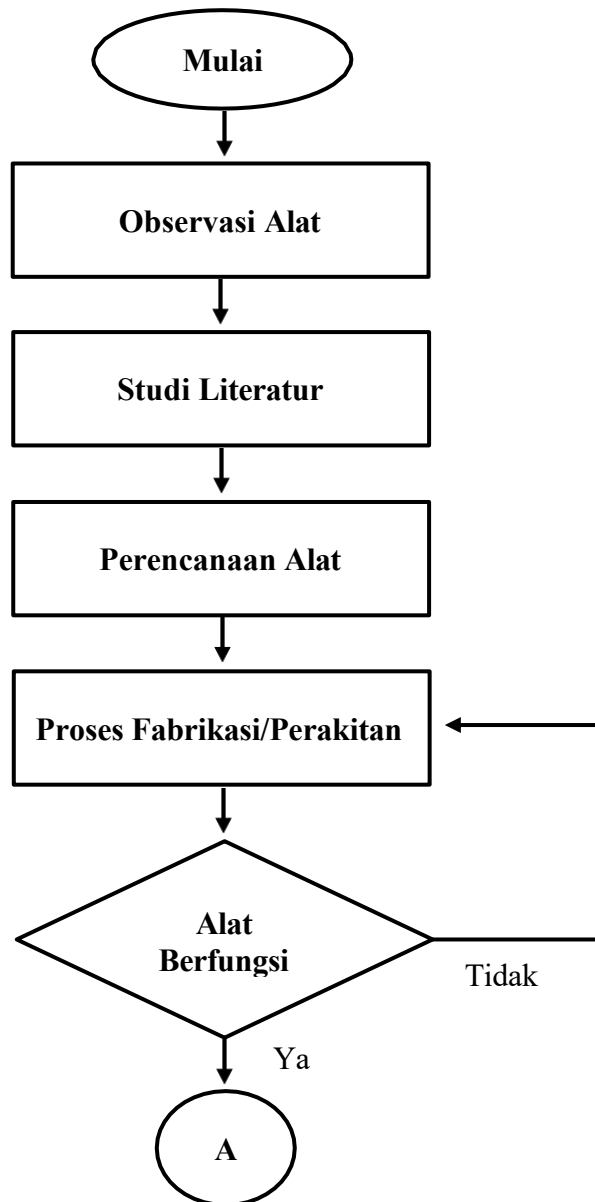


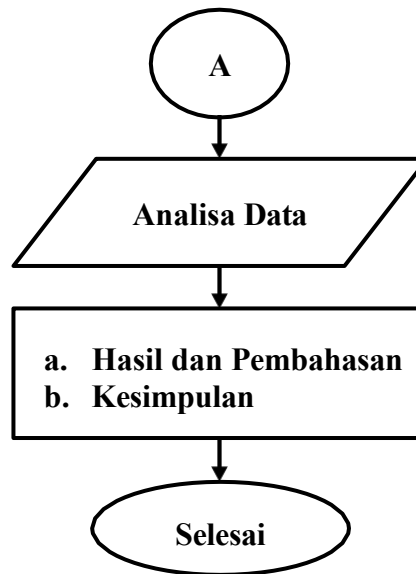
BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Diagram alir dari proyek akhir Mesin Uji Geser Material Tembaga Menggunakan Arduino digambarkan sebagai berikut :





Gambar 3. 1 Diagram alir mesin uji geser material basis Arduino

3.2 Metodologi Penelitian

a. Observasi Alat

Langkah pertama yang dilakukan pada proyek akhir ini menggunakan metode observasi pada alat pengujian geser yang sudah ada di kampus D4-Rekayasa Perancangan Mekanik. Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menemukan masalah kerusakan yang mungkin terjadi pada mesin tersebut, sehingga dapat dilakukan perbaikan atau pengembangan lebih lanjut.

b. Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan pengetahuan dan informasi terkait pengujian geser, termasuk teori dasar, metode pengujian, dan aplikasi dari pengujian geser dalam berbagai bidang. Studi ini penting untuk memberikan landasan/dasar teori dalam pengembangan alat.

c. Perencanaan Alat

Setelah mengumpulkan informasi dari studi literatur, perencanaan alat dilakukan untuk menganalisis setiap fungsi dari komponen-komponen yang

ada pada mesin uji geser. Bertujuan untuk menilai kinerja alat, mengidentifikasi komponen, serta menentukan apakah alat tersebut memenuhi standar yang diperlukan untuk pengujian geser.

d. Proses Fabrikasi/Perakitan

Pada tahap ini, komponen-komponen yang mendapatkan total petimbangan tertinggi pada matriks keputusan dirakit menjadi satu kesatuan mesin uji geser. Komponen-komponen yang telah dipertimbangkan antara lain, pisau pemotong miring, sistem penggerak hidrolik *hand pump*, sensor *load cell*, dan *software* Arduino. Proses ini melibatkan pemotongan, pengelasan, dan pemasangan komponen untuk memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

e. Analisa Data

Proses pengumpulan data dilakukan pada spesimen yang telah diuji menggunakan alat uji geser. Data yang diperoleh dan diolah mencakup beban maksimum (*load max*) serta kekuatan geser (*shear strength*) yang dapat ditahan oleh spesimen. Pengujian pada spesimen diulang sampai memenuhi kriteria keterulangan hasil; jika belum memenuhi, maka kalibrasi ulang akan dilakukan. Pengolahan data dari hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan uji homogenitas data.

f. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis dan interpretasi terhadap hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya. Analisis ini mencakup evaluasi desain alat uji geser serta hasil pengujian yang ditampilkan oleh alat setelah proses pengujian pada spesimen.

g. Kesimpulan

Pada tahap ini akan membahas kesimpulan dari hasil pengolahan data dengan memperhatikan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian dan kemudian memberikan saran perbaikan yang mungkin dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

3.3 Matriks Keputusan

Dalam proses perencanaan mesin pengujian geser ini terdapat beberapa pilihan alternatif yang bertujuan untuk memilih dan menetapkan desain yang memenuhi kriteria perancangan. Terdapat tiga alternatif yang dapat dipertimbangkan pada setiap komponen penting.

A. Komponen Pisau Pemotong

1. Pisau Pemotong Rata (Alternatif 1)

Alat dengan pisau pemotong rata memiliki kemampuan geser yang baik, ketahanan yang tinggi, kemudahan dalam pembuatan, dan biaya yang paling rendah dibandingkan alternatif lainnya. Meskipun memiliki kekurangan dalam hal gaya geser yang tidak merata pada beberapa jenis material.

2. Pisau Pemotong Miring (Alternatif 2)

Pisau pemotong miring menawarkan pendekatan berbeda dalam pengujian geser, dengan beberapa keunggulan dan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Desain miringnya membantu mengurangi gaya gesek dan panas yang timbul selama pengujian, sehingga berpotensi memperpanjang umur alat dan mengurangi distorsi pada material uji. Pisau miring lebih efektif dalam menangani material yang keras atau tebal. Namun, perlu diingat bahwa kemampuan gesernya mungkin tidak seoptimal pisau rata.

3. Pisau Pemotong *V-Shaped* (Alternatif 3)

Pisau pemotong *V shape* memiliki keunggulan dalam menghasilkan gaya geser yang terpusat pada satu titik, sehingga sangat ideal untuk digunakan pada material yang keras atau tebal. Proses pembuatan pisau pemotong *V-shape* relatif lebih mudah jika dibandingkan dengan pembuatan pisau miring.

Setelah ada alternatif komponen pisau pemotong, maka pemilihan alternatif perancangan dilakukan dengan cara melakukan penilaian terhadap alat berdasarkan kriteria berdasarkan kriteria yang diinginkan. Setiap alternatif akan diberikan poin 1 s/d 5 apabila memenuhi kriteria perancangan, dan akan diberi poin 0 bila tidak memenuhi. Alternatif yang mendapatkan nilai tertinggi adalah desain mesin yang dipilih. Hasil dari penilaian yang dilakukan terhadap alternatif perancangan dapat merujuk pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Penilaian kriteria alternatif pisau pemotong

Kriteria	Alternatif		
	Pisau Pemotong Rata	Pisau Pemotong Miring	Pisau Pemotong <i>V- Shaped</i>
Efisiensi	4	4	4
Ketahanan	3	4	3
Kemudahan Dalam Pembuatan	4	4	2
Biaya yang Relatif Murah	3	3	1
Total Pertimbangan	14	15	10

B. Komponen Penggerak

1. Pneumatik (Alternatif 1)

Sistem pneumatik menawarkan keunggulan dalam kesederhanaan dan biaya yang relatif terjangkau, menjadikannya pilihan menarik untuk berbagai aplikasi. Selain itu, sistem ini menawarkan kecepatan kerja yang tinggi,

memungkinkan operasi yang cepat dan responsif. Penggunaan udara bertekanan rendah sebagai fluida kerja juga memberikan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem hidrolik. Namun, perlu diingat bahwa gaya yang dihasilkan oleh sistem pneumatik relatif kecil, sehingga kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya besar. Akurasi pengendalian gerakan juga menjadi tantangan, karena sistem ini kurang presisi dibandingkan dengan hidrolik. Selain itu, kebisingan yang dihasilkan saat beroperasi dan potensi kebocoran udara menjadi beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan.

2. Hidrolik (Alternatif 2)

Hidrolik *hand pump* memiliki keunggulan dalam menghasilkan gaya yang sangat besar dengan presisi tinggi, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan besar dan kontrol yang akurat. Kemudahan pengendalian oleh operator dan tidak diperlukannya sumber daya eksternal seperti listrik menambah nilai lebih pada alat ini. Selain itu, perawatannya yang relatif mudah menjamin keberlanjutan penggunaannya dalam jangka panjang. Namun, kecepatan kerja hidrolik *hand pump* tergolong lambat karena mengandalkan tenaga manusia, sehingga kurang efisien untuk aplikasi yang membutuhkan kecepatan. Pengoperasiannya juga membutuhkan tenaga fisik yang cukup besar, dan potensi kebocoran oli hidrolik menjadi salah satu kekurangan yang perlu diantisipasi.

3. *Power Pack* (Alternatif 3)

Power pack hidrolik menawarkan keunggulan dalam menghasilkan daya sangat besar dengan efisiensi tinggi, memungkinkan kontrol otomatis dan

presisi gerakan. Namun, *power pack* hidrolik memiliki kekurangan seperti biaya investasi awal yang mahal, komponennya kompleks dan memerlukan perawatan khusus, membutuhkan sumber daya listrik, dan berpotensi menimbulkan bahaya jika terjadi kebocoran oli bertekanan tinggi.

Setelah ada alternatif komponen penggerak, maka pemilihan alternatif perancangan dilakukan dengan cara melakukan penilaian terhadap alat berdasarkan kriteria berdasarkan kriteria yang diinginkan. Setiap alternatif akan diberikan poin 1 s/d 5 apabila memenuhi kriteria perancangan, dan akan diberi poin 0 bila tidak memenuhi. Alternatif yang mendapatkan nilai tertinggi adalah desain mesin yang dipilih. Hasil dari penilaian yang dilakukan terhadap alternatif perancangan dapat merujuk pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Penilaian Kriteria Alternatif Sistem Penggerak

Kriteria	Alternatif 1 Pneumatik	Alternatif 2 Hidrolik <i>Hand pump</i>	Alternatif 3 <i>Power Pack</i>
<i>Controller</i>	3	4	4
Tekanan Kerja	1	4	3
Kecepatan Kerja	4	3	4
Biaya yang Relatif Murah	2	4	1
Total Pertimbangan	10	15	12

C. Komponen Sensor

1. *Load Cell Sensor* (Alternatif 1)

Load cell unggul dalam akurasi dan linearitas pengukuran, menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian tinggi. Rentang pengukurannya yang luas, dari kilogram hingga ton, memungkinkan penggunaannya dalam berbagai skala industri. Ketahanannya terhadap beban kejut dan getaran memastikan keandalan dalam lingkungan yang

keras, menjadikannya solusi yang kokoh untuk aplikasi yang menantang. Kekurangan dari sensor ini terletak di ukuran dan berat *load cell* yang relatif besar dapat menjadi kendala dalam beberapa aplikasi. Harganya yang mahal juga menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan sensor. Kebutuhan akan kalibrasi secara berkala juga perlu diperhatikan untuk menjaga akurasi pengukuran. Selain itu, sinyal outputnya yang kecil (mV) memerlukan penguat sinyal eksternal, yang dapat menambah kompleksitas sistem.

2. *Force Sensor* (Alternatif 2)

Force sensor mempunyai keunggulan dalam mengukur gaya secara langsung dan tersedia dalam berbagai jenis dan ukuran yang sesuai untuk berbagai aplikasi. Beberapa jenis *force sensor* bahkan dirancang tahan terhadap lingkungan ekstrem, menjadikannya pilihan yang tepat untuk kondisi yang menantang. Adapun kekurangan dari *force sensor* yaitu akurasi dan linearitas *force sensor* umumnya lebih rendah dibandingkan dengan *load cell*, sehingga mungkin kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian tinggi. Rentang pengukuran *force sensor* juga terbatas, dan beberapa jenisnya sensitif terhadap perubahan suhu dan kelembaban, yang dapat mempengaruhi kinerja dan akurasi pengukuran.

3. *Strain Gauge* (Alternatif 3)

Strain gauge memiliki kelebihan dalam presisi dan sensitivitas yang sangat tinggi, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian ekstrem. Ukurannya yang kecil dan ringan memungkinkan pemasangan pada berbagai material, memberikan

fleksibilitas dalam penggunaan. Responsnya yang cepat terhadap perubahan gaya juga menjadi nilai tambah, memungkinkan pengukuran yang dinamis dan *real-time*. Namun, *strain gauge* memiliki keterbatasan karena hanya mengukur regangan, sehingga memerlukan integrasi dengan komponen lain seperti jembatan *Wheatstone* untuk mengukur gaya.

Setelah ada alternatif komponen sensor, maka pemilihan alternatif perancangan dilakukan dengan cara melakukan penilaian terhadap alat berdasarkan kriteria berdasarkan kriteria yang diinginkan. Setiap alternatif akan diberikan poin 1 s/d 5 apabila memenuhi kriteria perancangan, dan akan diberi poin 0 bila tidak memenuhi. Alternatif yang mendapatkan nilai tertinggi adalah desain mesin yang dipilih. Hasil dari penilaian yang dilakukan terhadap alternatif perancangan dapat merujuk pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Penilaian Kriteria Alternatif Sensor

Kriteria	Alternatif 1 <i>Load Cell Sensor</i>	Alternatif 2 <i>Force Sensor</i>	Alternatif 3 <i>Strain Gauge</i>
Akurasi	4	2	2
Sensitivitas	3	3	4
Rentang Pengukuran	4	3	2
Biaya yang Relatif Murah	2	3	4
Total Pertimbangan	13	11	12

D. Komponen *Software*

1. *Arduino* (Alternatif 1)

Arduino memiliki keunggulannya dalam kemudahan penggunaan dan biaya yang terjangkau. Kemudahan ini didukung oleh komunitasnya yang besar sehingga proses pembelajaran dan pencarian solusi menjadi lebih mudah. Namun, kinerja *Arduino* memiliki batasan, terutama dalam

menangani proyek-proyek yang kompleks. Keterbatasan ini disebabkan oleh tidak adanya sistem operasi dan bahasa pemrogramannya (C/C++). Meskipun demikian, bagi pemula yang ingin mempelajari dasar-dasar elektronika dan pemrograman, Arduino tetap merupakan pilihan yang sangat baik.

2. *Raspberry Pi* (Alternatif 2)

Raspberry Pi adalah komputer mini yang serbaguna dan bertenaga, ideal untuk berbagai proyek mulai dari media *center* hingga aplikasi *Internet of Things* (IoT). Kemampuannya menjalankan sistem operasi *Linux* memberikan fleksibilitas dan dukungan untuk berbagai bahasa pemrograman, memungkinkan pengguna mengembangkan aplikasi yang kompleks. Konektivitasnya yang lengkap juga memudahkan integrasi dengan perangkat lain. Namun, untuk memanfaatkan *Raspberry Pi* secara optimal mengharuskan pengguna membutuhkan pengetahuan yang lebih mendalam tentang *Linux* dan pemrograman. Selain itu, harganya yang lebih mahal dibandingkan Arduino mungkin menjadi pertimbangan tersendiri.

3. *LabVIEW* (Alternatif 3)

LabVIEW sangat ideal untuk aplikasi pengukuran dan pengujian karena keunggulannya dalam visualisasi data dan antarmuka pengguna yang intuitif. Dukungannya terhadap akuisisi data dari berbagai perangkat keras dan *library* yang lengkap mempermudah pengembangan aplikasi yang kompleks. Kekurangan dari *LabVIEW* yaitu merupakan perangkat lunak berbayar dengan harga yang relatif mahal dan membutuhkan waktu pembelajaran yang lebih lama untuk menguasai semua fiturnya.

Setelah ada alternatif komponen *software*, maka pemilihan alternatif perancangan dilakukan dengan cara melakukan penilaian terhadap alat berdasarkan kriteria berdasarkan kriteria yang diinginkan. Setiap alternatif akan diberikan poin 1 s/d 5 apabila memenuhi kriteria perancangan, dan akan diberi poin 0 bila tidak memenuhi. Hasil dari penilaian yang dilakukan terhadap alternatif perancangan dapat merujuk pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Penilaian Kriteria Alternatif *Software*

Kriteria	Alternatif 1 Arduino	Alternatif 2 <i>Raspberry Pi</i>	Alternatif 3 <i>LabVIEW</i>
Pengetahuan Peggunaan	4	2	1
Sistem Operasi	3	3	2
<i>Manage Library</i>	4	4	3
Biaya	4	4	2
Total Pertimbangan	15	13	8

3.4 Perencanaan Alat

3.4.1 Menentukan Gaya Bahan Uji

Material Uji : Tembaga

Diameter bahan uji : 3,5 mm

Tensile Strength : 210 MPa - 390 MPa

a) Luas Penampang Material Uji

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \times (1,75 \text{ mm})^2$$

$$A = 3,14 \times 3,0625 \text{ mm}$$

$$A = 9,6211275 \text{ mm}^2$$

$$A = 9,62 \text{ mm}^2$$

$$A = 9,62 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

b) Kekuatan Geser Maksimum Material Uji

$$\tau_{\max} = 0,8 \times 390 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = 312 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = 312 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Gaya Geser Material Uji (F_{bahan}) :

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

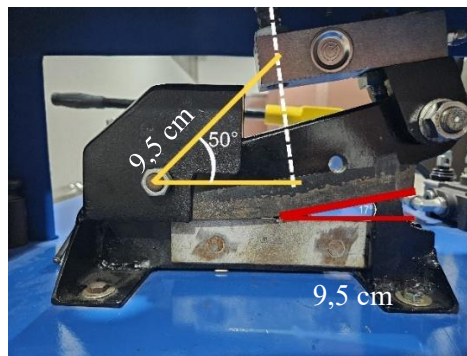
$$F_{\text{bahan}} = \tau_{\max} \times A$$

$$F_{\text{bahan}} = 312 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times 9,62 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_{\text{bahan}} = \mathbf{3.001,44 \text{ N}}$$

Jadi gaya yang dibutuhkan untuk memotong atau menggeser material berdiameter 3 mm adalah sebesar 3.001,44 Newton.

3.4.2 Menentukan Spesifikasi Silinder Piston



Gambar 3.2 Pisau pemotong

a) Menentukan Spesifikasi Piston yang

$$\text{Jarak engsel ke titik potong (L}_{\text{material}}) : 9,5 \text{ cm} \times \cos 17^\circ$$

$$\text{Gaya yang dikeluarkan material (F}_{\text{material}}) : 3.001,44 \text{ Newton}$$

$$\text{Jarak engsel ke silinder (L}_{\text{silinder}}) : 9,5 \text{ cm} \times \cos 50^\circ$$

$$M_{\text{silinder}} = M_{\text{material}}$$

$$F_{\text{silinder}} \times L_{\text{silinder}} \times \cos(\theta) = F_{\text{material}} \times L_{\text{material}} \times \cos(\theta)$$

$$\begin{aligned}
F_{\text{silinder}} &= \frac{F_{\text{material}} \times L_{\text{material}} \times \cos(\theta)}{L_{\text{silinder}} \times \cos(\theta)} \\
F_{\text{silinder}} &= \frac{3.001,44 \text{ N} \times 0.095 \text{ m} \times \cos(17^\circ)}{0.095 \text{ m} \times \cos(50^\circ)} \\
F_{\text{silinder}} &= \frac{3.001,44 \text{ N} \times 0.095 \text{ m} \times 0,9563}{0.095 \text{ m} \times 0,6428} \\
F_{\text{silinder}} &= \frac{272,67632184 \text{ N/m}}{0,061066 \text{ m}} \\
F_{\text{silinder}} &= 4.465,272 \text{ N} \\
\mathbf{F_{\text{silinder}}} &= \mathbf{4.465,3 \text{ N}} \\
F_{\text{silinder}} &= \frac{4.465,3 \text{ N}}{9,81} \\
F_{\text{silinder}} &= 455,178 \text{ Kg} \\
\mathbf{F_{\text{silinder}}} &= \mathbf{455,2 \text{ Kg}}
\end{aligned}$$

Jadi untuk memotong spesimen uji piston, silider mengeluarkan gaya sebesar 4.465,3 N atau setara dengan 455,2 Kg. Dengan mempertimbangkan ukuran dan desain piston silinder yang di jual di pasaran maka mesin pengujian geser material menggunakan piston silinder dengan diameter 50 mm.

3.4.3 Menentukan Spesifikasi Pompa



Gambar 3. 3 Dimensi pompa

$$\begin{aligned}
\text{Gaya potong spesimen (F}_{\text{potong}}) &= 4.465,3 \text{ N} \\
\text{Diameter tabung oli (D)} &= 6 \text{ cm} &= 0,06 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{Diameter luar piston dorong (d)} = 2,8 \text{ cm} = 0,028 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tuas ke tengah titik dorong (L1)} = 56 \text{ cm} = 0,56 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pompa tanpa tuas (L2)} = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

a) Tekanan Hidrolik pada Tabung Oli (p_1)

➤ Menghitung Luas Permukaan Hidrolik

$$A_1 = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \times (0,06)^2}{4}$$

$$A_1 = 2,827 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

➤ Tekanan Hidrolik Tabung

$$p_1 = \frac{F_{Potong}}{A_1}$$

$$p_1 = \frac{4.465,3 \text{ N}}{2,827 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$p_1 = 1.579.518,925 \text{ N/m}^2$$

$$p_1 = 1,579 \times 10^6 \text{ Pa atau } 15,79 \text{ bar}$$

b) Gaya yang Dibutuhkan *Plunger*

➤ Luas Permukaan *Plunger*

$$A_1 = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \times (0,028)^2}{4}$$

$$A_1 = 6,157 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

➤ Gaya yang Dibutuhkan *Plunger*

$$F_{Plunger} = p_1 \times A_{plunger}$$

$$F_{Plunger} = 1.579.518,925 \text{ N/m}^2 \times 6,157 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_{Plunger} = 972 \text{ N}$$

c) Gaya tangan yang dibutuhkan

$$F_{\text{tangan}} \times L_1 = F_{\text{Plunger}} \times L_2$$

$$F_{\text{tangan}} = \frac{F_{\text{Plunger}} \times L_2}{L_1}$$

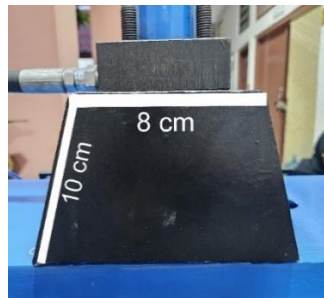
$$F_{\text{tangan}} = \frac{972 \text{ N} \times 0,04 \text{ m}}{0,56 \text{ m}}$$

$$F_{\text{tangan}} = 69,43 \text{ N}$$

$$F_{\text{tangan}} = 7,08 \text{ Kg}$$

Jadi pompa hidrolik manual CP-700 dalam pengoperasian mesin uji geser untuk memotong material Tembaga, tangan memompa gaya sebesar 69,43 N atau 7,08 Kg. Hal ini masih dalam batas kemampuan pria 200 Newton maupun wanita 150 Newton.

3.4.4 Menentukan Dudukan Silinder Piston A



Gambar 3. 4 Dudukan silinder

$$\text{Gaya Silinder (F)} = 4.465,3 \text{ N}$$

$$\text{Material Struktur} = \text{Mild Steel A36}$$

$$\text{Lebar Pelat} = 8 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Pelat} = 9,8 \text{ mm} = 0,098 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 19,5 \text{ mm} = 0,195 \text{ m}$$

$$\text{Tebal plat web} = 0,8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$E \text{ (modulus elastis)} = 200 \text{ Gpa}$$

a) Momen Inersia

Untuk penampang persegi panjang horizontal

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{0,195 \times 0,008^3}{12}$$

$$I = 8,32 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

b) Tegangan Lentur Pelat A36

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{(4.465,3 \times 0,195) \left(\frac{0,008}{2}\right)}{8,32 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 418,6 \text{ Mpa}$$

Karena tegangan besar dari 250 Mpa (tegangan pelat A36) yaitu 418,6 MPa maka A36 tidak mampu menahan beban ketika pemotongan material. Dibutuhkan penyanggah untuk menahannya, maka diberikan besi tulangan beton tulangan berdiameter 12 mm berjumlah 4 buah dan pelat siku di kanan-kiri pelat *mild steel*

➤ Besi 4 batang tulangan

$$I_{\text{Tulangan}} = 4 \times A \times y^2$$

$$I_{\text{Tulangan}} = 4 \times \left(\frac{\pi \times 0,012^2}{4}\right) \times \left(\frac{0,012}{2}\right)^2$$

$$I_{\text{Tulangan}} = 1,63 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

➤ Total Momen Inersia Total

$$I_{\text{pelat dan tulangan}} = 8,32 \times 10^{-9} + 1,63 \times 10^{-8}$$

$$I_{\text{pelat dan tulangan}} = 2,462 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

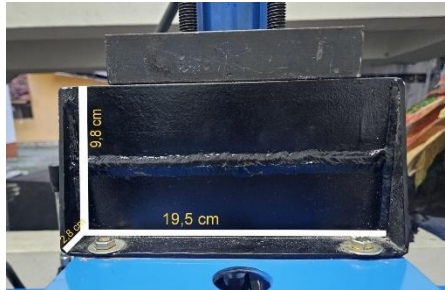
Maka tegangan lentur total maka :

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{(4.465,3 \times 0,195) \times \left(\frac{0,008}{2}\right)}{2,462 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 155.072.751,6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 155,072 \text{ MPa}$$



Gambar 3. 5 Pelat siku

c) Pelat Siku Kanan-kiri

$$\text{Tinggi} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$I = \frac{0,008 \times 0,1^3}{12}$$

$$I = 6,67 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Maka inersia total 2 siku :

$$I_{\text{siku}} = 2 \times 6,67 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{siku}} = 1,334 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Maka total inersia setelah pelat diberi penyangga adalah :

$$I_{\text{total}} = I_{\text{pelat dan tulangan}} + I_{\text{siku}}$$

$$I_{\text{total}} = 2,462 \times 10^{-8} \text{ m}^4 + 1,334 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{total}} = 1,358 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Maka tegangan lentur total maka :

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{(4.465,3 \times 0,195) \times \left(\frac{0,098}{2}\right)}{1,358 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma = 31.418.219,07 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 31,418 \text{ MPa}$$

Sehingga pelat *mild steel* A36 ditambah dengan pelat siku kanan-kiri dan besi tulangan beton tulangan berdiameter 12 mm sudah sangat aman menahan beban selama pengoperasian mesin uji geser, karena maksimal tegangan ada di 250 MPa.

d) Defleksi/Lendutan (Balok sederhana)

Maka terjadi defleksi balok sederhana beban di titik tengah :

$$\delta = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I}$$

$$\delta = \frac{4.465,3 \times 0,195^3}{3 \times 200 \times 10^9 \times 1,358 \times 10^{-6}}$$

$$\delta = \frac{33,109}{8,148 \times 10^5}$$

$$\delta = 0,00004 \text{ m atau } 0,04 \text{ mm}$$

Sehingga penggunaan pelat *mild steel* ditambah besi tulang beton tulangan 4 buah mampu menahan gaya ketika pemotongan spesimen dilakukan.

3.4.5 Menghitung Dudukan Silinder dan *Cover* Pemotong



Gambar 3. 6 Dudukan silinder dan *cover* pemotong

$$\text{Gaya silinder (F)} = 4.465,3 \text{ N}$$

$$\text{Tebal pelat (t)} = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pelat} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 19,5 \text{ cm} = 0,195 \text{ m}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja (E)} = 200 \text{ GPa} = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

Apakah *cover* cukup untuk menahan silinder selama pemotongan spesimen?

a) Momen inersia pelat datar mendatar :

$$I = \frac{b \times t^3}{12}$$

$$I = \frac{0,195 \text{ m} \times (0,003 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = 4,3875 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

b) Lendutan maksimum yang dialami :

$$\delta = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

$$\delta = \frac{4.465,3 \text{ N} \times (0,6 \text{ m})^3}{48 \times 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 \times 4,3875 \times 10^{-10}}$$

$$\delta = 0,228 \text{ m}$$

$$\delta = 22,8 \text{ cm}$$

Jadi strukturudukan/pelat U tidak aman menerima beban 4.465,3 N. Harus diperkuat dengan menambah struktur rangka di bawahnya sebagai penyanggah, hal ini juga membuat getaran pada mesin pengujian geser.

3.4.6 Menghitung Baut Pisau Pemotong



Gambar 3.7 Baut pisau pemotong

n = jumlah baut = 2 (engsel dan dudukan *load cell*)

L₁ = Jarak engsel kiri ke titik potong = 0,095 m

L₂ = Jarak engsel kiri ke baut kanan = 0,19 m

σ = baja grade 8.8 = 640 MPa

τ_{izin} = 0,8 x 640 MPa = 512 MPa

a) Luas Penampang Minimum :

$$A = \frac{F}{\tau_{ijin}}$$

$$A = \frac{4.465,3 \text{ N}}{512 \times 10^6 \text{ N/mm}^2}$$

$$A = 8,72 \text{ mm}^2$$

b) Diameter baut

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,72}{\pi}}$$

$$d = 3,3 \text{ mm}$$

Merujuk standar *dimensions of screw threads* atau '*Design dimensions of screw threads, bolt, and nuts to IIS:4218*' Maka,

M5 = 4,02 mm (cukup)

M6 = 4,77 mm (aman)

M8 = 6,47 mm (lebih aman)

Maka minimum baut adalah M6 namun dengan mempertimbangkan kekuatan, pemasangan, dan torsi mesin akan dipasang M12 untuk engsel dan M18 untuk pelat U dudukan *load cell*.

c) Kekuatan Geser Pelat U

Baut M18 menembus pelat U dengan tebal 6 mm, maka luas geser pelat :

$$A_{\text{geser}} = t \times d$$

$$A_{\text{geser}} = 6 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$$

$$A_{\text{geser}} = 108 \text{ mm}$$

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

$$\tau = \frac{4.465,3 \text{ N}}{108 \text{ mm}}$$

$$\tau = 41,35 \text{ N/mm}$$

$$\tau = 41,35 \text{ MPa}$$

Maka tegangan pada pelat U 41,35 MPa sedangkan tegangan bahan pelat *mild steel* yaitu 250 MPa.

3.4.7 Menghitung Baut pada Dudukan Piston



Gambar 3. 8 Baut pada dudukan piston

Gaya Silinder (F) = 4.465,3 N

(*Safety Factor*) = 3

Jumlah Baut (n) = 4, menggunakan baut baja dengan mutu (*grade*) 8.8.

Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) baut $\sigma_{uts} = 800$ MPa (MegaPascal)

a) Faktor Keamanan

$$\begin{aligned}\text{Faktor Keamanan} &= F \times \text{safety factor} \\ &= 4.465,3 \text{ N} \times 3 \\ &= \mathbf{13.395,9 \text{ N}}\end{aligned}$$

b) Kekuatan Geser (*Shear Strength*) Baut

$$\begin{aligned}\tau_{\text{baut}} &= 0,8 \times \text{Tensile Strength Baut} \\ &= 0,8 \times 800 \text{ MPa} \\ &= 640 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

c) Luas Penampang Minimum Total (A_{baut})

$$\begin{aligned}A_{\text{baut}} &= \frac{F_{\text{desain}}}{\tau_{\text{baut}}} \\ &= \frac{13.395,9 \text{ N}}{640 \text{ N/mm}^2} \\ &= 20,931 \text{ MPa}\end{aligned}$$

d) Luas Penampang per Baut

$$A_{\text{per baut}} = \frac{A_{\text{baut}}}{n}$$

$$A_{\text{per baut}} = \frac{20,931}{4}$$

$$A_{\text{per baut}} = 5,23 \text{ mm}$$

Merujuk standar *dimensions of screw threads* atau '*Design dimensions of screw threads, bolt, and nuts to IIS:4218*' Maka,

M 3.5 dengan $A_{\text{baut}} 6,78 \text{ mm}^2$ – Cukup untuk menahan tekanan.

M 3.5 dengan $A_{\text{baut}} 6,78 \text{ mm}^2$ – Cukup untuk menahan tekanan.

M 4 dengan $A_{\text{baut}} 8,78$ – Lebih dari cukup untuk menahan tekanan.

Jadi menggunakan 4 baut M4 dengan mutu 8.8 sudah mampu menahan gaya silinder. Untuk lebih aman dan efisien jangka Panjang kami menggunakan baut M8.

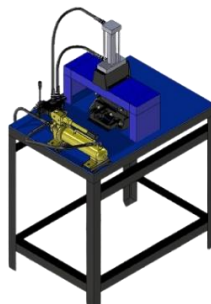
3.5 Alat dan Bahan

Dalam pengujian geser ini menggunakan alat dan bahan yang ditentukan, berikut alat dan bahan yang digunakan antara lain:

3.5.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian geser adalah sebagai berikut:

- a. *Shearing Machine Manual Hand Pump Hydraulic*



Gambar 3. 9 *Shearing machine*

- b. Mesin Gerinda

Mesin gerinda adalah salah satu mesin yang digunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja.



Gambar 3. 10 Mesin gerinda

(Sumber: <https://www.niagamas.com/produk/kyuho-disc-grinder-mesin-gerinda-tangan-lg-100/>)

c. Baut

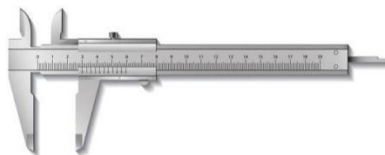
Baut adalah komponen penyambung mekanis berbentuk batang berulir (ulir luar) yang biasanya digunakan bersama mur (*nut*) untuk menyatukan dua atau lebih bagian.



Gambar 3. 11 Baut

d. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengetahui panjang, diameter luar dan diameter dalam sebuah bentuk benda tertentu.



Gambar 3. 12 Jangka sorong

(Sumber: https://tirto.id/contoh-pengukuran-jangka-sorong-cara-menghitung-fungsi-bagiannya-gvY3#google_vignette)

e. Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik adalah perangkat mekanis yang tekanan fluida hidrolik untuk menghasilkan gerakan linier. Fluida hidrolik dipompa ke silinder mendorong piston untuk bergerak, menghasilkan gaya yang besar.



Gambar 3. 13 Silinder Hidrolik
(Sumber: <https://shorturl.at/k9Wmq>)

Spesifikasi teknis silinder hidrolik yang digunakan mencakup dimensi bore sebesar 50 mm, panjang *stroke* 200 mm, tekanan operasional 14 MPa, dan diameter batang piston 25 mm.

f. *Hydraulic flexible hose*

Hydraulic flexible hose atau selang hidrolik fleksibel adalah komponen dalam sistem hidrolik yang digunakan untuk mentransfer cairan bertekanan tinggi dari satu komponen ke komponen lainnya.



Gambar 3.14 *Hydraulic flexible hose*

g. *Direction Control Valve*

Directional Control Valve adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur arah aliran fluida (baik udara maupun cairan) dalam suatu rangkaian. Dengan kata lain, katup ini menentukan ke mana fluida akan mengalir, contohnya ke aktuator untuk menggerakkan piston atau kembali ke tangki.



Gambar 3. 15 *Directional control valve*

h. Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik adalah perangkat mekanis yang mengubah energi mekanis menjadi energi hidrolik untuk memindahkan fluida hidrolik dan menggerakkan peralatan mekanis.



Gambar 3. 16 Pompa hidrolik

(Sumber: <https://hydraulichose.id/pompa-hidrolik/>)

Spesifikasi teknis yang digunakan :

Hydrolic Hand Pump :

Nomor Model	: CP-700
Tekanan Tinggi	: 700 Kg/cm ²
Aliran Tekanan Tinggi	: 2,3 cm ³
Tekanan Rendah	: 20 Kg/cm ²
Aliran Tekanan Rendah	: 13 cm ³
Tekanan Keluaran Maksimum	: 700 bar (10.000 psi)

i. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro dengan papan tunggal yang berfungsi dalam proyek perangkat lunak sumber terbuka. Fungsi utama dari arduino untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang.



Gambar 3. 17 Arduino Uno

(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno)

j. Laptop

Laptop berfungsi untuk pengambilan dan pengolahan data grafik saat pengujian geser dilakukan.



Gambar 3. 18 Laptop

(Sumber : <https://www.microsoft.com/en-us/d/surface-laptop-go-3/8p0wwgj6c6l2>)

k. Kabel USB

Kabel USB berfungsi untuk transfer data antar dua perangkat dan sebagai kabel untuk pemrograman Arduino Uno.

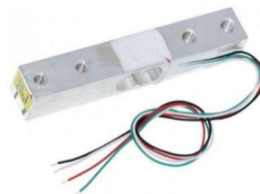


Gambar 3. 19 Kabel USB

(Sumber: <https://surl.lu/nvueij>)

1. *Load Cell*

Sensor *Load Cell* berfungsi untuk mendeteksi tekanan atau berat sebuah beban. Saat beban diberikan ke sensor, elemen pengukur (biasanya *strain gauge*) mengalami deformasi kecil. Tegangan tersebut kemudian diperkuat dan dikonversi menjadi data digital oleh mikrokontroler (seperti Arduino) untuk ditampilkan sebagai nilai gaya/beban.



Gambar 3. 20 Sensor *Load Cell*

(Sumber: <https://digiwarestore.com/id/pressure-strain-load/load-cell-20kg-weight-sensor-berat-296404.html>)

Spesifikasi teknis yang digunakan :

Nomor Model	: YZC-320C
Dimensi	: 130 x 31.8 mm
Panjang Kabel <i>Load Cell</i>	: 2,9 meter
<i>Rated Output</i>	: 2.0 ± 0.004 mV/V
<i>Output Resistance</i>	: $350 \pm 3\Omega$
<i>Recommended Excitation Voltage</i>	: 5 – 12V
<i>Compensated Temperature Range</i>	: $-10 \sim 40^{\circ}\text{C}$
<i>Wiring</i>	: <i>Yellow</i> <i>Red Power (+)</i> <i>Green Power (-)</i> <i>White Output (+)</i> <i>Black Output (-)</i>

m. Penggaris/*mistar*

Penggaris berfungsi untuk mengukur panjang bahan material yang diuji.



Gambar 3. 21 Penggaris

(Sumber: <https://pixabay.com/id/vectors/search/ruler/>)

3.5.2 Bahan

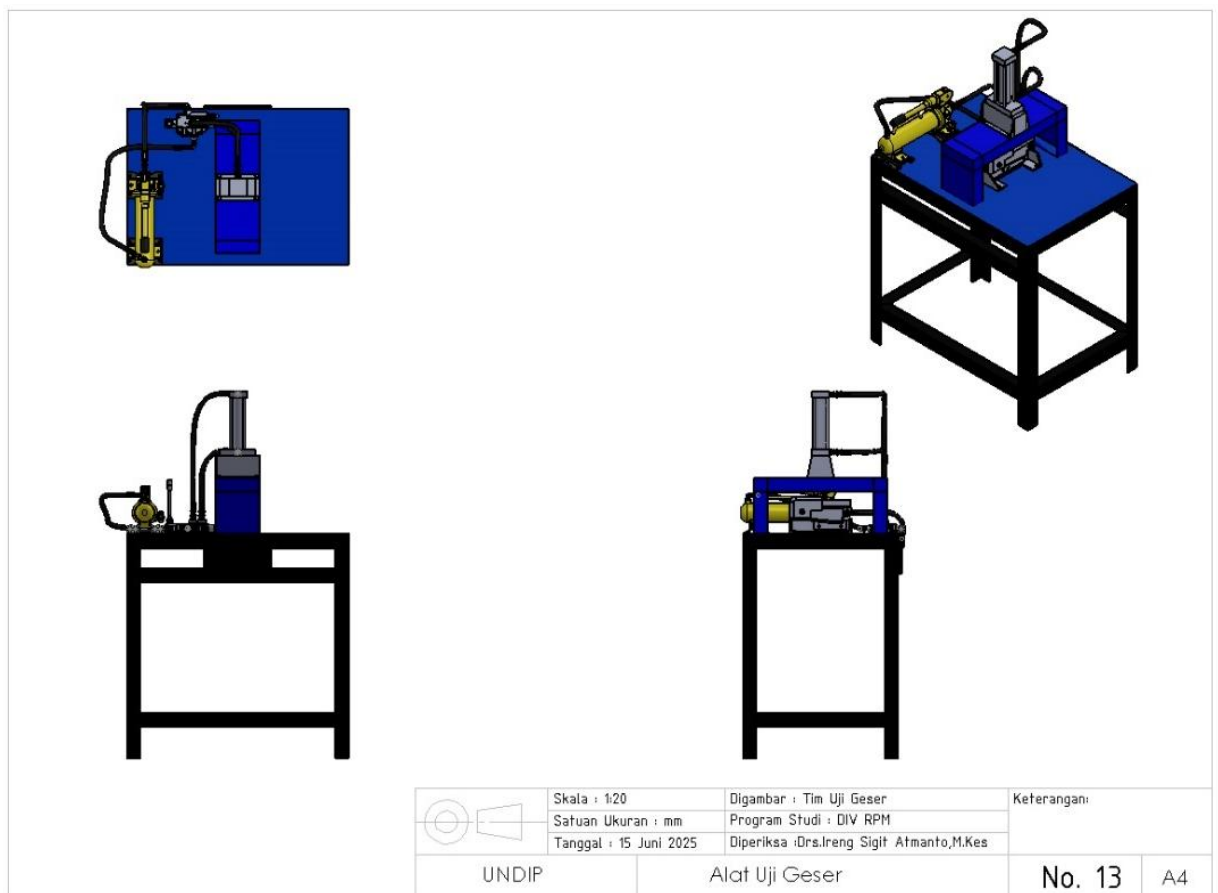
Bahan yang digunakan pada pengujian geser ini adalah Tembaga. Spesimen uji dibuat sesuai dengan standar pengujian yang berlaku pada ASTM B565.



Gambar 3.22 Tembaga

(Sumber: <https://id.lksteelpipe.com/uns-c71500-copper-nickel-alloys>)

3.6 Desain Alat



Gambar 3. 23 Desain alat uji geser

3.7 Variabel Penelitian

Pada Tugas Akhir “Rancang Bangun Alat Pengujian Geser Material Tembaga Menggunakan Sistem Hidraulik Berbasis Arduino” variabel dalam penelitian bisa dibagi jadi beberapa jenis, variabel kontrol, variabel bebas, dan variabel terikat. Variabel kontrol adalah variabel-variabel yang dijaga tetap selama penelitian. Variabel bebas adalah variabel yang sengaja diubah atau dimodifikasi oleh peneliti agar lihat efeknya ke variabel lain. Sedangkan, variabel terikat itu variabel yang diukur atau diamati untuk melihat perubahan yang terjadi akibat variabel bebas.

Tabel 3. 5 Variabel

Variabel Kontrol	Variabel Bebas	Variabel Terikat	
Diameter Bahan Uji	Material Bahan Uji	Kekuatan Tekanan (Kg/mm ²)	Tegangan Geser Material (Newton)
D = 3,5 mm	Tembaga		
D = 3,5 mm	Tembaga Dipanaskan		

3.8 Fabrikasi Alat

Berikut adalah proses fabrikasi alat uji geser berbasis arduino di salah satu bengkel yang terletak di Jl.Rowosari Raya No.8, Meteseh, Kec.Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50271.



Gambar 3. 24 Pembuatan Rangka



Gambar 3. 25 Pembuatan Rangkaian Pisau



Gambar 3. 26 Pemasangan Silinder dan Pompa



Gambar 3. 27 Pengecatan



Gambar 3. 28 Pemasangan Sensor



Gambar 3. 29 Hasil Fabrikasi