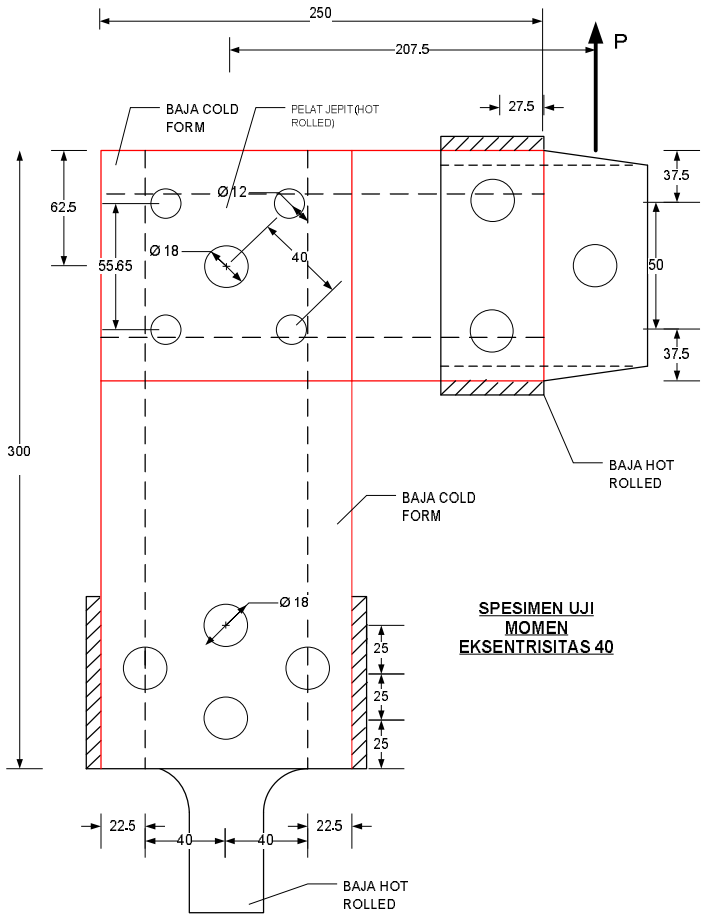
BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sambungan Momen dengan Baut

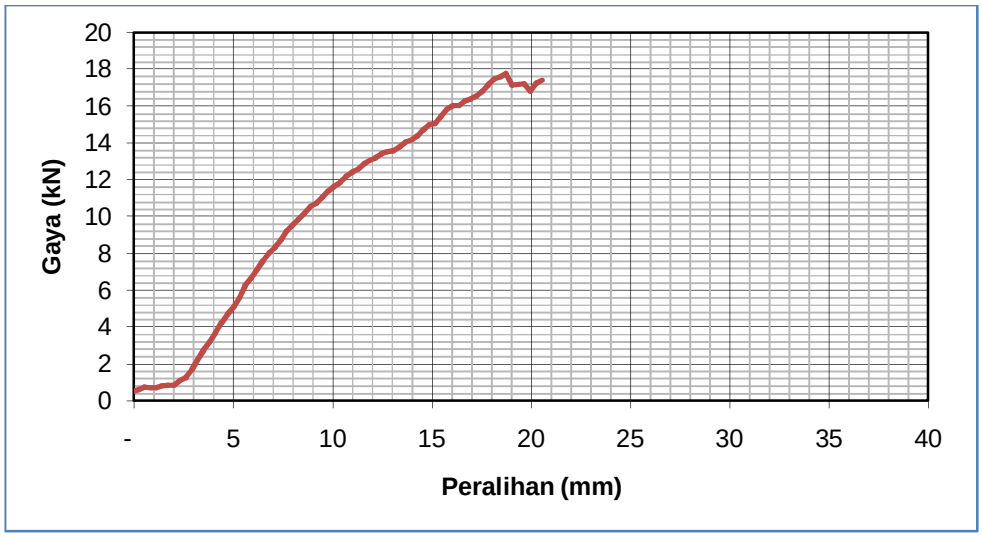
4.1.1 Hasil Uji Spesimen Baut 12 mm Eksentrisitas 40 mm

Percobaan pertama menguji spesimen konfigurasi 5 baut berdiameter 12 mm dengan eksentrisitas 40 mm (B12 E40)



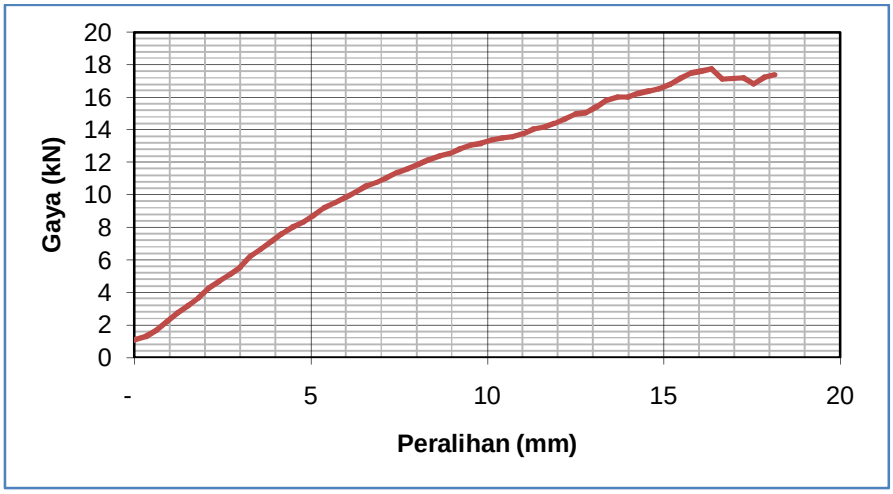
Gambar 4.1 Spesimen B12 E40

Hasil pembacaan dari tranduscer CH1 dengan eksentrisitas 70 mm kemudian diolah dengan Microsoft Excel, diperoleh nilai Putm sebesar 1.812,00 Kgf (17,758 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



Grafik 4.1 Tranduscer CH1 B12 E40

Hasil pembacaan dari tranduscer CH2 dengan eksentrisitas 30 mm kemudian diolah dengan Microsoft Excel, diperoleh nilai Putm sebesar 1.812,00 Kgf (17,758 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



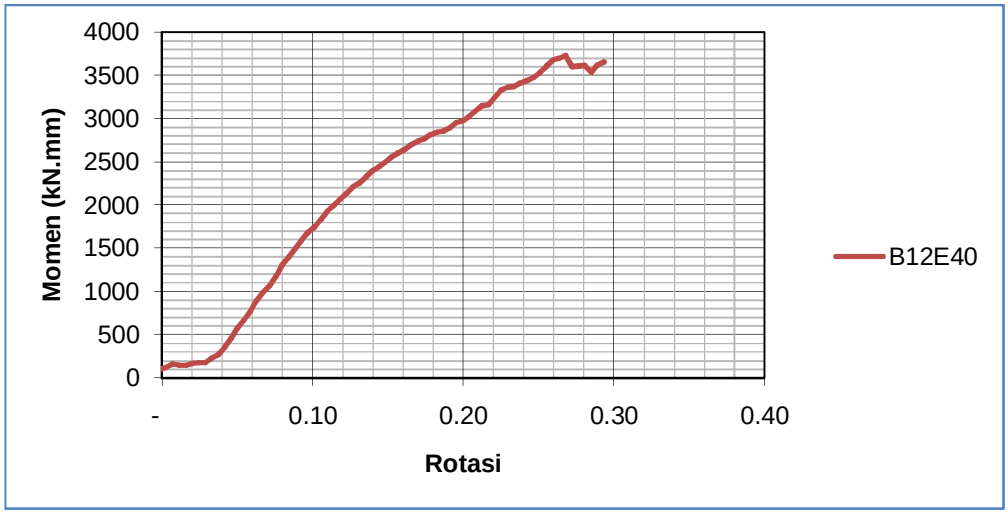
Grafik 4.2 Tranduscer CH2 B12 E40

Kemudian perhitungan dilanjutkan untuk menentukan besarnya momen dan rotasi yang diperoleh dari :

Momen = Eksentrisitas x Gaya dan

Rotasi = Eksentrisitas Tranduscer x peralihan

Spesimen B12E40 dapat menahan momen sebesar 3.684,702 kN.mm sebelum mengalami kehancuran, proses rotasi dapat terlihat dalam grafik 4.3 berikut :

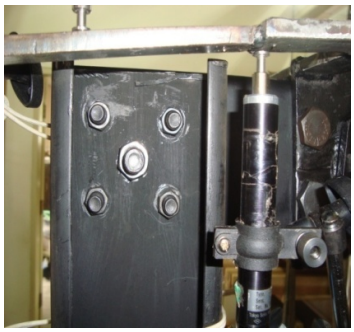


Grafik 4.3 Momen dan Rotasi B12E40

Percobaan uji momen spesimen B12E40 :



(a) Tampak Horizontal

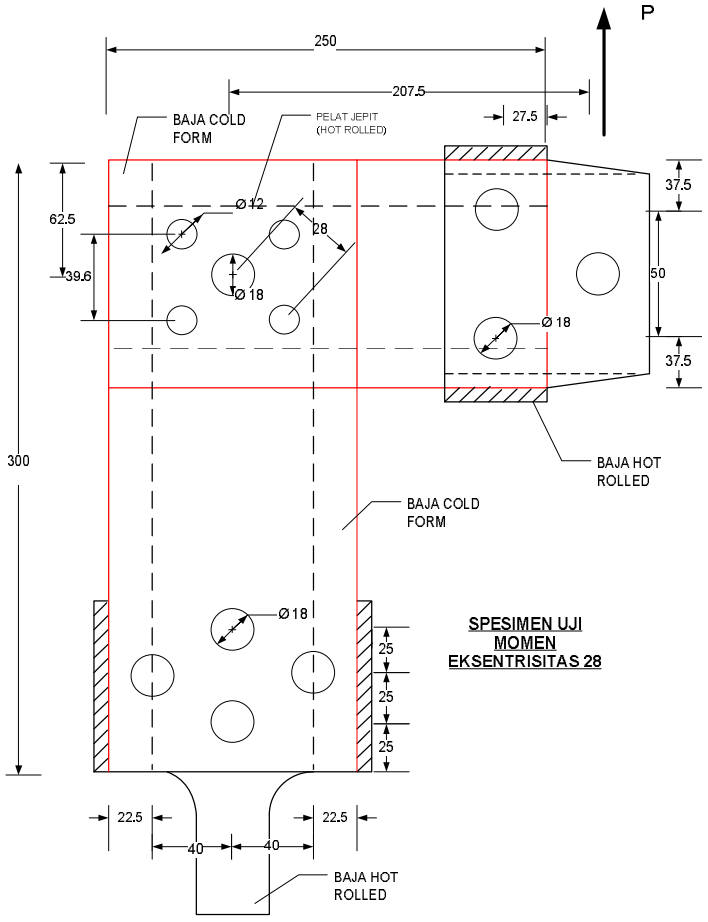


(b) Tampak Vertikal

Gambar 4.2 Percobaan Spesimen B12E40

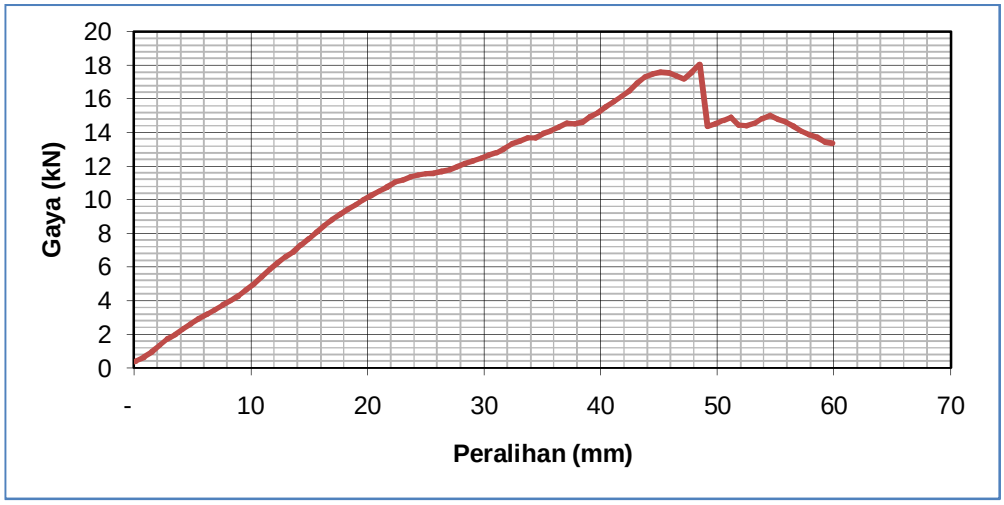
4.1.2 Hasil Uji Spesimen Baut 12 mm Eksentrisitas 28 mm

Percobaan kedua menguji spesimen konfigurasi 5 baut berdiameter 12 mm dengan eksentrisitas 28 mm (B12 E28).



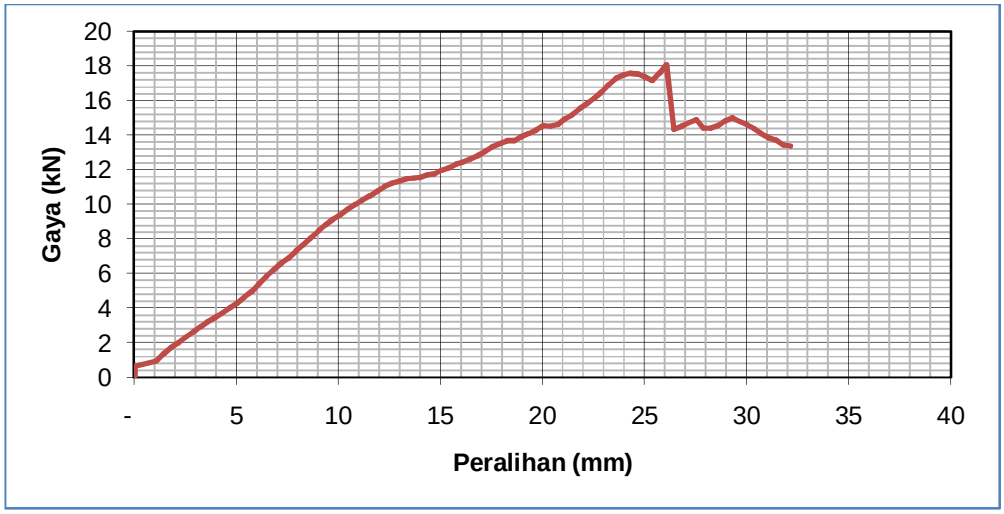
Gambar 4.3 Spesimen B12E28

Hasil pembacaan dari tranduscer CH1 dengan eksentrisitas 70 mm diperoleh nilai Putm sebesar 1.794,50 Kgf (17,586 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



Grafik 4.4 Tranduscer CH1 B12E28

Hasil pembacaan dari tranduscer CH2 dengan eksentrisitas 30 mm diperoleh nilai Putm sebesar 1.794,50 Kgf (17,586 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



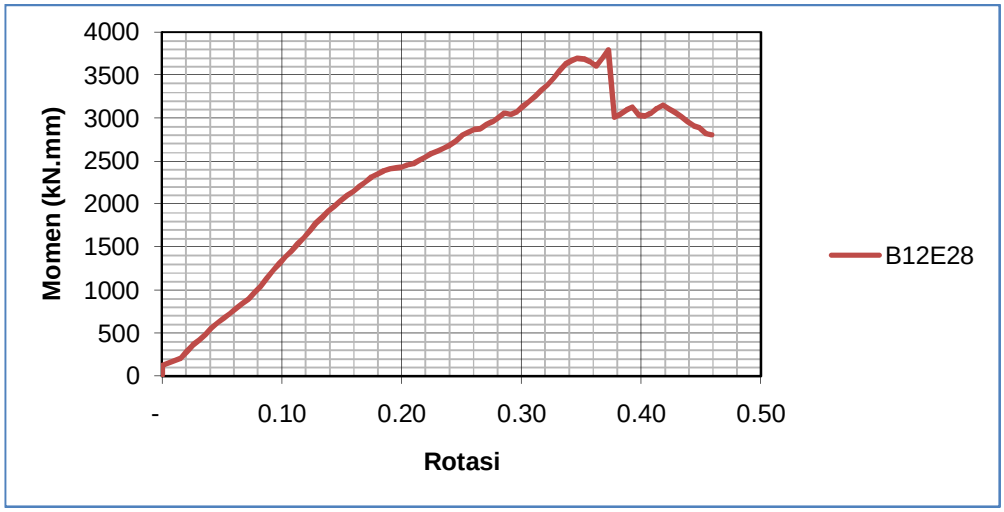
Grafik 4.5 Tranduscer CH2 B12E28

Kemudian perhitungan dilanjutkan untuk menentukan besarnya momen dan rotasi yang diperoleh dari :

Momen = Eksentrisitas x Gaya dan

Rotasi = Eksentrisitas Tranduscer x peralihan

Spesimen B12E28 dapat menahan momen sebesar 3.649,116 kN.mm sebelum mengalami kehancuran, proses rotasi dapat terlihat dalam grafik 4.6 berikut :



Grafik 4.6 Momen dan Rotasi B12E28

Percobaan uji momen spesimen B12E28 :

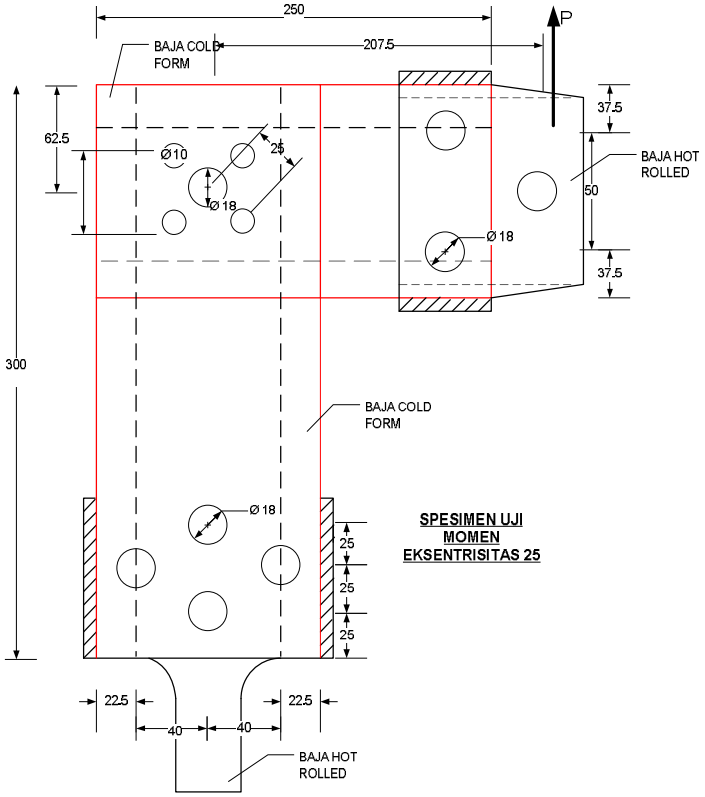


(a) Tampak Horizontal **(b) Tampak Vertikal**

Gambar 4.4 Percobaan Spesimen B12E28

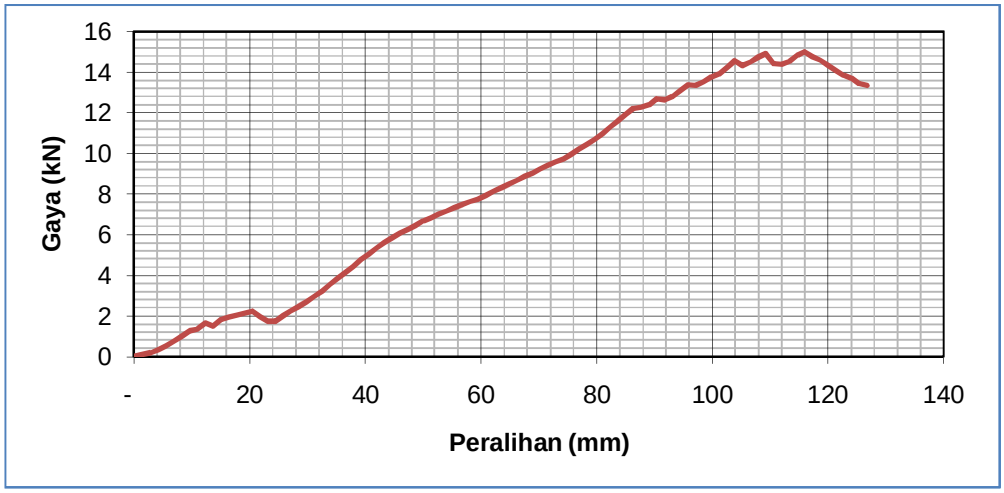
4.1.3 Hasil Uji Spesimen Baut 10 mm Eksentrisitas 25 mm

Percobaan ketiga menguji spesimen konfigurasi 5 baut berdiameter 10 mm dengan eksentrisitas 25 mm (B10 E25)



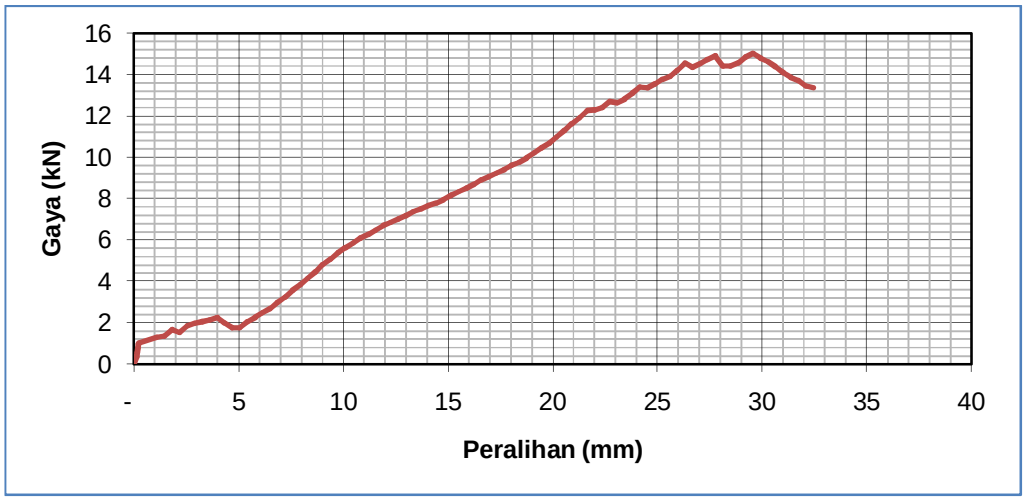
Gambar 4.5 Spesimen B10E25

Hasil pembacaan dari tranduscer CH1 dengan eksentrisitas 70 mm diperoleh nilai Putm sebesar 1.471,0 Kgf (14,416 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



Grafik 4.7 Tranduscer CH1 B10 E25

Hasil pembacaan dari tranduscer CH2 dengan eksentrisitas 30 mm diperoleh nilai Putm sebesar 1.471,0 Kgf (14,416 kN), proses peralihan dapat terlihat dari grafik berikut :



Grafik 4.8 Tranduscer CH2 B10E25

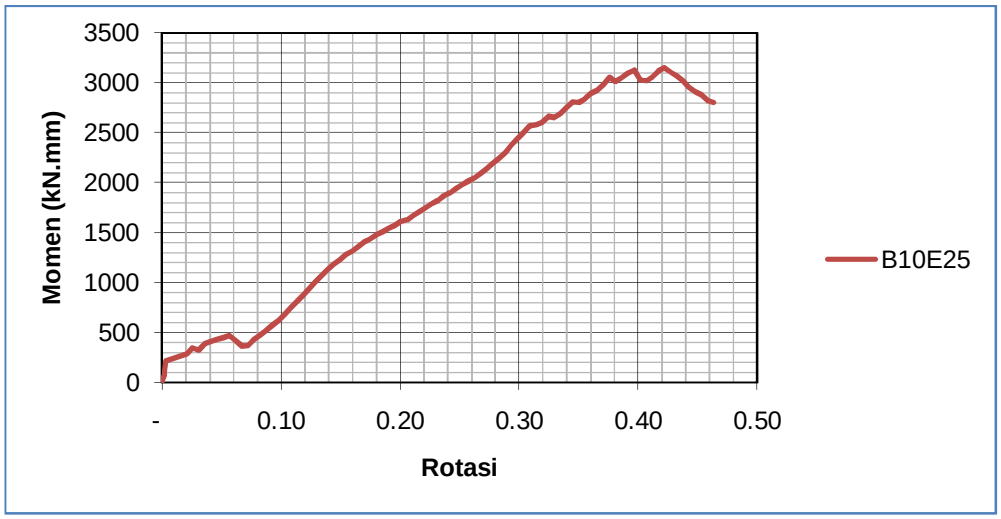
Kemudian perhitungan dilanjutkan untuk menentukan besarnya momen dan rotasi yang diperoleh dari :

Momen = Eksentrisitas x Gaya dan

Rotasi = Eksentrisitas Tranduscer x peralihan

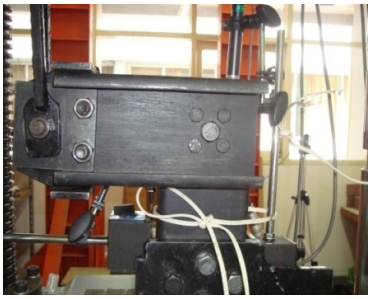
Spesimen B10E25 dapat menahan momen sebesar 2.991,279 kN.mm sebelum mengalami kehancuran, proses rotasi dapat terlihat dalam grafik 4.9 berikut :

.



Grafik 4.9 Momen dan Rotasi B10E25

Percobaan uji momen spesimen B10E25 :





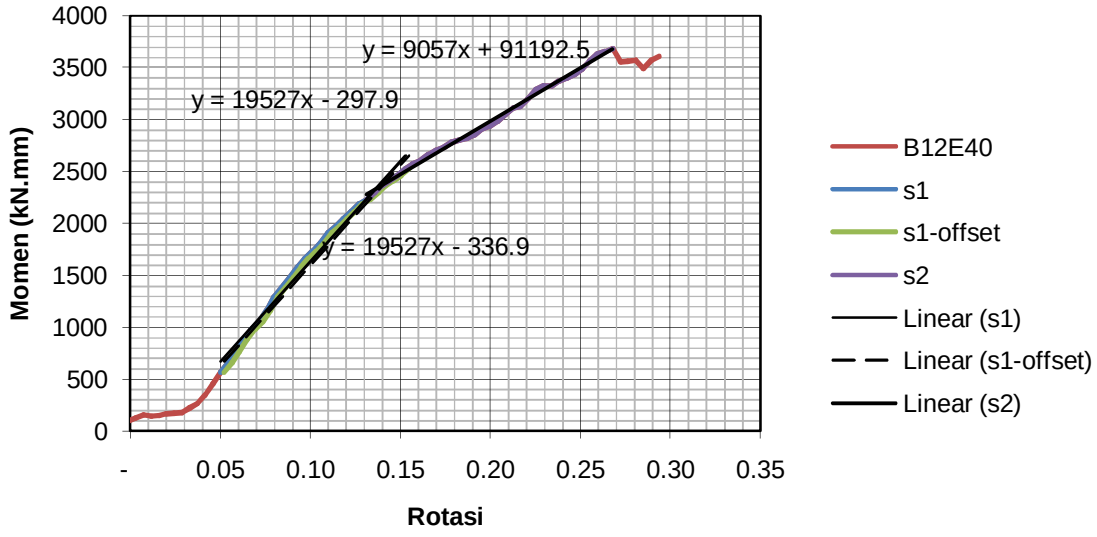
(a) Tampak Horizontal **(b) Tampak Vertikal**

Gambar 4.6 Percobaan Spesimen B10E25

4.2 Pembahasan Pengujian Sambungan Momen dengan Baut

4.2.1 Titik Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Spesimen

4.2.1.1 Titik Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Spesimen B12E40



Grafik 4.10 Titik Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit B12E40

Grafik 4.10 menunjukan titik tegangan leleh , tegangan ultimit, rotasi leleh, dan rotasi ultimit spesimen B12E40. Titik tegangan leleh dan tegangan ultimit spesimen B12E40 diperoleh dengan metode offset. Dari grafik 4.10 diperoleh persamaan garis lurus :

$$y = 19527x - 297{,}9 \qquad \text{Pers. (1)}$$

$$y = 19527x - 336{,}9 \qquad \text{Pers. (2)}$$

$$y = 9057x + 1192{,}5 \qquad \text{Pers. (3)}$$

Substitusikan persamaan (2) dan persamaan (3) untuk memperoleh koordinat x dari titik tegangan leleh dari spesimen B12E40

$$19527x - 336{,}9 = 9057x + 1192{,}5 \qquad \text{Pers.(4)}$$

$$10470.x = 1529{,}9$$

$$x = 0{,}1460$$

Maka, $x = \theta y = 0{,}1397$

Substitusikan persamaan x ke persamaan (2) untuk memperoleh koordinat y, sehingga didapat nilai tegangan leleh.

$$y = 19527x - 336{,}9$$

$$y = 19527.(0{,}1460) - 336{,}9$$

$$y = 2515{,}49 \qquad \text{Pers.(6)}$$

Maka, $y = My = 2515{,}49$

x menyatakan nilai θy dan y menyatakan nilai M_y, sehingga dari Grafik 4.10 diperoleh :

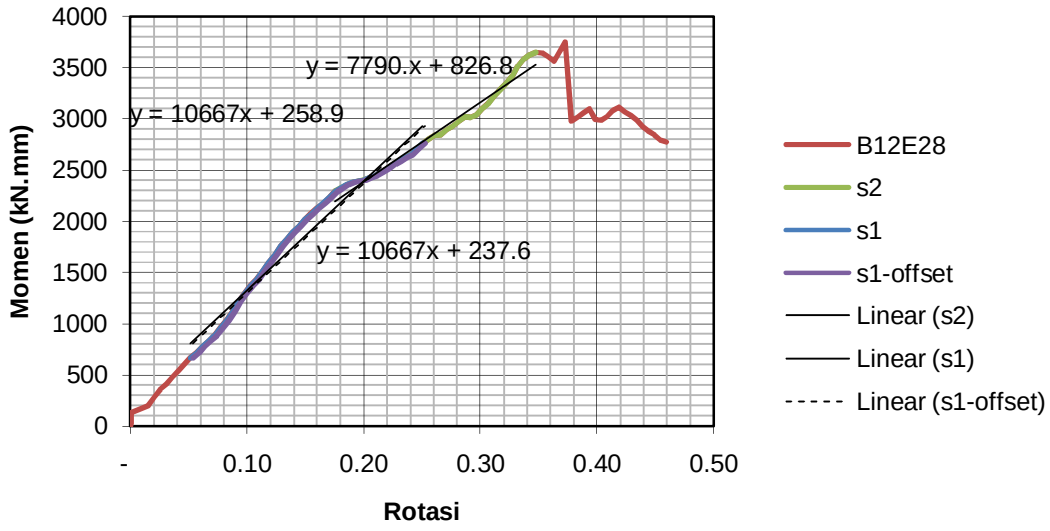
M_U = 3.684,702 kN.mm

θ_U = 0,268

M_y = 2.515,49 kN.mm

θ_y = 0,1460

4.2.1.2 Titik Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Spesimen B12E28



Grafik 4.11 Titik Tegangan Leleh dan Ultimit B12E28

Grafik 4.11 menunjukan titik tegangan leleh , tegangan ultimit, rotasi leleh, dan rotasi ultimit spesimen B12E28. Titik tegangan leleh dan tegangan ultimit spesimen B12E28 diperoleh dengan metode offset. Dari grafik 4.11 diperoleh persamaan garis lurus :

$$y = 10667x + 258{,}9 \qquad \text{Pers. (1)}$$

$$y = 10667x + 237{,}6 \qquad \text{Pers. (2)}$$

$$y = 7790x + 826{,}8 \qquad \text{Pers. (3)}$$

Substitusikan persamaan (2) dan persamaan (3) untuk memperoleh koordinat x dari titik tegangan leleh dari dari spesimen B12E28.

$$10667x + 237{,}6 = 7790x + 826{,}8 \qquad \text{Pers. (4)}$$

$$2877.x = 589{,}2$$

$$x = 0{,}2047$$

Maka, $x = \theta y = 0{,}2047$

Substitusikan persamaan x ke persamaan (2) untuk memperoleh koordinat y, sehingga didapat nilai tegangan leleh.

$y = 7790x + 826{,}8$

$y = 7790.(0{,}2047) + 826.8$

$y = 2421{,}413$

Maka, $y = My = 2421{,}413$

x menyatakan nilai θy dan y menyatakan nilai M_y, sehingga dari Grafik 4.11 diperoleh :

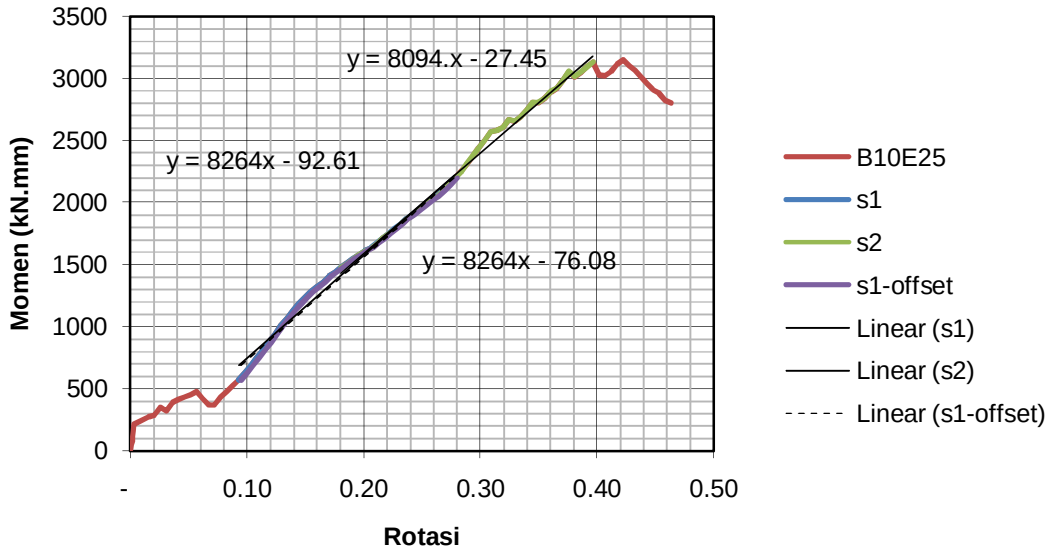
M_U = 3.649,116 kN.mm

θ_U = 0,347

M_y = 2.421,413 kN.mm

θ_y = 0,2047

. 4.2.1.3 Titik Tegangan Leleh dan Tegangan Ultimit Spesimen B10E25



Grafik 4.12 Titik Tegangan Leleh dan Ultimit B10E25

Grafik 4.12 menunjukan titik tegangan leleh , tegangan ultimit, rotasi leleh, dan rotasi ultimit spesimen B10E25. Titik tegangan leleh dan tegangan ultimit spesimen B10E25 diperoleh dengan metode offset. Dari grafik 4.12 diperoleh persamaan garis lurus :

$$y = 8264x - 92{,}61 \qquad \text{Pers. (1)}$$

$$y = 8264x - 76{,}08 \qquad \text{Pers. (2)}$$

$$y = 8094x - 27{,}45 \qquad \text{Pers. (3)}$$

Substitusikan persamaan (2) dan persamaan (3) untuk memperoleh koordinat x dari titik tegangan leleh dari dari spesimen B10E25

$8264.x - 76{,}08 = 8094.x - 27{,}45$ Pers. (4)

$170.x = 48{,}63$

$x = 0{,}286$

Maka, $x = \theta y = 0{,}286$

Substitusikan persamaan x ke persamaan (2) untuk memperoleh koordinat y, sehingga didapat nilai tegangan leleh.

$y = 8264x - 76{,}08$

$y = 8264.(0{,}286) - 76{,}08$

$y = 2287{,}91$ Pers. (6)

Maka, $y = My = 2287{,}91$

x menyatakan nilai θy dan y menyatakan nilai M_y, sehingga dari Grafik 4.11 diperoleh :

M_U = 2.991,279 kN.mm

θ_U = 0,392

M_y = 2.287,91 kN.mm

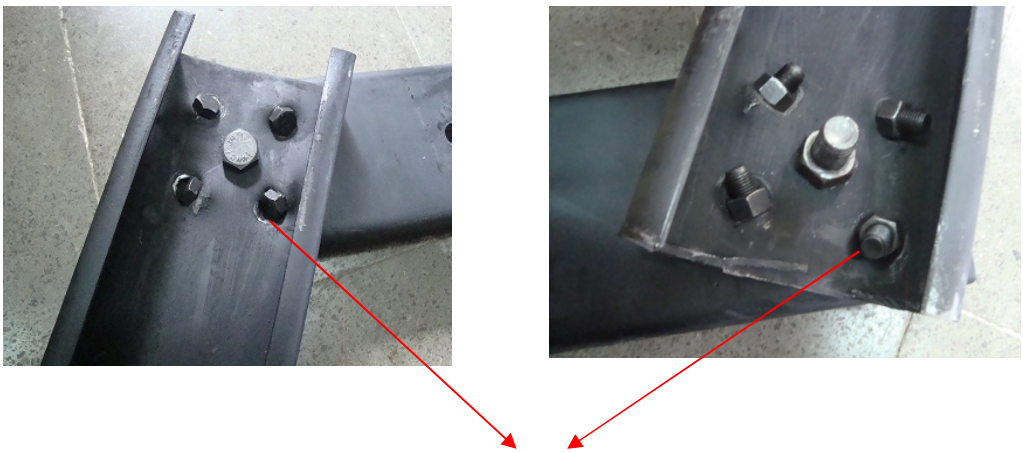
θ_y = 0,286

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Laboratorium

SPESIMEN	M_U (kN.mm)	M_y (kN.mm)	θ_U	θ_y
B12E40	**3.684,72**	**2.515,49**	**0,268**	**0,1460**
B12E28	**3.649,116**	**2.421,413**	**0,347**	**0,2047**
B10E25	**2.991,279**	**2.287,91**	**0,392**	**0,286**

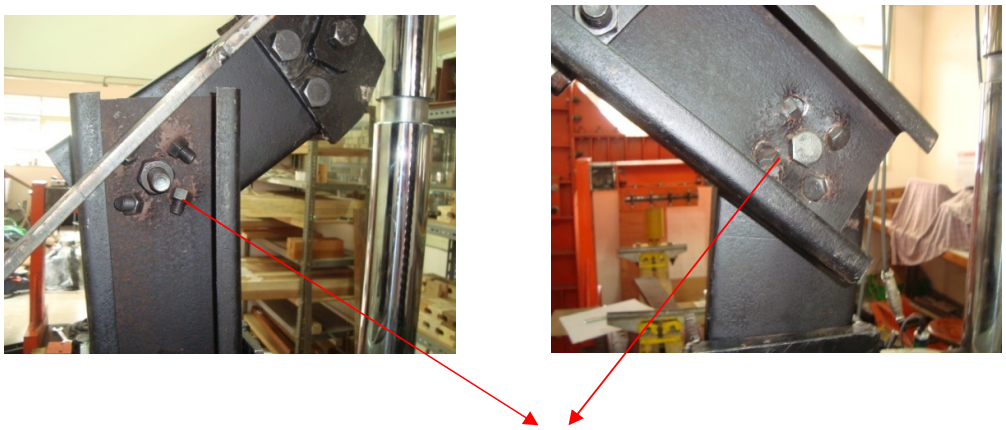
4.2.2 Mekanisme Kehancuran Yang Terjadi

Pengujian ketiga spesimen (B12E40, B12E28, B10E25) dengan konfigurasi baut yang sama menghasilkan bentuk kehancuran/ keruntuhan yang hampir sama. Kehancuran/ keruntuhan yang terjadi dipengaruhi oleh oleh eksentrisitas baut, perputaran sudut pada posisi tertentu dan gaya yang dibebankan. Berikut adalah bentuk-bentuk kehancuran/ keruntuhan spesimen setelah dilakukan uji momen :



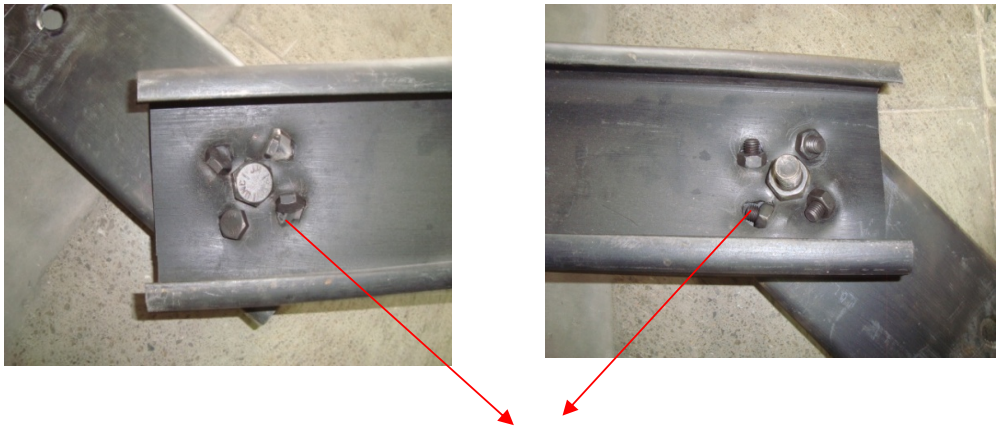
Bentuk Kehancuran

Gambar 4.7 B12E40 Hancur



Bentuk Kehancuran

Gambar 4.8 B12E28 Hancur



Bentuk Kehancuran

Gambar 4.9 B10E25 Hancur

4.2.3 Perbandingan Perhitungan Secara Teoritis dengan Hasil Percobaan Laboratorium

Perhitungan secara teoritis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak/*software* MathCad14. Hasil perhitungan secara teoritis kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan di laboratorium sehingga diperoleh persentase perbedaan hasil keduanya.

Hasil Analisis Perhitungan P_{UTM} Teoritis dibandingkan dengan P_{UTM} Laboratorium :

Perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak/ *software* MathCad14. Hasil dari perhitungan teoritis kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium sehingga diperoleh persentase perbedaannya. Parameter yang dibandingkan adalah nilai P_{UTM} teoritis dengan P_{UTM} Laboratorium. Nilai P_{UTM} teoritis diatur dengan cara *trial and error* sedemikian sehingga diperoleh nilai Ru yang sedikit lebih besar mendekati nilai Pn. (hasil perhitungan *MathCad14* dan *Microsoft Excel* terlampir).

Tabel 4.2 Perbandingan Perhitungan P Teoritis dengan P Hasil Laboratorium

SPESIMEN	P TEORITIS (kgf)	P Lab (P *u*) (kgf)	P Lab (P *y*) (kgf)	PERBEDAAN P teoritis & Pu (%)	PERBEDAAN P teoritis & Py (%)
B12E40	1.454,1	1.796,5	1237,0	19.1	14,9
B12E28	1.066,3	1.727,0	1205,5	38,3	11,5
B10E25	739,8	1.471,0	1125,1	49,7	34,2

Setelah mencocokan hasil perhitungan secara teoritis dengan hasil percobaan di laboratorium terdapat perbedaan hasil cukup signifikan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan *Data Logger* pada saat mengkombinasikan data berisi **gaya-perpindahan-waktu** (P-Δ-t), dan data yang berisi **perpindahan-waktu** (Δ-t) dan keterbatasan *Displacement Tranduscer* yang dipakai.

Dari persentase perbandingan hasil perhitungan teoritis dengan hasil perhitungan laboratorium dapat diketahui bahwa sistem sambungan didesain berdasarkan parameter leleh, dimana persentase perbedaan P *teoritis* vs P*y* lebih kecil dibandingkan P *teoritis* vs P *ultimit.*

4.3 Perilaku Sambungan Baut

4.3.1 Perilaku Sambungan pada Spesimen B12E40

4.3.1.1 Mekanisme Tumpu

Mekanisme tumpu pada sambungan momen erat kaitannya dengan mekanisme kehancuran yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan pengujian di laboratorium. Bidang kontak mekanisme tumpu yang terjadi pada sambungan momen spesimen B12E40 ada 2 (dua) yaitu :

1. Bidang kontak antara batang baut dengan pelat baja ringan
2. Bidang kontak antara kepala baut dengan pelat baja ringan

Spesimen mengalami deformasi (elongation) pada lubang bautnya karena mengalami kerusakan/ sobek pada beberapa bagiannya dan baut mengalami rotasi

yang diakibatkan oleh mekanisme tumpu tersebut, seperti dijelaskan pada gambar 4.10a dan gambar 4.10b



Gambar 4.10a Bidang Kontak Batang Baut dengan Spesimen



Gambar 4.10b Bidang Kontak Kepala Baut dengan Spesimen

4.3.1.2 Kekakuan Spesimen

Kekakuan/ *stiffness* spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

Maka, kekakuan spesimen B12E40 diperoleh sebesar :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

$$K = \frac{2.515{,}49}{0{,}1460}$$

$$K = 17.229{,}383$$

4.3.1.3 Daktilitas Spesimen

Daktilitas spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

Maka, daktilitas spesimen B12E40 diperoleh sebesar :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

$$\mu = \frac{0{,}268}{0{,}1460}$$

$$\mu = 1{,}835$$

4.3.1.4 Kekuatan Spesimen

Kekuatan spesimen diperoleh berdasarkan parameter M_U dan My spesimen B12E40.

$$M_U = 3.684{,}72 \text{ kN.mm}$$

$$M_y = 2.515{,}49 \text{ kN.mm}$$

4.3.2 Perilaku Sambungan pada Spesimen B12E28

4.3.2.1 Mekanisme Tumpu

Mekanisme tumpu pada sambungan momen erat kaitannya dengan mekanisme kehancuran yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan pengujian di

laboratorium. Bidang kontak mekanisme tumpu yang terjadi pada sambungan momen spesimen B12E28 ada 2 (dua) yaitu :

1. Bidang kontak antara batang baut dengan pelat baja ringan
2. Bidang kontak antara kepala baut dengan pelat baja ringan

Spesimen mengalami deformasi (elongation) pada lubang bautnya karena mengalami kerusakan/ sobek pada beberapa bagiannya dan baut mengalami rotasi yang diakibatkan oleh mekanisme tumpu tersebut, seperti dijelaskan pada gambar 4.11a dan gambar 4.11b



Gambar 4.11a Bidang Kontak Batang Baut dengan Spesimen



Gambar 4.11b Bidang Kontak Kepala Baut dengan Spesimen

4.3.2.2 Kekakuan Spesimen

Kekakuan/ *stiffness* spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

Maka, kekakuan spesimen B12E28 diperoleh sebesar :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

$$K = \frac{2.421{,}413}{0{,}2047}$$

$$K = 11.829{,}081$$

4.3.2.3 Daktilitas Spesimen

Daktilitas spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

Maka, daktilitas spesimen B12E28 diperoleh sebesar :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

$$\mu = \frac{0{,}347}{0{,}2047}$$

$$\mu = 1{,}695$$

4.3.2.4 Kekuatan Spesimen

Kekuatan spesimen diperoleh berdasarkan parameter M_U dan My spesimen B12E28.

$$M_U = 3.649{,}116\ kN.mm$$

$$M_y = 2.421{,}413\ kN.mm$$

4.3.3 Perilaku Sambungan pada Spesimen B10E25

4.3.3.1 Mekanisme Tumpu

Mekanisme tumpu pada sambungan momen erat kaitannya dengan mekanisme kehancuran yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan pengujian di laboratorium. Bidang kontak mekanisme tumpu yang terjadi pada sambungan momen spesimen B12E25 ada 2 (dua) yaitu :

1. Bidang kontak antara batang baut dengan pelat baja ringan
2. Bidang kontak antara kepala baut dengan pelat baja tingan

Spesimen mengalami deformasi (elongation) pada lubang bautnya karena mengalami kerusakan/ sobek pada beberapa bagiannya dan baut mengalami rotasi yang diakibatkan oleh mekanisme tumpu tersebut, seperti dijelaskan pada gambar 4.12a dan gambar 4.12b



Gambar 4.12a Mekanisme Tumpu Batang Baut dengan Spesimen



Gambar 4.12b Mekanisme Tumpu Kepala Baut dengan Spesimen

4.3.3.2 Kekakuan Spesimen

Kekakuan/ *stiffness* spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

Maka, kekakuan spesimen B10E25 diperoleh sebesar :

$$K = \frac{My}{\theta y}$$

$$K = \frac{2.287{,}91}{0{,}286}$$

$$K = 7.999{,}685$$

4.3.3.3 Daktilitas Spesimen

Daktilitas spesimen diperoleh berdasarkan persamaan :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

Maka, daktilitas spesimen B10E25 diperoleh sebesar :

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta y}$$

$$\mu = \frac{0{,}392}{0{,}286}$$

$$\mu = 1{,}37$$

4.3.3.4 Kekuatan Spesimen

Kekuatan spesimen diperoleh berdasarkan parameter M_U dan My spesimen B10E25.

$$M_U = 2.991{,}279\ kN.mm$$

$$M_y = 2.287{,}91\ kN.mm$$

Tabel 4.3 Perilaku Sambungan Momen dengan Baut

SPESIMEN	M_U (kN.mm)	M_y (kN.mm)	θ_U	θ_y	KEKAKUAN (K) (My/θy)	DAKTILITAS (μ) (θu/θy)
B12E40	**3.684,702**	**2.515,49**	**0,268**	**0,1460**	**17.229,383**	**1,835**
B12E28	**3.649,119**	**2.451,443**	**0,347**	**0,204**	**11.969,936**	**1,685**
B10E25	**2.991,279**	**2.287,91**	**0,392**	**0,286**	**8.323,517**	**1,37**

4.4 Interpretasi Hasil Pengujian dan Percobaan Laboratorium

Hasil pengujian dan percobaan di laboratorium menunjukan bahwa :

1. Eksentrisitas , luas penampang sambungan baut , diameter baut dan jumlah baut mempengaruhi kekuatan sambungan momen walaupun hasilnya tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian dan percobaan spesimen B12E40, B12E28, dan B10E25 Perilaku sambungan momen dengan baut pada material pelat baja ringan/*cold formed*

steel.dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya tata letak baut, eksentrisitas dan luas penampang sambungan baut .

2. Semakin besar eksentrisitas dan diameter baut yang digunakan pada sistem sambungan, semakin besar kekakuan sambungan, daktilitas dan kekuatan sambungan. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan hasil pengujian ketiga spesimen.
3. Bentuk Kehancuran (*Failure Mode*) yang terjadi berdasarkan mekanisme tumpu antara bidang kontak kepala baut dengan spesimen dan bidang kontak antara batang baut dengan spesimen menyebabkan :
   a. Baut mengalami rotasi.
   b. Rotasi pada baut mengakibatkan terjadinya elongation pada lubang baut.
4. Prediksi perhitungan teoritis (desain) sesuai dengan parameter leleh, hal ini dapat dibuktikan berdasarkan perbandingan persentase perbedaan antara desain dengan hasil pengujian yang menunjukan prediksi teoritis dan parameter leleh persentase perbedaannya lebih kecil dibandingkan dengan prediksi teoritis dan parameter ultimit.