujian baik eksperimental maupun numerikal banyak kombinasi gaya yang bekerja secara bersamaan. Sehingga menghasilkan perbedaan data regangan maksimal yang cukup signifikan.

Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran seperti pada kode A0 dengan A1, B0 dengan B1 dan B2, dan C0 dengan C1 tidak ada perbedaan hasil yang signifikan pada pengujian eksperimental dengan numerikalnya.

4.5 Rangkuman Hasil Penelitian

- a. Material Benda Uji yang digunakan adalah S460N pada pelat dengan F_y 475 Mpa dan F_u 574 Mpa yang sudah di uji dengan mesin UTM pada penelitian terdahulu, sementara pada baut digunakan material F 8.8 ISO grade dengan F_y 640 Mpa dan F_u 574 Mpa.
- b. Pada analisa SNI 1729 – 2020 model benda uji yang dianalisis adalah model benda uji standar tanpa ada pergeseran lubang.
- c. Hasil analisa kapasitas sambungan berdasarkan perhitungan dengan pedoman SNI 1729:2020, kapasitas sambungan dengan lubang standar adalah 26,47 kN untuk tipe sambungan tumpu pada benda uji dengan ketebalan 6 mm dan 10 mm. Untuk tipe sambungan friksi pada benda uji dengan ketebalan 6 mm dan 10 mm, kapasitasnya adalah 23,39 kN. Sedangkan untuk tipe gabungan tumpu dan friksi pada benda uji dengan ketebalan 6 mm dan 10 mm, kapasitasnya adalah 49,86 kN.
- d. Data dari hasil analisa dengan pedoman SNI 1729 – 2020 hanya digunakan jenis sambungan dengan tipe tumpu dan friksi karena pada Batasan masalah model sambungan benda uji yang akan dianalisis secara numerikal adalah model benda uji sambungan tipe tumpu dan friksi.
- e. Data material, penampang, dan parameter yang dimasukkan kedalam aplikasi numerikal Abaqus dan SAP2000 hanya data yang telah dihasilkan pada penelitian terdahulu, kemudian parameter pendukung lain yang tidak ada di dalam penelitian terdahulu akan di inputkan secara *trial* dan *error* sampai hasil penelitian numerikal yang mendekati dengan hasil penelitian eksperimental terdahulu.

- f. Kode penamaan model benda uji bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 28 Tabel Penamaan Model Variasi Benda Uji

No	Kode	Ketebalan Pelat		Pergeseran Lubang Sambungan(mm)	Jenis Analisa (Software)
		T1 (mm)	T2 (mm)		
1	A0	6	6	-	2D,3D(SAP,Abaqus)
2	A1	6	6	10	
3	B0	6	8	-	3D(Abaqus)
4	B1	6	8	10	
5	B2	8	6	10	
6	C0	8	8	-	2D,3D(SAP,Abaqus)
7	C1	8	8	10	

- g. Hasil pengujian secara numerikal pada Abaqus menunjukkan kegagalan geser pada baut pada model sambungan A1,B0,B1,B2,C0, dan C1 dan kegagalan sobek pada pelat yang terletak diantara pergeseran sambungan pada semua model sambungannya yaitu pada model sambungan A1,B1,B2,dan C1.
- h. Hasil pengujian secara numerikal pada aplikasi SAP2000 hanya bisa memodelkan 1 pelat yang diberi gaya pada lubang bautnya dengan model sambungan yang sejenis saja. Dikarenakan pada aplikasi SAP2000 untuk analisis elemen hingga hanya bisa dilakukan dengan model *plane stress* (2D).Hasil analisis pada SAP2000 berupa perpindahan elemen pada gaya yang diberikan, dan gaya yang diberikan adalah gaya maksimal yang terdapat pada hasil pengujian numerikal pada aplikasi Abaqus. Kemudian hasil perpindahan yang dipakai adalah 2x dari hasil perpindahan analisisnya karena dianggap 1 model sambungan adalah 2 pelat. Dan diambil pola perpindahan serta pola tegangan mises pada permukaan pelat sebagai pembanding hasil bahwa pengujian numerikal pada aplikasi Abaqus sudah tepat.
- i. Hasil pengujian secara numerikal pada aplikasi SAP2000 menunjukkan hasil perpanjangan, pola perpanjangan tiap titik, dan pola tegangan mises pada permukaan pelat yang mirip dengan hasil numerikal pada aplikasi Abaqus.

- j. Berikut adalah rangkuman hasil penelitian berdasarkan gaya, perpindahan, tegangan, dan regangan maksimalnya.

Tabel 4. 29 Tabel Hasil Pengujian antar Metode dan Analisis

Model Benda Uji	Hasil Numerikal Abaqus				Hasil Numerikal SAP2000			
	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
a	b	c	d	e	f	g	h	i
A0	48.721	5.983	108.270	2.99%	48.721	5.700	108.270	2.85%
A1	54.218	5.398	120.485	2.86%	54.218	5.026	120.485	2.51%
B0	58.445	5.260	77.926	2.63%	N/A			
B1	51.539	5.531	114.530	2.77%				
B2	55.986	5.893	74.648	2.95%				
C0	49.280	4.731	65.707	2.37%	49.280	4.159	65.707	2.08%
C1	55.202	5.181	73.603	2.37%	55.202	4.836	73.603	2.42%

Model Benda Uji	Hasil Eksperimental				Hasil Analisis SNI 1729 -2020			
	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Gaya Maksimal (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
a	j	k	l	m	n	o	p	q
A0	46.333	5.745	92.963	3.06%	49.860	30.600	110.808	17.00%
A1	51.867	5.269	115.259	2.63%	49.860	30.600	110.808	17.00%
B0	51.033	5.094	68.044	2.55%	49.860	30.600	66.485	17.00%
B1	53.833	5.376	119.630	2.69%	49.860	30.600	110.808	17.00%
B2	53.900	5.896	71.867	2.95%	49.860	30.600	66.485	17.00%
C0	48.767	4.622	65.022	2.31%	49.860	30.600	66.485	17.00%
C1	54.933	5.158	73.244	2.58%	49.860	30.600	66.485	17.00%

- k. Berdasarkan tabel perbandingan setiap parameter, hasil kemudian dikategorikan menjadi signifikan (S) dan tidak signifikan (TS). Pengkategorian ini dilakukan dengan menggunakan toleransi sebesar 20% (Salmon, 1986 dalam Nabila, 2022). Dengan toleransi tersebut, rentang nilai 0,8 hingga 1,2 dianggap tidak signifikan (TS), sedangkan nilai di luar rentang tersebut dianggap signifikan (S). berikut adalah hasil perbandingan yang menghasilkan data yang menunjukkan signifikan atau tidak signifikan menurut parameternya:

- 1) Pada parameter pembanding gaya maksimal pada model sambungan yang berjenis sama tidak ada pengaruh signifikan dalam pengujian seperti contoh pada model sambungan A0 dengan A1 dengan berbagai metode pengujian tidak ada hasil yang signifikan terhadap pengaruh gaya maksimal pada hasil pengujian sambungan. Hasil perbedaan ini konsisten di semua aplikasi dan metode pengujian serta analisis.
- 2) Pada parameter pembanding perpindahan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama ada perbedaan hasil yang cukup signifikan yaitu pada analisis dengan peraturan SNI 1729 – 2020 dengan metode pengujian yang lainnya. Dikarenakan analisis SNI

memperhitungkan kekuatan mekanika pelat secara murni dengan kapasitas terhadap 1 gaya. Sementara pada pengujian baik eksperimental maupun numerikal banyak kombinasi gaya yang bekerja secara bersamaan. Sehingga menghasilkan data peprindahan maksimal yang cukup signifikan. Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran seperti pada kode A0 dengan A1, B0 dengan B1 dan B2, tidak ada perbedaan hasil yang signifikan pada pengujian eksperimental dengan numerikalnya.

- 3) Pada parameter pembanding tegangan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama seperti A0 pada abaqus dengan model sambungan A0 pada aplikasi atau metode yang lainnya tidak ada perbedaan hasil yang signifikan. Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran pada kode B1 menunjukkan hasil yang signifikan terhadap sambungan standarnya B0 maupun dengan model sambungan B2 yang mengalami pergeseran lubang baut tetapi pada pelat yang berbeda. Hasil perbedaan yang signifikan tersebut terjadi pada semua aplikasi dan metode pengujian dan analisis.
- 4) pada parameter pembanding regangan maksimal pada model sambungan yang berjenis sama ada perbedaan hasil yang cukup signifikan yaitu pada analisis dengan peraturan SNI 1729 – 2020 dengan metode pengujian yang lainnya. Dikarenakan analisis SNI memperhitungkan kekuatan mekanika pelat secara murni dengan kapasitas terhadap 1 gaya. Sementara pada pengujian baik eksperimental maupun numerikal banyak kombinasi gaya yang bekerja secara bersamaan. Sehingga menghasilkan perbedaan data regangan maksimal yang cukup signifikan. Tetapi untuk perbandingan benda uji model sambungan standar dengan yang mengalami pergeseran seperti pada kode A0 dengan A1, B0 dengan B1 dan B2, dan C0 dengan C1 tidak ada perbedaan hasil yang signifikan pada pengujian eksperimental dengan numerikalnya.