

Pengaruh Elastisitas dan Kekerasan Terhadap Konduktivitas Listrik Untuk Aluminium Alloy 2024

Sumanto*¹, Iftitah Ruwana², I Nyoman Sudiasa³

¹Jurusan Teknik Industri, FTI ITN Malang

³Jurusan Teknik Sipil, FTSP ITN Malang

e-mail: sumanto.itn@gmail.com, ita.ruwana@yahoo.com, nyomansudiasa68@yahoo.co.id

Abstrak

Aluminium merupakan unsur paling melimpah ketiga (setelah oksigen dan silikon), dan logam yang paling melimpah di kerak bumi sampai dengan sekitar 8% berat bumi. Aluminium relatif lembut, tahan lama, ringan, logam yang ulet, tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas yang tinggi dan lentur. Paduan aluminium memiliki kekuatan mulai dari 200 MPa sampai dengan 600 MPa. Aluminium memiliki konduktivitas tertinggi keempat (setelah perak, tembaga, dan emas). Dikombinasikan dengan bobot yang ringan itu dan paduan dengan beberapa logam lain untuk membuatnya lebih kuat, aluminium sangat ideal untuk kabel listrik. Sifat nonmagnetik itu memungkinkan untuk tetap bekerja di mana saja (bahkan di badai). Dengan kekuatan ini aluminium dapat dengan mudah diangkut membuat aluminium pilihan terbaik untuk daya tinggi, jarak jauh sebagai kabel listrik. Specimen aluminium alloy 2024 dibentuk silinder dengan ukuran diameter 6 mm dan panjang 20 cm. Specimen dipanaskan dengan suhu yang bervariasi antara 100°C hingga 500°C dengan waktu pemanasan sampai dengan 48 jam dan kemudian dicelupkan ke dalam air dingin. Tujuannya adalah untuk membuat rusak struktur kepadatan bahan. Terdapat hubungan antara kekerasan bahan dengan elastisitas, antara kekarasan dengan konduktivitas listrik dan antara elastisitas bahan dengan konduktivitas listrik. Secara simultan kekerasan bahan dan elastisitas mempengaruhi konduktivitas listrik di mana 94.90% konduktivitas listrik dalam penelitian ini dipengaruhi oleh kekarasan dan elastisitas bahan..

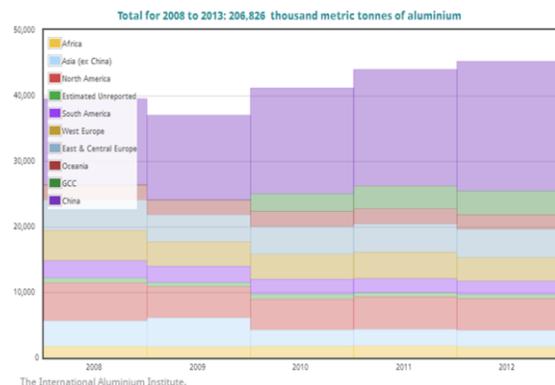
Kata kunci—Elastisitas, Kekerasan, Konduktivitas Listrik, Aluminium Alloy 2024

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan unsur paling melimpah ketiga (setelah oksigen dan silikon), dan logam yang paling melimpah di kerak bumi sampai dengan sekitar 8% berat bumi adalah aluminium. Aluminium relatif lembut, tahan lama, ringan, logam yang ulet, tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas yang tinggi dan lentur.

Penampilan aluminium mulai dari keperakan sampai dengan menjadi abu-abu kusam, tergantung pada kekasaran permukaan. Kekuatan aluminium murni 7-11 MPa, sedangkan paduan aluminium memiliki kekuatan hasil mulai dari 200 MPa sampai dengan 600 MPa.

Produksi aluminium dunia semakin hari semakin meningkat sebagaimana disajikan pada diagram berikut ini:



Gambar 1. Diagram Produksi Aluminium Dunia

Beberapa penggunaan aluminium antara lain:

1. Sektor industri otomotif, untuk membuat bak truk dan komponen kendaraan bermotor.
2. Untuk membuat badan pesawat terbang.
3. Sektor pembangunan perumahan; untuk kusen pintu dan jendela.
4. Sektor industri makanan, untuk kemasan berbagai jenis produk.
5. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.

Aluminium memiliki resistivitas terendah keempat atau konduktivitas tertinggi keempat (setelah perak, tembaga, dan emas). Tembaga lebih murah daripada aluminium dan memiliki konduktivitas yang lebih tinggi, tetapi karena aluminium lebih ringan dari tembaga maka menggunakan kabel aluminium terbukti menjadi ide yang sangat bagus. Aluminium lebih ringan dari tembaga. Aluminium memiliki resistivitas bervariasi $2,65 - 2,82 \times 10^{-8} \Omega m$. Dikombinasikan dengan bobot yang ringan itu dan paduan dengan beberapa logam lain untuk membuatnya lebih kuat, aluminium sangat ideal untuk kabel listrik. Sifat nonmagnetik itu memungkinkan untuk tetap bekerja di mana saja (bahkan di badai). Dengan kekuatan ini aluminium dapat dengan mudah diangkat membuat aluminium pilihan terbaik untuk daya tinggi, jarak jauh sebagai kabel listrik.

Paduan aluminium yang bermacam-macam memungkinkan aluminium memiliki konduktivitas listrik yang berbeda-beda. Adanya hubungan antara elastisitas dan kekerasan paduan aluminium dengan daya hantar listriknya perlu diteliti untuk menentukan paduan yang cocok digunakan sebagai penghantar listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara elastisitas dan kekerasan dengan konduktivitas listrik untuk aluminium alloy 2024 yang manfaatnya dapat dijadikan referensi untuk penggunaan aluminium alloy 2024 sebagai kabel listrik..

2. TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium merupakan logam yang sangat reaktif, sehingga tidak pernah ditemukan logam aluminium murni pada lingkungan yang berkontak langsung dengan udara, hal ini disebabkan karena logam aluminium dapat membentuk lapisan oksida pada permukaan yang dapat melindunginya dari reaksi lebih lanjut dengan oksigen yang terdapat di udara.

2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang terkenal adalah standar Aluminum Association di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar yang terdahulu dari Alcoa

(Aluminum Company of America). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu huruf atau dua huruf "S", sedangkan paduan coran dinyatakan dengan tiga huruf "S". Standar AA menggunakan penandaan dengan empat angka (Surdia, 2000:135) sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan.
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dari aluminium murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S, sebagai contoh, 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut:

1. Jenis Al-murni (seri 1000)

Jenis ini adalah aluminium dengan kemurnian 99,0% dan 99,99%. Aluminium dalam seri ini disamping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu las dan mampu potong. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang rendah.

2. Jenis Paduan Al-Cu (seri 2000)

Paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diheat treatment. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024).

3. Jenis Paduan Al-Mn (seri 3000)

Paduan Al-Mn adalah jenis yang tidak dapat diheat treatment sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis Al-murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al-murni.

4. Jenis Paduan Al-Si (seri 4000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diheat treatment. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak.

5. Jenis Paduan Al-Mg (seri 5000)

Paduan Al-Mg termasuk paduan yang tidak dapat diheat treatment, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Paduan Al-Mg digunakan tidak hanya dalam

konstruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Jenis Paduan Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan Al-Mg-Si termasuk dalam jenis yang dapat diheat treatment dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las, dan daya tahan korosi yang cukup.

7. Jenis Paduan Al-Zn (seri 7000)

Paduan Al-Zn termasuk jenis yang dapat diheat treatment. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan.

2.2 Elastisitas Bahan

Ketika benda solid dikenai gaya eksternal, maka akan terjadi perubahan ukuran dan bentuknya. Suatu benda solid elastis adalah benda solid yang akan kembali ke bentuk aslinya dan ukurannya setelah gaya eksternal dihilangkan. Untuk deformasi kecil dan pada skala waktu yang kecil, benda dapat dianggap elastis.

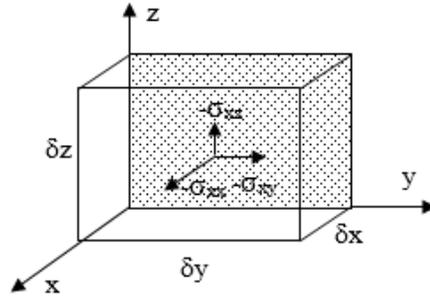
2.2.1 Stress (Tegangan)

Stress didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Ketika gaya yang menyebabkan deformasi dikenai pada benda suatu benda, stress atau tegangan adalah perbandingan antara gaya terhadap luas yang dikenai gaya tersebut. Jika gaya 1 Newton dikenakan pada luas 1 meter persegi secara seragam maka tegangannya adalah 1 Nm⁻² □ 1 Pascal (Pa). Jika gaya normal (tegak lurus) terhadap permukaan, maka dapat disebut sebagai tegangan normal (normal stress); jika tangensial terhadap permukaan, maka disebut tegangan geser (shearing stress).

Sekarang kita perhatikan paralelepiped kecil dengan sisi-sisi □ x, □ y, □ z dan bayangkan bahwa dia mengalami tegangan oleh berbagai macam gaya luar. Pada masing-masing sisi tegangan dapat diuraikan dalam komponen-komponen arah x, y, dan z. Tegangan yang pada sisi yang diarsir adalah -□ xx, -□ xy, -□ xz. Notasi □ xy menunjukkan tegangan yang bekerja dalam arah y pada sisi yang tegak lurus dengan arah x. Normal stress adalah -□ xx dan shearing stress adalah -□ xy dan -□ xz.

Jika paralelepiped dalam kondisi kesetimbangan statik (tidak dalam keadaan bergerak), maka tegangan-tegangan yang pada sisi yang berlawanan harus seimbang, dan harus tidak berpasangan yang mana merotasi paralelepiped. Ini berarti bahwa tegangan stress pada sisi yang

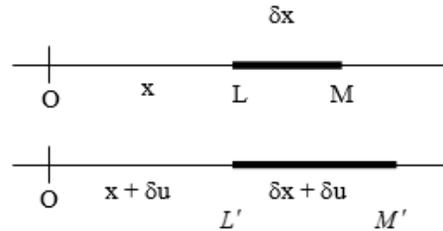
berlawanan besarnya akan sama tetapi berlawanan arah. Shearing stress pada sisi yang berlawanan dari paralelepiped memberikan pasangan yang akan kerotasi paralelepiped. Selama paralelepiped tidak berotasi maka pasangan-pasangan stress tersebut harus seimbang yang diberikan oleh shearing stress -□ xy dan □ σyx yang sedang bekerja pada dua sisi. Ini berarti bahwa □ σyx harus sama dengan □ σxy. Kondisi yang sama berlaku untuk shearing stress yang lain: □ σxy = □ σyx, □ σxz = □ σzx, □ σyz = □ σzy.



Gambar 2. Paralelepiped dengan sisi-sisi yang panjangnya □ dx, □ dy dan □ dz dalam kesetimbangan statis

2.2.2 Strain (Regangan)

Ketika suatu benda dikenai stress, maka hasil deformasinya adalah disebut regangan (strain). Strain didefinisikan sebagai perubahan bentuk relatif (perubahan kecil).



Gambar 3. Tali elastis yang ditarik

Pertama misalkan stress bekerja hanya pada arah x, pada tali elastis (gambar 2.2). Titik L pada tali berpindah sejauh u pada L' setelah ditarik, dan titik M berpindah sejauh u + delta u di titik M'. Strain dalam arah x, ditulis e_{xx}, diberikan oleh:

$$\frac{\text{perubahan panjang } LM}{\text{panjang mula - mula } LM}$$

sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$e_{xx} = \frac{L'M' - LM}{LM} = \frac{\delta x + \delta u - \delta x}{\delta x} = \frac{\delta u}{\delta x}$$

pada limit $\delta x \rightarrow 0$ regangan pada L adalah

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

Perluasan untuk 3 dimensi menghasilkan strain dalam arah x, y dan z masing masing adalah:

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

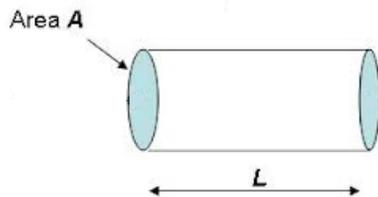
$$e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}$$

Hubungan Antara Stress dan Strain

Pada tahun 1676 ahli Fisika Inggris Robert Hooke mengusulkan bahwa untuk strain yang kecil, beberapa strain adalah sebanding dengan stress yang menghasilkan strain tersebut. Ini dikenal dengan hukum Hooke dan dasar dari teori elastisitas yang sempurna. Modulus Young E adalah perbandingan antara stress tensional terhadap strain longitudinal untuk silinder kecil karena pengaruh tegangan di kedua ujungnya.

2.2.3 Konduktivitas Listrik

Sebuah kawat konduktor dengan luas penampang A dan panjang L seperti digambarkan berikut ini.



Gambar 4. Kawat konduktor silinder

Kawat tersebut memiliki hambatan sebesar

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Di mana:

R = hambatan kawat (Ω)

ρ = hambatan jenis/resistivitas ($\Omega.m$)

L = panjang kawat (m)

A = luas penampang (m^2)

Konduktivitas suatu kawat dinyatakan dengan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

3. METODE PENELITIAN

a. Pembuatan Specimen Penelitian

Specimen penelitian yang berupa aluminium alloy 2024 dibuat dengan komposisi sebagai berikut:

| Element | Cu | Mg | Mn | Fe | Si | Zn | Al |
|-----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Content In wt.% | 4.2 | 1.4 | 0.91 | 0.20 | 0.10 | 0.03 | Bal. |

Specimen aluminium alloy 2024 dibentuk silinder dengan ukuran diameter 6 mm dan panjang 20 cm. Specimen yang telah terbentuk kemudian dipanaskan dengan suhu yang bervariasi antara $100^\circ C$ hingga $500^\circ C$ dengan waktu pemanasan yang bervariasi dari 1 jam hingga 48 jam dengan tujuan untuk merusak struktur kepadatan aluminium.

b. Pengujian Elastisitas Aluminium

Pengujian elastisitas aluminium ini menggunakan alat Micro Computer Universal Testing Machine sampai terjadi patahan yang pertama.

c. Pengujian Kekerasan Aluminium

Pengujian kekerasan aluminium dilakukan dengan menggunakan metode Vickers

d. Pengujian Konduktivitas Listrik

Untuk menentukan konduktivitas aluminium, terlebih dahulu diuji resistivitas bahan tersebut dengan menggunakan hukum Ohm. Setiap ada perubahan nilai yang ditunjukkan oleh ammeter dan voltmeter dicatat untuk menentukan hambatan bahan sesuai dengan hukum Ohm yaitu:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dilakukan perhitungan hambatan jenis dengan persamaan:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

Dan dilakukan perhitungan konduktivitas dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini disajikan dalam tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil penelitian

| NO | Specimen | Kekerasan (Vickers) | Modulus Rigidity (GPa) | Konduktivitas Listrik (S/m) |
|----|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 | A1 | 125 | 71.5 | 222700 |
| 2 | A2 | 124.5 | 71.2 | 222692 |
| 3 | B1 | 123.5 | 69.9 | 222856 |
| 4 | B2 | 123.5 | 69.8 | 222580 |
| 5 | C1 | 122.2 | 65.7 | 222112 |
| 6 | C2 | 122.3 | 65.7 | 222215 |
| 7 | D1 | 120.5 | 65.2 | 216265 |
| 8 | D2 | 120.4 | 65.2 | 216278 |
| 9 | E1 | 118 | 62.9 | 211135 |
| 10 | E2 | 117 | 62.7 | 211165 |

Keterangan:

A1, A2 : Specimen dipanaskan hingga suhu 100°C

B1, B2 : Specimen dipanaskan hingga suhu 200°C

C1, C2 : Specimen dipanaskan hingga suhu 300°C

D1, D2 : Specimen dipanaskan hingga suhu 400°C

E1, E2 : Specimen dipanaskan hingga suhu 500°C

Analisi Data

Untuk melihat pengaruh masing-masing variable digunakan teknik korelasi antar variable dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel. 2 Hasil perhitungan korelasi antar variabel

| | x1 | x2 | y |
|----|-------------|-------------|---|
| x1 | 1 | | |
| x2 | 0.939471162 | 1 | |
| y | 0.954872695 | 0.830990321 | 1 |

Keterangan:

X1 : kekerasan Vickers

X2 : modulus rigidity (GPa)

Y : konduktivitas listrik (S/m)

Sedangkan untuk melihat pengaruh kekerasan dan modulus rigidity (elastisitas) secara simultan terhadap konduktivitas listrik digunakan teknik regresi dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3 Ringkasan Output Regresi

| Regression Statistics | |
|-----------------------|-------------|
| Multiple R | 0.97415778 |
| R Square | 0.94898338 |
| Adjusted R Square | 0.934407203 |
| Standard Error | 1246.411468 |
| Observations | 10 |

Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan korelasi diperoleh hasil sebagai berikut:

- Koefisien korelasi antara kekerasan (x1) dan elastisitas/modulus rigidity (x2) adalah 0.9395, nilai ini lebih besar bila dibandingkan dengan nilai kritis table korelasi product moment $r_{(10;0.01)} = 0,765$. Hal ini berarti bahwa ada korelasi/pengaruh antara kekerasan dan modulus rigidity/elastisitas.
- Koefisien korelasi antara kekerasan (x1) dan konduktivitas listrik (y) adalah 0.9549. Nilai kritis table korelasi product moment Pearson untuk $n = 10$ dan $\alpha = 0,01$ adalah $r(0.01) = 0,765$. Nilai $rx1,y$ ini jika dibandingkan dengan r table maka $rx1,x2 > r$ tabel, sehingga disimpulkan ada korelasi antara kekerasan dan konduktivitas listrik.
- Koefisien korelasi antara modulus rigidity (x2) dan konduktivitas listrik (y) adalah $rx2,y = 0.8310$. Nilai kritis table korelasi product moment Pearson untuk $n = 10$ dan $\alpha = 0,01$ adalah $r(0.01) = 0,765$. Nilai $rx2,y$ ini jika dibandingkan dengan r table maka $rx1,x2 > r$ tabel, sehingga disimpulkan ada korelasi antara elastisitas dan konduktivitas listrik.

Pengaruh antara kekerasan dan elastisitas terhadap konduktivitas listrik dijelaskan dengan multiple R. Dari table output diperoleh multiple R = 0.9742. Nilai ini jika dibandingkan dengan R table maka diperoleh $(R = 0.9742) > (R \text{ tabel} = 0,765)$. Hal ini berarti secara simultan kekerasan dan elastisitas mempengaruhi konduktivitas listrik. Dari table juga diketahui bahwa R square = 0.9490. R square atau kuadrat R adalah koefisien determinasi yang menunjukkan besarnya pengaruh beberapa variable secara simultan terhadap satu variable tertentu. R square dalam penelitian ini adalah $0.9490 = 94.90\%$. Hal ini berarti 94.90% konduktivitas listrik dalam penelitian ini dipengaruhi oleh kekerasan dan elastisitas bahan.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah secara simultan kekerasan bahan dan elastisitas mempengaruhi

konduktivitas listrik di mana 94.90% konduktivitas listrik dalam penelitian ini dipengaruhi oleh kekerasan dan elastisitas bahan.

DAFTAR PUSTAKA

Fowler, C. M. R, 1990, **The Solid Earth**, Cambridge University Press, Canada.

Roy Woodward. **Aluminium and Aluminium Alloys** - Designations, <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=310>

Salazar, et.al. **Correlation of Strength with Hardness and Electrical Conductivity for Aluminium Alloy 7010**. Materials Science Forum Vols. 519-521 (2006) pp. 853-858

Symon, Keith R, 1957, **Mechanic**, 2nd printing, Adison-Wesley Publishing Company, Inc, United States of America.

_____. The International Aluminium Institute. <http://www.world-aluminium.org/statistics/#histogram>

_____. **Resistivity of Aluminum** <http://hypertextbook.com/facts/2004/ValPolyakov.Shtml>