

**PENGUKURAN KEKUATAN LULUH, KEKUATAN TARIK,
MODULUS ELASTISITAS DAN KELIATAN BESI COR
KELABU**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

RAKA ADITYA RAS IWANA

D200170166

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGUKURAN KEKUATAN LULUH, KEKUATAN TARIK, MODULUS
ELASTISITAS DAN KELIATAN BESI COR KELABU**

PUBLIKASI ILMIAH

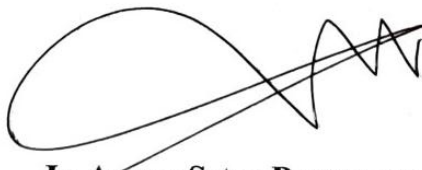
Oleh :

RAKA ADITYA RAS IWANA

D200170166

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

**Dosen
Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, featuring a large, sweeping loop on the left and a series of smaller, more intricate strokes on the right.

Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUKURAN KEKUATAN LULUH, KEKUATAN TARIK, MODULUS
ELASTISITAS DAN KELIATAN BESI COR KELABU**

OLEH :

RAKA ADITYA RAS IWANA

D200170166

**Telah Di Pertahankan Di Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada Hari/Tanggal Senin, 28 November 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. **Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T.**
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T.**
(Anggota I Dewan Penguji)
3. **Dr. Abdul Munir Hidayat S.L., S.T., M.Sc.**
(Anggota II Dewan Penguji)

()

()

()

Dekan,



()

Rois Fathoni, S.T., M.Sc., Ph.D
NIK. 892

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Desember 2022

Yang Menyatakan



RAKA ADITYA RAS IWANA
D200170166

PENGUKURAN KEKUATAN LULUH, KEKUATAN TARIK, MODULUS ELASTISITAS DAN KELIATAN BESI COR KELABU

Abstrak

Besi cor kelabu merupakan material yang banyak digunakan di industri pengecoran logam. Karena material ini memiliki sifat mampu cor yang baik dan relatif murah, Besi cor kelabu banyak digunakan pada komponen penting dalam mesin seperti blok mesin, kanvas rem kereta api, dan lain sebagainya. Grafit pada besi cor ini biasanya berbentuk serpih. Karena serpihan grafit ini, permukaan yang patah memiliki tampilan warna kelabu sesuai dengan namanya. Dalam keadaan cair, besi cor kelabu memiliki fluiditas tinggi pada suhu pengecoran. Hal ini berguna pada pengerjaan pengecoran yang memiliki bentuk rumit. Penelitian ini dilakukan dengan metode uji tarik untuk mengetahui kekuatan luluh, kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan keliatan besi cor kelabu. Keempat sifat ini merupakan sifat mekanik yang terpenting. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa besi cor kelabu menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 529,72 N/mm² dan kekuatan luluh sebesar 297,81 N/mm². Sedangkan untuk modulus elastisitas besi cor kelabu menghasilkan nilai 4290 N/mm² dan keliatan sebesar 24,42 %.

Kata kunci: besi cor kelabu, uji tarik, sifat mekanik

Abstract

Gray cast iron is a material that is widely used in the metal casting industry. Because this material has good castability and is relatively inexpensive, gray cast iron is widely used in important engine components such as engine blocks, train brake linings, and so on. The graphite in cast iron is usually in the form of flakes. Due to these graphite flakes, the fractured surface has a gray appearance as the name implies. In the molten state, gray cast iron has high fluidity at the casting temperature. This is useful in castings that have complex shapes. This research was conducted using a tensile test method to determine the yield strength, tensile strength, modulus of elasticity, and plasticity of gray cast iron. These four properties are the most important mechanical properties. The results of this study indicate that gray cast iron produces a tensile strength value of 529.72 N/mm² and a yield strength of 297.81 N/mm². Meanwhile, the modulus of elasticity of gray cast iron produces a value of 4290 N/mm² and a plasticity of 24.42%.

Keywords: gray cast iron, tensile test, mechanical properties

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin majunya teknologi sekarang ini, tuntutan manusia dalam bidang industri semakin besar. Kebutuhan akan material besi dalam bentuk baja dan besi

cor juga sangat besar. Industri pengecoran logam merupakan industri hulu dan industri yang menjadi tumpuan bagi industri barang modal khususnya industri komponen. Proses pengecoran adalah proses terbentuknya logam dengan cara mencairkan padat dalam tungku dengan temperatur tinggi, kemudian menuangkan logam cair ke dalam cetakan dan dibiarkan membeku (Martanta, 2016).

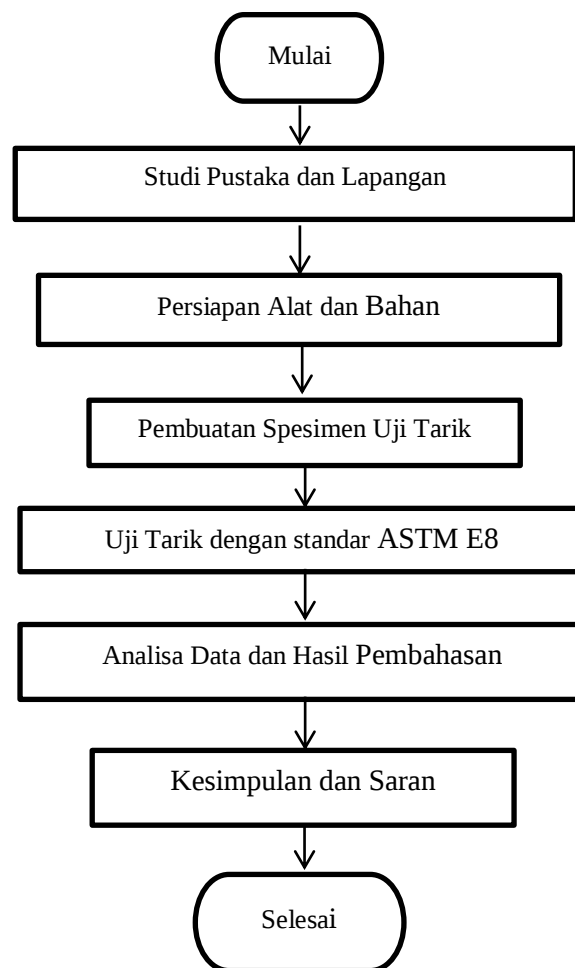
Besi cor adalah jenis material yang sudah lama digunakan manusia untuk menunjang kehidupan dalam bentuk peralatan atau komponen rumah tangga, permesinan, alat transportasi dan lain-lain di dalamnya terdapat besi yang mengandung karbon, fosfor, silikon, mangan, fosfor dan belerang. Dalam struktur besi cor biasa 85% dari kandungan karbon berbentuk sebagai grafit. Besi cor digolongkan menjadi enam macam : besi cor kelabu, besi cor putih, besi cor nodular dan besi cor mampu tempa (Martanta, 2016). Struktur mikro merupakan gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Teknik karakterisasi konvensional yang berbasis pada panjang gelombang 650nm keatas, seperti mikroskop optik pada analisis metalografi tidak memiliki resolusi yang cukup untuk mendapatkan informasi ilmiah yang diharapkan. Oleh karena itu diperlukan metode identifikasi dan karakterisasi lain yang dapat memberikan resolusi yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan sekitar interface antara bahan dengan lapisan oksida secara detail. Untuk keperluan tersebut, Scanning Electron Microscope (SEM) dipahami sebagai teknik yang sesuai yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia (Sujatno dkk., 2015).

Salah satu karakteristik yang dimiliki oleh besi cor kelabu adalah bidang patahannya yang berbentuk flake (serpih), patahan yang terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih (flake) grafit yang ada banyak, maka permukaannya berwarna kelabu. Pembentukan grafit pada besi cor kelabu terjadi saat proses pembekuan. Proses pembentukan grafit terjadi karena disebabkan

oleh tingginya kadar karbon, unsur grafit stabilizer (silikon), temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Grafit pada besi cor berbentuk flake (serpih), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Karena ujung-ujung grafit berbentuk runcing menyebabkan ketangguhan besi cor rendah (Setyana, 2015). Dari uraian di atas maka dilakukan penelitian dengan judul **“Pengukuran kekuatan luluh, kekuatan tarik, modulus elastisitas dan keliatan Besi Cor Kelabu.”** Keempat sifat ini merupakan sifat mekanik yang terpenting.

2. METODE

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, tahapan-tahapan tersebut dikonsep berdasarkan pada diagram alir berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Studi Pustaka dan Lapangan yaitu mencari referensi berupa landasan teori dan hal-hal teknis lain yang menunjang proses penelitian. Tahapan- tahapan yang dilakukan yaitu Proses pemotongan dan preparasi spesimen pengelasan dilakukan di Bengkel Bubut Karya Mandiri Sentosa, Ngaglik, Klepu, kec.Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57465. Pada tanggal 2 Agustus 2022. Proses pereparasi spesimen uji tarik dilakukan di Bengkel Bubut Karya Mandiri Sentosa, Ngaglik, Klepu, kec.Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57465. Pada tanggal 3 Agustus 2022. Proses finishing spesimen uji tarik dilakukan di Bengkel Bubut Karya Mandiri Sentosa, Ngaglik, Klepu, kec.Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57465. Pada tanggal 5 Agustus 2022. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281, pada tanggal 11 Agustus 2022.

Pengujian spesimen merupakan pengujian yang dilakukan setelah dilakukan proses pemesinan dan dimensi spesimen uji telah sesuai dengan standar pengujian. Pengujian digunakan untuk mengetahui sifat mekanik spesimen, Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah tarik dengan standar pengujian ASTM E8.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material seperti Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas dari besi cor kelabu. Pada pengujian ini sepesimen yang digunakan adalah besi cor kelabu dengan bentuk silinder sesuai standar ASTM E8 dengan merk mesin uji tarik TN 20 MD.



Gambar 2. Spesimen sebelum pengujian tarik.



Gambar 3. Spesimen setelah pengujian tarik.

Sub bab berikut adalah data pengujian tarik untuk spesimen besi cor kelabu dengan spesimen uji memiliki panjang 50 mm dan diameter dalam spesimen uji 12.65 mm.

3.2 Pembuatan Grafik Tegangan-Regangan Raw Material

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data hasil pengujian tarik pada spesimen *Raw Material* besi cor kelabu seperti yang diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

No	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (kN)	ΔL (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Regangan (%)
1	Besi cor kelabu	12.65	66.54	12.21	529.70	11.54

Tabel 2. Gaya (F) dan Perpanjangan (ΔL).

No	Gaya, F (kN)	Perpanjangan, ΔL (mm)
1	0	0
2	8.23	0.68
3	15.84	1.36
4	23.45	2.03
5	29.78	2.71
6	36.12	3.39
7	39.92	4.07
8	45.63	4.75
9	50.06	5.42
10	51.96	6.10
11	55.77	6.78
12	58.30	7.46
13	59.57	8.14
14	60.20	8.81
15	62.10	9.49
16	63.37	10.17
17	64.64	10.85
18	65.27	11.53
19	66.54	12.21

Dari data hasil pengujian tarik tabel 2 kemudian dibuat gambar 4 yaitu grafik hubungan antara gaya terhadap perpanjangan, yang kemudian akan diubah menjadi hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai gaya dan perpanjangan dapat dicari dengan menggunakan metode tarik garis dengan menggunakan gambar rekam dari hasil pengujian tarik di halaman lampiran.

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan Gaya (F) dan Perpanjangan (ΔL) pada persamaan 1 berdasarkan hasil pengujian pada lampiran 1 .

$$y = \frac{P_{\max}}{\text{Total Skala}} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \frac{66.54}{105}$$

$$= 0,63$$

$$(F) = y \times 13 \text{ skala}$$

$$= 0.63 \times 13$$

$$= 8.23$$

$$x = \frac{\Delta L_{\max}}{\text{Total Skala}}$$

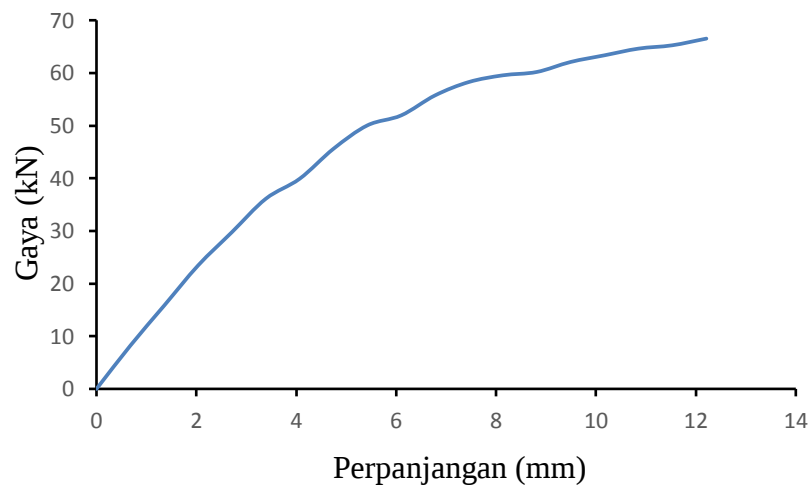
$$= \frac{12,21}{27}$$

$$= 0.45$$

$$(\Delta L) = x \times 1.5 \text{ skala}$$

$$= 0.45 \times 1.5$$

$$= 0.678$$



Gambar 4. Kurva gaya terhadap perpanjangan besi cor kelabu.

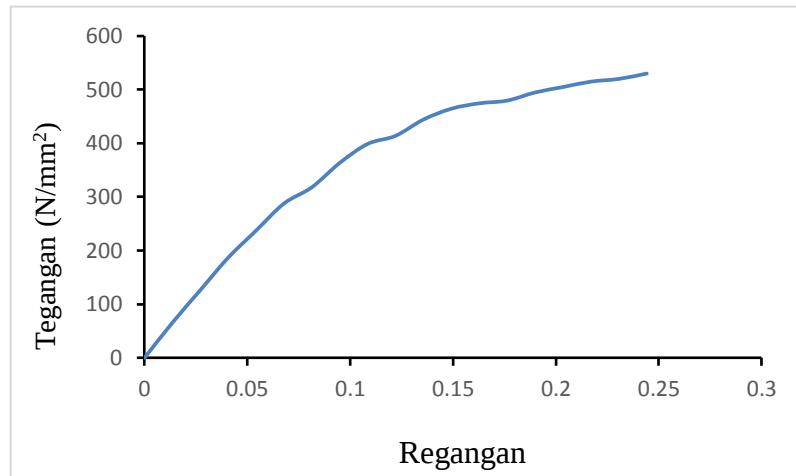
Gaya dan perpanjangan pada tabel 2 kemudian diubah menjadi Tegangan dan Regangan seperti yang terlihat pada tabel 3, dan berikut merupakan satu contoh perhitungan Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ) pada persamaan 2.

$$\begin{aligned}
 (\sigma) &= \frac{F}{A_o} \dots\dots\dots (2) \\
 &= \frac{8,23 \times 1000}{0,25 \times \pi \times d^2} \\
 &= \frac{8,23 \times 1000}{0,25 \times 3,14 \times 12,65^2} \\
 &= \frac{8230}{125,61} \\
 &= 65,51 \text{ N/mm}^2 \\
 (\epsilon) &= \frac{\Delta L}{L_o} \\
 &= \frac{0,68}{50} \\
 &= 0.0136
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Tegangan dan Regangan.

No	Tegangan, (N/mm ²)	Regangan
1	0	0
2	65.51	0.01
3	126.12	0.03
4	186.66	0.04
5	237.11	0.05
6	287.56	0.07
7	317.83	0.08
8	363.24	0.09
9	398.55	0.11
10	413.69	0.12
11	443.96	0.14
12	464.14	0.15
13	474.23	0.16
14	479.27	0.18
15	494.41	0.19
16	504.50	0.20
17	514.59	0.22
18	519.63	0.23
19	529.72	0.24

Tegangan dan regangan ditunjukkan pada tabel 3. Kemudian dibuat kurva hubungan antara tegangan dan regangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



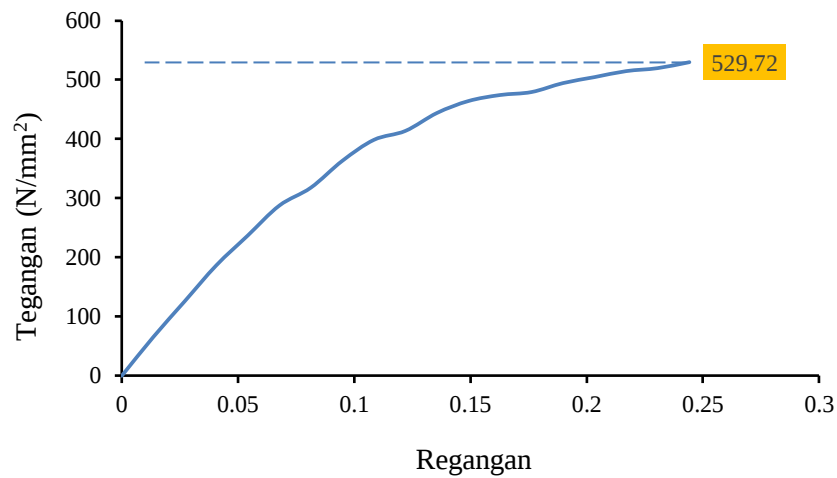
Gambar 5. Kurva tegangan dan regangan besi cor kelabu.

3.3 Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (*Tensile Strength, Ultimate tensile Strenght*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh suatu bahan ketika mengalami pembebanan. Dengan demikian dipakailah metode tegangan regangan teknis untuk mengetahui parameter asli suatu spesimen. Lalu didapatkan luas penampang awal sebagai acuan yakni sebesar 125,61 mm². Kekuatan tarik spesimen dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kekuatan Tarik Material.

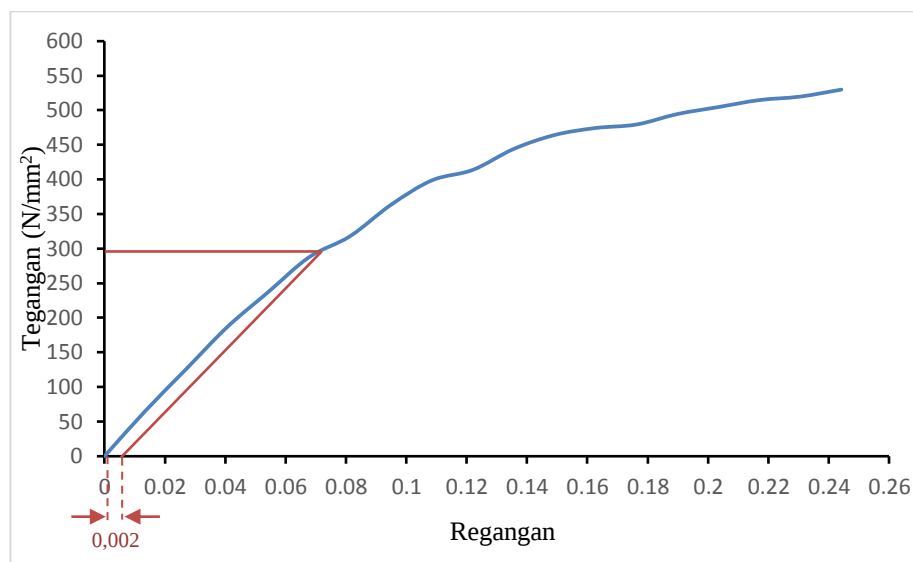
No	Spesimen	Luas Penampang, (mm ²)	Kekuatan Tarik, (N/mm ²)
1	Besi cor kelabu	125,61	529,72



Gambar 6. Penentuan Kekuatan Tarik.

3.4 Hasil Perhitungan Kekuatan Luluh

Kekuatan luluh (*Yield Strength*) merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis atau harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Dari gambar 6 dapat digunakan untuk menentukan kekuatan luluh dengan metode offset sebesar 0,002 seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



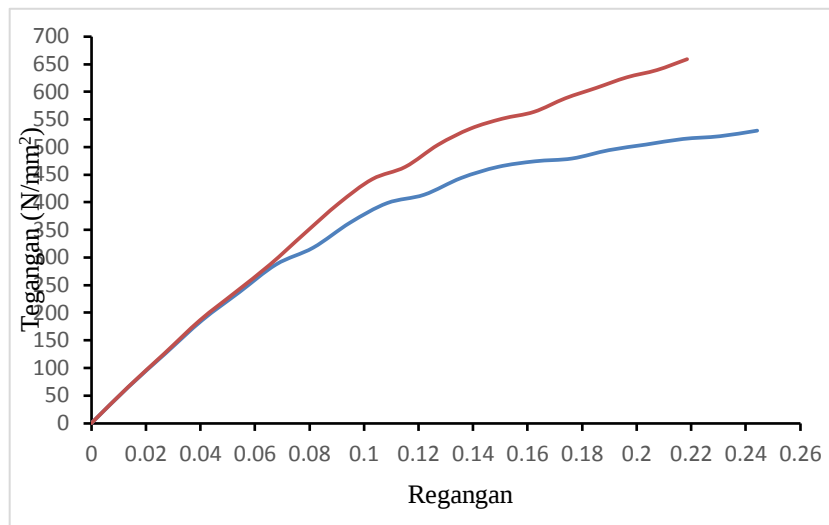
Gambar 7. Penentuan Kekuatan Luluh dengan metode offset.

Dari gambar 7 Dapat diketahui nilai kekuatan luluh sebesar 297,81 N/mm². Berikut nilai kekuatan luluh spesimen dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kekuatan Luluh Spesimen

No	Spesimen	Kekuatan Luluh σ_y (N/mm ²)
1	Besi cor kelabu	297,81

3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Sebenarnya



Gambar 8. Kurva Tegangan dan Regangan Sebenarnya

Tegangan dan regangan teknik dihubungkan dengan tegangan dan regangan sebenarnya dengan persamaan :

$$\sigma_T = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (3)$$

$$\varepsilon_T = \ln(1 + \varepsilon)$$

Tabel 6. Tegangan dan Regangan Sebenarnya

No	Tegangan, (N/mm ²)	Regangan
1	0	0
2	65.51	0.01
3	126.12	0.03
4	186.66	0.04
5	237.11	0.05
6	287.56	0.07
7	343.69	0.08
8	397.72	0.09
9	441.79	0.10
10	464.17	0.12

11	504.16	0.13
12	533.37	0.14
13	551.39	0.15
14	563.76	0.16
15	588.27	0.17
16	607.11	0.19
17	626.23	0.20
18	639.42	0.21
19	659.08	0.22

3.6 Hasil perhitungan Modulus Elastisitas

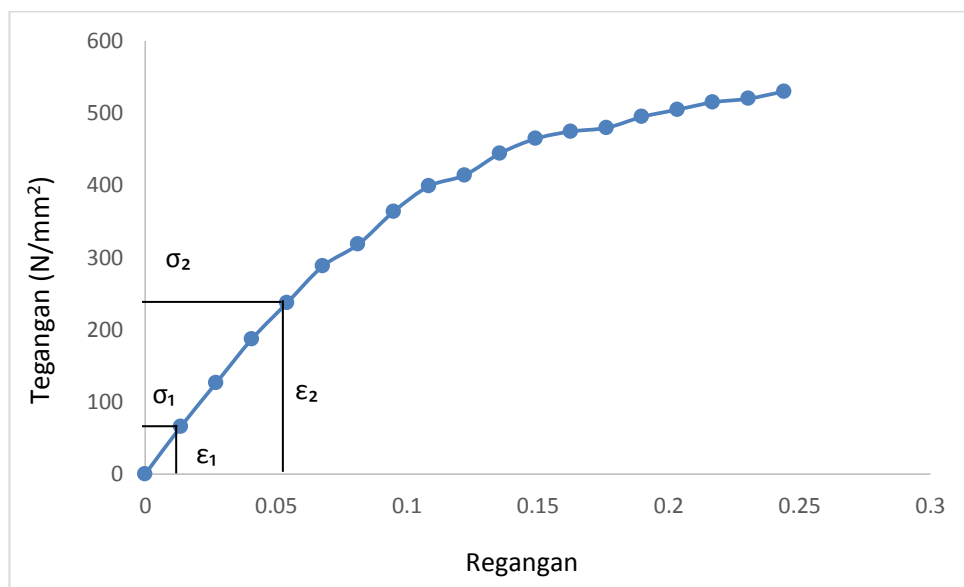
Modulus elastisitas adalah ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi elastis. Dari gambar 5 kurva tegangan-regangan dapat digunakan untuk menentukan modulus elastisitas, seperti yang terlihat pada gambar 9 dan persamaan 4.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana, E : Modulus elastisitas (N/mm²)

σ : Tegangan (N/mm²)

ε : Regangan



Gambar 9. Penentuan Modulus Elastisitas.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas : } E &= \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\
 &= \frac{237,11 - 65,51}{0,05 - 0,01} \\
 &= \frac{171,6}{0,04} \\
 &= 4290 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk selanjutnya nilai modulus elastisitas spesimen besi cor kelabu dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Modulus elastisitas besi cor kelabu.

No	Material	Modulus elastisitas (N/mm ²)
1	Besi cor kelabu	4290

Dikarenakan adanya perbedaan nilai dalam hasil perhitungan karena adanya kesalahan perhitungan pada parameter mesin uji , maka digunakanlah perhitungan galat atau error untuk menghitung selisih yang ditimbulkan antara nilai sebenarnya dengan nilai yang dihasilkan.

$$\varepsilon = \alpha - \hat{\alpha} \dots\dots\dots (5)$$

$$\varepsilon = 150000 \text{ N/mm}^2 - 4290 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 145710 \text{ N/mm}^2$$

Dimana, ε : Galat mutlak atau error

α : Nilai sejati

$\hat{\alpha}$: Nilai hampiran

3.7 Hasil Perhitungan Keliatan

Keliatan adalah ukuran derajat deformasi plastis yang telah dialami saat patah. Material yang mengalami deformasi plastis yang tinggi disebut material yang liat (*ductile*). Sedang material yang mengalami sedikit atau tidak mengalami deformasi plastis disebut material getas (*brittle*). Besi cor kelabu memiliki

keliatan antara 10-12% (Setyo, 2008). Keliatan dapat diekspresikan dengan persen perpanjangan (*percent elongation*), Berikut merupakan perhitungan persen perpanjangan (% $\mathcal{E}L$) dapat dilihat pada persamaan 6.

$$\begin{aligned}\% \mathcal{E}L &= \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots (6) \\ &= \left(\frac{62,21 - 50}{50} \right) \times 100 \% \\ &= 0,2442 \times 100 \% \\ &= 24,42 \%\end{aligned}$$

Dimana, % $\mathcal{E}L$: Persen perpanjangan (*percent elongation*)

l_f : Panjang material saat patah

l_o : Panjang awal

Dari perhitungan di atas telah diketahui nilai keliatan (*ductility*) dari spesimen besi cor kelabu sebesar 24,42 %.

Dikarenakan adanya perbedaan nilai dalam hasil perhitungan karena adanya kesalahan perhitungan pada parameter mesin uji , maka digunakanlah perhitungan galat atau error untuk menghitung selisih yang ditimbulkan antara nilai sebenarnya dengan nilai yang dihasilkan.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \alpha - \hat{\alpha} \\ \varepsilon &= 12 - 24,42 \\ \varepsilon &= 12,42 \%\end{aligned}$$

Dimana, ε : Galat mutlak atau error

α : Nilai sejati

$\hat{\alpha}$: Nilai hampiran.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Hasil uji tarik dengan standar ASTM E8 pada spesimen besi cor kelabu menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 529,72 N/mm² sedangkan untuk kekuatan luluh sebesar 297,81 N/mm². Berdasarkan nilai tegangan dan regangan, nilai modulus elastisitas dapat ditentukan sebesar 4290 N/mm². Berdasarkan hasil pengujian tarik, maka didapatkan nilai keliatan (*ductility*) sebesar 24,42 %.

4.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi perlakuan panas (*heat treatment*) dan penambahan komposisi untuk mendapatkan hasil yang beragam. Selain itu bisa juga dilakukan pengujian metalografi untuk mendapatkan struktur mikro pada besi cor kelabu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y. & Yulianto, A. 2017 *Pengaruh Quenching Terhadap Beban Impak Pada Besi Cor Kelabu*. Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Awal, M. 2014. Jenis Besi Cor dan Kandungannya.
<https://www.slideshare.net/muhammadawal/jenis-besi-cor-dan-kandungannya>.
- Callister, W. D., & D. Rethwisch. 2014. *Materials Science and Engineering: an Introduction*, Hoboken.
- Darmadi, Wahyu, Ngafwan, dan Sedyono, J. 2015. "Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Besi Cor".
<http://eprints.ums.ac.id/38332/1/Naskah%20Publikasi.pdf>.
- Darmawan, A. S. 2020. *Ilmu Bahan Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S., & Masyrukan. 2019. *Struktur dan Sifat Material*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Litaay, A., & Ekaputra, I. 2019. Karakteristik Lelah Besi Cor Kelabu Terhadap Hasil Penambahan Silisium Melalui Metode Open Ladle. *Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi Dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO)*, 1, 89-94. <https://aau.ejournal.id/senastindo/article/view/59>.

- Martanta, T. C. 2016. “Pengaruh Preheating Pada Cetakan Permanen Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Besi Cor Kelabu” UMS. Surakarta.
- Setyana, L. D. 2019. Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, dan Dimyanti, A. 2015. Study Scanning Electron Microscopy Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium.
- Syahroni, Andhy. 2015. Besi Dan Baja. <http://slideplayer.info/slide/3994086/>.
Diakses 27 November 2019.