

RANCANG BANGUN ALAT UJI *BENDING* DENGAN SISTEM *HIDROLIK*

Fahrizal Muhammad Fais

D3 Teknik Mesin, Program Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
Email: fahrizal.17050423010@mhs.unesa.ac.id

Tri Hartutuk Ningsih

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: triningsih@unesa.ac.id

Abstrak

Pentingnya pengujian *bending* untuk mengetahui kemampuan sifat mekanik dari bahan, terutama bahan baja hasil pengelasan, untuk mengetahui kelenturan bahan dan kekuatan bahan uji. Pengujian *bending* banyak dilakukan untuk menguji kemampuan tekuk material hasil pengelasan. Pada matakuliah ilmu bahan dan di laboratorium ilmu bahan belum adanya alat peraga praktikum dan pengujian *bending*. Oleh sebab itu alat *bending test* ini dibuat sangat aman untuk peraga praktikum dan pengujian di laboratorium. Dalam prakteknya, pengaruh variasi benda uji terhadap data hasil uji *bending* dan dimensi yang sudah ada pada standart ASTM E855-08 jarang diperhatikan. Untuk itu guna mempelajari pengaruh variasi dimensi benda uji pada pengujian *bending* dibuatlah alat *bending test*. Pengujian *bending* pada penelitian ini menggunakan alat uji *bending* sistem *hidrolik*. Metode penelitian yang digunakan ialah *three point bending*, yang mana alat yang digunakan pada penelitian ini merupakan modifikasi dari alat yang sudah ada. Pengujian *bending* pada penelitian ini dilakukan terhadap baja S45C satu variasi dimensi dengan tiga kali percobaan yaitu dengan ukuran 400x40mm dan memiliki ketebalan 5mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gaya tekan yang terjadi saat proses pengujian dipengaruhi oleh dimensi benda uji. Semakin besar dimensi benda uji maka semakin besar juga gaya tekan yang ditimbulkan. Pada penelitian ini didapatkan nilai rata-rata *flexural strength* baja S45C dengan tebal 5mm sebesar 213.5 Mpa, pengujian kedua 228 Mpa, dan pada pengujian yang ketiga mendapati hasil 232.1 Mpa.

Kata Kunci: Baja S45C, *Flexural Strength*, *Three Point Bending*, Uji *Bending*

Abstract

The importance of bending testing is to determine the ability of the mechanical properties of materials, especially welded steel materials, to determine the flexibility of the material and the strength of the test material. Bending testing is mostly done to test the bending ability of the welded material. In materials science courses and in materials science laboratories there are no practical teaching aids and bending testing. Therefore, this bending test tool is made very safe for practical demonstrations and testing in the laboratory. In practice, the effect of variations of the test object on the data from the bending test results and dimensions that already exist in the ASTM E855-08 standard is rarely considered. For this reason, in order to study the effect of variations in the dimensions of the test object on bending testing, a bending test tool was made. Bending testing in this study using a hydraulic system bending test equipment. The research method used is three point bending, where the tool used in this study is a modification of an existing tool. The bending test in this study was carried out on one dimensional variation of S45C steel with three trials, namely with a size of 400x40mm and a thickness of 5mm. The test results show that the compressive force that occurs during the testing process is influenced by the dimensions of the test object. The larger the dimensions of the test object, the greater the compressive force generated. In this study, the average flexural strength of S45C steel with a thickness of 5mm was 213.5 Mpa, the second test was 228 Mpa, and in the third test the results were 232.1 Mpa.

Keywords: S45C Steel, *Flexural Strength*, *Three Point Bending*, *Bending Test*

PENDAHULUAN

Pentingnya pengujian *bending* untuk mengetahui kemampuan sifat mekanik dari bahan, bahan baja terutama hasil pengelasan untuk mengetahui kelenturan

bahan dan kekuatan bahan uji. Pengujian *bending* banyak dilakukan untuk menguji kemampuan tekuk material hasil pengelasan.

Banyak bentuk pengembangan teknologi yang bertujuan untuk kebutuhan akan efisiensi kerja manusia, maka suatu upaya pengembangan teknologi yang efektif sangat diperlukan. Seiring kemajuan zaman yang semakin berkembang tentunya pentingnya pengujian sifat mekanik *bending*, adalah pada perubahan ini perlu membutuhkan operasional ekstra yaitu tenaga manusia digantikan sang energi mesin. Salah satunya merupakan Mesin penekuk plat atau yang diklaim mesin *bending*. Mesin penekuk plat merupakan pengerjaan menciptakan logam lembaran (plat) sehingga sesuai dengan bentuk dan berukuran yang telah direncanakan (Shigley, 1983). Pengerjaan plat bisa dilakukan dengan memakai keterampilan mesin, menggunakan proses tekuk *bending*. Tetapi pada sebagian wilayah di Indonesia masih banyak memakai cara manual menggunakan palu betel dan landasan (Shigley, 1983).

Uji lengkung atau biasa disebut *bending test* merupakan salah satu bentuk pengujian yang dilakukan untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu *bending test* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las, baik secara *weld metal* ataupun HAZ.

Besi plat merupakan sumber material yang relatif murah. Selain itu apabila besi plat ini mengalami penekukan yang berulang maka lama kelamaan akan rusak. Oleh sebab itu disarankan hanya dilakukan satu kali penekukan dalam pembentukan besi plat menjadi siku.

Untuk mengatasi masalah tersebut, peneliti merancang mesin tekuk plat dengan sistem tenaga hidrolik yang diberi judul “Rancang Bangun Alat Uji *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik*” yang diharapkan dapat mempercepat proses produksi, meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga untuk menghemat biaya produksi, serta menghasilkan capaian yang lebih baik dibandingkan dengan proses manual. Sehingga bisa ditarik rumusan masalah berdasarkan identifikasi yaitu:

- Bagaimana Rancang Bangun Alat Uji *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik*?
- Bagaimana proses pengujian *bending* dalam pengerjaan Alat Uji *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik*?

METODE

Perancangan pada penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* atau perancangan pengembangan berbasis eksperimen. Tujuannya untuk menentukan spesifikasi komponen peggerak utama yang akan digunakan pada rancang bangun alat uji *bending* sistem hidrolik. Analisa yang dilakukan yakni meliputi

mendapatkan desain konsep mekanisme dan spesifikasi komponen alat, membuat gambar detail, perencanaan gambar desain sebelum dan sesudah jadi alat uji. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Bahan Jurusan Teknik Mesin Unesa dan Bengkel Mesin Bubut Anugrah Jaya Surabaya, sedangkan waktu penelitian dilakukan pada tahun akademik 2021/2022.



Gambar 1. Flowchart Metode Perancangan

1. Identifikasi Masalah

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian pengembangan ini yaitu identifikasi permasalahan dengan melakukan observasi di Laboratorium Ilmu Bahan jurusan teknik mesin Unesa Surabaya. Selain observasi, metode yang digunakan dalam identifikasi masalah yaitu wawancara secara langsung pada dosen yang berkaitan dengan alat perancangan tersebut.

2. Penentuan Judul

Setelah dilakukan identifikasi masalah kemudian menentukan judul berdasarkan permasalahan yang diambil, dalam hal ini penulis memilih judul “Rancang Bangun Alat Uji *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik*”. karena secara umum permasalahan yang dihadapi yakni pada proses pembendungan yang dilakukan secara manual.

3. Pengumpulan Data Awal

Pengumpulan data awal yang dilakukan yaitu mengelompokkan data-data yang telah didapat saat identifikasi masalah, seperti bahan apa aja yang akan digunakan dan bagaimana prinsip kerja dari alat tersebut. Setelah mengklasifikasikan data data selanjutnya akan dilakukan analisa perancangan, analisa ini bertujuan agar dari data-data yang di dapat ditarik kesimpulan perancangan proses uji *bending* dengan solusi seperti apa.

4. Perancangan Alat

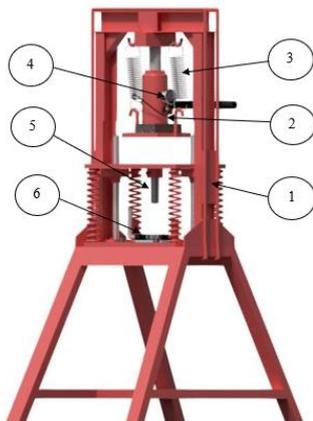
Dalam perancangan alat terdapat beberapa tahapan , adapun tahapan-tahapan dalam perancangan alat uji *bending* dengan sistem hidrolik adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Flowchart Perancangan Alat

• Desain Akhir Alat

Konsep desain alat Uji *Bending* Sistem *Hidrolik* ini menggunakan rangka dengan panjang 82 cm, lebar 9,2 mm dan tinggi 152 cm. dengan menggunakan penggerak dongkrak. Mekanisme uji *bending* menggunakan ragam untuk menahan pergeseran pada bahan uji *bending*.



Gambar 3. Desain Akhir Alat

Tabel 1. Keterangan Komponen Alat

No	Nama Komponen		
1	Rangka Utama	4	Manometer
2	Dongkrak Hidrolik	5	Penekan Bahan Uji
3	Pegas	6	Ragam Bahan Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kinerja Alat

Prosedur dalam pengerjaan rancang bangun uji *bending* dengan sistem *hidrolik* sebagai berikut:

1. Desain Rancangan

Membuat desain merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam sebuah perancangan. Untuk melakukan desain gambar pada rancang bangun ini menggunakan software Solidworks 2016. Membuat desain 3 dimensi menggunakan software Solidworks 2016 dimulai dari pembuatan gambar 2 dimensi, kemudian di *extruded* untuk menjadi gambar 3 dimensi.

2. Pemilihan bahan yang sesuai dengan kebutuhan

Besi UNP adalah besi Panjang yang memiliki bentuk seperti huruf U . Besi UNP berfungsi sebagai sambungan pada alat yang akan digunakan. Dalam merencanakan suatu alat perlu memilih bahan - bahan yang akan digunakan dengan meninjau apakah bahan yang akan digunakan sudah sesuai dengan kebutuhan baik itu secara dimensi ukuran maupun secara sifat dan karakteristik bahan. Besi baja UNP U Kanal atau U Channel Steel merupakan salah satu jenis besi baja yang dibuat sesuai standarisasi Eropa, biasanya besi baja ini digunakan sebagai bagian dari pembuatan struktural suatu bangunan maupun aplikasi industrial. Pemilihan bahan yang sesuai sangat menunjang keberhasilan dalam perencanaan tersebut, bahan yang digunakan pada rancang bangun alat uji *bending* dengan sistem *hidrolik* yaitu besi baja UNP berukuran tinggi 152 cm, Panjang 82 cm, Lebar 9,2 mm dengan ketebalan 4,5 mm. Adapun alasan menggunakan bahan besi baja UNP karena mudah dipasang, kokoh, memiliki daya tahan yang kuat.

3. Menyambung bahan-bahan tersebut dengan menggunakan las listrik

Langkah selanjutnya ialah penyambungan material yang sudah di potong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan menggunakan las listrik.

4. Proses Pengeboran

Untuk membuat lubang pada bahan dilakukan proses pengeboran, yang mana lubang tersebut digunakan untuk memudahkan perakitan dengan komponen lain menggunakan mur dan baut.

Manufaktur Alat

Spesifikasi alat praktikum uji *bending* dengan sistem *hidrolik* ini memiliki beberapa komponen utama yaitu rangka utama, tumpangan bahan uji, dan dongkrak *hidrolik*.

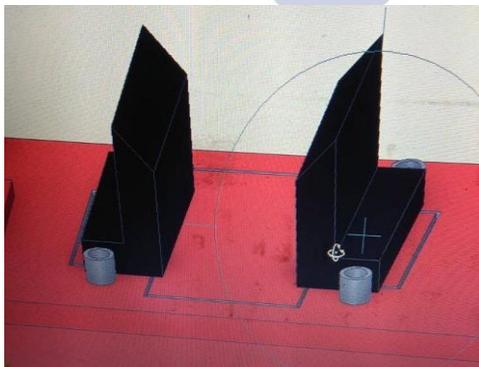
a) Rangka Utama



Gambar 4. Rangka Utama

Rangka utama yang digunakan dalam pembuatan rancang bangun uji *bending* dengan sistem *hidrolik* yakni rangka dengan bahan besi plat, ukuran tinggi 152 cm, panjang 82 cm, lebar 9,2 mm dengan tebal 4,5 mm.

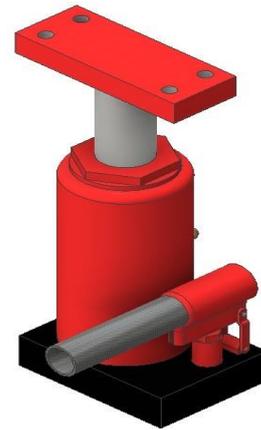
b) Tumpangan Bahan Uji



Gambar 5. Tumpangan Bahan Uji

Tumpangan Spesimen disini berfungsi sebagai penumpang batang logam uji agar logam tersebut tidak jatuh ketika di reaksi dengan adanya tekanan. Tumpangan ini akan ditumpangi batang uji yang tebalnya 5mm, tetapi untuk menjaga keseimbangan batang logam agar tidak jatuh harus ditepatkan pada tengah batang uji.

c) Dongkrak Hidrolik



Gambar 6. Dongkrak Hidrolik

Unit pengecam dari alat uji *bending* dengan sistem *hidrolik* yakni terdiri dari dongkrak. Dongkrak yang nantinya akan dipakai sebagai pengepresan bahan alat uji *bending*. Selain penggunaannya yang terbilang mudah, dongkrak hidrolik memiliki kekuatan maksimal yang bermacam-macam, mulai dari 2 ton hingga 1000 ton.

Table 2. Data yang telah diperoleh dari uji *bending*

Spesimen	P Beban yang Terjadi (kgf)	L Jarak Point (mm)	b Lebar (mm)	D Tebal (mm)
1	10,3 bar	110	40	5
2	11 bar	110	40	5
3	11,2 bar	110	40	5
Rata-Rata	10,833...			

Pada table 2 diatas terdapat data rata-rata dari 3 kali percobaan dengan jumlah dari tiap *bending* yaitu 32,5 setelah itu dibagi dengan 3 percobaan mendapatkan hasil rata-rata 10,833..

Perhitungan Spesifikasi Uji Bending

1. Penghitungan hasil uji

- Menentukan nilai luas penampang
 - Diameter hidrolik = 40 mm = 4×10^{-3} m
 - Beban = 0,5 kg

$$\begin{aligned}
 L \text{ penampang} &= \pi r^2 \\
 &= 3,14 (20 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 \\
 &= 3,14 (400 \times 10^{-6}) \text{ m}^2 \\
 &= 3,14 (4 \times 10^2 \times 10^{-6}) \text{ m}^2 \\
 &= 12,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai tekanan

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P \cdot A = F$$

$$F = P \cdot A$$

$$F = 10,3 \text{ bar} \cdot 12,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 129,37 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

- Menentukan nilai tegangan lengkung

✓ Pengujian *Bending* ke satu

Diketahui :

$$P = 129,37 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

$$L = 11 \text{ cm} = 11 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Ditanya : Tegangan Lengkung ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \cdot 129,37 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot (5 \times 10^{-9})^2 \text{ m}^2} \\ &= \frac{3 \cdot 129,37 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 25 \times 10^{-18} \text{ m}^2} \\ &= \frac{4269,21 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-18}} \text{ bar} \\ &= 21,35 \times 10^2 \text{ bar} \\ &= 21,35 \times 10^2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 21,35 \times 10^7 \text{ N/m}^2 \\ &= 21,35 \times 10^7 \text{ Pa} \\ &= 21,35 \times 10^7 \times 10^{-6} \text{ Mpa} \\ &= 21,35 \times 10^1 \text{ Mpa} \\ &= 213,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

✓ Pengujian *Bending* kedua

- Menentukan nilai tekanan

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P \cdot A = F$$

$$F = P \cdot A$$

$$F = 10,3 \text{ bar} \cdot 12,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 138,16 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

- Menentukan nilai tegangan lengkung

Diketahui :

$$P = 138,16 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

$$L = 11 \text{ cm} = 11 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Ditanya : Tegangan Lengkung ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \cdot 138,16 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot (5 \times 10^{-9})^2 \text{ m}^2} \\ &= \frac{3 \cdot 138,16 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 25 \times 10^{-18} \text{ m}^2} \\ &= \frac{4559,28 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-18}} \text{ bar} \\ &= 22,80 \times 10^2 \text{ bar} \\ &= 22,80 \times 10^2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 22,80 \times 10^7 \text{ N/m}^2 \\ &= 22,80 \times 10^7 \text{ Pa} \\ &= 22,80 \times 10^7 \times 10^{-6} \text{ Mpa} \\ &= 22,80 \times 10^1 \text{ Mpa} \\ &= 228 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

✓ Pengujian *Bending* ketiga

- Menentukan nilai tekanan

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P \cdot A = F$$

$$F = P \cdot A$$

$$F = 11,2 \text{ bar} \cdot 12,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 140,67 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

- Menentukan nilai tegangan lengkung

• Diketahui :

$$P = 140,67 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2$$

$$L = 11 \text{ cm} = 11 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Ditanya : Tegangan Lengkung ?

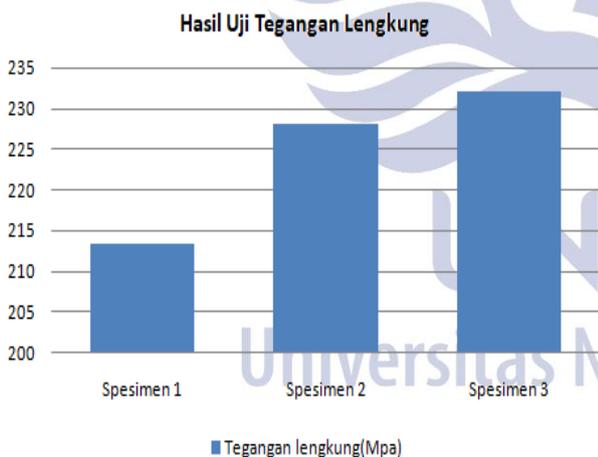
Jawab :

$$\begin{aligned} \sigma_f &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \cdot 140,67 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot (5 \times 10^{-9})^2 \text{ m}^2} \\ &= \frac{3 \cdot 140,67 \times 10^{-4} \text{ bar} \cdot \text{m}^2 \cdot 11 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 25 \times 10^{-18} \text{ m}^2} \\ &= \frac{4642,11 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-18}} \text{ bar} \\ &= 23,21 \times 10^2 \text{ bar} \\ &= 23,21 \times 10^2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 23,21 \times 10^7 \text{ N/m}^2 \\ &= 23,21 \times 10^7 \text{ Pa} \\ &= 23,21 \times 10^7 \times 10^{-6} \text{ Mpa} \\ &= 23,21 \times 10^1 \text{ Mpa} \\ &= 232,1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Gambar 7. Material dengan metode *three point bending*

Batang besi uji pada alat uji *bending* dengan sistem *hidrolik* ini digunakan sebagai media uji pengambilan data ketika alat telah beroperasi atau bekerja. Batang uji yang digunakan yaitu besi plat baja S45C yang sama dengan ukuran 5mm x 4cm karena disini kita mengukur dengan ukuran lebar ragam agar untuk pengambilan data lebih mudah dan yang sudah tertera pada standart ASTM E855-08.



Gambar 8. Diagram Hasil Uji Bending

Pada gambar diagram 8 dilakukan dengan 3 kali pengujian *bending* dengan hasil pengujian pertama 213,5 Mpa, pengujian yang kedua 228 Mpa, dan pada pengujian yang ketiga mendapati hasil 232,1 Mpa.

Berdasarkan persamaan rumus pengujian *Three Point Bending* dan juga perhitungan yang telah dilakukan maka dapat dinyatakan mesin pengujian *bending* sistem *hidrolik* dapat berfungsi sesuai harapan, sangat aman untuk peraga praktikum dan pengujian.

Berdasarkan penelitian terdahulu tidak diketahui cara penghitungan hasil tegangan tekan, hanya saja Cuma diketahui hasil pengujian 1764,85 Mpa, 1794,81 Mpa, dan ketiga 1872,83 Mpa. Dan hasil pada pengujian *bending* saya yang pertama mendapatkan hasil 213,5 Mpa, pengujian yang kedua 228 Mpa, dan pada pengujian yang ketiga mendapati hasil 232,1 Mpa.

PENUTUP

Simpulan

Dari keseluruhan proses rancang bangun yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan, beberapa hal diantaranya:

- Dalam proses pembuatan Rancang Bangun Alat Uji *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik* ini telah melakukan beberapa unit manual dengan proses manufaktur, yaitu pada identifikasi desain alat, pemilihan bahan, pemotongan bahan tumpuan spesimen uji, dan pengelasan. Berdasarkan desain yang telah diimplementasikan terdapat komponen utama yang berfungsi menekuk dengan menggunakan penggerak dari dongkrak, penekan, dan penumpu spesimen.

Dalam proses pengujian alat *bending* dengan sistem *hidrolik* yang telah dilakukan mesin pengujian *bending* sistem *hidrolik* dapat berfungsi sesuai harapan, sangat aman untuk peraga praktikum dan pengujian dilaboratorium. Pada penelitian ini didapatkan nilai rata-rata *flexural strength* baja S45C dengan tebal 5mm sebesar 213,5 Mpa, pengujian kedua 228 Mpa, dan pada pengujian yang ketiga mendapati hasil 232,1 Mpa.

Saran

Dalam pengujian rancang bangun alat uji *bending* dengan sistem *hidrolik* adanya kekurangan pada proses pengujian maka penulis menyarankan sebagai berikut :

- Penempatan *point* diharuskan lebih presisi lagi agar kinerja dari alat uji *bending* lebih maksimal lagi.
- Pada saat melakukan pengujian *Bending* Dengan Sistem *Hidrolik* sebaiknya kencangkan mur yang ada di dongkrak pada manometer dan dikasih sile tipe pada mur yang terhubung oleh manometer agar fluida tidak keluar.
- Untuk meningkatkan efektifitas kerja mesin maka perlu ditambahkan oli pada dongkrak uji *bending* dengan sistem *hidrolik* sehingga ketika dilakukan percobaan akan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Shigley, J.E., dan Mitchell L. D. 1983. *Mechanical Engineering Design, Fourth edition*. New York: Mc Grow-Hill, Inc.
- Suarsana.2016 “Jurnal Mesin Press *Hidolik* Semi-Otomatis”. Denpasar: Universitas Udayana Press
- Artikel PT. *Hidrolik* Panca Besama. 2020. *Pengertian Sistem Hidrolik*. Jakarta Barat
- Jurnal “Bab II Tinjauan Pustaka”. <http://eprints.polsri.ac.id/3222/3/BA-B%20II.pdf>, diakses pada 16 November 2021, pukul 17.01
- Siswanto, W.A. 2006. Simulasi *Springback* Benchmark Problem Cross Member Numisheet 2005, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- A Makhrus. 2016. “Bab II Tinjauan Pustaka”. <http://eprints.undip.ac.id/47411/3/AB-II.pdf>, diakses pada 15 November 2021, pukul 14.25
- ASTM International. 2013. *Standart Test Methods for Bend Testing of Metalic Flat Materials for spring Applications Involving Static Loading*
- Simanjuntak, Adi Putra. 2016. “Pengujian Tegangan Tekan dan Bending Pada Material Logam”. <http://adiputrasimanjuntak.blogspot.com/2016/08/pengujian-tegangan-tarik-geser-tekan.html>, diakses pada 20 November 2021, pukul 11.09
- Tama Aldi, Budiarto Untung. 2020. “Analisa Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, dan Kekerasan Baja S45C” dalam Jurnal Teknik Perkapalan. Semarang
- Klop mart. 2020. 11 Mei. “Pengertian Besi Baja UNP”, <https://www.klopmart.com/article/detail/apa-itu-besi-baja-unpkanal-uchannel#:~:text=Besi%20baja%20UNP%20U%20Kanal,sebuah%20ba ngunan%20ataupun%20aplikasi%20 industrial.&text=Biasanya%20Bes i%20baja%20UNP%20ini,dan%20t ersedia%20dalam%20berbagai%20 ukuran>. Diakses pada 3 Januari 2022, pukul 19.22
- Setiawan Parta. 2021. “Jenis dan Fungsi Logam”, <https://www.gurupendidikan.co.id/pengertian-logam/>, diakses pada 21 Agustus 2021, pukul 11.21
- Ari Wibowo Tyas, Purwo Raharjo Wahyu, Kusharjanta Bambang. 2014. “Perancangan dan Analisis Kekuatan Konstruksi Mesin Tekuk Plat *Hidrolik*” dalam MEKANIKA Volume 12 Nomor 2. Surakarta: Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin
- Artikel Persada Wijaya Sentosa. 2019. *Mesin Bending Plat, Besi dan Baja*. <https://persadawijayasentosa.com/2019/07/13/mesin-bending-plat-besi-dan-baja/>, diakses pada 13 November 2021, pukul 18.33
- Manusia Biasa. 2010. Definisi dan Macam Macam Tegangan. <http://funny-mytho.blogspot.com/2010/12/definisi-dan-macam-macam-tegangan.html>, diakses pada tanggal 13 November 18.15