



**STUDI PENGARUH *TENSILE STRESS* TERHADAP NILAI  
HAMBATAN KAWAT PENGHANTAR**

**SKRIPSI**

Oleh :

**ANDRI ARIYANTO  
NIM 110210102048**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**



**STUDI PENGARUH *TENSILE STRESS* TERHADAP NILAI  
HAMBATAN KAWAT PENGHANTAR**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar sarjana pendidikan

Oleh :

**ANDRI ARIYANTO  
NIM 110210102048**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Keluarga besar tercinta, yaitu: Ibuku Sumianah, Ayahku Mu'alim, dan kakak-kakakku Imro'atun Khasanah, Abdullah Ashar, Irhamni, serta Abdur Rosid Mahasibi atas doa, dukungan, motivasi, dan kasih sayang yang diberikan dalam iringan langkahku untuk menuntut ilmu;
2. Guru-guruku sejak Sekolah Dasar, Sekolah Menengah Pertama, Sekolah Menengah Atas sampai dengan Perguruan Tinggi;
3. Almamater Fakultas Ilmu Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

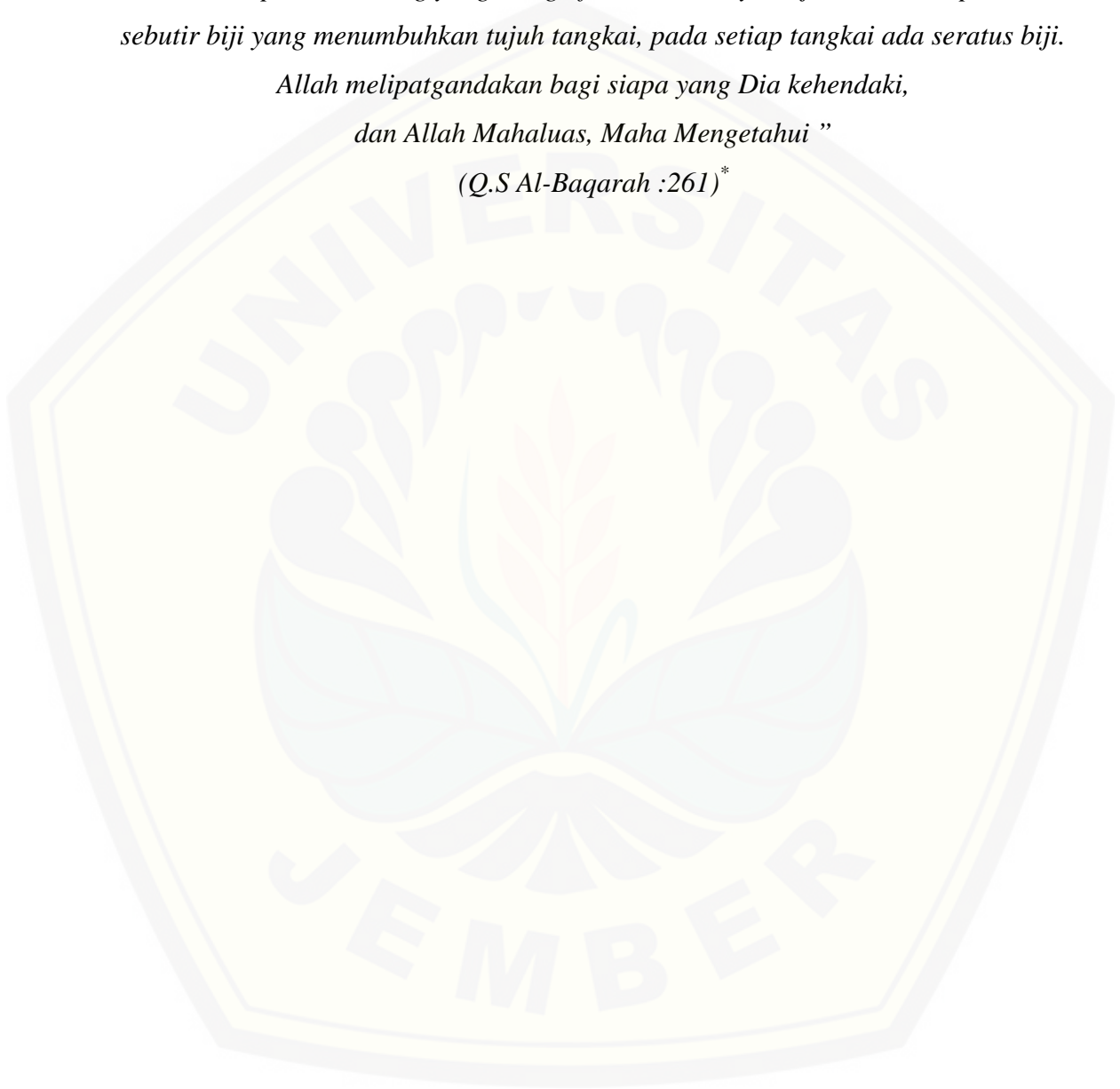
**MOTTO**

*“Perumpamaan orang yang menginfakkan hartanya di jalan Allah seperti  
sebutir biji yang menumbuhkan tujuh tangkai, pada setiap tangkai ada seratus biji.*

*Allah melipatgandakan bagi siapa yang Dia kehendaki,*

*dan Allah Mahaluas, Maha Mengetahui ”*

*(Q.S Al-Baqarah :261)\**



<sup>\*)</sup>Departemen Agama Republik Indonesia. 2006. *Al Qur'an dan Terjemahan*. Bandung: Penerbit Sinar Baru Algensindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah:

Nama : Andri Ariyanto

Nim : 110210102048

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Studi Pengaruh Tensile Stress Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar* adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Maret 2016

Yang menyatakan,

Andri Ariyanto  
NIM 110210102048

**SKRIPSI**

**STUDI PENGARUH *TENSILE STRESS* TERHADAP NILAI  
HAMBATAN KAWAT PENGHANTAR**

Oleh

**Andri Ariyanto  
NIM 110210102048**

Pembimbing

**Dosen Pembimbing 1 : Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.**

**Dosen Pembimbing 2 : Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.**

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul "Studi Pengaruh *Tensile Stress* Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.  
NIP 19810205 200604 2 001

Anggota I,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.  
NIP 19620401 198702 1 001

Sekretaris,

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.  
NIP 19680710 199302 1 001

Anggota II,

Dr. Drs. Agus Abdul Gani, M.Si.  
NIP 19570801 198403 1 004

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.  
NIP 19540501 198303 1 005

## RINGKASAN

**Studi Pengaruh *Tensile Stress* Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar;** Andri Ariyanto, 110210102048; 2016: 32 halaman; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Setiap materi dapat digolongkan menjadi tiga wujud, yaitu padat, cair, dan gas. Materi di sekitar kita ada yang berupa zat tunggal dan ada pula yang berupa campuran. Unsur dan senyawa termasuk dalam golongan zat tunggal. Unsur diklasifikasikan menjadi unsur logam, non-logam dan metalloid berdasarkan sifatnya. Beberapa logam ditemukan di alam bukan dalam bentuk unsur murni melainkan senyawa. Pemanfaatan unsur logam meningkat dengan berkembang pesatnya industri misalnya sebagai bahan untuk pembuatan kawat penghantar (kabel).

Suatu kawat penghantar yang dipengaruhi gaya tarikan oleh adanya beban tarik akan mengalami perubahan panjang dan luas penampang kawat serta mengalami kenaikan suhu karena terjadi tegangan. Akibat dari beban tarik tersebut, tegangan yang terjadi pada kawat dinamakan tegangan tarik (*tensile stress*). Secara teori, jika suatu kawat penghantar mengalami perubahan panjang, luas penampang dan suhu maka nilai hambatannya juga mengalami perubahan. Berdasarkan fakta diatas, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar. Sehingga penelitian ini diberi judul “Studi Pengaruh *Tensile Stress* terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar”.

Penelitian ini bertujuan mengkaji bagaimana pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar. Jenis penelitian ini adalah penelitian *eksperimen* dengan variabel bebas *tensile stress* yang dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember pada pukul 09.30 WIB, dan diketahui temperatur di dalam ruangan saat itu kurang lebih 30°C. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur tegangan dan kuat arus listrik menggunakan avometer pada rangkaian kawat penghantar yang digunakan. Setelah melakukan pengukuran tegangan dan kuat arus listrik maka dapat dihitung nilai hambatan kawat



penghantar. Kawat penghantar yang digunakan dalam penelitian ini berjenis kawat tembaga dengan ukuran panjang 30 cm, 50 cm, 70 cm, dan berdiameter ( $d$ ) 0,3 mm. Kemudian setiap ukuran panjang dari kawat tersebut diberi 3 variasi beban tarik sebesar 750 g, 1000 g, dan 1250 g. Sedangkan kawat penghantar tanpa beban tarik digunakan sebagai pembanding hasil. Selain itu pada penelitian ini menggunakan tegangan sumber sebesar 3,2 Volt.

Data yang telah disusun dalam tabel diolah dan dianalisis apakah terdapat pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar. Hasil analisis data menunjukkan adanya pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar. Untuk setiap ukuran panjang kawat penghantar, nilai hambatannya terjadi perubahan sering dengan *tensile stress* yang diberikan, dimana semakin besar *tensile stress* maka nilai hambatannya juga semakin bertambah meskipun dengan kenaikan yang relatif kecil.

*Tensile stress* yang diperlakukan pada kawat mengakibatkan kawat mengalami deformasi bentuk sehingga menimbulkan cacat pada struktur kristal kawat yang akan menghambat aliran elektron-elektron bebas. Dengan adanya cacat kristal tersebut dapat menghambat mobilitas elektron yang akan mengurangi kecepatan geser elektron bebas. Mobilitas elektron bebas akan semakin kecil ketika elektron bebas tersebut semakin sulit untuk melintasi kawat. Selain itu *tensile stress* juga mengakibatkan kenaikan suhu pada kawat yang dapat mempengaruhi nilai hambatannya dengan pengaruh yang sangat kecil mengingat perubahan suhunya juga sangat kecil. Hal itulah yang menyebabkan nilai hambatan kawat semakin bertambah.

Kesimpulan yang diperoleh dari percobaan ini yaitu *tensile stress* mempengaruhi nilai hambatan kawat penghantar yang digunakan. Nilai hambatan kawat penghantar untuk setiap variasi ukuran panjang yang dipengaruhi *tensile stress* mengalami perubahan, dimana nilai hambatannya semakin bertambah seiring semakin besar *tensile stress* yang diberikan meskipun perubahannya terbilang cukup kecil. Hal tersebut dibuktikan dari hasil penelitian yang menunjukkan hasil yang berbeda-beda.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul *Studi Pengaruh Tensile Stress Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ibu Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. selaku Ketua jurusan Pendidikan MIPA;
3. Bapak Dr. Yushardi, S.Si., M.Si. selaku ketua program studi Fisika;
4. Ibu Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi I;
5. Bapak Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi II dan Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si. selaku Dosen Penguji Skripsi I;
7. Bapak Dr. Drs. Agus Abdul Gani, M.Si. selaku Dosen Penguji Skripsi II;
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;
9. Kakak tercinta Imro'atun Khasanah, Irhamni, Abdullah Ashar, dan Abdur Rosid Mahasibi serta teman tercinta Iga Elysa D.;
10. Sahabat terdekatku Arif, Bayu, Rozikin, dan teman seperjuangan angkatan 2011;
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin

Jember, Maret 2016

Penulis

DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | i       |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                                      | ii      |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....  | iii     |
| <b>PERNYATAAN</b> .....   | iv      |
| <b>PEMBIMBINGAN</b> .....   | v       |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                       | vi      |
| <b>RINGKASAN</b> .....  | vii     |
| <b>PRAKATA</b> .....  | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | x       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xii     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | xii     |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....  | xiii    |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....  | 1       |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....                                       | 1       |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....                                      | 3       |
| <b>1.3 Batasan Masalah</b> .....                                      | 4       |
| <b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....                                    | 4       |
| <b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....                                   | 4       |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                  | 5       |
| <b>2.1 Sifat Kelistrikan Bahan</b> .....                              | 5       |
| <b>2.2 Tembaga Sebagai Penghantar (Konduktor)</b> .....               | 6       |
| <b>2.3 Karakteristik Kawat Penghantar</b> .....                       | 9       |
| a. Resistansi Kawat Penghantar .....                                  | 9       |
| b. Konduktansi Kawat Penghantar .....                                 | 11      |
| <b>2.4 Arus Listrik Sepanjang Kawat Tahanan (Kawat Penghantar) ..</b> | 11      |

|  |              |
|--|--------------|
| 2.5 Tegangan Tarik ( <i>Tensile Stress</i> ) pada Kawat Penghantar ..... | 12           |
| 2.6 Struktur Kristal .....   | 16           |
| 2.8 Cacat Kristal .....  | 17           |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>                                    | <b>20</b>    |
| 3.1 Jenis Penelitian .....   | 20           |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....                                    | 20           |
| 3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel .....          | 20           |
| a. Variabel Penelitian.....  | 20           |
| b. Definisi Operasional Variabel .....                                   | 20           |
| 3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....                                      | 21           |
| 3.5 Desain Alat Penelitian .....   | 22           |
| 3.6 Alur Penelitian .....  | 22           |
| 3.7 Langkah Penelitian .....   | 23           |
| 3.8 Teknik Penyajian Data .....  | 24           |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                   | <b>26</b>    |
| 4.1 Hasil Penelitian .....   | 26           |
| 4.2 Pembahasan.....  | 28           |
| <b>BAB 5 PENUTUP.....</b>  | <b>31</b>    |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 31           |
| 5.2 Saran .....  | 31           |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>32</b>    |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>.....</b> |

**DAFTAR TABEL**

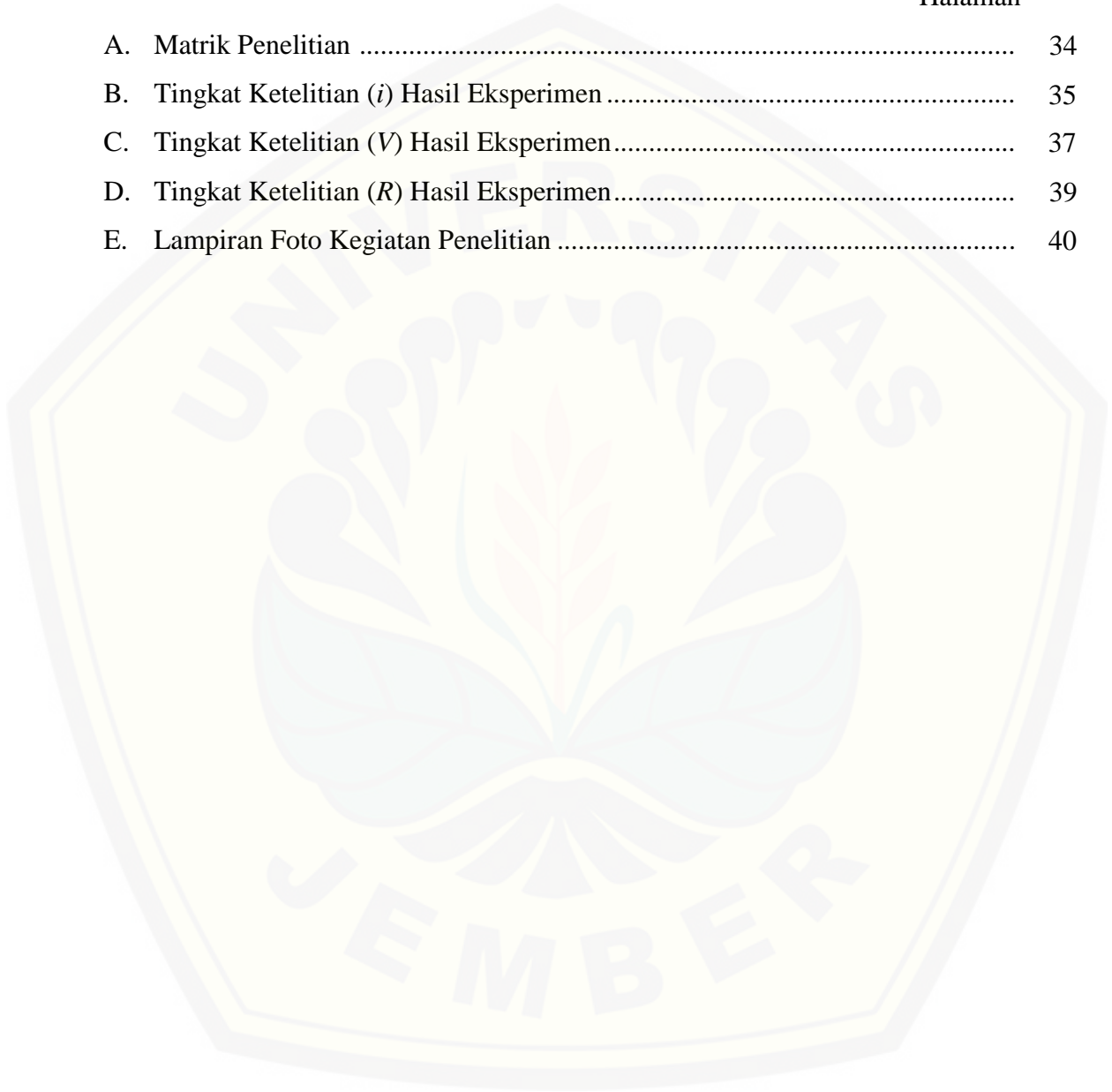
|  | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Hambatan jenis bahan konduktor logam pada temperature 20°C.....  | 8       |
| 2.2 Modulus Young $Y$ dan kekuatan bahan.....  | 16      |
| 3.1 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 30 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> ..... | 24      |
| 3.2 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 50 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> ..... | 24      |
| 3.3 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 70 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> ..... | 24      |
| 4.1 Data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 30 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> .....                 | 26      |
| 4.2 Data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 50 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> .....                 | 26      |
| 4.3 Data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 70 cm yang dipengaruhi variasi <i>tensile stress</i> .....                 | 27      |

DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Diagram bagan dari gerak elektron pada bahan logam.....  | 6       |
| 2.2 Tingkat tenaga di dalam (a) sebuah penghantar, (b) sebuah semikonduktor intrinsik, dan (c) sebuah isolator.....  | 7       |
| 2.3 Kawat logam yang dialiri arus listrik.....   | 12      |
| 2.4 (a) Batang tegar yang dipengaruhi gaya tarikan $F$ . (b) Elemen kecil batang yang mengalami tegangan tarik akibat adanya gaya tarikan.....   | 13      |
| 2.5 Grafik tegangan terhadap regangan .....  | 15      |
| 2.6 (a) $B_2O_3$ amorf menunjukkan terdapatnya keteraturan berjangkauan pendek saja. (b) Kristal $B_2O_3$ menunjukkan terdapatnya keteraturan berjangkauan panjang.....  | 17      |
| 2.7 Cacat titik dalam sebuah kristal. (a) Kekosongan (Vakansi). (b) Interstisial. (c) Ketakmurnian Substitusional. (d) Ketakmurnian Interstisial .....   | 18      |
| 2.8 (a) Dislokasi tepi. (b) Dislokasi sekrup .....   | 18      |
| 2.9 Slip yang ditimbulkan gerak dislokasi melalui kristal yang mengalami tegangan. (a) Konfigurasi awal kristal. (b) Dislokasi bergerak ke kanan ketika atom pada lapisan di bawahnya berturut-turut menggeser ikatannya ke lapisan atas satu baris setiap kali. (c) Kristal telah mengalami deformasi permanen..... | 19      |
| 3.1 Desain alat penelitian .....   | 22      |
| 3.2 Alur penelitian .....  | 22      |
| 4.1 Grafik nilai hambatan kawat penghantar pada variasi <i>tensile stress</i> .....  | 27      |

**DAFTAR LAMPIRAN**

|   | Halaman |
|---|---------|
| A. Matrik Penelitian .....                                | 34      |
| B. Tingkat Ketelitian ( <i>i</i> ) Hasil Eksperimen ..... | 35      |
| C. Tingkat Ketelitian ( <i>V</i> ) Hasil Eksperimen.....  | 37      |
| D. Tingkat Ketelitian ( <i>R</i> ) Hasil Eksperimen.....  | 39      |
| E. Lampiran Foto Kegiatan Penelitian .....                | 40      |



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Setiap materi dapat digolongkan menjadi tiga wujud, yaitu padat, cair, dan gas. Materi di sekitar kita ada yang berupa zat tunggal dan ada pula yang berupa campuran. Unsur dan senyawa termasuk dalam golongan zat tunggal. Unsur diklasifikasikan menjadi unsur logam, non-logam dan metalloid berdasarkan sifatnya. Beberapa logam ditemukan di alam bukan dalam bentuk unsur murni melainkan senyawa. Secara umum logam dibagi menjadi 2 kelompok yaitu logam besi (*ferrous metal*) dan logam bukan besi (*nonferrous metal*). Elemen pembentuk utama dan dasar dari logam besi adalah unsur besi. Sebaliknya, elemen pembentuk utama dari logam bukan besi adalah bukan unsur besi. Bahan yang termasuk logam bukan besi yang ada di dalam kehidupan sehari-hari misalnya tembaga, emas, aluminium dan sebagainya. Dari semua jenis logam dapat digolongkan menjadi logam murni dan logam paduan. Logam murni tersusun atas satu unsur logam tanpa campuran unsur lain, sedangkan logam paduan adalah logam yang terdiri dari gabungan beberapa unsur. Pemanfaatan unsur logam meningkat dengan berkembang pesatnya industri misalnya sebagai bahan untuk pembuatan kawat penghantar (kabel) (Amstead *et al*, 1997).

Pemilihan unsur logam sebagai bahan pembuatan kabel dilakukan karena faktor kesesuaian antara sifat bahan dengan fungsi kabel itu sendiri. Sifat bahan perlu diketahui dengan baik sebelum bahan itu dipergunakan agar dapat ditentukan bahan yang tepat sesuai kebutuhan dan keadaan. Zainuri (2008) menyatakan sifat-sifat bahan sangat banyak, antara lain sifat-sifat mekanik meliputi kekuatan, kekerasan, kekakuan, keliatan, keuletan, dan sebagainya; sifat-sifat termal meliputi panas jenis, pemuaian, dan sebagainya; sifat-sifat kimia meliputi reaksi kimia, ketahanan korosi, dan sebagainya; sifat-sifat fisik meliputi ukuran, massa jenis, struktur, dan



sebagainya; sifat-sifat listrik meliputi hantaran listrik, dielektrisitas, dan sebagainya; sifat-sifat magnet meliputi permeabilitas, koersivitas, dan sebagainya; sifat-sifat teknologi meliputi kemampuan dikerjakan dengan mesin, kemampuan bahan untuk pengelasan, dan sebagainya.

Logam memiliki keunggulan yaitu banyak sifat bahan produk dapat dipenuhi oleh sifat logam. Dalam usaha pemanfaatannya oleh manusia, sifat yang dimiliki oleh logam tidak harus unggul semuanya tetapi cukup beberapa sifat saja yang memang relevan dengan persyaratan aplikasinya. Bahan logam yang banyak digunakan adalah besi, baja, timah, aluminium, tembaga, seng, nikel, dan sebagainya. Meskipun tembaga lebih mahal dari besi/baja, tembaga banyak digunakan untuk kabel atau kawat penghantar karena memiliki tahanan jenis yang relatif rendah.

Bahan untuk kawat penghantar haruslah memiliki sifat-sifat mampu menghantarkan listrik yang baik. Kawat penghantar merupakan suatu bahan berbentuk kawat yang dapat menghantarkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Ketika arus listrik mengalir melalui kawat penghantar, arus listrik tersebut mendapat hambatan tertentu oleh kawat penghantar. Berkaitan dengan kepenghantaran arus listriknya, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi suatu bahan yaitu resistivitas bahan ( $\rho$ ), konduktivitas listrik bahan ( $\sigma$ ), dan resistansi bahan ( $R$ ) tersebut. Konduktivitas listrik bahan ( $\sigma$ ) dengan resistivitas bahan ( $\rho$ ) merupakan dua hal yang saling berkebalikan.

Suatu kawat penghantar yang dipengaruhi gaya tarikan oleh adanya beban tarik akan mengalami perubahan panjang dan luas penampang kawat serta mengalami kenaikan suhu karena terjadi tegangan. Akibat dari beban tarik tersebut, tegangan yang terjadi pada kawat dinamakan tegangan tarik (*tensile stress*). Jika perubahan bentuk menjadi hilang dan kembali ke bentuk semula setelah gaya tarikan dilepaskan, benda tersebut dikatakan memiliki sifat elastis dan perubahan bentuknya disebut deformasi elastis. Sebaliknya jika perubahan bentuk dan ukuran tersebut tetap ada meskipun beban telah dilepaskan, benda tersebut bersifat plastis dan perubahan bentuknya disebut deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi dikarenakan gaya-gaya

yang dikenakan sudah melebihi batas tertentu yang dinamakan batas elastik (Tipler, 1998). Secara teori, jika suatu kawat penghantar mengalami perubahan panjang, luas penampang dan suhu seharusnya nilai hambatan mengalami perubahan. Aplikasi mengenai tegangan tarik (*tensile stress*) dalam kehidupan sehari-hari misalnya pada kabel listrik di rumah-rumah dan pemasangan kabel listrik pada gardu di pinggir jalan yang disebabkan oleh adanya beban yang dikenakan pada kabel tersebut maupun oleh berat dari kabel itu sendiri sehingga kabel tersebut mengalami tegangan.

Somantri *et al* (2012) melakukan penelitian dengan judul “Konsistensi Hambatan Kawat Kumputan Terhadap Hukum Ohm pada Berbagai Medium”. Pada penelitian ini kumputan diberi tegangan yang bervariasi, kemudian kuat arus listrik pada rangkaian diukur. Pengukuran hambatan diperoleh dari rasio antara data tegangan dengan arus.

Hersandi (2014) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Bentuk Elemen Pemanas terhadap Jumlah Kalor yang Dihasilkan”. Dalam penelitiannya, Hersandi menggunakan kawat nikelin dengan tiga variasi bentuk yaitu berbentuk spiral ulir, spiral melingkar dan spiral planplanar yang bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh bentuk elemen pemanas terhadap jumlah kalor yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk elemen pemanas mempengaruhi nilai resistivitas dan secara tidak langsung berpengaruh terhadap jumlah kalor yang dihasilkan.

Berdasarkan fakta dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar. Sehingga penelitian ini diberi judul “**Studi Pengaruh *Tensile Stress* terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar**”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu: “Bagaimana pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar?”

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kawat yang digunakan dalam penelitian ini berjenis tembaga dengan merk supreme indonesia yang dijual di pasaran dengan ukuran sepanjang 30 cm, 50 cm, 70 cm dan berdiameter 0,3 mm.
- b. Penelitian ini hanya membahas pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan.
- c. Massa beban yang digunakan sebagai beban tarik yaitu 750 g, 1000 g, dan 1250 g.
- d. Percepatan gravitasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu  $10 \text{ m/s}^2$ .

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar”.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil setelah dilakukan penelitian adalah:

- a. Bagi peneliti,
  - 1) Sebagai pengalaman dalam memperluas wawasan.
  - 2) Memberikan sumbangan pemikiran dan ilmu pengetahuan di bidang kelistrikan.
- b. Bagi mahasiswa,
  - 1) Memperkaya pengetahuan yang telah dimiliki selama ini oleh mahasiswa.
  - 2) Sebagai acuan untuk mengembangkan penelitian tentang pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar.
- c. Bagi masyarakat,

Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi baru bagi masyarakat khususnya tenaga pendidik untuk mengembangkan pengetahuan yang telah dimiliki selama ini sebagai pengayaan informasi.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

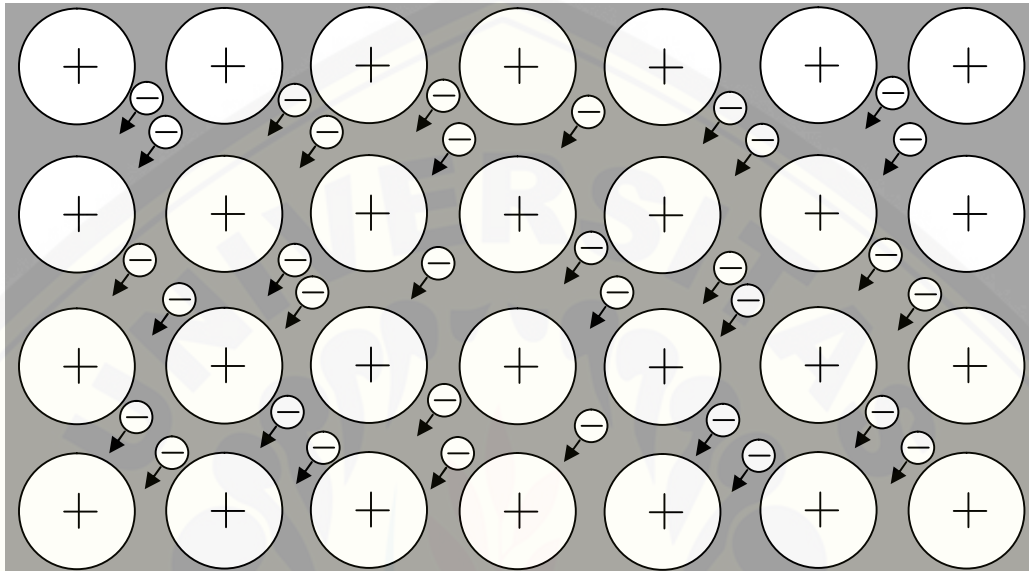
### 2.1 Sifat Kelistrikan Bahan

Berdasarkan sifat kelistrikannya, bahan dibedakan menjadi tiga yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Konduktor adalah bahan yang mudah menghantarkan listrik karena memiliki elektron-elektron yang dapat bergerak bebas dengan setiap elektron membawa muatan sebesar  $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb. Sedangkan isolator adalah bahan yang mempunyai daya hantar listrik yang sangat kecil. Pada bahan isolator, muatan-muatan listrik tidak bebas bergerak, sehingga muatan-muatan tersebut sukar berpindah di dalam bahan. Hal itu yang menyebabkan isolator sulit menghantarkan arus listrik. Sedangkan semikonduktor adalah bahan dengan sifat di antara konduktor dan isolator di dalam kemampuannya untuk menghantarkan listrik.

Ada dua jenis semikonduktor yaitu semikonduktor *intrinsik* dan semikonduktor *ekstrinsik*. Semikonduktor *intrinsik* yaitu semikonduktor murni tanpa pengotor sehingga sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri. Sedangkan semikonduktor *ekstrinsik* yaitu semikonduktor yang sifat hantaran listriknya ditentukan oleh sifat-sifat dan jumlah dari pengotor yang diberikan pada bahan itu. Hantaran listrik yang terjadi di dalam bahan semikonduktor selain dilakukan oleh elektron-elektron bebas yang membawa muatan, juga oleh elektron-elektron valensi dengan melompat dari satu atom ke atom tetangganya secara estafet. Hantaran listrik oleh elektron valensi tersebut dikenal dengan hantaran listrik *hole* dalam teori semikonduktor (Soedjo, 1998: 136).

Reitz *et al.* (1993:40) mengatakan konduktor adalah zat yang di dalamnya memiliki elektron bebas dalam jumlah besar misalnya logam. Muatan yang bergerak membentuk arus listrik dan proses pengangkutan muatannya disebut penghantaran. Alat-alat yang sifatnya membutuhkan kecepatan transfer energi biasanya dibuat

menggunakan bahan-bahan yang bersifat konduktor, misalnya setrika, kabel, dan solder. Arus listrik yang terjadi di dalam logam dibawa oleh elektron, sedangkan muatan positif tetap pada kedudukannya dalam struktur kristal (lihat Gambar 2.1).



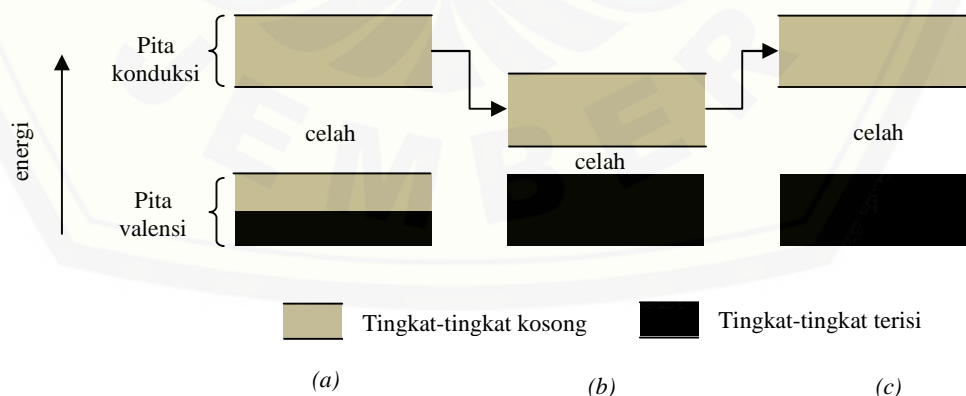
Gambar 2.1 Diagram bagan dari gerak elektron pada bahan logam (Sumber: Reitz *et al*, 1993)

## 2.2 Tembaga Sebagai Penghantar (Konduktor)

Permukaan suatu konduktor akan bermedan listrik jika dimuati oleh muatan listrik. Ketika pemuatan listrik tidak terlampau banyak, muatan listrik yang dimiliki pada konduktor tidak ditolak dan lepas dari konduktor sebab ada gaya tarik muatan listrik yang berlawanan dari atom-atom konduktor yang akan mengimbangnya (Soedjo, 1999: 163). Bahan konduktor padat memiliki elektron bebas yang merupakan elektron-elektron dalam tiap atom yang terikat lemah dengan inti atom. Letak elektron bebas jauh dari inti atom sehingga hanya mendapatkan gaya tarik yang kecil. Elektron bebas tidak dimiliki oleh bahan isolator karena elektron-elektron dalam atom terikat kuat dengan inti atom. Elektron bebas akan bergerak dengan pengaruh gaya medan karena adanya medan listrik. Elektron bebas inilah yang akan mengalir dalam bahan (kawat) apabila ada perbedaan potensial di antara dua titik pada kawat.

Pada umumnya setiap jenis bahan padat yang disusun oleh atom-atom selalu mengandung elektron-elektron. Elektron bebas bergerak di dalam logam, sedangkan proton tidak bebas bergerak seperti halnya elektron. Elektron dikatakan bebas ketika elektron tersebut dapat bergerak dengan bebas oleh karena suatu hal (misalnya medan listrik) dari satu titik ke titik lain di seluruh kristal. Ketika atom-atom yang terisolasi digabungkan untuk membentuk zat padat logam, elektron yang lebih luar dari atom-atom tidak tetap terikat dengan atom masing-masing tetapi bergerak bebas di seluruh volume benda padat. Pengangkut-pengangkut muatan sebenarnya di dalam logam adalah elektron. Dengan adanya elektron bebas ini logam mempunyai sifat yang salah satunya merupakan penghantar listrik yang baik.

Elektron-elektron yang dimiliki benda padat mempunyai energi yang dibatasi ke tingkat-tingkat tertentu, dan tingkat-tingkat tersebut dibatasi ke pita-pita tertentu. Di antara pita-pita tersebut terdapat interval-interval terlarang yang artinya elektron-elektron dalam benda tersebut dilarang memiliki energi seperti itu. Dua elektron yang ditentukan pada sebuah tingkat tertentu dan elektron tersebut tidak boleh menaikkan energinya (yang berarti bahwa elektron-elektron tersebut tidak boleh bergerak bebas di dalam benda padat) kecuali jika ada tingkat-tingkat yang kosong pada energi yang lebih tinggi yang mana elektron-elektron dapat dengan mudah bergerak. Agar lebih lebih jelas perhatikan Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Tingkat tenaga di dalam (a) sebuah penghantar, (b) sebuah semikonduktor intrinsik, dan (c) sebuah isolator (Sumber: Halliday dan Resnick, 1997)

Gambar 2.2a menunjukkan sebuah penghantar, seperti tembaga. Pada gambar 2.2a terlihat pita valensi terisi sebagian sehingga elektron-elektron dapat dengan mudah melompat ke tingkat-tingkat kosong yang lebih tinggi energinya yang berarti bergerak melalui benda padat penghantar tersebut. Gambar 2.2b menunjukkan sebuah semikonduktor (intrinsik) seperti silikon. Disini terlihat bahwa pita valensi terisi penuh elektron dan pita konduksi terletak sangat dekat sehingga elektron dapat dengan mudah melompat ke pita yang kosong yang memiliki energi lebih tinggi. Elektron tersebut dapat melompat setelah menyerap energi. Gambar 2.2c menunjukkan sebuah isolator, seperti Natrium Klorida (*Sodium Chloride*). Pita valensi terisi penuh, tetapi pita konduksi terlalu jauh energinya daripada pita valensi untuk mengirimkan elektron dari pita valensi dalam melompati celah energi tersebut.

Tembaga adalah salah satu dari sederetan logam yang mempunyai konduktivitas listrik terbaik, mampu mengalirkan listrik dengan baik sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuatan kabel-kabel listrik. Dalam tabel periodik unsur tembaga dilambangkan dengan  ${}_{29}\text{Cu}$ . Tembaga (Cu) merupakan logam golongan 11 (golongan transisi) bersama perak (Ag) dan emas (Au). Tembaga murni mempunyai tahanan jenis (resistivitas)  $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ . Agar lebih jelas lihat Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Hambatan jenis bahan konduktor logam pada temperatur 20°C

| Konduktor logam | Hambatan jenis<br>( $\times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ) | Koefisien temperatur ( )<br>per °C<br>( $\times 10^{-5}$ ) |
|-----------------|---|--|
| Perak           | 1,59  | 610  |
| Tembaga         | 1,68  | 680  |
| Aluminium       | 2,65  | 429  |
| Tungsten        | 5,6   | 450  |
| Nikrom          | 100   | 40   |
| Besi            | 9,71  | 651  |
| Platina         | 10,6  | 392,7  |
| Emas            | 2,44  | 340  |
| Air raksa       | 98  | 90   |

Sumber: Giancoli. (2001).

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa perak memiliki nilai tahanan jenis yang paling rendah. Semakin rendah tahanan jenis dari suatu bahan menunjukkan bahan itu semakin mudah untuk menghantarkan listrik. Begitu juga sebaliknya, semakin tinggi tahanan jenis dari suatu bahan menunjukkan semakin rendah kemampuan bahan tersebut dalam hal menghantarkan arus listrik. Dari semua bahan-bahan yang tercantum dalam Tabel 2.1, perak merupakan konduktor yang paling baik dibanding bahan lain termasuk tembaga. Namun kawat tembaga ini juga merupakan konduktor yang baik karena mempunyai konduktivitas listrik yang relatif tinggi meskipun lebih rendah dari perak. Secara ekonomis perak lebih mahal dari tembaga, sehingga tembaga lebih banyak digunakan.

### **2.3 Karakteristik Kawat Penghantar**

#### **a. Resistansi Kawat Penghantar**

Aliran muatan pada kawat penghantar seringkali dibandingkan dengan aliran air di dalam sebuah pipa yang terjadi karena perbedaan tekanan antara ujung-ujung pipa. Perbedaan tekanan ini dapat dibandingkan dengan perbedaan potensial yang dihasilkan oleh sumber tegangan seperti baterai di antara ujung-ujung tahanan. Banyaknya air yang mengalir per detik untuk suatu perbedaan tekanan yang diberikan dipengaruhi oleh karakteristik pipa misalnya panjang, lebar, dan kondisi di dalam pipa. Karakteristik pipa tersebut analog dengan hambatan pada kawat penghantar.

Suatu kawat penghantar ketika mengalami deformasi bentuk maka atom-atom bahan dari kawat tersebut mengalami cacat pada struktur kristal yang dapat berupa dislokasi atom-atom, sehingga aliran elektron mengalami hambatan dan terjadi tumbukan dengan atom-atom bahan yang mengakibatkan elektron-elektron bebas menjadi tak leluasa dalam menghantarkan arus listrik sehingga timbullah hambatan listrik. Jika arus listrik mengalir melalui kawat penghantar maka kawat tersebut akan memberikan tahanan atau hambatan tertentu terhadap arus yang mengalir.



Karakteristik dari suatu bahan yang dikaitkan dengan hambatan adalah resistivitas (*resistivity*) .... Resistivitas secara teori didefinisikan dari:

$$\dots = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{j}} \quad (2.1)$$

Kebalikan dari resistivitas adalah konduktivitas listrik (*conductivity*), sehingga secara matematis dihubungkan oleh

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

Medan listrik dan rapat arus konstan untuk semua titik dalam kawat penghantar, maka

$$\dots = \frac{V}{i} \frac{\ell}{A} \quad (2.3)$$

$V/i$  adalah hambatan  $R$ , sehingga

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.4)$$

Dari persamaan tersebut dapat dijelaskan bahwa untuk beberapa kawat dengan tahanan jenis, dan panjang sama, maka kawat yang berdiameter lebih panjang memiliki nilai hambatan ( $R$ ) lebih kecil dibandingkan dengan kawat yang berdiameter lebih pendek, karena kawat yang memiliki diameter lebih panjang memiliki area  $A$  yang lebih luas untuk lewatnya elektron. Pada keadaan yang lain yaitu jika kawat dengan tahanan jenis dan luas penampang yang sama, kawat yang lebih panjang memiliki nilai hambatan ( $R$ ) lebih besar dibandingkan dengan kawat yang lebih pendek karena akan ada lebih banyak penghalang untuk aliran elektron.

Hukum Ohm (dalam Bueche, 2006: 185) semulanya terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan persamaan hambatan  $V = iR$ . Persamaan tersebut sering disebut dengan hukum Ohm. Tetapi Ohm juga menyatakan bahwa hambatan  $R$  adalah suatu nilai ketetapan atau konstanta yang tidak bergantung pada  $V$  maupun  $i$ . Satuan SI untuk hambatan yaitu volt per ampere ( $V/A$ ) atau sering disebut juga dengan satuan ohm ( $\Omega$ ). Resistansi (hambatan) akan berubah seiring dengan perubahan suhu karena resistansi merupakan fungsi suhu. Suhu sangat berpengaruh terhadap hantaran arus

listrik sehingga resistansi dari suatu konduktor tidaklah konstan pada suhu yang berbeda-beda. Jika sepotong kawat pada suhu  $T_0$  hambatannya  $R_0$ , maka hambatan  $R$  pada suhu  $T$  adalah

$$R = R_0 \{1 + r (T - T_0)\}$$

Dimana  $r$  merupakan koefisien suhu hambatan dari kawat. Hubungan tersebut berlaku untuk rentang temperatur yang cukup sempit karena secara umum  $r$  adalah fungsi temperature yang memiliki satuan  $K^{-1}$  atau  $^{\circ}C^{-1}$ .

Hubungan yang sama berlaku untuk variasi hambat jenis terhadap temperatur yang juga merupakan fungsi temperatur. Jika sepotong kawat pada suhu  $T_0$  hambat jenis  $\rho_0$ , maka hambatan  $\rho$  pada suhu  $T$  adalah

$$\rho = \rho_0 \{1 + r (T - T_0)\} \quad (2.6)$$

#### b. Konduktansi Kawat Penghantar

Nilai konduktansi  $G$  suatu kawat penghantar dinyatakan sebagai perbandingan terbalik terhadap besarnya tahanan  $R$ . Jika resistansi merupakan sifat menghambat arus listrik dari suatu bahan, konduktansi merupakan sifat menghantar arus listrik dari suatu bahan. Nilai konduktansi yang besar menunjukkan bahwa bahan tersebut mampu menghantarkan arus dengan mudah, sedangkan nilai konduktansi yang rendah menunjukkan bahan itu susah dalam mengalirkan arus listrik. Secara matematis konduktansi dinyatakan dengan persamaan :

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.7)$$

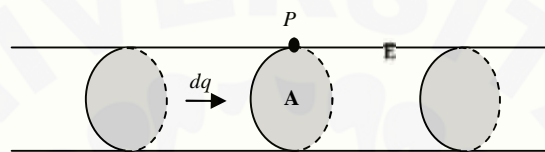
(Irzaman *et al*, 2010: 35)

### 2.4 Arus Listrik Sepanjang Kawat Tahanan (Kawat Penghantar)

Soedjo (1999) menyatakan bahwa kawat tahanan adalah kawat konduktor dari bahan logam yang mengandung banyak elektron bebas. Elektron-elektron bebas melakukan gerakan yang tidak teratur. Pada medan listrik nol, maka elektron bebas

bertumbukan antara satu dengan yang lain serta bertumbukan dengan atom-atom dari bahan yang bergetar di sekitar titik setimbang. Ketika ujung-ujung dari kawat tahanan dihubungkan dengan sumber tegangan maka timbul medan listrik yang akan membuat elektron-elektron bergeser sesuai arah medan listrik sepanjang kawat tahanan.

Arus listrik ialah banyaknya muatan listrik yang melewati penampang per satuan waktu. Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Kawat logam yang dialiri arus listrik (Sumber: Sutrisno dan Gie, 1997)

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat **E** adalah medan listrik, **A** adalah luas penampang pada titik **P** dan  $dq$  adalah muatan negatif yang melintasi luas penampang **A** dalam waktu  $dt$ . Pada Gambar 2.3 dilukiskan muatan negatif  $dq$  melalui suatu penampang di **P**. Muatan negatif  $dq$  ini memerlukan waktu  $dt$  untuk menyeberang penampang di **P**. Berdasarkan pengertian arus listrik, dapat dituliskan bahwa arus  $i$  adalah:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.8)$$

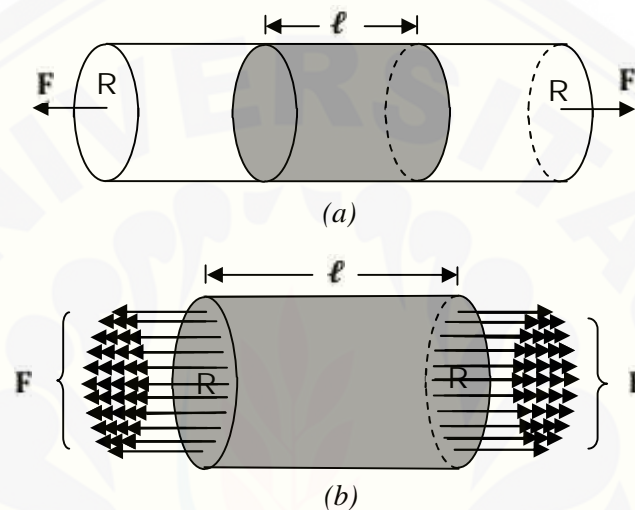
(Giancoli, D.C. 2001: 65)

Dalam sistem SI, satuan untuk kuat arus  $i$  adalah Coulomb per sekon atau Ampere (A).

## 2.5 Tegangan Tarik (*Tensile Stress*) pada Kawat Penghantar

Jika sebuah benda padat berada dalam keadaan setimbang tetapi dipengaruhi gaya-gaya yang berusaha menarik, menggeser, atau menekannya, maka benda tersebut akan mengalami deformasi bentuk (Tipler, 1998: 386). Selain perubahan bentuk, suhu di dalam benda padat mengalami kenaikan. Jika gaya-gaya itu dihilangkan maka bentuk benda akan kembali ke bentuk semula untuk benda elastik. Dalam hal keelastisitasannya, setiap benda memiliki batas tertentu yang dikenal

dengan batas elastik terhadap gaya-gaya yang berusaha menariknya. Jika gaya tarik sudah melampaui batas elastik, benda tidak akan kembali lagi ke bentuk semula walaupun gaya tarikan dilepaskan, tetapi akan mengalami deformasi bentuk secara permanen. Hal ini berlaku untuk kawat penghantar yang dipengaruhi oleh gaya tarikan. Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 (a) Batang tegar yang dipengaruhi gaya tarikan  $\mathbf{F}$ . (b) Elemen kecil batang yang mengalami tegangan tarik akibat adanya gaya tarikan (Sumber: Tipler, 1998)

Gambar 2.4a menunjukkan sebuah batang tegar yang dapat dianalogikan dengan sebuah kawat penghantar yang dipengaruhi gaya tarik  $\mathbf{F}$  ke kanan dan gaya yang sama hanya arahnya berlawanan ke kiri. Gaya tarik  $\mathbf{F}$  tersebut disebut gaya tarik aksial. Dalam gambar 2.4b, perhatikan pada sebuah elemen kecil kawat penghantar yang panjangnya  $\ell$ . Elemen ini berada dalam keadaan setimbang karena gaya-gaya yang bekerja padanya oleh elemen-elemen di sampingnya ke kanan harus sama dengan gaya yang dikerjakan padanya oleh elemen-elemen tetangga ke kiri. Jika elemen tidak terlalu dekat dengan ujung kawat penghantar, maka gaya-gaya ini akan didistribusi secara merata pada penampang kawat penghantar. Apabila sepasang gaya eksternal (gaya tarik) menarik suatu kawat penghantar dalam keadaan setimbang seperti diatas, gaya internal (gaya penentang di dalam bahan) yang dimiliki kawat

akan menentang guna menyeimbangi gaya eksternal tersebut, sehingga benda tegar (kawat penghantar) mengalami tegangan tarik (*tensile stress*). Rasio gaya  $F$  terhadap luas penampang mula-mula  $A_0$  dinamakan tegangan tarik:

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (2.9)$$

Dengan  $\tau$  adalah tegangan tarik dan  $A_0$  adalah luasan mula-mula yang mengalami tegangan (dalam hal ini  $A_0$  adalah luas penampang kawat).

Deformasi atau perubahan bentuk benda yang terjadi ketika kawat mengalami tegangan tarik disebut regangan. Regangan yang diakibatkan oleh benda yang mengalami tegangan tarik adalah regangan normal. Pengaruh tegangan tarik pada suatu batang (kawat penghantar) adalah untuk menambah panjangnya dan juga mengurangi luas penampangnya. Regangan untuk regangan normal didefinisikan sebagai perbandingan perubahan ukuran terhadap ukuran semula. Dapat dituliskan secara matematis sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\ell}{\ell_0} \quad (2.10)$$

Jika volume tidak berubah:

$$A_\tau \ell_\tau = A_0 \ell_0 \quad (2.11)$$

Dengan:

$$\ell_\tau = \ell_0 + \ell \quad (2.12)$$

Keterangan:

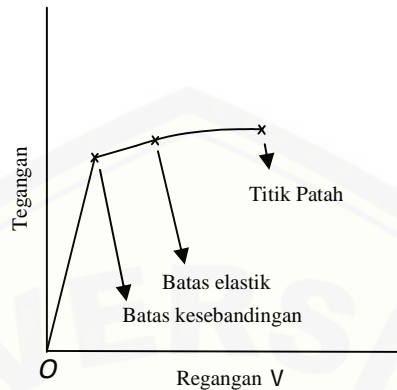
$A_0$  = luas penampang kawat sebelum diberi beban tarik

$A_\tau$  = luas penampang kawat setelah diberi beban tarik

$\ell_0$  = panjang kawat sebelum diberi beban tarik

$\ell_\tau$  = panjang kawat setelah diberi beban tarik

Tegangan dan regangan dapat dinyatakan dengan grafik berikut ini.



Gambar 2.5 Grafik Tegangan terhadap Regangan (Sumber: Tipler, 1998: 386)

Pada Gambar 2.5 memperlihatkan grafik tegangan terhadap regangan. Grafik tersebut linear sampai batas kesebandingan. Bila tegangan normal ada di bawah harga 'batas kesebandingan', tegangan sebanding dengan regangan yang diakibatkannya. Percobaan tarik yang dikerjakan pada logam membenarkan pernyataan di atas, dan dikenal sebagai hukum Hooke. Setelah batas proporsional terdapat batas elastis yaitu batas tegangan di mana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula walaupun beban dilepaskan yang artinya bahan berubah secara permanen. Bahan akhirnya akan patah ketika sudah mencapai titik patah.

Untuk tegangan normal (tarik), rasio tegangan terhadap regangan dalam daerah linier grafik merupakan konstanta yang disebut dengan modulus Young (modulus elastisitas) yang disimbolkan  $Y$ . Secara matematis dinyatakan dengan:

$$Y = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{F}{\ell} \frac{A_0}{\ell_0} \quad (2.13)$$

Satuan modulus Young adalah  $N/m^2$ . Perubahan panjang batang  $\ell$ , sebagai fungsi dari panjang semula  $\ell_0$ , luas penampang mula-mula  $A_0$  dan gaya tarik  $F$ , dihubungkan oleh:

$$\ell = \frac{F \ell_0}{Y A_0} \quad (2.14)$$

Nilai hampiran modulus Young untuk berbagai bahan dapat di lihat dalam Tabel 2.2.

Table 2.2 Modulus Young  $Y$  dan kekuatan bahan

| Bahan        | $Y$<br>$GN/m^2$ † | Kekuatan Tarik<br>$MN/m^2$ | Kekuatan Tekan<br>$MN/m^2$ |
|--------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Aluminium    | 70                | 90                         |                            |
| Tulang       |                   |                            |                            |
| Tarik        | 16                | 200                        |                            |
| Tekan        | 9                 | -                          | 270                        |
| Kuningan     | 90                | 370                        |                            |
| Beton        | 23                | 2                          | 17                         |
| Tembaga      | 110               | 230                        |                            |
| Besi (tempa) | 190               | 390                        |                            |
| Timah hitam  | 16                | 12                         |                            |
| Baja         | 200               | 520                        | 520                        |

†  $1 GN = 10^3 MN = 10^9 N$

Sumber: Tipler. (1998).

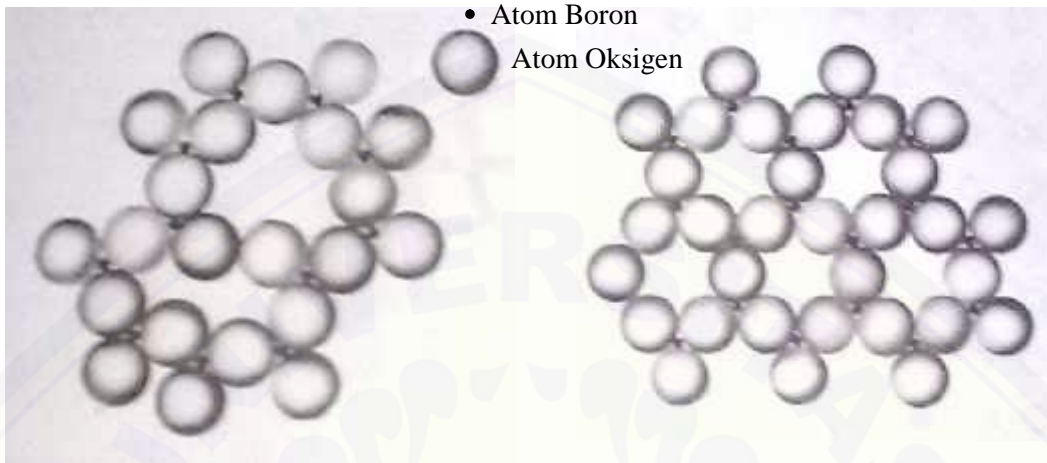
## 2.6 Struktur Kristal

Dalam pemakaian bahan-bahan untuk pelbagai peralatan, barang-barang produksi, mesin dan lainnya diperlukan pengetahuan mengenai sifat-sifat bahan, karena sifat-sifat ini yang menentukan penampilan bahan tersebut. Sifat-sifat suatu bahan ditentukan oleh struktur internal bahan tersebut. Hal ini melibatkan atom dan cara atom tersebut berikatan dengan atom di sekitarnya dalam kristal, molekul, atau struktur mikro lainnya.

Pada umumnya zat padat berbentuk kristal, dimana atom, ion, atau molekul-molekul penyusun zat padat tersusun menjadi pola tiga dimensi, dan pola-pola tersebut berulang secara teratur dalam jangkauan yang panjang. Pada beberapa zat padat seperti kaca, dan beberapa logam, partikel penyusunnya tidak memiliki pola susunan tertentu yang berulang secara teratur seperti kristal. Bentuk seperti ini dinamakan amorf. (Suwitra, Nyoman. 1989: 3-4).

Zat padat amorf menunjukkan keteraturan berjangkauan pendek dalam strukturnya. Perbedaan antara kedua keteraturan itu tergambar dengan jelas pada

trioksida boron ( $B_2O_3$ ) yang dapat berada dalam bentuk kristal dan amorf yang ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 (a)  $B_2O_3$  amorf menunjukkan terdapatnya keteraturan berjangkauan pendek saja. (b) Kristal  $B_2O_3$  menunjukkan terdapatnya keteraturan berjangkauan panjang (Sumber: Suwitra, 1989)

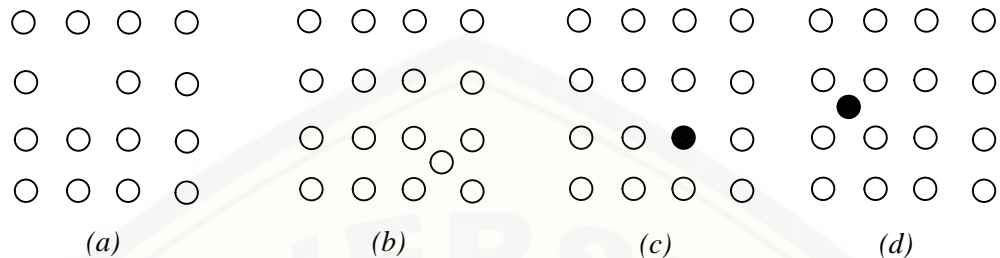
Dalam masing-masing kasus atom boron dikelilingi oleh tiga atom oksigen yang menyatakan adanya keteraturan berjangkauan pendek. Pada gambar 2.6 terlihat bahwa pada kristal  $B_2O_3$  keteraturan ini berulang dalam rentang yang panjang, sedangkan pada zat padat  $B_2O_3$  amorf keteraturan ini hanya terjadi pada rentang yang pendek.

## 2.7 Cacat Kristal

Beiser (1999) menyatakan bahwa kristal ideal merupakan kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur. Pada kenyataannya kristal yang sebenarnya menyimpang jauh dari spesifikasi seperti itu. Cacat dalam struktur kristal seperti kehilangan atom, atom yang tidak pada tempatnya, kehadiran atom asing dan sebagainya berpengaruh cukup besar pada sifat fisis dari suatu zat padat.



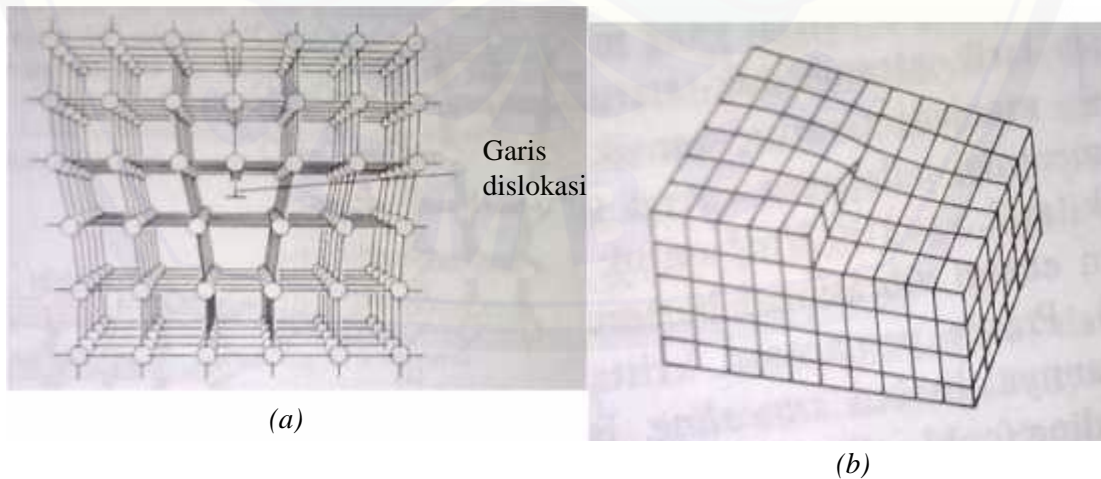
Salah satu kategori dari cacat kristal adalah cacat titik yang ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Cacat titik dalam sebuah kristal. (a) Kekosongan (Vakansi). (b) Interstitial. (c) Ketakmurnian Substitusional. (d) Ketakmurnian Interstitial (Sumber: Beiser, 1999).

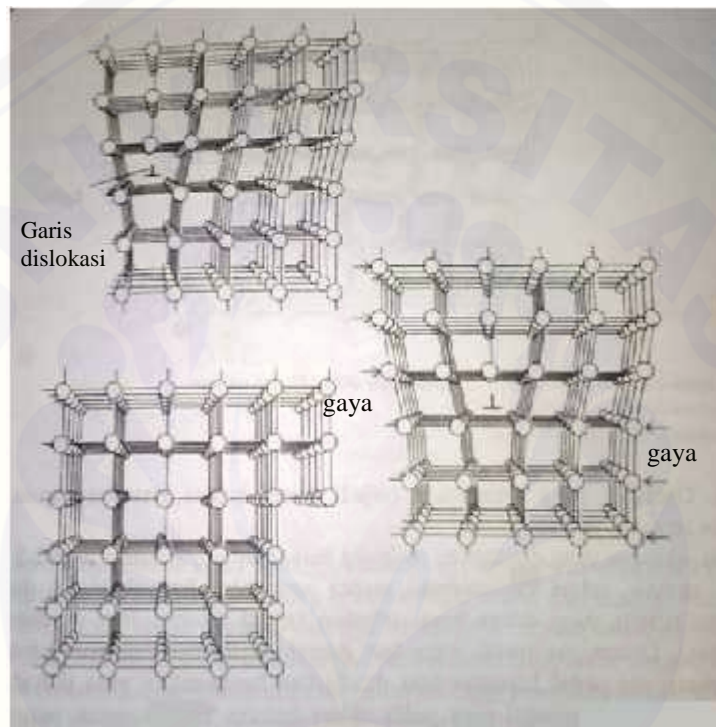
Gambar 2.7 menunjukkan tiga jenis dasar cacat titik yaitu kekosongan (vakansi), interstitial, dan ketakmurnian. Kehadiran cacat titik dalam kristal memungkinkan difusi atom di dalamnya. Jika terdapat kekosongan di dalam kristal, difusi terjadi dengan lompatan atom yang berdekatan ke tempat yang kosong yang akan menimbulkan kekosongan baru pada kedudukan sebelumnya dari atom yang telah melompat, kemudian disusul dengan atom yang lain bisa melompat ke tempat itu, dan seterusnya.

Di samping cacat titik terdapat jenis cacat kristal di mana sebaris atom tidak berada pada kedudukan yang seharusnya yang dinamakan dislokasi (gambar 2.8).



Gambar 2.8 (a) Dislokasi tepi. (b) Dislokasi sekrup (Sumber: Beiser, 1999).

Pada gambar 2.8 ditunjukkan bahwa terdapat dua bentuk dasar dislokasi yaitu dislokasi tepi (gambar 2.8a) dan dislokasi sekrup (gambar 2.8b). Dislokasi yang sebenarnya terjadi dalam kristal biasanya gabungan dari kedua jenis dislokasi tersebut yaitu gabungan dislokasi tepi dan sekrup. Kristal yang mengandung dislokasi tepi dapat terdeformasi secara permanen yang ditunjukkan Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Slip yang ditimbulkan gerak dislokasi melalui kristal yang mengalami tegangan. (a) Konfigurasi awal kristal. (b) Dislokasi bergerak ke kanan ketika atom pada lapisan di bawahnya berturut-turut menggeser ikatannya ke lapisan atas satu baris setiap kali. (c) Kristal telah mengalami deformasi permanen (Sumber: Beiser, 1999).

Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana kristal yang mengandung dislokasi tepi dapat terdeformasi secara permanen. Pada gambar 2.9a merupakan konfigurasi awal kristal. Kemudian gambar 2.9b terlihat bahwa barisan atom di bawah dan di sebelah kanan dislokasi menggeser ikatannya pada barisan atom langsung di atasnya, jika gaya diterapkan. Proses ini terulang kembali hingga dislokasi sampai ke tepi kristal, dan deformasi itu menjadi permanen (gambar 2.9c). Keseluruhan proses itu disebut slip, dan bidang tempat Bergeraknya dislokasi disebut bidang slip.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *eksperimen*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *tensile stress* terhadap nilai hambatan kawat penghantar.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2015/2016.

### 3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel

#### a. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah *tensile stress*. Dalam penelitian ini besar *tensile stress* dibuat tiga variasi dengan menggunakan beban tarik sebesar 750 g, 1000 g, dan 1250 g. Sedangkan kawat penghantar tanpa mengalami *tensile stress* digunakan sebagai pembanding hasil.
2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hambatan kawat penghantar.
3. Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain:
  - a) Jenis kawat penghantar
  - b) Alat ukur

#### b. Definisi Operasional Variabel

Untuk menghindari perbedaan persepsi dan penafsiran yang salah terhadap variabel-variabel dalam penelitian ini, maka perlu adanya definisi operasional variabel. Adapun pengertian dari variabel-variabel tersebut, antara lain:

1. *Tensile stress* kawat penghantar

*Tensile stress* (tegangan tarik) kawat penghantar adalah intensitas gaya tarik yang bekerja tegak lurus terhadap luas penampang kawat penghantar yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan tau ( $\tau$ ) dengan satuan dalam SI yaitu  $N/m^2$ .

2. Hambatan kawat penghantar

Hambatan kawat penghantar adalah kemampuan suatu kawat penghantar untuk menahan arus listrik yang melewati penampang kawat tersebut, yang dipengaruhi beberapa faktor yaitu resistivitas bahan, panjang serta luas penampang kawat, disimbolkan dengan  $R$ , dan satuannya dalam SI yaitu Ohm ( $\Omega$ ).

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Seperangkat alat dan bahan penelitian yang digunakan untuk meneliti pengaruh bentuk kawat penghantar terhadap hambatan listrik suatu kawat antara lain:

a. Kawat tembaga

Spesifikasi: - merk : Supreme Indonesia  
- panjang : 30 cm, 50 cm, dan 70 cm  
- diameter : 0,3 mm

b. Beban dengan massa 750 g, 1000 g, dan 1250 g.

c. Statif

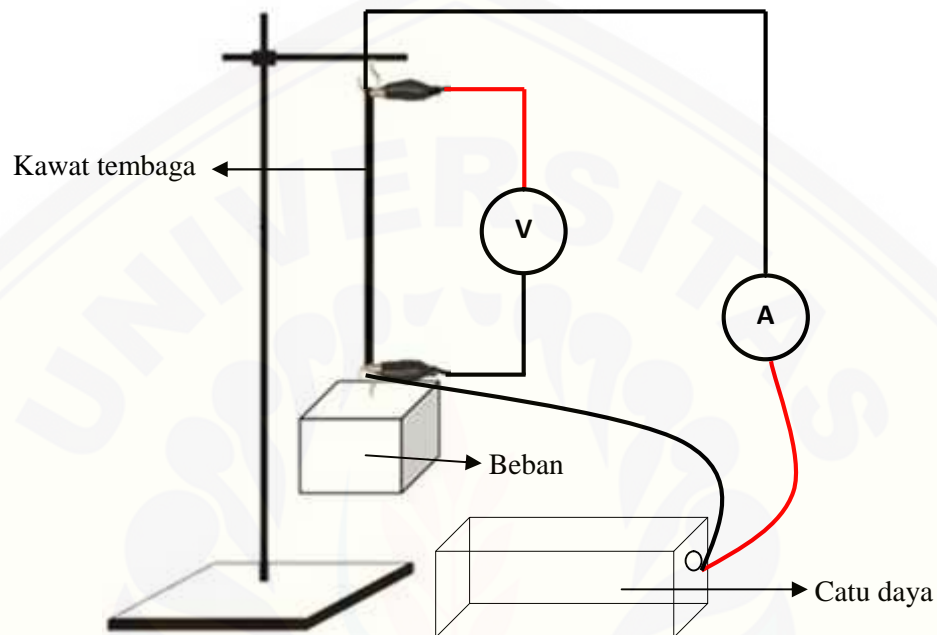
d. Avometer

Spesifikasi: - merk : MAZDA DT830B  
- range pengukuran : miliamperemeter (0 - 200 mA)  
: milivoltmeter (0 – 200 mV)

e. Sumber tegangan (Catu daya)

### 3.5 Desain Alat Penelitian

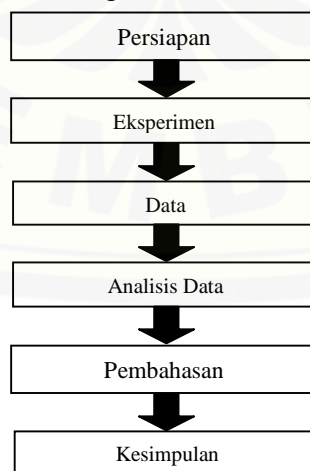
Pada penelitian yang telah dilakukan, penelitian menggunakan desain alat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Desain alat untuk mengukur nilai kuat arus dan tegangan listrik kawat penghantar

### 3.6 Alur Penelitian

Penelitian ini mempunyai alur sebagai berikut:



Gambar 3.2 Bagan alur penelitian

### 3.7 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mempersiapkan alat dan bahan

Alat dan bahan yang telah disebutkan sebelumnya disediakan. Alat dan bahan yang digunakan harus sudah dalam kondisi baik.

b. Merangkai alat dan bahan

Menyusun set alat percobaan seperti pada Gambar 3.1

c. Penelitian

Setelah alat dan bahan dirangkai, maka penelitian dapat dilakukan. Adapun proses penelitian dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Menyalakan catu daya. Mengatur tegangan yang akan digunakan.
- 2) Mengukur kuat arus  $i$  dan tegangan  $V$  pada rangkaian kawat penghantar tanpa beban tarik.
- 3) Melakukan hal yang sama sesuai langkah 1) sampai 2) dengan beban tarik berbeda sebesar 750 g, 1000 g, dan 1250 g.
- 4) Melakukan hal yang sama sesuai langkah 1) sampai 3) dengan variasi panjang kawat yang akan dibebani sebesar 30 cm, 50 cm, dan 70 cm.

d. Mencatat hasil pengukuran pada tabel pengamatan data

Data berupa kuat arus  $i$  dan tegangan  $V$  yang diperoleh dari pengukuran dan nilai hambatan yang diperoleh dari penghitungan menggunakan rumus.

e. Analisis data

Data yang telah disusun dalam tabel diolah dan dianalisis berdasarkan teori apakah terdapat pengaruh *tensile stress* dengan nilai hambatan.

f. Pembahasan

Apabila analisis data telah dilakukan maka dilanjutkan pembahasan terhadap penelitian dan hasilnya. Dalam pembahasan akan diuraikan hasil penelitian sesuai atau tidak dengan teori yang ada.

g. Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh.

**3.8 Teknik Penyajian Data**

Data yang diperoleh dari eksperimen akan ditabulasikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3.1 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 30 cm dengan diameter 0,3 mm yang dipengaruhi variasi *tensile stress*.

| Massa<br>m<br>(g) | Gaya<br>tarik <b>F</b><br>(N) | Luas<br>penampang<br>mula-mula<br><b>A<sub>0</sub></b><br>(m <sup>2</sup> ) | <i>Tensile<br/>Stress</i> †<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | Arus <i>I</i><br>(mA) | Tegangan <i>V</i><br>(mV) | <i>R<sub>kawat</sub></i><br>( ) |
|-------------------|-------------------------------|---|---|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |

Tabel 3.2 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 50 cm dengan diameter 0,3 mm yang dipengaruhi variasi *tensile stress*.

| Massa<br>m<br>(g) | Gaya<br>tarik <b>F</b><br>(N) | Luas<br>penampang<br>mula-mula<br><b>A<sub>0</sub></b><br>(m <sup>2</sup> ) | <i>Tensile<br/>Stress</i> †<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | Arus <i>I</i><br>(mA) | Tegangan <i>V</i><br>(mV) | <i>R<sub>kawat</sub></i><br>( ) |
|-------------------|-------------------------------|---|---|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |

Tabel 3.3 Tabel penyajian data untuk perhitungan nilai hambatan kawat penghantar dengan panjang 70 cm dengan diameter 0,3 mm yang dipengaruhi variasi *tensile stress*.

| Massa<br>m<br>(g) | Gaya tarik<br><b>F</b><br>(N) | Luas<br>penampang<br>mula-mula<br><b>A<sub>0</sub></b><br>(m <sup>2</sup> ) | <i>Tensile<br/>Stress</i> †<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | Arus <i>I</i><br>(mA) | Tegangan <i>V</i><br>(mV) | <i>R<sub>kawat</sub></i><br>( ) |
|-------------------|-------------------------------|---|---|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |
|                   |                               |   |   |                       |                           |                                 |

a. Menghitung besarnya *tensile stress*:

$$\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{mg}{r^2}$$

b. Menghitung nilai hambatan kawat penghantar ( $R_{kawat}$ ) menggunakan rumus:

$$R_{kawat} = \frac{V}{i}$$

c. Menghitung kesalahan mutlak:

1) Kuat arus

a) Kesalahan mutlak  $i = \frac{\overline{\Sigma(i-\bar{i})^2}}{(n-1)}$

b) Kesalahan relatif (I) =  $\frac{\Delta i}{\bar{i}} \times 100\%$

c) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

d)  $H_p = \bar{i} \pm i$

2) Tegangan

a) Kesalahan mutlak  $V = \frac{\overline{\Sigma(V-\bar{V})^2}}{(n-1)}$

b) Kesalahan relatif (I) =  $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$

c) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

d)  $H_p = \bar{V} \pm V$



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai hambatan kawat penghantar untuk setiap variasi ukuran panjang yang dipengaruhi *tensile stress* mengalami perubahan, dimana nilai hambatannya semakin bertambah seiring semakin besar *tensile stress* yang diberikan. *Tensile stress* yang diperlakukan pada kawat mengakibatkan kawat mengalami deformasi bentuk sehingga menimbulkan cacat pada struktur kristal kawat yang akan menghambat aliran elektron-elektron bebas. Dengan adanya cacat kristal tersebut dapat menghambat mobilitas elektron yang akan mengurangi kecepatan geser elektron bebas. Mobilitas elektron bebas akan semakin kecil ketika elektron bebas tersebut semakin sulit untuk melintasi kawat. Selain itu dalam daerah tak elastik, kebanyakan energi tersebut tersebar ke dalam bahan yang berdeformasi permanen dan didisipasikan dalam bentuk panas sehingga bahan mengalami perubahan suhu. Hal itulah yang menyebabkan pertambahan nilai hambatan kawat meskipun perubahan tersebut terbilang relatif kecil.

### 5.1 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka saran yang dapat diberikan adalah:

- a. Penelitian ini akan semakin akurat jika digunakan alat ukur yang mempunyai ketelitian tinggi.
- b. Penelitian ini akan memiliki hasil yang lebih baik lagi jika menggunakan variasi *tensile stress* dan panjang kawat yang lebih banyak (lebih dari 3 variasi).
- c. Penelitian ini dapat digunakan untuk memperkaya pengetahuan yang sudah diperoleh khususnya bagi calon pendidik.

**DAFTAR PUSTAKA****Buku**

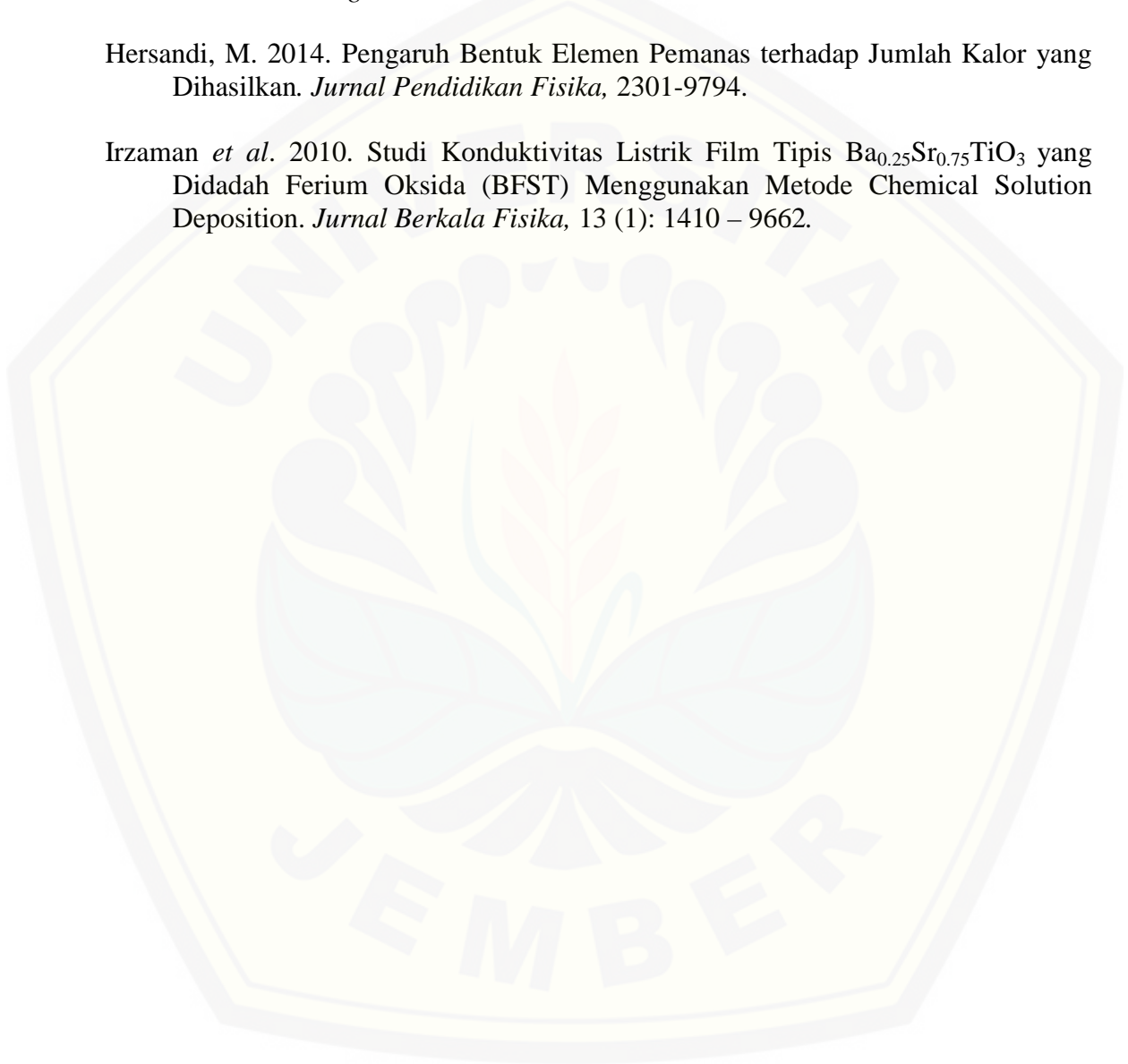
- Alonso, M. 1994. *Dasar-Dasar Fisika Universitas Jilid 2 (Medan dan Gelombang)*. Edisi II. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Amstead, B.H. 1997. *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Edisi VII. Jakarta: Erlangga.
- Beiser, A. 1999. *Konsep Fisika Modern*. Edisi IV. Jakarta: Erlangga.
- Bueche, F. J. 2006. *Fisika Universitas*. Edisi X. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Ed.V jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1997. *Fisika Jilid 1*. Edisi III. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1997. *Fisika Jilid 2*. Edisi III. Jakarta: Erlangga.
- Popov, E.P. 1983. *Mekanika Teknik*. Edisi II. Jakarta: Erlangga.
- Reitz *et al.* 1993. *Dasar Teori Listrik-Magnet*. Edisi III. Bandung: Penerbit ITB.
- Sapiie, S. 2000. *Pengukuran dan Alat-Alat Ukur Listrik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Soedjojo, P. 1998. *Azaz-Azaz Ilmu Fisika Jilid 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Soedjojo, P. 1999. *Fisika Dasar*. Edisi II. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Sutrisno & Ik, T. G. 1997. *Fisika Dasar: Listrik, Magnet, dan Termofisika*. Bandung: Penerbit ITB.
- Suwitra, N. 1989. *Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Tippler, P.A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1*. Edisi III. Jakarta: Erlangga.
- Zainuri, A.M. 2008. *Kekuatan Bahan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

**Jurnal**

Somantri, S., Toifur. M., dan Sumaji. 2014. Konsistensi Hambatan Kawat Kumparan Terhadap Hukum Ohm pada Berbagai Medium. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY*. ISSN 0853-0823: 84-88.

Hersandi, M. 2014. Pengaruh Bentuk Elemen Pemanas terhadap Jumlah Kalor yang Dihasilkan. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 2301-9794.

Irzaman *et al.* 2010. Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis  $\text{Ba}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{TiO}_3$  yang Didadah Ferium Oksida (BFST) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. *Jurnal Berkala Fisika*, 13 (1): 1410 – 9662.



MATRIK PENELITIAN

| JUDUL   | RUMUSAN MASALAH  | VARIABEL  | INDIKATOR   | SUMBER DATA   | METODE PENELITIAN   |
|---|--|---|---|---|---|
| “Studi pengaruh <i>tensile stress</i> terhadap nilai hambatan kawat penghantar” | a. Bagaimana pengaruh <i>tensile stress</i> terhadap nilai hambatan kawat penghantar ? | <p><b>a. Variabel bebas:</b><br/><i>Tensile Stress</i></p> <p><b>b. Variabel terikat:</b><br/>1) Nilai hambatan kawat</p> <p><b>c. Variabel kontrol:</b><br/>a. Jenis kawat penghantar<br/>b. Alat ukur</p> | a. Hambatan kawat penghantar pada variasi <i>tensile stress</i> | <p>a. Data yang dihasilkan dari percobaan</p> <p>b. Bahan rujukan: Literatur yang digunakan</p> | <p><b>a. Jenis Penelitian:</b><br/>Penelitian <i>Eksperimen</i></p> <p><b>b. Tempat Penelitian</b><br/>Laboratorium Fisika Dasar</p> <p><b>c. Teknik Pengumpulan Data</b><br/>Pengumpulan data dari hasil percobaan</p> |

**TINGKAT KETELITIAN (*i*) HASIL EKSPERIMEN**

| No.   | Tensile Stress<br>( $N/m^2$ ) | $l_0$ kawat<br>(cm) | Arus <i>i</i><br>(mA) | Rata-rata<br>Arus <i>i</i><br>(mA) | Kesalahan<br>Mutlak<br><i>i</i><br>(mA) | Kesalahan<br>Relatif<br>I<br>(%) | Keseeksamaan<br>K<br>(%) | Hp<br>(mA)        |
|-------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1.    | 0                             | 30 cm               | 87,2                  | 87,03                              | 0,289                                   | 0,332                            | 99,668                   | $87,03 \pm 0,289$ |
|       |                               |                     | 87,2                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               |                     | 86,7                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               | 50 cm               | 85,4                  | 85,23                              | 0,208                                   | 0,244                            | 99,823                   | $85,23 \pm 0,208$ |
|       |                               |                     | 85,3                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               |                     | 85,0                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
| 70 cm | 82,4                          | 82,53               | 0,153                 | 0,185                              | 99,815                                  | $82,53 \pm 0,153$                |                          |                   |
|       | 82,7                          |                     |                       |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       | 82,5                          |                     |                       |                                    |   |                                  |                          |                   |
| 2.    | 106,16                        | 30 cm               | 86,5                  | 86,47                              | 0,153                                   | 0,177                            | 99,823                   | $86,47 \pm 0,153$ |
|       |                               |                     | 86,6                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               |                     | 86,3                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               | 50 cm               | 84,8                  | 84,63                              | 0,289                                   | 0,341                            | 99,659                   | $84,63 \pm 0,289$ |
|       |                               |                     | 84,3                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       |                               |                     | 84,8                  |                                    |   |                                  |                          |                   |
| 70 cm | 81,9                          | 81,87               | 0,153                 | 0,187                              | 99,813                                  | $81,87 \pm 0,153$                |                          |                   |
|       | 81,7                          |                     |                       |                                    |   |                                  |                          |                   |
|       | 82,0                          |                     |                       |                                    |   |                                  |                          |                   |

| No.   | Tensile Stress<br>( $N/m^2$ ) | $\rho_{\text{kawat}}$<br>(cm) | Arus $i$<br>(mA) | Rata-rata<br>Arus $i$<br>(mA) | Kesalahan<br>Mutlak<br>$i$<br>(mA) | Kesalahan<br>Relatif<br>I<br>(%) | Keseeksamaan<br>K | Hp<br>(mA)        |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| 3.    | 141,54                        | 30 cm                         | 86,2             | 86,17                         | 0,153                              | 0,177                            | 99,823            | $86,17 \pm 0,153$ |
|       |                               |                               | 86,3             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               |                               | 86,0             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               | 50 cm                         | 84,4             | 83,93                         | 0,404                              | 0,482                            | 99,518            | $83,93 \pm 0,404$ |
|       |                               |                               | 83,7             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               |                               | 83,7             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
| 70 cm | 81,1                          | 81,17                         | 0,115            | 0,142                         | 99,858                             | $81,17 \pm 0,115$                |                   |                   |
|       | 81,3                          |                               |                  |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       | 81,1                          |                               |                  |                               |                                    |                                  |                   |                   |
| 4.    | 176,93                        | 30 cm                         | 85,8             | 85,73                         | 0,115                              | 0,135                            | 99,865            | $85,73 \pm 0,115$ |
|       |                               |                               | 85,8             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               |                               | 85,6             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               | 50 cm                         | 83,6             | 83,50                         | 0,100                              | 0,120                            | 99,880            | $83,50 \pm 0,100$ |
|       |                               |                               | 83,4             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       |                               |                               | 83,5             |                               |                                    |                                  |                   |                   |
| 70 cm | 80,6                          | 80,70                         | 0,173            | 0,215                         | 99,785                             | $80,70 \pm 0,173$                |                   |                   |
|       | 80,9                          |                               |                  |                               |                                    |                                  |                   |                   |
|       | 80,6                          |                               |                  |                               |                                    |                                  |                   |                   |

**TINGKAT KETELITIAN (V) HASIL EKSPERIMEN**

| No.   | Tensile Stress<br>( $N/m^2$ ) | $l_0$ kawat<br>(cm) | Tegangan V<br>(mV) | Rata-rata<br>Tegangan V<br>(mV) | Kesalahan<br>Mutlak<br>V<br>(mV) | Kesalahan<br>Relatif<br>I<br>(%) | Keseksamaan<br>K<br>(%) | Hp<br>(mV)        |
|-------|-------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1.    | 0                             | 30 cm               | 6,3                | 6,30                            | 0,000                            | 0,000                            | 100,000                 | $6,30 \pm 0,000$  |
|       |                               |                     | 6,3                |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               |                     | 6,3                |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               | 50 cm               | 11,3               | 11,15                           | 0,145                            | 1,297                            | 98,703                  | $11,15 \pm 0,145$ |
|       |                               |                     | 11,1               |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               |                     | 11,1               |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
| 70 cm | 14,9                          | 14,87               | 0,093              | 0,625                           | 99,375                           | $14,87 \pm 0,093$                |                         |                   |
|       | 14,9                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       | 14,8                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
| 2.    | 106,16                        | 30 cm               | 6,4                | 6,40                            | 0,000                            | 0,000                            | 100,00                  | $6,40 \pm 0,000$  |
|       |                               |                     | 6,4                |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               |                     | 6,4                |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               | 50 cm               | 11,4               | 11,27                           | 0,143                            | 1,269                            | 98,731                  | $11,27 \pm 0,143$ |
|       |                               |                     | 11,3               |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       |                               |                     | 11,1               |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
| 70 cm | 15,0                          | 14,96               | 0,075              | 0,502                           | 0,498                            | $14,96 \pm 0,075$                |                         |                   |
|       | 15,0                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                         |                   |
|       | 14,9                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                         |                   |

| No.   | Tensile Stress<br>( $N/m^2$ ) | $l_0$ kawat<br>(cm) | Tegangan V<br>(mV) | Rata-rata<br>Tegangan V<br>(mV) | Kesalahan<br>Mutlak<br>V<br>(mV) | Kesalahan<br>Relatif<br>I<br>(%) | Keseksamaan<br>K | Hp<br>(mV)        |
|-------|-------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 3.    | 141,54                        | 30 cm               | 6,4                | 6,40                            | 0,000                            | 0,000                            | 100,000          | $6,40 \pm 0,000$  |
|       |                               |                     | 6,4                |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               |                     | 6,4                |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               | 50 cm               | 11,4               | 11,29                           | 0,087                            | 0,772                            | 99,228           | $11,2 \pm 0,087$  |
|       |                               |                     | 11,3               |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               |                     | 11,2               |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
| 70 cm | 15,0                          | 15,00               | 0,000              | 0,000                           | 100,000                          | $15,00 \pm 0,000$                |                  |                   |
|       | 15,0                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       | 15,0                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
| 4.    | 176,93                        | 30 cm               | 6,6                | 6,54                            | 0,044                            | 0,667                            | 99,333           | $6,54 \pm 0,044$  |
|       |                               |                     | 6,5                |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               |                     | 6,5                |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               | 50 cm               | 11,5               | 11,38                           | 0,085                            | 0,747                            | 99,253           | $11,38 \pm 0,085$ |
|       |                               |                     | 11,4               |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       |                               |                     | 11,3               |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
| 70 cm | 15,2                          | 15,20               | 0,000              | 0,000                           | 100,000                          | $15,20 \pm 0,000$                |                  |                   |
|       | 15,2                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                  |                   |
|       | 15,2                          |                     |                    |                                 |                                  |                                  |                  |                   |



TINGKAT KETELITIAN NILAI HAMBATAN ( $R$ ) EKSPERIMEN

| No. | Tensile Stress<br>( $MN/m^2$ ) | $l_{kawat}$<br>(cm) | Arus $i$<br>( $\bar{i} \pm \Delta i$ )<br>(mA) | Tegangan $V$<br>( $\bar{V} \pm \Delta V$ )<br>(mV) | ( $R \pm \Delta R$ )<br>( )                   |
|-----|--------------------------------|---------------------|--|--|---|
| 1.  | 0                              | 30 cm               | $87,03 \pm 0,289$                              | $6,30 \pm 0,000$                                   | $7,24 \cdot 10^{-2} \pm 0,024 \cdot 10^{-2}$  |
|     |                                | 50 cm               | $85,23 \pm 0,208$                              | $11,15 \pm 0,145$                                  | $13,09 \cdot 10^{-2} \pm 0,202 \cdot 10^{-2}$ |
|     |                                | 70 cm               | $82,53 \pm 0,153$                              | $14,87 \pm 0,093$                                  | $18,01 \cdot 10^{-2} \pm 0,148 \cdot 10^{-2}$ |
| 2.  | 106,16                         | 30 cm               | $86,47 \pm 0,153$                              | $6,40 \pm 0,000$                                   | $7,40 \cdot 10^{-2} \pm 0,013 \cdot 10^{-2}$  |
|     |                                | 50 cm               | $84,63 \pm 0,289$                              | $11,27 \pm 0,143$                                  | $13,31 \cdot 10^{-2} \pm 0,214 \cdot 10^{-2}$ |
|     |                                | 70 cm               | $81,87 \pm 0,153$                              | $14,96 \pm 0,075$                                  | $18,27 \cdot 10^{-2} \pm 0,126 \cdot 10^{-2}$ |
| 3.  | 141,54                         | 30 cm               | $86,17 \pm 0,153$                              | $6,40 \pm 0,000$                                   | $7,43 \cdot 10^{-2} \pm 0,013 \cdot 10^{-2}$  |
|     |                                | 50 cm               | $83,93 \pm 0,404$                              | $11,29 \pm 0,087$                                  | $13,45 \cdot 10^{-2} \pm 0,168 \cdot 10^{-2}$ |
|     |                                | 70 cm               | $81,17 \pm 0,115$                              | $15,00 \pm 0,000$                                  | $18,48 \cdot 10^{-2} \pm 0,026 \cdot 10^{-2}$ |
| 4.  | 176,93                         | 30 cm               | $85,73 \pm 0,115$                              | $6,54 \pm 0,044$                                   | $7,63 \cdot 10^{-2} \pm 0,045 \cdot 10^{-2}$  |
|     |                                | 50 cm               | $83,50 \pm 0,100$                              | $11,38 \pm 0,085$                                  | $13,62 \cdot 10^{-2} \pm 0,118 \cdot 10^{-2}$ |
|     |                                | 70 cm               | $80,70 \pm 0,173$                              | $15,20 \pm 0,000$                                  | $18,84 \cdot 10^{-2} \pm 0,040 \cdot 10^{-2}$ |

*Lampiran E*

**FOTO KEGIATAN PENELITIAN**



Gambar 1. Pemasangan beban tarik pada eksperimen



Gambar 2. Pengamatan dan pencatatan data yang diperoleh



Gambar 3. Salah satu data tegangan yang terbaca pada alat ukur



Gambar 4. Salah satu data kuat arus yang terbaca pada alat ukur