

ANALISIS GAYA PADA ALAT *BENDING ROLL* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DAN EKSPERIMENTAL

Dian Haryanto¹, Efi Afrizal², Dodi Sofyan Arief³
Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Indonesia

Email: ¹dian.haryanto@student.unri.ac.id, ²efi_afrizal@yahoo.com, ³dodidarul@yahoo.com

ABSTRACT

Bending Roll is a tool used to make curves, which are widely used in the field of construction work. The Bending Roll tool made by Tongam and Aweng (2018) has not been tested. To analyze the performance of the Bending Roll tool using the finite element method then compared with direct testing. Testing through finite element method Finite element method software is used, namely Abaqus. That testing directly specimens used there are two types, plate and Hollow. For plate specimens, the rolling process is tested by adding a load using a hydraulic jack and the compressive force measured by the pressure gauge. Whilst Hollow specimens a strain gauge is also used to measure the strain that occurs during rolling. The goal is to be able to see the phenomena that occur in the specimen during rolling. The results of the most ideal specimen to be carried out on a tool is a specimen with a thickness of 3 mm. On the 3 mm plate the stresses are large and can form young specimens with a small force. When the force used is small, it will extend the life of the bending roll tool. If calculated the level of difference in measurements that occur is not so big between experimental measurements and simulation measurements.

Key words: Bending Roll, finite element, pressure gauge, strain gauge.

1. Pendahuluan

Untuk mempermudah kehidupannya, manusia terus berinovasi dan ber-usaha agar mendapatkan target yang diinginkan. Mereka berusaha untuk mengeluarkan usaha seminimal mungkin. Tidak terkecuali dengan ilmu keteknikan, dengan mengeluarkan waktu dan tenaga yang seminimal mungkin untuk mencapai target produksi yang di inginkan.

Dalam dunia produksi telah dikenal pula alat pengerolan pelat. Alat tersebut telah banyak digunakan dalam dunia industri dan perbengkelan. Gunannya untuk membuat profil lengkungan dan profil lingkaran sesuai dengan aplikasi produk yang di inginkan. [1]

Dalam hal ini, pada tahun 2018 telah dibuat alat *Bending Roll* oleh Tongam dan Aweng. Pada alat tersebut menggunakan sistim manual dimana cara pengoperasiannya masih mengandalkan sumber tenaga manusia dalam memutar batang rol untuk memberi efek lengkung pada pelat yang akan dirubah bentuknya. Tetapi pada alat *Bending Roll* yang dibuat belum dilakukan pengujian. Sehingga belum diketahui hasil dari alat *Bending Roll* tersebut. [2]

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alfau Fauzi (2011), dalam mendesain sebuah alat *Bending Roll* harus mengetahui berapa besar gaya maksimal yang di anjurkan. Sehingga alat yang digunakan dapat digunakan semaksimal mungkin. Ketika melakukan pengerolan dihitung berapa besar perubahan kemiringan antara kondisi normal dan saat pemberian beban dalam derajat(^o), lalu diukur berapa besar radius yang dihasilkan. [3] Mardalil (2016) melakukan penelitian tentang analisa alat pengerol pelat 2 mm membutuhkan momen putar sebesar 173.60 N.m dan gaya tekan yang terjadi sebesar 3214.94 N. [4] Sedangkan Ahmad Mustaqim pada tahun 2012 merancang sebuah alat pengerolan menyatakan bahwa kemampuan alat diuji dengan berapa lama waktu yang

dibutuhkan untuk membuat sebuah lekungan. [1] Sedangkan menurut Mohit Varpe pada tahun 2017 menganalisa kemampuan dari bending rol menggunakan alat strain gauge dan melakukan pengujian pada pelat. Pengujian yang dilakukannya menggunakan 3 strain gauge dan menghasilkan gaya sebesar 1815 MPa untuk maksimal tegangan pada rollernya. [4]

Beberapa cara untuk mengetahui kemampuan suatu alat, yaitu dengan melakukan pengujian secara langsung. Dengan menggunakan sample sebagai bahan pengujian untuk mendapatkan hasil. Cara lain untuk mengetahui kemampuan sebuah alat yaitu dengan dilakukannya simulasi dengan metode elemen hingga. Ada pula pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat bantu untuk mengetahui faktor-faktor dan fenomena yang terjadi. Salah satu alat bantu yang dapat digunakan yaitu berupa sensor regangan (*strain gauge*). Dari beberapa pengujian yang dilakukan tersebut dapat dibandingkan satu dan lainnya agar mendapatkan data akurat. [5]

2. Metodologi Penelitian

2.1 Simulasi Pengujian

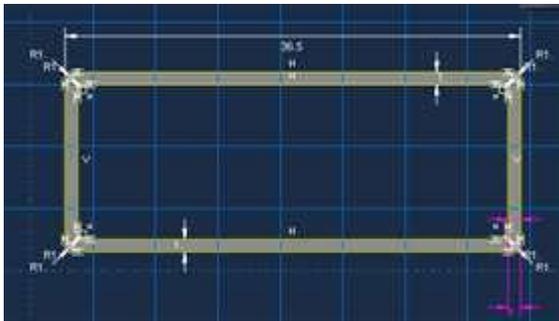
Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* FEM ABAQUS CAE untuk melihat tegangan yang terjadi akibat pembebanan *Bending Roll*. *Software* ABAQUS berfungsi sebagai sebuah alat yang digunakan untuk menyimulasikan kontruksi yang kita gunakan. Seperti kebanyakan program komputer analisa yang tersedia dipasaran abaqus juga menyediakan fasilitas CAD/CAM/CAE yang dapat digunakan untuk analisa elastis dan plastis suatu bahan. *Software* ABAQUS yang digunakan adalah versi 6.14.

Dalam *software* ABAQUS, ada beberapa hal yang wajib dilakukan agar simulasi dapat sesuai

dengan kenyataan aslinya. Diantaranya adalah, modul *Part*, *Property*, *Assembly*, *Step*, *Interaction*, *Load*, *Mesh*, dan *Job*. [6]

2.1.1 Modul Part

Modul *Part* adalah bagian dari modul yang akan digunakan untuk menggambar benda yang akan disimulasikan didalam ABAQUS CAE 6.14. Modul *part* menyediakan menu *tool bar* yang berfungsi untuk melakukan modifikasi benda maupun bentuk sesuai dengan model yang akan kita buat. Pada penelitian yang dilakukan *Part* yang digunakan ada 2 jenis, yang pertama pelat dan *Hollow* persegi 4. Untuk pelat dimensi yan digunakan adalah panjang 400 mm, lebar 50 mm, dan ketebalan yang divariasikan mulai dari 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm. Sedangkan untuk spesimen *hollow* digunakan dengan dimensi tinggi 14.5 mm, lebar 36.5 mm, panjang 400 mm dengan ketebalan 1,1 mm. Untuk ilustrasi tampilan dapat dilihat pada Gambar 1.

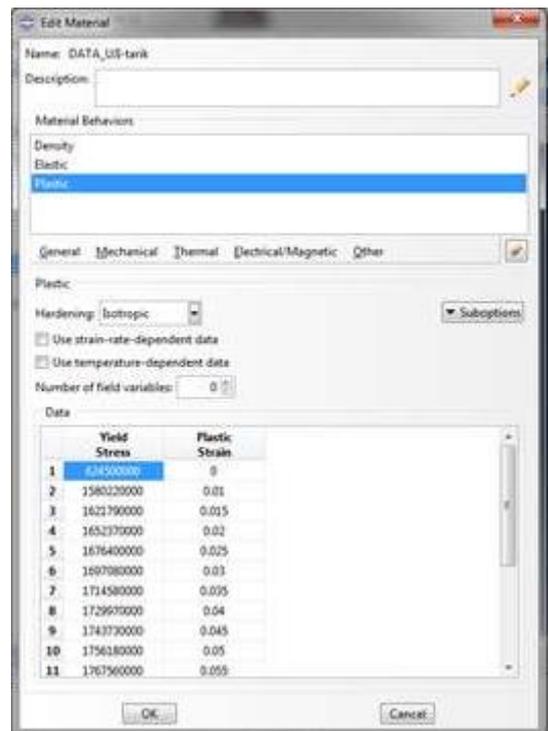


Gambar 1 Modul Part

Cara pembuatan part ini dengan cara menggambar penampang dari spesimen yang digunakan. Untuk panjang menggunakan fitur *extrude* dari *software*. Dan untuk porosnya digunakan 1 buah poros sebesar 24 mm dan 2 buah poros 19 mm.

2.1.2 Modul Property

Modul *Property* berfungsi untuk memasukan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan, dan spesifikasi teknis dari material yang akan dianalisis. Pada modul *property* yang perlu dimasukkan adalah *Density*, Modulus elastisitas data yang di peroleh dari lampiran 3. Sedangkan untuk data plastic digunakan data dari hasil uji Tarik dari grafik setelah terjadinya plastis. Namun didalam aplikasi *abaqus* tertulis *yield stress*, sedangkan dalam user manual dari aplikasi *abaqus* itu adalah data *engineering stress – strain* material setelah mengalami plastis hingga mengalami *Necking*. Untuk mengetahui data plastik dari material tersebut dilakukan uji tarik ada spesimen yang dilakukan simulasi. Untuk melihat data Modul *Property*, dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Modul Property

2.1.3 Modul Assembly

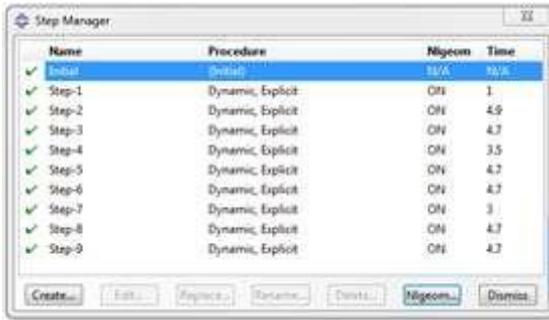
Pada Modul *Assembly* merupakan proses menyusun bagian-bagian dari *part* yang telah dibuat pada modul *part*. Tujuan dari penyusunan ini dibuat menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis numerik. Pada penelitian yang dilakukan penyusunan dengan satu buah poros di atas dan 2 buah poros dibagian bawah. Lalu spesimen diletak diantara poros tersebut. Jarak antar poros adalah sejauh 95 mm. Untuk melihat pengerjaan pada mosul *assembly* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Penyusunan pada Modul Assembly

2.1.4 Modul Step

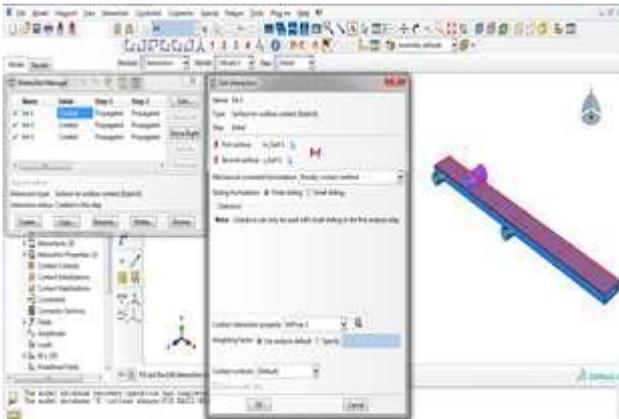
Step berfungsi untuk menentukan urutan langkah-langkah yang mana akan didefinisikan sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Modul *step* menyediakan menu *Set* dan *surface* untuk meletakkan beban yang akan dikerjakan pada benda. Untuk melihat *set-up* yang dilakukan pada modul *step* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan *Step Manager*

2.1.5 Modul *Interaction*

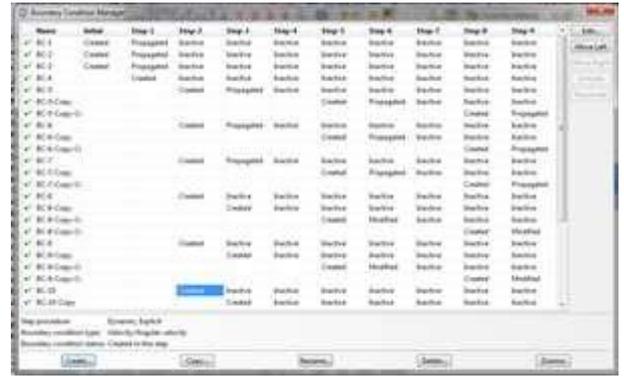
Interaction berfungsi untuk menentukan bagian material yang akan mengalami kontak. *Interaction* juga berguna untuk memberikan *constraint* pada benda yang dianalisis untuk mencegah bergesernya benda dari kedudukannya awalnya. Pada proses pembuatannya bagian atas spesimen disentuh dengan selimut rol bagian atas. Sedangkan bagian bawah spesimen disentuh dengan selimut rol bagian bawah. *Set-up* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Proses pembuatan pada modul *Interaction*

2.1.6 Modul *Load*

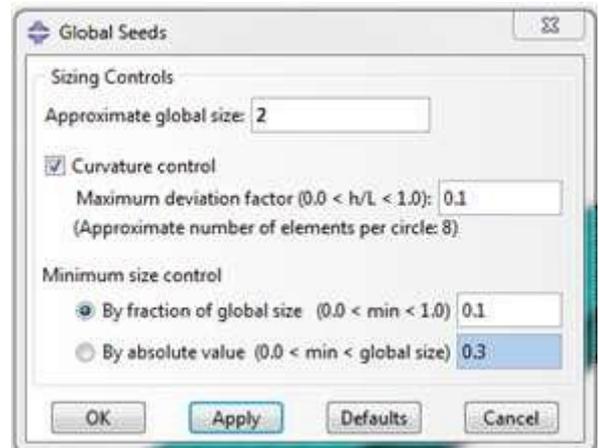
Load digunakan untuk memberikan beban, kecepatan, *boundary* pada benda uji. Modul *load* juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan kita buat. Pada pengerolan dengan metode bertahap ada 3 kali penambahan pembebanan, dalam satu gerakan yang tidak bersamaan dinyatakan dalam 1 *Step*. Pada proses pengerolan yang dilakukan 1 kali pengerolan ada 3 buah kondisi pergerakan. Pemberian beban, lalu pengerolan, dan pengembalian spesimen ke posisi semula. Untuk satu *part* dilakukan 1 pengkondisian, sehingga dibutuhkan ketelitian dalam menentukan besar dan banyak pembebanan yang diberikan. Untuk kondisi yang sama maka dapat digunakan pembebanan berlanjut pada step selanjutnya lalu di rubah dalam pemberian gaya atau putaran yang terjadi sesuai keadaan. Pemberian pembebanan adalah berupa gerakan dari suatu *part*. Gerakan yang dapat diberikan adalah gerak sumbu X, Y, dan Z Serta *rotasi* terhadap sumbu X, Y dan Z. Dapat dilihat pada Gambar 6, *setting* kondisi batas yang diberikan.



Gambar 6 Pemberian kondisi batas pada Modul *Load*

2.1.7 Modul *Mesh*

Modul *Mesh* berfungsi membagi geometri dari benda yang akan kita buat menjadi node dan elemen. Kita bisa menentukan jenis *mesh* yang akan kita gunakan serta mengontrol jenis *mesh* yang kita berikan pada benda. Proses pemilihan *mesh* ini berdasarkan nilai yang terbaik, berawal dari ukuran yang besar, lalu dilakukan uji coba hingga ukuran yang terkecil. Jika hasil dari pengukuran sudah *convergen* maka besar *Mesh* terakhir lah yang dipakai. *Mesh* sangatlah berpengaruh terhadap hasil pengujian. Jika *mesh* semakin besar maka tegangan yang terjadi akan semakin kecil. Jika *mesh* semakin kecil maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat. *Mesh* berpengaruh terhadap spesifikasi komputer yang digunakan. Jika *mesh* yang dibuat semakin kecil maka proses *running* dari aplikasi akan semakin lama dan membutuhkan *hardware* yang cukup memadai. Proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 7.

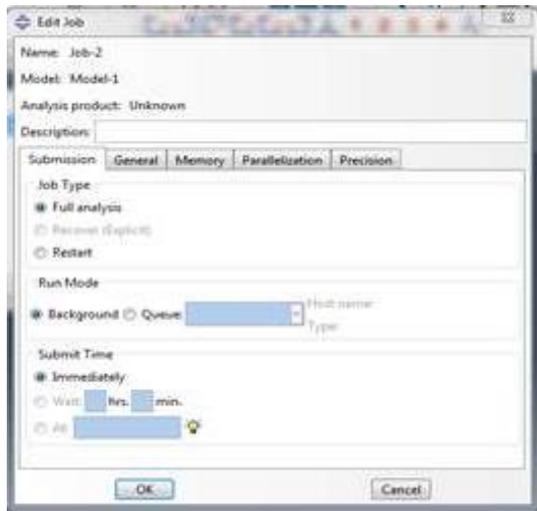


Gambar 7 Pilihan dalam pemberian *mesh*

3.3.8 Modul *Job*

Job berfungsi untuk melakukan proses running terhadap model yang telah kita buat. Setelah data yang kita masukkan selesai selanjutnya kita serahkan pada modul *job* untuk melakukan proses penyelesaian secara numerik. Selama proses numerik didalam *software* kita bisa memonitor dari tempat pesan yang berada dibawah *viewport* apakah *submit job* berhasil atau tidak, apabila terjadi *error*

message kita kembali kepada modul untuk melakukan modifikasi terhadap bagian-bagian yang masih terdapat kesalahan. Pengaturan dari Modul *Job* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Perintah dalam Modul *Job*

2.2 Data Hasil Simulasi

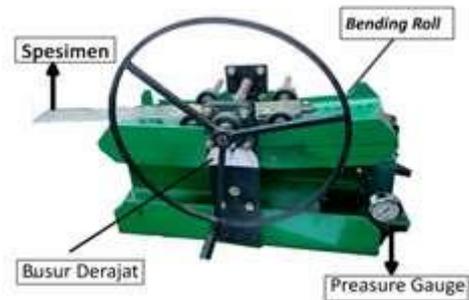
Dari simulasi yang dilakukan diharapkan mendapatkan besar gaya yang dibutuhkan, besar regangan yang terjadi pada spesimen, dan besar radius yang terjadi. Sehingga dapat menentukan besarnya gaya maksimum yang dapat bekerja dalam proses pengerolan tersebut.

2.3 Setup Pengujian

Proses pengambilan data yang dilakukan ada 2 cara yang pertama yaitu menggunakan *Bending Roll* dan dilakukan pengukuran menggunakan pressure gauge dan busur drajat untuk mengukurnya. Metode kedua menggunakan tambah alat ukur *strain gauge* untuk mengukur regangan pada spesimen.

2.3.1 Pengambilan data menggunakan *Bending Roll*

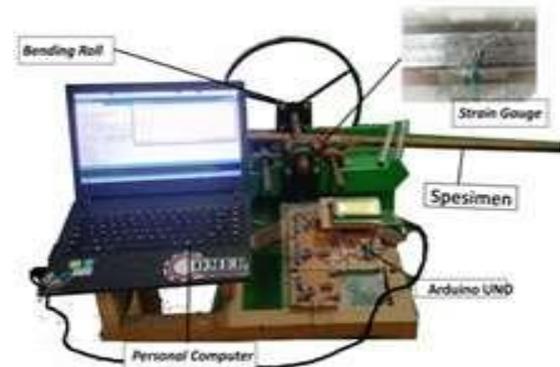
Pada proses pengambilan data menggunakan alat *bendingroll* ini, alat ukur yang digunakan adalah pressure gauge yang telah di pasang pada *Hydraulic jack* dan busur drajat untuk mengukur besar kemiringan yang terjadi pada proses *Bending Roll*. Mula-mula spesimen dimasukkan pada alat *Bending Roll*. Setelah spesimen memasuki alat *Bending Roll* sehingga spesimen menyentuh ketiga *roll*. Setelah itu diberikan pembebanan sesuai berdasarkan kenaikan sudut lengan ayun dari spesimen. *Set-up* pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 Set Up Pengujian

2.3.2 Pengambilan data menggunakan *Strain Gauge*

Pada proses pengambilan data ini tidak berbeda dengan metode pertama. Hanya saja ada perbedaan pada spesimen dan penambahan alat ukur. spesimen yang digunakan yaitu *Hollow* dan Penambahan alat ukur yaitu *strain gauge*. Digunakannya spesimen *Hollow* pada proses pengerolan menggunakan *strain gauge* dikarenakan mencari sisi samping yang lebar untuk di tempelnya *strain gauge*. Setup pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 *Set-Up* Pengujian dengan alat bantu *Strain Gauge*

Spesimen yang digunakan pada saat pengujian adalah dengan ukuran 17 x 37 dan tebal 1.1 mm. pengambilan data dilakukan 3 kali pengujian dengan spesimen berbeda. Tujuan dari pengujian menggunakan *strain gauge* ini sebagai pembanding hasil pengukuran.

2.4 Pengambilan Data

2.4.1 Pengambilan Data Pengerolan

Pada proses pengerolan dilakukan yang di ambil adalah besar Tekanan yang terjadi, besar sudut yang diberikan dan besar tekanan yang terjadi akibat pemberian beban melalui besar sudut yang diberikan. Variasi besar sudut yang diberikan yaitu 5°, 10°, 15°, dan 20°.

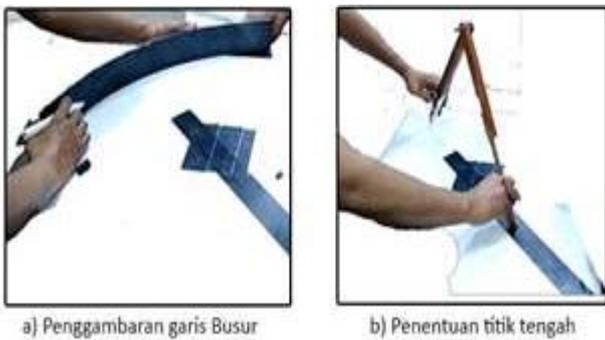
Untuk pengambilan data besar tekanan di ambil dari pressure gauge. Pressure gauge yang digunakan berkapasitas 0-25 kg/m². Caranya di lakukan melalui *hydraulic jack* dengan di pompa. Fluida masuk ke batang *jack* dan fluida pun masuk

kedalam *pressure gauge* maka tegangan terbaca. *Pressure gauge* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pressure Gauge

Setelah proses pengerolan selesai, maka selanjutnya diukur besar radius yang terbentuk. Caranya dengan menggambar lekungan spesimen yang sudah di roll, lalu dicari titik pusat lingkarannya menggunakan Jangka. Setelah jangka sudah sama besar dengan garis busur yang terbentuk, lalu di ukur dari pusat lingkaran ke garis busur yang terjadi. Cara mengukurnya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Pengukuran besar radius

Untuk memastikan hasil pengukuran radius yang dilakukan, maka hasil pengerolan digunakan sebagai mal untuk membuat lingkaran. Dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Pembuatan Lingkaran menggunakan hasil pengerolan

2.5 Pengolahan Data dan Analisis

Data yang di peroleh dari simulasi, akan dibandingkan dengan pengambilan data menggunakan strain gauge. Sedangkan pengambilan data secara manual akan diolah menggunakan metode *hand*

calculation. Dari ketiga data tersebut lalu akan dibandingkan dan dilakukan analisa. Dari *hand calculation* akan dihitung besar gaya yang terjadi pada pelat, besar radius yang terjadi saat terjadi pembebanan dari radius pelat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi Pengujian

Hasil pengujian simulasi menggunakan software abaqus sesuai dengan keadaan saat pengambilan data eksperimen. Spesimen yang digunakan pelat ukiuran panjang 400 mm x 50 mm dan tebal divariasikan dari mulai 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm. untuk pengujian eksperimen menggunakan tambahan alat ukur strain gauge menggunakan spesimen *Hollow* 17 x 37 x 1.1 mm.

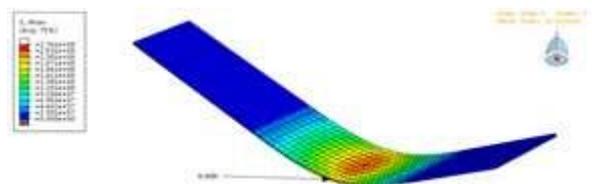
Data yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Pelat tebal 2 mm

Dari simulasi yang dilakukan tegangan yang terjadi saat melakukan pengerolan pelat 2 mm. Pada Simulasi diperhatikan tegangan pada Node 2558 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 14.

Tabel 1 Hasil Simulasi pengujian pelat 2 mm

Paramete r	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa) (Bertahap)	1145.15	1504.205	1494.124
Tegangan Bending (MPa) (langsung)	1148.22	1645.591	1875.259



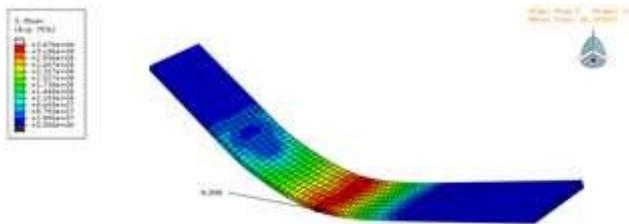
Gambar 14 Hasil Simulasi pelat 2 mm sudut 160°

2. Pelat tebal 3 mm

Dari simulasi yang dilakukan tegangan yang terjadi saat melakukan pengerolan pelat 3 mm. Pada Simulasi diperhatikan tegangan pada Node 2555 dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 15.

Tabel 2 Hasil Simulasi pengujian pelat 3 mm

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa) (Bertahap)	1692.78	1786.03	1992.78
Tegangan Bending (MPa) (langsung)	1786.028	1788.55	1984.25



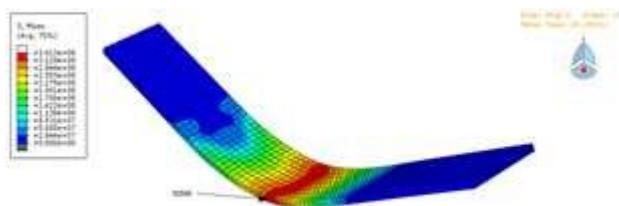
Gambar 15 Hasil Simulasi pelat 3 mm

3. Pelat tebal 4 mm

Dari simulasi yang dilakukan tegangan yang terjadi saat melakukan pengerolan pelat 4 mm. Pada Simulasi diperhatikan tegangan pada Node 2549 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 16 dibawah ini.

Tabel 3 Hasil Simulasi pengujian pelat 4 mm

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa) (Bertahap)	1013.689	1373.716	1702.701
Tegangan Bending (MPa) (langsung)	1089.748	1517.535	1906.451



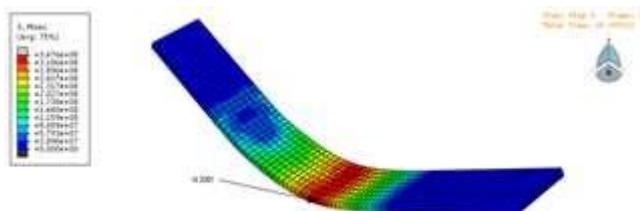
Gambar 16 Hasil Simulasi pelat 4 mm

4. Pelat tebal 5 mm

Dari simulasi yang dilakukan tegangan yang terjadi saat melakukan pengerolan pelat 5 mm. Pada Simulasi diperhatikan tegangan pada Node 2081 dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 17 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Simulasi pengujian pelat 5 mm

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa) (Bertahap)	985.33	1059.59	1209.23
Tegangan Bending (MPa) (langsung)	1009.29	1472.66	1458.98



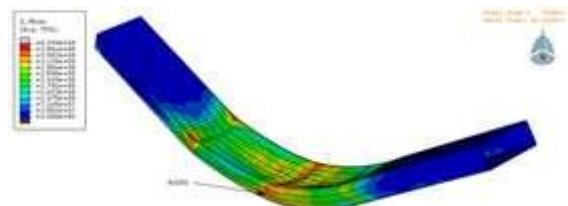
Gambar 17 Hasil Simulasi Pelat 5 mm

5. Spesimen *Hollow*

Dari simulasi yang dilakukan tegangan yang terjadi saat melakukan pengerolan *Hollow*. Pada Simulasi diperhatikan tegangan pada Node 5370 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 18.

Tabel 5 Hasil Simulasi pengujian pelat 5 mm

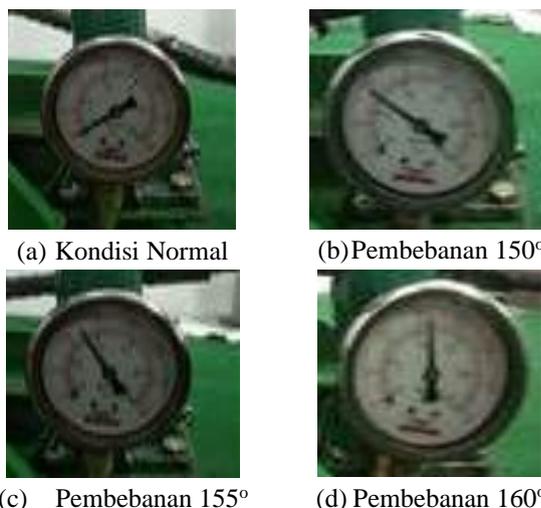
Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa) (Bertahap)	1445.832	2845.071	3496.761



Gambar 18 Hasil simulasi spesimen *Hollow*

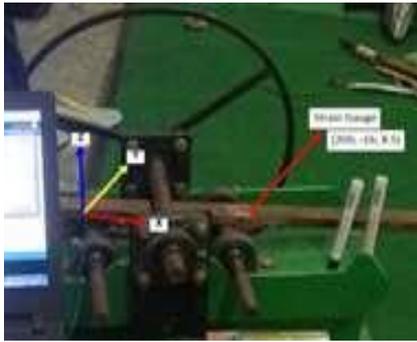
3.2 Hasil Pengujian Menggunakan *Strain Gauge*

Pengukuran tegangan menggunakan *strain gauges* pada spesimen dilakukan pada sisi samping dari *Hollow*. Tujuannya agar dapat membaca tegangan yang terjadi pada saat dilakukan pengerolan. Pengujian dilakukan menggunakan 3 variasi data pada setiap spesimennya. Pemberian beban dengan sudut 150°, 155°, dan 160° secara bertahap menuju sudut yang diinginkan. Pemberian beban secara bertahap dipilih karena pada specimen jika diberi beban langsung menuju sudut yang dituju akan terjadi deformasi pada satu tempat. Sehingga tidak dapat dilakukan pengerolan. Pembebanan diberikan menggunakan dongkrak *hydraulic* dan diukur besar sudut yang terbentuk. Besar tekanan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Kondisi pembebanan spesimen *Hollow*

Set-up pengujian menggunakan *strain gauge* dapat dilihat pada Gambar 20 dibawah ini.



Gambar 20 Posisi Peletakan *strain gauge* pada kondisi normal

Data hasil pengukuran tegangan menggunakan *strain gauge* spesimen *Hollow* pada saat pengerolan dapat dilihat pada table 6.

Tabel 6 Data Hasil pengukuran Tegangan spesimen pada Pengerolan

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
$\Delta E_o'$ (mVolt)	9.096	13.38	17.02
E_{in} (mVolt)	3500	3500	3500
GF	2.1	2.1	2.1

Dari data table 6 kemudian diolah menggunakan persamaan untuk diperoleh hasil pengukuran dalam tegangan satuan MegaPascal (MPa).[7] Berikut ini merupakan contoh pengolahan data dari pengujian dengan besar sudut 150°.

$$\varepsilon = \frac{4 \times \Delta E}{G \times E_{in}}$$

$$\varepsilon = \frac{4 \times 9.096 \text{ mVolt}}{2.1 \times 3500 \text{ mVolt}}$$

$$\varepsilon = 0.00495$$

Spesimen uji yang digunakan adalah *low carbon steel* dengan nilai Modulus elastisitas 200 GPa (asby, 2005). Setelah didapat nilai tegangannya menggunakan persamaan di atas, maka nilai tegangan (*stress*, σ) adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \varepsilon \times E$$

$$\sigma = 0.00495 \times 200000 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 990.12 \text{ MPa}$$

Karena pada saat terjadi pengerolan spesimen terdeformasi plastis maka berlaku persamaan.

$$\sigma_T = \sigma(1 + e)$$

$$\sigma_T = 990.12 \text{ MPa}(1 + 0.495)$$

$$\sigma_T = 1480.293 \text{ MPa}$$

Hasil pengolahan data pada titik pengukuran spesimen menggunakan *strain gauge* dapat dilihat pada table 7.

Tabel 7 Hasil Pengolahan data pengukuran *strain gauge* spesimen *Hollow*

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
<i>Strain</i>	0.00495	0.007282	0.00926
<i>Modulus</i>	200000	200000	200000
<i>Elastisitas</i> (MPa)			
<i>Stress</i> (MPa)	990.12	1456.47	1853.20
<i>True Stress</i> (MPa)	1480.293	2517.145	3570.393

Untuk menunjukkan kebenaran dari pengujian menggunakan *strain gauge* maka dilakukan perbandingan menggunakan perhitungan secara manual dan simulasi.

3.2.1 Perbandingan dengan perhitungan manual

Untuk menghitung secara manual digunakan persamaan. Data yang didapat pada proses pengerolan *Hollow* adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil pengukuran Secara langsung

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tekanan (kg/cm ²)	7	11	14
Gaya pada tekanan (N)	290.78	457.017	581.658
Gaya pengerolan (N)	915.957	1439.603	1832.222

Berikut ini merupakan pengolahan data dari pengambilan data secara langsung pada sudut 150°.

$$\sigma_b = \frac{Mc}{i}$$

Karena i/c sama dengan Z maka dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

Dikarenakan spesimen yang dilakukan pengujian merupakan berpenampang *Hollow* maka kita menggunakan persamaan [8]:

$$Z = \frac{1}{3} h^2 t \left(1 + 3 \frac{b}{h} \right)$$

Maka,

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_b = \frac{PL}{\frac{1}{3} h^2 t \left(1 + 3 \frac{b}{h} \right)}$$

$$\sigma_b = \frac{915.957 \text{ N} \cdot 95 \text{ mm}}{\frac{1}{3} (17)^2 \cdot 1.1 \left(1 + 3 \frac{32}{17} \right)}$$

$$\sigma_b = 135.89 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan manual diatas, hasil pengambilan data spesimen *Hollow* dapat dilihat pada table 9.

Tabel 9 Hasil perhitungan pengambilan data spesimen *Hollow*

Parameter	Pengujian Pada sudut		
	150°	155°	160°
Tegangan Bending (MPa)	135.89	213.57	271.82

Dari Proses pengerolan yang dilakukan menggunakan spesimen *Hollow*, bentuk spesimen yang diroll dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Hasil Pengerolan *Hollow*

3.2.2 Perbandingan dengan Simulasi

Untuk mengecek kebenaran dari pembacaan *strain gauge* maka dilakukan pula perbandingan dengan simulasi. Perbedaan hasil pengukuran menggunakan simulasi dan pembacaan *strain gauge* dapat dilihat pada tabel 10.

Table 10 Perbandingan Pengukuran *Strain Gauge* dan simulasi

Besar sudut (°)	Tegangan (simulasi)	Tegangan (<i>Strain Gauge</i>)	Perbedaan pengukuran (%)
150	1445.83	1480.29	2.38
155	2845.07	2517.15	11.53
160	3496.76	3570.39	2.11

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan pengolahan data, didapatkan kesimpulan dari hasil penelitian ini bahwa melalui proses simulasi dan eksperimental didapat hasil bahwa spesimen paling ideal untuk dilakukan pengerolan pada alat adalah spesimen dengan ketebalan 3 mm. pada pelat 3 mm tegangan yang terjadi besar dan dapat membentuk spesimen dengan mudah dengan gaya yang kecil. Ketika gaya yang digunakan kecil maka akan memperpanjang tingkat umur dari alat bending roll tersebut. Jika dihitung tingkat perbedaan pengukuran yang terjadi tidaklah begitu besar antara pengukuran eksperimen dan pengukuran simulasi.

Daftar Pustaka

- [1] Mustaqim, A. 2012. Perancangan Alat/Mesin Pengerol Pipa. Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- [2] Alfredo, Aweng., dan Tongam Sediando. 2018. Pembuatan Alat Bending Roll. Tugas Akhir Diploma Tiga Teknik Mesin Universitas Riau

- [3] Fauzi, Alfian. Dkk. 2015. Mesin Roll Bending Plat Akrilik. Artikel Dikti PKM-T 574-1145-1-SM
- [4] Varpe, Mohit. 2017. *Bending Analysis of SS NL Plates on 3-Roller Pyramidal Configuration Bending Machine and Its Experimental Validation*. IJARIE-ISSN. Vol-3 Issue-4 2017
- [5] Mardalil. 2016. Analisa Alat Pengerol Pelat Pada Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin UHO. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin, Vol. 2, No.2
- [6] Ktari, Ahmed. 2011. *Modeling and computation of the three-roller bending process of steel sheets*. Journal of Mechanical and Technology 26 (1)(2012) 123-128
- [7] Figliola, Richard S, Beasley, Donald E. 2011. *Theory and Design for Mechanical Measurement, 5th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.
- [8] Ashby, Michael F. 2005. *Material Selection In Mechanical Design, 3th Edition*. Cambridge : Elsevier Butterworth-Heinemann