

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisis kekuatan geser dari material logam, khususnya Tembaga dengan menggunakan mesin penguji geser hidrolik *hand pump* berbasis Arduino. Serta dapat mengevaluasi prinsip kerja mesin pengujian geser hidrolik *hand pump* berbasis Arduino dalam mengontrol proses pengujian sehingga lebih akurat.

2.1 Pengertian dan Konsep Pengujian Geser

2.1.1 Pengertian Pengujian Geser (*Shear Testing*)

Pengujian geser adalah suatu metode untuk menentukan kekuatan suatu material dalam menahan gaya yang berusaha menggeser material tersebut pada bidang tertentu. Pada pengujian ini, spesimen akan diberi beban yang menyebabkan terjadinya deformasi geser hingga akhirnya terjadi patah. Kekuatan geser merupakan parameter penting dalam perancangan komponen mekanik, terutama pada sambungan las, baut, dan komponen yang mengalami beban geser (Callister, W. D. & Rethwisch, D. G 2018).

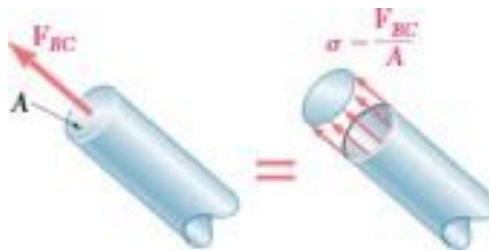
Pengujian geser dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah menggunakan mesin pengujian geser hidrolik. Mesin ini memanfaatkan tekanan hidrolik untuk menghasilkan gaya geser yang diperlukan untuk menguji material. Dalam pengujian ini, spesimen material akan dikenakan gaya geser hingga mencapai titik kegagalan. Data yang diperoleh dari pengujian ini, seperti gaya maksimum yang diterima dan deformasi yang terjadi, dapat digunakan untuk menghitung kekuatan geser material (Hajar Isworo 2018).

2.1.2 Tegangan (*Stress*)

A. Tegangan Normal

Setiap material adalah elastis pada keadaan alaminya. Karena itu jika gaya luar bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Saat benda berubah bentuk, bagian dalam benda akan berusaha untuk kembali ke bentuk semula, sehingga keluar suatu gaya perlawanan. Gaya perlawanan ini per satuan luas disebut tegangan (IR. Amrinsyah 2013).

Batang BC dalam menahan beban tidak hanya bergantung pada besarnya gaya dalam, namun juga dipengaruhi oleh karakteristik geometri dan material batang tersebut. Gaya dalam yang bekerja pada batang BC merupakan resultan dari distribusi gaya-gaya internal pada seluruh luas penampang. Kemampuan suatu material untuk menahan beban terkait erat dengan besarnya tegangan yang terjadi di dalam material tersebut. Tegangan, yang didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, merupakan besaran penting dalam analisis kekuatan material. Besarnya tegangan dalam suatu anggota dapat dihitung dengan membagi besarnya beban yang bekerja dengan luas penampang anggota tersebut (Beer, et al., 2020).



Gambar 2. 1 Tekanan pada anggota struktur Sumber :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

Keterangan,

σ = Tegangan (N/m^2)

P = Gaya aksial (N)

A = Luas (m^2)

Tanda positif akan digunakan untuk menunjukkan tegangan tarik (bagian yang mengalami tegangan) dan tanda negatif untuk menunjukkan tegangan tekan (bagian yang mengalami kompresi).

Karena satuan metrik SI digunakan dalam pembahasan ini, dengan P dinyatakan dalam newton (N) dan A dalam meter persegi (m^2), maka tegangan akan dinyatakan dalam N/m^2 . Satuan ini disebut pascal (Pa). Namun, kita akan menemukan bahwa pascal adalah kuantitas yang sangat kecil dan dalam praktiknya, kelipatan dari satuan ini harus digunakan, yaitu, kilopascal (kPa), megapascal (MPa), dan gigapascal (GPa).

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

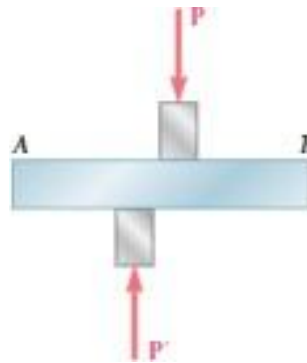
$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa} = 10^9 \text{ N/m}^2$$

B. Tegangan Geser

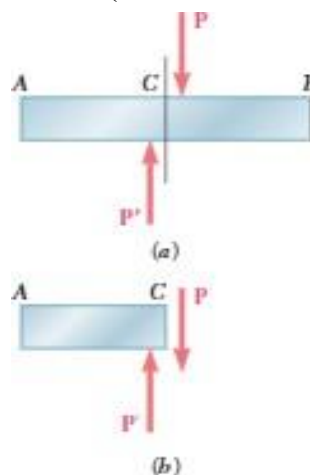
Menurut Frick (1978) Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat ada dua arah gaya yang berlawanan dan tidak lurus bidang suatu benda. Tegangan geser merupakan hubungan gaya yang menyinggung permukaan benda per luas penampang tempat gaya beraksi. Gaya yang terjadi memiliki arah sejajar dengan permukaan, sehingga permukaan benda akan bergeser dan timbul tegangan geser. Bila gaya aksial atau momen lentur yang bekerja dengan gaya geser atau momen puntir, maka elemen akan mengalami tegangan normal

dan geser. Pembebanan yang menyebabkan terjadinya tegangan geser diantaranya yaitu muncul karena adanya pembebanan geser tarik, pembebanan geser tekan dan pembebanan geser torsi. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Misalnya sambungan keling, gunting, dan sambungan baut (Isworo 2018).

Tegangan geser sama halnya dengan menggunting kertas. Gaya yang membuat kertas terbelah itu contoh tegangan geser. Gaya gunting bekerja sejajar dengan permukaan kertas, membuat serat-serat kertas saling bergeser. Berbeda dengan kalau kita menarik atau menekan kertas, di mana gaya bekerja tegak lurus pada permukaan kertas.



Gambar 2. 2Bagian dengan beban melintang
Sumber : (Beer, et al., 2020)



Gambar 2. 3 Jenis Tegangan
Sumber : (Beer, et al., 2020)

Pada gambar 2.2 Jenis tegangan diperoleh ketika gaya lintang P dan P' diaplikasikan pada bagian AB. Dengan melewati penampang di C di antara titik-titik penerapan kedua gaya (2.3a), maka memperoleh diagram penampang AC yang ditunjukkan pada gambar 2.3b. Dapat disimpulkan bahwa gaya-gaya internal harus ada pada bidang penampang, dan resultan gaya-gaya tersebut sama dengan P. Gaya-gaya internal elementer ini disebut gaya geser, dan besarnya P dari resultan gaya-gaya tersebut adalah geseran pada penampang. Dengan membagi geseran P dengan luas A dari penampang, mendapatkan tegangan geser rata-rata pada bagian tersebut. Dengan menyatakan tegangan geser dengan huruf Yunani τ (tau), kita menulis :

$$\tau_{ave} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

2.1.3 Regangan (*Strain*)

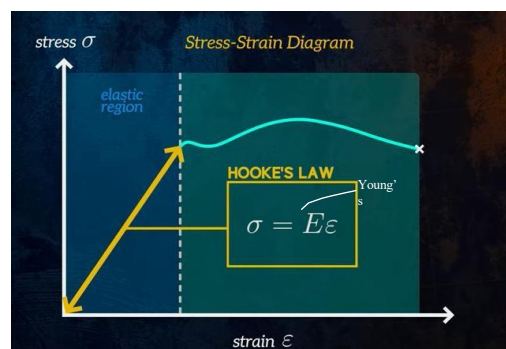
A. Regangan Normal

Regangan (ϵ) merupakan perubahan bentuk per satuan panjang pada suatu batang. Semua bagian bahan yang mengalami gaya-gaya luar, dan selanjutnya tegangan internal akan mengalami perubahan bentuk (regangan). Misalnya di sepanjang batang yang mengalami suatu beban tarik aksial akan teregang atau diperpanjang, sementara suatu kolom yang menopang suatu beban aksial akan tertekan atau diperpendek. Perubahan bentuk total (*total deformation*) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan huruf Yunani δ (deformasi). Jika Panjang batang adalah L, regangan dinyatakan dengan huruf Yunani ϵ (*epsilon*), maka persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

Hukum *Hooke* menyatakan bahwa tegangan yang diberikan pada suatu bahan akan menghasilkan regangan yang sebanding, asalkan tidak melewati batas elastik bahan tersebut. Perbandingan antara tegangan dan regangan ini disebut modulus. Bahan yang memiliki *modulus elastic* tinggi (seperti baja) akan mengalami deformasi yang lebih kecil dibandingkan bahan dengan modulus elastik rendah (seperti aluminium) ketika diberikan tegangan yang sama. Regangan normal mengacu pada perubahan panjang suatu benda dalam arah gaya yang diberikan.



Gambar 2. 4 Diagram Tegangan-Regangan

Sumber : (<https://www.youtube.com/watch?v=aQf6Q8t1FQE>)

B. Regangan Geser

Regangan geser adalah ukuran deformasi yang terjadi ketika gaya geser diterapkan pada suatu material. Regangan geser mengukur perubahan sudut antara dua garis yang awalnya sejajar. Regangan geser dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\gamma = \frac{\Delta x}{L} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

2.1 Kekuatan Bahan (*Strength Material*)

Kekuatan bahan (*Strength Material*) adalah kemampuan suatu material atau bahan untuk menahan beban atau tekanan tanpa mengalami deformasi atau kerusakan yang signifikan. Dalam konteks ilmu material dan teknik, kekuatan bahan

sering diukur dalam berbagai cara, tergantung pada jenis bahan dan kondisi pengujian. Beberapa parameter kekuatan yang umum digunakan meliputi: kekuatan tarik (*Tensile Strength*), kekuatan tekan (*Compressive Strength*), kekuatan geser (*Shear Strength*), kekuatan lengkung (*Flexural Strength*), kekuatan lentur (*Torsional Strength*), kekuatan regangan (*Strain Strength*) (Zulfikar 2023).

Kekuatan bahan atau mekanika bahan (*strength of materials*) merupakan topik yang berkaitan dengan perilaku benda padat akibat tegangan dan regangan. kekuatan bahan sering merujuk pada berbagai metode perhitungan ketegangan dan tekanan pada elemen struktural, seperti balok, kolom, dan poros. Metode yang digunakan untuk memprediksi respon struktur akibat beban dan kerentanannya terhadap berbagai mode kegagalan memperhitungkan sifat bahan, seperti *yield strength*, kekuatan maksimum, *modulus young*, dan *rasio poisson* (Wikipedia 2024).

2.3 Hidrolik

Pada sistem kerja alat uji geser, mekanisasi penggerak utama pada alat uji geser ini yaitu menggunakan sistem penggerak hidrolik. Kata hidrolik (*hydraulic*) berasal dari bahasa Yunani “*hydro*” yang artinya “air” atau “zat cair” atau “fluida cair”, yang bermakna segala sesuatu baik benda maupun zat yang berhubungan dengan air. Seperti yang dijelaskan pada Hukum Archimedes (*Archimedes Law*) bahwa prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah hukum Pascal, yang berarti benda cair yang ada di ruang tertutup apabila diberi tekanan, maka tekanan tersebut akan berlanjut ke segala arah dengan sama besar. Secara singkat dapat didefinisikan “hidrolik” sebagai pemindah, pengaturan, gaya- gaya, dan gerakan-gerakan zat cair yang jika suatu zat cair dikenakan tekanan, maka tekanan itu akan merambat ke

segala arah dengan tidak bertambah dan berkurang kekuatannya. Cairan dapat digunakan sebagai sarana perpindahan energi, contohnya minyak mineral merupakan cairan yang sering digunakan, tetapi sering juga menggunakan cairan sintesis, seperti air atau emulsi minyak air (Wikipedia 2024).

Hidromekanika (mekanika fluida) adalah cabang mekanika yang mempelajari perilaku fluida, baik dalam bentuk cairan maupun gas (Wikipedia 2023). Mekanika fluida dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Hidrostatika adalah cabang dari mekanika fluida yang mempelajari perilaku zat cair dalam keadaan diam (kesetimbangan yang stabil).
2. Hidrodinamika adalah cabang dari mekanika fluida yang mempelajari perilaku fluida (cairan dan gas) sebagai zat yang tidak dapat dimampatkan (*inkompresibel*).

Sistem penggerak hidrolik memiliki beberapa sifat khusus, di antaranya:

1. Gaya yang tinggi, menghasilkan gaya besar berkat prinsip Hukum Pascal.
2. Penyesuaian gaya otomatis, dapat secara otomatis menyesuaikan gaya dan tekanan yang diperlukan dalam berbagai kondisi operasi.
3. Dapat bergerak dari keadaan diam meskipun pada beban penuh, berkat kemampuan fluida untuk mengalirkan dan mentransmisikan tekanan secara efisien.
4. Pengubahan (*control*) tanpa tingkatan dan kecepatan, momen putar (*torsi*), gaya langkah dan sebagainya dapat dilakukan dengan mudah.
5. Perlindungan terhadap beban berlebih, sering dilengkapi dengan katup pengaman yang melindungi sistem dari kerusakan akibat beban berlebih, menjaga komponen tetap aman selama pengoperasian.

6. Cocok untuk mengendalikan proses gerakan yang cepat dan gerakan sangat lambat yang akurat.
7. Penumpukan energi yang relatif sederhana, energi dapat disimpan dalam sistem hidrolik dengan menggunakan gas atau akumulator, memungkinkan penyimpanan energi untuk digunakan saat dibutuhkan.
8. Transformasi energi hidrolik ke energi mekanik, dapat dikombinasikan dengan transformasi energi untuk mendapatkan sistem penggerak sentral yang sederhana dan ekonomis, memanfaatkan efisiensi tinggi dari energi hidrolik

Kelebihan sistem hidrolik lainnya yang membuat sistem ini banyak digunakan yaitu memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam desainnya. Dengan fleksibilitas yang tinggi, desain sistem hidrolik dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna (Pandu Hidrolik 2024).

2.3.1 Pompa Hidrolik

Pada sistem kerja alat uji geser, menggunakan pompa hidrolik sebagai komponen utama dalam sistem hidrolik yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik. Pompa hidrolik bekerja dengan cara menarik fluida ke dalam rongga kerja melalui satu saluran (*suction port*) dan kemudian mendorong fluida tersebut keluar melalui saluran lain (*pressure port*) (Kawan Lama 2023).

Kegunaan dari pompa hidrolik, antara lain:

1. Menciptakan kevakuman, Pompa hidrolik menciptakan kevakuman pada saluran masuk, yang memungkinkan tekanan atmosfer untuk mendorong fluida dari tangki masuk ke dalam pompa. Proses ini penting untuk memastikan fluida dapat mengalir ke dalam sistem hidrolik dengan baik.

2. Menghasilkan aliran fluida, berfungsi untuk menyedot fluida ke dalam *chamber* atau ruang tekan pompa, membawa fluida melalui pompa, dan kemudian menekannya ke dalam sistem hidrolik.
3. Memberi tekanan, meningkatkan tekanan pada fluida yang dipompakan yang diperlukan untuk menggerakkan silinder hidrolik dan komponen lainnya dalam sistem.
4. Menjaga tekanan sistem, menjaga tekanan konstan dalam sistem hidrolik, penting untuk memastikan kinerja yang stabil dan dapat diandalkan.

Pada pompa hidrolik yang digunakan yaitu pompa hidrolik tipe piston (*reciprocating*) dengan memanfaatkan gerakan bolak-balik piston di dalam silinder untuk memindahkan fluida. Cara kerja dari pompa hidrolik tipe piston ini memiliki 2 fase, yaitu:

1. Fase penarikan (Langkah Hisap), ada fase ini, piston bergerak mundur, yang menyebabkan ruang di dalam silinder menjadi lebih besar. Proses ini menciptakan tekanan rendah, sehingga fluida dapat masuk ke dalam ruang kerja melalui katup masuk (*check valve*). Hal ini memastikan bahwa silinder terisi penuh dengan fluida sebelum fase berikutnya dimulai.
2. Fase Tekanan (*Stroke*), Setelah ruang di dalam silinder terisi penuh, piston bergerak maju. Gerakan ini mengurangi volume ruang di dalam silinder, yang meningkatkan tekanan. Cairan kemudian didorong keluar melalui katup keluar ke sistem hidrolik. Pada titik ini, tekanan tinggi dihasilkan, memungkinkan fluida untuk melakukan kerja mekanis.

Kedua fase di atas terjadi secara berulang untuk memastikan aliran fluida yang stabil dan tekanan yang konstan (Pandu Hidrolik 2024). Piston ini akan

tertarik dan terdorong ketika pompa hidrolik bekerja. Dengan tertariknya piston maka ruangan di dalam pompa akan semakin luas. Semakin luas ruangan didalam pompa maka tekanan akan semakin kecil atau kevakuman semakin membesar. Sementara itu tekanan udara akan semakin besar.

2.3.2 Hukum Pascal

Pada tahun 1653, Blaise Pascal mengembangkan konsep yang berkaitan dengan tekanan dan gaya dalam fluida, berbeda dari Torricelli yakni pendapat tentang kesamaan antara berat dan tekanan dengan menggunakan *Machine a multiplier les forces* miliknya (*hydraulic torque*) yang dikenal sebagai Hukum Pascal. Ia menjelaskan bahwa jika terdapat dua wadah berisi fluida, di mana salah satu titiknya memiliki luas area yang 100 kali lebih besar dari ujung lainnya, maka gaya yang diterapkan pada piston kecil akan setara dengan gaya yang dihasilkan pada piston yang lebih besar. Hal ini dapat dirumuskan sebagai:

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

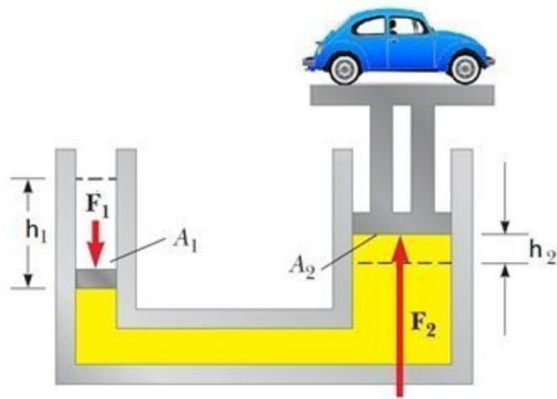
Dimana:

p = Tekanan

F = Gaya

A = Luas permukaan

Penerapan Hukum Pascal dalam kehidupan sehari-hari, baik itu dongkrak hidrolik, rem hidrolik, mesin pengangkat mobil (Damayanti et. al., 2015)



Gambar 2. 5 Ilustrasi Prinsip Hukum Pascal

(Sumber : <https://kumparan.com/berita-update/hukum-pascal-dan-manfaatnya-1vGurAqtAyA>)

$$p_1 = p_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Keterangan

p_1 = Tekanan pada penampang 1 (Pa)

p_2 = Tekanan pada penampang 2 (Pa)

F_1 = Gaya pada penampang 1 (N)

F_2 = Gaya pada penampang 2 (N)

A_1 = Luas Penampang 1 (m^2)

A_2 = Luas penampang 2 (m^2)

2.4 Standar Pengujian

Standar ASTM B565 *Standard Test Method for Shear Testing*. Standar ASTM B565 metode pengujian ini mencakup pengujian geser ganda paku keling aluminium dan paduan aluminium dengan tangkai bulat dan padat serta kawat dan batang berkepala dingin. Secara singkat metode ini terdiri dari dudukan mesin uji silinder untuk pembebanan geser ganda menggunakan mesin uji tegangan (kompresi) untuk menentukan tegangan geser yang diperlukan untuk mematahkan spesimen, yaitu kekuatan geser. Metode ini digunakan untuk

menyediakan sarana mengukur geser akhir dari paduan aluminium produk tempa dan cor. Metode pengujian ini juga dapat dilakukan pada spesifikasi atau pengujian material tertentu.

Kekuatan geser material biasanya bergantung pada panjang relatif dan *absolut* spesimen yang digeser dan disangga. Kekuatan geser berkurang sedikit seiring bertambahnya jarak antara diameter spesimen dan diameter lubang uji pada alat uji geser. Pada metode pengujian ini batas diameter yang digunakan 0,372 in (9,45 mm), jika diameter melebihi 0,372 in (9,45 mm) bisa dikecilkan hingga batas yang ditentukan. Panjang minimum spesimen harus dua kali diameternya dan untuk maksimum panjang spesimen tidak ditentukan karena tidak berpengaruh pada hasil pengujian. Pengukuran harus dilakukan dan dibuat di dua bidang geser, rata-rata dari dua diameter akan digunakan untuk menghitung luas penampang spesimen. Jarak untuk pengujian yang seharusnya mempengaruhi kekuatan geser tidak lebih dari 2% artinya jarak maksimum harus 0,0001 in (0,03 mm) untuk pengujian (ASTM 2021). Prosedur pengujian menggunakan standar ASTM B565 adalah sebagai berikut:

1. Permukaan pada alat uji geser harus diperiksa secara visual sebelum digunakan untuk memastikan tidak ada sisa hasil material yang di uji di sekitar lubang uji. Pembersihan ini dapat dilakukan menggunakan kain *crocus*.
2. Bersihkan alat uji dan spesimen sebelum pengujian untuk menghilangkan pelumasan agar tidak mempengaruhi hasil pengujian.
3. Letakkan spesimen pada alat uji geser.
4. Beri beban pada spesimen hingga spesimen patah. Pemberian *cross-head*

dari mesin uji tidak boleh melebihi $\frac{3}{4}$ in (19,1 mm)/menit dan laju kecepatan tidak boleh melebihi 10.000 psi/menit pada penampang uji geser.

5. Tentukan beban maksimum untuk mematahkan spesimen.

Karena metode pengujian secara signifikan mempengaruhi hasil pengujian, penting bahwa metode ASTM dirujuk pada beberapa hal, diantaranya:

- a. Identifikasi bahan dan sampel.
- b. Diameter spesimen (m).
- c. Orientasi spesimen dan arah pemuatan.
- d. Beban maksimum (N).
- e. Kuat geser (Pa), dan
- f. Uji suhu (K).

2.5 Sifat Bahan Material

2.5.1 Tembaga

Tembaga adalah sebuah unsur kimia dengan lambang Cu dari bahasa Latin “*cuprum*” dan nomor atom 29. Tembaga merupakan logam yang lunak, mudah di tempa, dan ulet dengan konduktivitas termal dan listrik yang sangat tinggi. Tembaga memiliki kandungan logam berat yang beragam, umumnya memiliki kandungan 2-10 mg/kg.

Menurut Wikipedia (2024), karakteristik tembaga dapat merujuk pada tabel; dibawah ini.

Tabel 2. 1 Karakteristik tembaga

Mechanical Properties		
<i>Tensile Strength</i>	(MPa)	210-390
<i>Yield Strength</i>	(MPa)	30-70

Sumber: (Matweb.com 2023)

Tabel 2. 2 Komposisi kimia

Komposisi Kimia	
Cu (<i>Cuprum</i>)	94.0 - 96.0%
Sn (Timah):	4.2 - 5.8%
P (Fosfor)	0.03 - 0.35%
Fe (Besi)	0.10%
Pb (Timbal)	0.05%
Zn (Seng)	0.30%

Sumber : (ASTM B139/B139M-12 2017)

Tembaga memiliki berbagai kegunaan penting di sektor industri, berkat sifat fisiknya yang unik, seperti konduktivitas listrik yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan kemudahan dalam proses produksi.

Dalam konstruksi, sekitar 20% dari produksi tembaga dimanfaatkan untuk pipa dan atap karena daya tahannya yang tinggi. Tembaga juga sering dipakai sebagai bahan bangunan yang memiliki sifat antimikroba, sehingga ideal untuk sistem perpipaan air minum di negara-negara maju. Di industri tenaga listrik, tembaga digunakan secara luas untuk membuat kabel dan kawat, yang menyediakan sekitar 65% dari total konsumsi tembaga. Selain itu, tembaga juga digunakan dalam pembuatan trafo dan motor listrik karena kemampuannya menghantarkan listrik dengan efisien. Dalam sektor elektronik, tembaga berperan penting dalam perangkat elektronik seperti ponsel dan komputer, serta dalam tabung elektron yang digunakan dalam perangkat seperti magnetron. Di sektor transportasi, tembaga digunakan dalam otomotif untuk radiator, sistem pengereman, dan komponen

hidrolik pada kendaraan. Paduan tembaga juga digunakan dalam industri kedirgantaraan untuk komponen pesawat terbang dan kereta api.

Dengan sifatnya yang ramah lingkungan serta kemampuan untuk didaur ulang hingga 100%, tembaga semakin penting dalam mendukung berbagai inovasi teknologi di masa depan, terutama di bidang energi terbarukan.

2.6 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah *board* mikrokontroler yang berbasis Atmega 328. Arduino memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 pin sebagai input analog, 16 MHz isilator kristal, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup menghubungkan *Board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik AC ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya (Informatika No.1 Vol 4 ISSN: 2807-5266 n.d.).

Tabel 2. 3 Spesifikasi arduino uno

Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input yang Disarankan	7-12 V
Batas Tegangan Input	6-20 V
Jumlah Pin I/O Digital	14 Pin (6 pin sebagai output PWM)
Jumlah pin input analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	40 ma
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 ma
Memori Flash	32 KB Sekitar 0.5 KB digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB (Atmega 328)
EPROM	1 KB (Atmega 328)
Clock Speed	16 MHz

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



Gambar 2. 6 Arduino Uno
(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno)

Pada alat proyek akhir ini, Arduino diberikan input gaya tekanan piston silinder hidrolik yang dibaca oleh sensor *load cell*, luasan penampang spesimen uji, dan waktu yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji. Kemudian, Arduino diberikan *coding* untuk mengolah data input menjadi data *output*, lalu diubah menjadi grafik tegangan menggunakan *Microsoft Excel*.

2.7 Kalkulasi

A. Luas Penampang

Luas Penampang dalam pengujian ini adalah silinder/tabung. Dapat dihitung menggunakan rumus persamaan di bawah ini :

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots (2. 5)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

Keterangan,

A = Luas penampang (m)

r = jari-jari (m)

B. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah gaya yang bekerja per satuan luas. Rumus ini menunjukkan hubungan antara gaya geser yang bekerja pada suatu bidang dan luas bidang tersebut. Dapat dihitung yang merujuk pada persamaan (2.2).

$$\tau_{avg} = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Sumber : (Beer, et al., 2020)

Keterangan,

τ_{avg} = Tegangan Geser (N/m²)

F = Gaya Geser (N)

A = Luas Penampang (m)

C. Gaya Piston

Gaya yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen. Secara teoritis dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$F = D^2 \frac{\pi}{4} p \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan,

F = Gaya Piston (N)

D = Diameter Piston (m)

p = Tekanan (Pa)

Sumber: (M. Subhan 2016)