

September  
2014

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO



universitas  
MALIKUSSALEH

**BAHAN  
AJAR**

SALAHUDDIN, ST., MT

# ***Bahan Listrik***

**FAKULTAS TEKNIK**

Universitas Malikussaleh

Jurusan Teknik Kimia  
Jurusan Teknik Industri  
Jurusan Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Elektro  
Jurusan Teknik Slipil  
Prodi Teknik Informatika  
Prodi Teknik Arsitektur

BAHAN AJAR

**BAHAN  
LISTRIK**

BAHAN AJAR

**Diterbitkan oleh**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**Alamat**  
Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh  
Jl. Cot Tengku Nie, Reuleut, Muara Batu,  
Aceh Utara, Provinsi Aceh

# **BAHAN AJAR**

( JURUSAN TEKNIK ELEKTRO)



universitas  
MALIKUSSALEH

# **BAHAN LISTRIK**

Disusun Oleh:

**SALAHUDDIN, ST., MT**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH  
2014**



universitas  
MALIKUSSALEH

# **BAHAN AJAR**

## **JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

### **TIM PENGELOLA BAHAN AJAR**

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

#### **PENASEHAT:**

**Ir. T. Hafli., MT**  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

#### **PENANGGUNG JAWAB:**

**Herman Fithra, ST., MT**  
Pembantu Dekan I Bidang Akademik

**Bustami, S.Si., M.Si**  
Pembantu Dekan II Bidang Keuangan

**Edzwarsyah, ST., MT**  
Pembantu Dekan III Bidang Kemahasiswaan

**Salwin, ST., MT**  
Pembantu Dekan IV Bidang Kerjasama dan Informasi

#### **KETUA PENYUNTING:**

**M. Ikhwanus, ST., M. Eng**  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Misbahul Jannah, ST., MT**  
Sekretaris Jurusan Teknik Elektro

#### **TATA USAHA DAN BENDAHARA:**

**Elizar, S. Sos**  
Kepala Tata Usaha

**Ismail, ST**  
Bendahara

**SAMBUTAN**  
**KETUA JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

Dalam upaya peningkatan kualitas mutu pembelajaran sesuai dengan Tri Dharma Perguruan Tinggi, salah satunya adalah penyediaan bahan ajar Bahan Listrik. Bahan ajar Bahan Listrik ini dibuat sebagai pegangan untuk dosen pengampu dan mahasiswa dalam melaksanakan proses pembelajaran.

Bahan ajar Bahan Listrik ini sangat penting sebagai salah satu referensi untuk kemudahan dalam proses belajar mengajar untuk mata kuliah pada Jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik Unimal, Bahan ajar ini semoga dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Kepada sdr Salahuddin, ST,. MT yang telah membuat bahan ajar ini dan juga kepada semua pihak yang telah membantunya, kami ucapkan terimakasih.

Reuleut, 24 Agustus 2014  
Ketua Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Unimal,

M. Ikhwanus, ST,. M. Eng  
Nip.197109122003121001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas terselesaikannya bahan ajar/diktat kuliah Bahan Listrik, bahan ajar ini diperuntukkan bagi mahasiswa Teknik Elektro guna memudahkan mahasiswa dalam mendapat referensi dalam hal proses pembelajaran.

Bahan Ajar dari Bahan Listrik ini disadurkan dari berbagai bahan yang penulis dapat selama penulis mengajar di Unuversitas Malikussaleh.

Akhirnya penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya bahan ajar/diktat ini.

Saran penulis dan kritikan untuk penyempurnaan dimasa mendatang.

Lhokseumawe, 23 Agustus 2014  
Penyusun

Salahuddin, ST., MT  
Nip. 19711029200212002

**LEMBARAN PENGESAHAN**  
**DIKTAT KULIAH/MODUL/BAHAN AJAR**

1. a. Judul : Bahan Listrik
- b. Jenis : Bahan Ajar
- c. Pada :
- d. Waktu : Juni 2014

2. Identitas Penulis

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Salahuddin, ST., MT
- b. NIP : 19711029200212002
- c. Golongan/Pangkat/ : Penata /IIIa
- d. Jabatan Akademik : Assiten Ahli
- e. Jurusan : Teknik Elektro
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh Lhokseumawe
- h. Jumlah Penulis : 1 Orang

Disahkan Oleh :

Jurusan Teknik Elektro  
Ketua,

Penulis

M. Ihkwanus, ST., M.eng  
Nip. 197109122003121001

Salahuddin, ST., MT  
Nip. 19711029200212002

*This Page Is Intentionally Left Blank*

# DAFTAR ISI

Sambutan Ketua Jurusan Teknik Elektro .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Lembaran Pengesahan .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Silabus Mata Kuliah.....	xi
Satuan Acara Pengajaran (Sap).....	xii

<b>BAB 1. STRUKTUR ATOM .....</b>	<b>1</b>
1.1. Deskripsi Singkat .....	1
1.2. Tujuan Instruksional Khusus .....	1
1.3. Penyajian .....	1
1.3.1 Model- Model Atom.....	1
1.3.1.1. Model Atom Dalton.....	1
1.3.1.2. Model Atom J.J . Thomson.....	2
1.3.1.3. Model Atom Rutherford.....	2
1.3.1.4. Model Atom Bohr.....	3
1.4. Pita Energi.....	3
1.4.1. Pita Valensi .....	3
1.4.2. Pita Konduksi.....	3
1.4.3. Pita Larangan .....	3
1.5. Penutup.....	4
1.5.1. Bahan Diskusi Dan Tugas .....	4

<b>BAB 2. PENGELOMPOKKAN BAHAN LISTRIK BERDASARKAN WUJUD .....</b>	<b>5</b>
2.1. Deskripsi Singkat .....	5
2.2. Tujuan Instruksional Khusus .....	5
2.3. Penyajian .....	5
2.3.1. Bahan Listrik Berbentuk Padat .....	5
2.3.1.1. Panas Jenis Bahan Padat .....	7
2.3.1.2. Pangkal Cair/Beku Bahan Padat .....	7
2.3.1.3. Kalor Lebur Dan Kalor Beku.....	8
2.3.1.4. Sifat Mekanis .....	8
2.3.1.5. Tegangan Patah .....	9
2.3.1.6. Perubahan Bentuk Karena Beban .....	10
2.3.1.7. Tegangan Geser.....	10
2.3.1.8. Sifat Kimia .....	10
2.3.2. Bahan Listrik Berbentuk Cair .....	10
2.3.2.1. Air .....	11
2.3.2.2 Minyak Transformator.....	11
2.3.2.3. Minyak Kabel.....	11
2.3.3. Bahan Listrik Berbentuk Gas .....	12
2.3.3.2. Nitrogen .....	12
2.3.3.2. Hidrogen.....	13
2.3.3.3. Karbon Dioksida .....	13

2.5.2. Penutup.....	14
2.5.3. Bahan Diskusi Dan Tugas .....	14
2.6. Daftar Pustaka.....	14
2.7. Senarai.....	14
<b>BAB 3. PENGELOMPOKKAN BERDASARKAN BAHAN LISTRIK.....</b>	<b>15</b>
3.1. Deskripsi Singkat .....	15
3.2. Tujuan Instruksional Khusus .....	15
3.3. Penyajian.....	15
3.3.1. Konduktor.....	15
3.3.1.1. Karakteristik Dari Konduktor.....	17
3.3.1.2. Resistansi Listrik.....	17
3.3.1.3. Koefisien Temperatur Hambatan.....	17
3.3.1.4. Penamaan Konduktor.....	18
3.4.1. Bahan Penyekat (Isolator).....	19
3.4.1.1. Sifat Listrik .....	19
3.4.1.2. Sifat Mekanis .....	19
3.4.1.3. Sifat Termis .....	19
3.4.1.3. Sifat Kimia .....	19
3.4.2. Bentuk Penyekat .....	19
3.4.2.1. Penyekat Bentuk Padat.....	20
3.4.2.2. Penyekat Bentuk Cair.....	20
3.4.2.3. Penyekat Bentuk Gas .....	20
3.4.3. Pembagian Kelas Bahan Penyekat .....	20
3.5.1. Bahan Semikonduktor .....	21
3.5.1.1. Semi Konduktor Intrinsik.....	23
3.5.1.2. Semi Konduktor Ekstrinsik.....	24
3.6.1. Bahan Magnetik .....	26
3.6.1.2. Sifat-Sifat Magnetik.....	26
3.6.1.2. Parameter-Parameter Magnetik.....	28
3.6.1.3. Laminasi Baja Kelistrikan.....	29
3.6.1.4. Bahan Magnet Lunak Lain.....	31
3.6.1.4. Bahan Magnet Permanen .....	33
3.6.1.5. Magnetostriksi.....	34
3.7.1. Bahan Superkonduktor.....	34
3.7.1.2. Elektromagnet .....	36
3.7.1.3. Elemen Penghubung .....	36
3.8.1. Bahan Nuklir .....	37
3.8.2. Bahan Khusus Lainnya .....	37
3.9. Penutup.....	38
3.9.1. Bahan Diskusi Dan Tugas .....	38
3.9.2. Daftar Pustaka.....	38
3.9.3. Senarai.....	38
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>39</b>

# SILABUS MATA KULIAH

## 1. Identitas Perguruan Tinggi

- a. Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh Lhokseumawe
- b. Fakultas : Teknik
- c. Jurusan : Teknik Elektro
- d. Program Studi : Teknik Elektro

## 2. Identitas Mata Kuliah

- a. Nama Mata Kuliah : Bahan Listrik
- b. Kode Mata Kuliah : TEE 522
- c. Status Mata Kuliah : Wajib
- d. Sifat Mata Kuliah : Teori
- e. Pratikum : -
- f. Dosen Pengampu : Salahuddin, ST., MT
- g. Semester : I
- h. Bobot SKS : 2 SKS
- i. Jumlah Pertemuan : 14 tatap muka + UTS dan UAS

## 3. Mata Kuliah Prasyarat

- 1). Dasar Teknik Elektro

## 4. Komponen Penilaian/Evaluasi

- a. Kehadiran Perkuliahan, min 75 %
- b. Tugas – Tugas parsial
- c. Take home/Quis
- d. UTS dan UAS

## 5. Kompetensi dan lingkup materi Perkuliahan

- a. Setelah mengikuti mata kuliah rangkaian listrik sebagaimana yang disyaratkan dalam ketentuan pelaksanaan kegiatan akademik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, maka mahasiswa diharapkan :
  - ❖ Mahasiswa dapat memahami tentang dasar dari sifat dan karakteristik bahan listrik.

## 6. Pokok – pokok materi Pembelajaran

- 1) Struktur atom
- 2) Pengelompokkan bahan berdasarkan wujud
  - Bahan Padat
  - Bahan Cair
  - Bahan Gas
- 3) Pengelompokkan bahan berdasarkan bahan listrik
  - Bahan penghantar
  - Bahan Penyekat
  - Bahan Semikonduktor
  - Bahan Magnetik

Bahan Superkonduktor  
Bahan Nuklir  
Bahan Khusus lainnya.

### **7. Pendekatan Pembelajaran**

Pelaksanaan pembelajaran dilakukan secara teoritis dan mahasiswa diharapkan sebelum memulai perkuliahan sudah mempelajari pokok bahasan sebelumnya. Pengajaran teoritis dilakukan secara klasikal/kelompok, dengan menggunakan pendekatan metoda ceramah, diskusi dan presentasi kelompok.

### **8. Media Pembelajaran**

Media pembelajaran digunakan menurut sifat dan karakteristik materi perkuliahan yang diajarkan, meliputi penggunaan Laptop, proyektor, white board.

### **9. Sumber Pustaka/Referensi :**

1. Foundations of Material Science and Engineering, MC Graw Hill, 1988.
2. Syarifuddin Mahmudsyah, Bahan- Bahan Listrik, 2010.
3. Iiorisky, Electrical Engineering Material.
4. Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Listrik, Cetakan ke Enam, Pradnya Paramita, 2005.
5. H.A. Muhaimin, bahan Listrik, Prandnya Paramita, 2005.
6. Sumanto, Pengetahuan Bahan Untuk Mesin & Listrik, Penerbit Ardi, 2005.
7. Firdaus, Bahan Listrik, Universitas Sriwijaya, 2013.
8. P3BKH, Bahan- Bahan Listrik, Dikti, 2003

## **SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)**

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 2

- A.** Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami Bahan Listrik berwujud padat
- B.** Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami mengenai sifat – sifat bahan listrik berwujud padat
- C.** Pokok Bahasan : Bahan Listrik berwujud padat
- D.** Sub Pokok Bahasan : Sifat dari benda padat
- E.** Kegiatan belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector	3x50	Buku 1, 2,3
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang elemen rangkaian listrik</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elemen aktif (sumber tegangan dan sumber arus)</li> <li>2. Elemen pasif (resistor, kapasitor, inductor)</li> <li>3. Resistor seri paralel, kapasitor seri paralel, inductor seri paralel</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>5. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> <li>6. Menjawab pertanyaan</li> <li>7. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		

## SATUAN ACARA PERKULIAHAN

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 3

- A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami tentang benda-benda listrik berwujud cair dan Gas.
- B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami mengenai sifat-sifat dari cair dan gas
- C. Pokok Bahasan : Benda listrik berwujud cair dan gas
- D. Sub Pokok Bahasan : Sifat mekanik, sifat kimia dan sifat listrik.
- E. Kegiatan belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang Hukum – hukum Dasar rangkaian Listrik</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hukum ohm</li> <li>2. Hukum Kirchoff arus</li> <li>3. Hukum Kirchoff tegangan</li> <li>4. Resistor seri paralel</li> <li>5. Prinsip pembagian tegangan arus</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		

## SATUAN ACARA PERKULIAHAN

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 4 dan 5

- A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami tentang bahan listrik mengenai konduktor
- B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami tentang penghantar/ konduktor
- C. Pokok Bahasan : Pengelompokkan bahan listrik berdasarkan bahan
- D. Sub Pokok Bahasan : Bahan penghantar/ konduktor
- E. Kegiatan belajar Mengajar ;

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang Bilangan Kompleks</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Operasi Bilangan kompleks</li> <li>2. Perubahan rectangular ke polar</li> <li>3. Perubahan polar ke rectangular</li> <li>4. Penjumlahan dua buah bilangan kompleks</li> <li>5. Pengurangan, perkalian, pembagian dua buah bilangan komplek</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> <li>3. Menjawab pertanyaan</li> <li>4. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

## **SATUAN ACARA PERKULIAHAN**

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 6 dan 7

- A.** Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami tentang bahan penyekat
- B.** Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami dan dapat menganalisa tentang bahan isolator
- C.** Pokok Bahasan : Pengelompokkan bahan listrik berdasarkan bahan
- D.** Sub Pokok Bahasan : Bahan penyekat / isolator
- E.** Kegiatan belajar Mengajar :

<b>Tahap Kegiatan</b>	<b>Kegiatan Dosen</b>	<b>Kegiatan Mahasiswa</b>	<b>Media dan alat Pengajaran</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>Referensi</b>
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang impedansi Kompleks</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Rangkaian Seri RL</li> <li>4. Rangkaian Seri RC</li> <li>5. Rangkaian seri paralel</li> <li>6. Admitansi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> <li>7. Menjawab pertanyaan</li> <li>8. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		

## SATUAN ACARA PERKULIAHAN

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 8 dan 9

- A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami mengenai bahan semikonduktor
- B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami dan dapat menganalisa tentang bahan Semikonduktor.
- C. Pokok Bahasan : Pengelompokkan bahan listrik
- D. Sub Pokok Bahasan : Bahan Semikonduktor
- E. Kegiatan belajar Mengajar :
- F. berdasarkan bahan :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/ menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang Bentuk gelombang bolak-balik</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisa dan menghitung nilai rata-rata dan nilai efektif</li> <li>2. Menganalisa menghitung harga rata-rata dan harga efektif</li> </ol>	Memperhatikan/ menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> </ol>	Memperhatikan/ menyimak/bertanya	Papan tulis (white board),laptop. projector		

## SATUAN ACARA PERKULIAHAN

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 10

- A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami mengenai bahan magnetik
- B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami dan dapat menganalisa tentang bahan magnetik
- C. Pokok Bahasan : Pengelompokkan bahan listrik berdasarkan baha
- D. Sub Pokok Bahasan : Bahan magnetik
- E. Kegiatan belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang tegangan dan arus sinusoidal</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisa rangkaian RL seri</li> <li>2. Menganalisa rangkaian RC seri</li> <li>3. Menganalisa rangkaian RLC seri dan paralel.</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> <li>4. Menjawab pertanyaan</li> <li>5. Menjelaskan mengenai</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

## **SATUAN ACARA PERKULIAHAN**

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 11 dan 12

- A.** Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami mengenai bahan superkonduktor
- B.** Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami dan menganalisa tentang tentang bahasa superkonduktor
- C.** Pokok Bahasan : Pengelompokkan bahan listrik berdasarkan bahan
- D.** Sub Pokok Bahasan : Bahan Superkonduktor
- E.** Kegiatan belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan /menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang Analisis rangkaian mesh dan metode simpul</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisis rangkaian dan mendapatkan persamaan loop rangkaian</li> <li>2. Menganalisis rangkaian dengan metode simpul</li> </ol>	Memperhatikan /menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> </ol>	Memperhatikan /menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		

## **SATUAN ACARA PERKULIAHAN**

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512an

S K S : 2 (Dua)

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 13 dan 14

**A.** Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) : Memahami mengenai bahan nuklir

**B.** Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) : Memahami dan menganalisa tentang bahan nuklir

**C.** Pokok Bahasan : Metode superposisi

**D.** Sub Pokok Bahasan : Metode superposisi

**E.** Kegiatan belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referensi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang konsep analisa rangkaian dengan metode superposisi</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisa rangkaian dengan metode superposisi</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak /bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		

## SATUAN ACARA PERKULIAHAN

Mata Kuliah : Bahan Listrik

Kode Mata Kuliah : TEE 512

S K S : 2 (D)ua

Waktu Pertemuan : 2 x 50 menit

Pertemuan : 16 dan UAS

**A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU)** : Memahami macam-macam teorema rangkaian

**B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK)** : Agar mahasiswa dapat dan mampu menganalisis rangkaian dengan menggunakan teorema thevenin dan norton

**C. Pokok Bahasan** : Teorema Thevenin dan Norton

**D. Sub Pokok Bahasan** : Teorema Thevenin dan Norton

**E. Kegiatan belajar Mengajar** :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan TPU dan TPK</li> <li>2. Menjelaskan referens</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector	3x50	Buku 1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan Tentang konsep teorema rangkaian thevenin dan norton</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisa rangkaian dengan teorema thevenin</li> <li>2. Menganalisa rangkaian dengan teorema norton</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya</li> <li>2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa)</li> <li>3. Menjawab pertanyaan</li> <li>4. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang</li> </ol>	Memperhatikan/menyimak/bertanya	Papan tulis (white board), laptop. projector		

# **BAB 1**

## **STRUKTUR ATOM**

### **1.1. Deskripsi Singkat**

Tujuan dari mempelajari struktur atom ini mahasiswa diharapkan memahami konsep dari bahan pembentukan semikonduktor.

### **1.2. Tujuan Instruksional Khusus**

Setelah mempelajari materi ini mahasiswa dapat menjelaskan proses terbentuknya semikonduktor berdasarkan struktur atom.

### **1.3. Penyajian**

Struktur atom merupakan satuan dasar materi yang terdiri inti atom beserta awan elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya. Inti atom mengandung campuran proton ( bermuatan positif) dan neutron ( bermuatan netral).

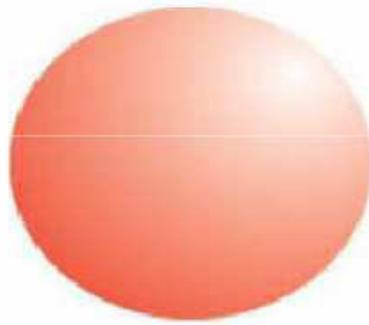
Elektron- elektron pada suatu atom terikat pada inti atom oleh gaya elektromagnetik. Sekumpulan atom dapat berikatan satu dengan yang lainnya membentuk sebuah molekul. Atom yang memiliki jumlah proton dan elektron yang sama bersifat netral. Sedangkan yang memiliki jumlah proton dan elektron yang berbeda bersifat positif atau negatif dan disebut sebagai ion. Atom dikelompokkan pada jumlah proton dan neutron pada inti atom tersebut. Jumlah proton menentukan unsur kimia atom tersebut, jumlah neutron menentukan isotop unsur tersebut.

#### **1.3.1 Model- Model Atom**

##### **1.3.1.1. Model Atom Dalton**

Dalton menggambarkan atom sebagai bola padat yang tidak dapat dibagi lagi.

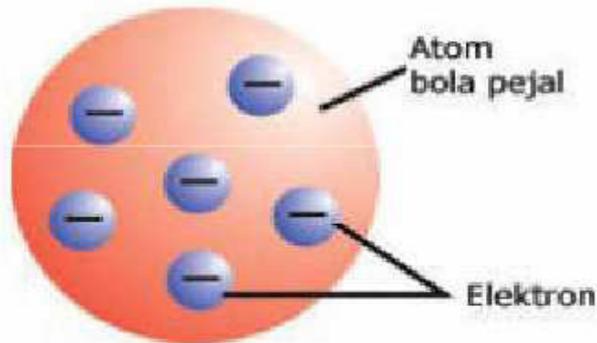
1. Seluruh materi tersusun dari atom.
2. Atom dari unsur adalah identik.
3. Setiap unsur memiliki atom yang berbeda.
4. Atom dapat diubah dengan reaksi



Gambar. 1.1. Model Atom Dalton

### 1.3.1.2. Model Atom J.J . Thomson

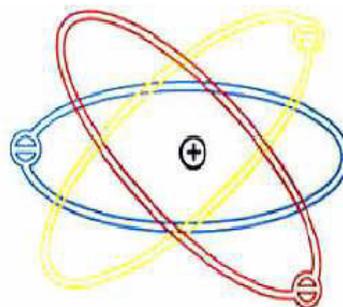
Menurut Thomson, atom merupakan bola bermuatan positif dan pada tempat-tempat tertentu di dalam bola terdapat elektron-elektron, seperti kismis dalam roti. Jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatif sehingga atom bersifat netral.



Gambar 1.2. Model Atom J.J. Thomson

### 1.3.1.3 Model Atom Rutherford

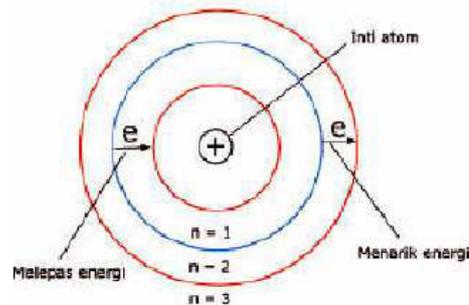
Menurut Rutherford atom terdiri dari inti atom yang sangat kecil dengan muatan positif yang massanya merupakan massa atom tersebut. Elektron – elektron dalam atom bergerak mengelilingi inti tersebut serta banyaknya elektron dalam atom sama dengan banyaknya proton dalam inti sesuai dengan nomor atomnya.



Gambar 1.3. Model atom Rutherford

### 1.3.1.4. Model Atom Bohr

Model atom menurut Bohr, disekitar inti itu hanya mungkin terdapat lintasan – lintasan elektron yang berjumlah terbatas, pada setiap lintasan itu bergerak sebuah elektron yang dalam gerakannya tidak memancarkan sinar. Jadi dalam setiap keadaan station, elektron mengandung jumlah tenaga tetap dan terdapat dalam keadaan seimbang yang mantap.



Gambar 1.4. Model Atom Bohr

## 1.4 Pita Energi

Elektron dalam sebuah atom tunggal hanya boleh menepati tingkat-tingkat energi tertentu. Jika banyak atom saling berdekatan maka banyak atom dari kulit terluar ( elektron valensi) saling berinteraksi sehingga tingkat-tingkat energi saling bertumpukan dan membentuk pita energi.

Pita energi ini dibagi dalam tiga bagian yaitu

- Pita Valensi
- Pita Konduksi
- Pita Larangan

### 1.4.1. Pita Valensi

Pita valensi adalah pita energi terakhir yang terisi penuh oleh elektron-elektron.

### 1.4.2. Pita Konduksi

Pita konduksi adalah pita energi diatas pita valensi yang kosong atau terisi sebagian oleh elektron-elektron.

### 1.4.3. Pita Larangan

Pita larangan adalah pita energi diantara pita valensi dan pita konduksi dimana elektron- elektron tidak diperbolehkan ada pada pita energi ini.

Energi yang diperlukan untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi adalah sebesar energi pita larangan.

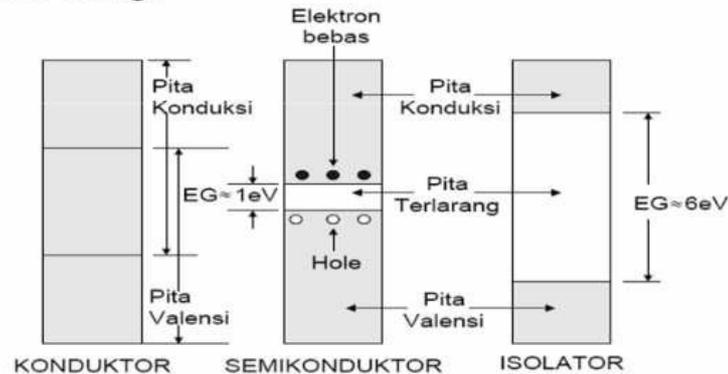
Berdasarkan pita energi maka bahan listrik bisa kita kelompokkan menjadi tiga bagian yaitu

1. Isolator
2. Semikonduktor

### 3. Konduktor

Gambar dibawah ini menunjukkan pita energi yang dimiliki oleh ketiga bahan tersebut.

#### Pita Energi



Gambar 1.5. Pita Energi dalam bahan Listrik

## 1.5. Penutup

### 1.5.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Dari pengertian yang sudah diuraikan, apa yang dimaksud dengan teori atom.
2. Bagaimana Bohr mengidealkan atom.
3. Apa yang dimaksud dengan pita energi.
4. Apa perbedaan antara pita valensi, pita konduksi dan pita larangan

## 1.6. Daftar Pustaka

1. Malfino, Prinsip-Prinsip Elektronika, Erlangga, Jakarta, 1996.
2. Andriansyah, Andi, Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB, UI, Jakarta, 2010.
3. Chairul, Anam. Modul Elektronika, Pasuruan, 2008.

## 1.8. Senarai

1. Semikonduktor adalah merupakan suatu bahan pembentukan dari komponen elektronika seperti, diode, transistor dan IC.
2. Semikonduktor bisa didapat dari pertemuan dua junction yaitu n dan p atau p dan n.
3. Atom merupakan partikel terkecil, dimana Bohr mengidealkan bahwa atom dari inti atom, dimana didalamnya terdapat inti atom yang terdiri dari proton dan neutron sedangkan electron tersebar di kulit atom.
4. Orbit terluar disebut sebagai orbit valensi dan apabila atom mempunyai orbit terluar empat, maka atom tersebut dinamakan semikonduktor.

# **BAB 2**

## **PENGELOMPOKKAN BAHAN LISTRIK BERDASARKAN WUJUD**

### **2.1. Deskripsi Singkat**

Tujuan dari mempelajari bab ini mahasiswa bisa membedakan bahan listrik berdasarkan wujud yang ada yaitu padat, cair serta berbentuk gas.

### **2.2. Tujuan Instruksional Khusus**

Setelah mempelajari materi ini mahasiswa dapat menjelaskan proses terbentuknya bahan listrik dari ketiga wujud secara kimiawi.

### **2.3. Penyajian**

#### **2.3.1 Bahan Listrik Berbentuk Padat**

Benda padat mempunyai bentuk tetap (bentuk sendiri), dimana pada suhu yang tetap benda padat mempunyai suhu yang tetap pula. Isi akan bertambah atau memuai jika mengalami kenaikan suhu dan sebaiknya benda akan menyusut jika suhunya menurun. Karena berat benda tetap, maka kepadatan akan bertambah, sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Jika isi (volume) bertambah (memuai), maka kepadatannya akan berkurang
- Jika isinya berkurang (menyusut), maka kepadatan akan bertambah
- Jika benda lebih padat dalam keadaan dingin dari pada dalam keadaan panas

Hubungan tentang kepadatan ini dapat dirumuskan:  $\rho = \frac{M}{V}$

Dimana

$\rho$  : kepadatan dengan satuan  $\text{gram/cm}^3$ ,

$M$  : massa dengan satuan gram,

$V$  : isi atau volume dengan satuan  $\text{cm}^3$ , (cc : centimeter cubic).

Pemuaian benda antara yang satu dengan yang lain berbeda, tergantung dari koefisien muai ruang suatu benda adalah bilangan yang menunjukkan pertambahan ruang dalam  $\text{cm}^3$  suatu benda yang isinya  $1 \text{ cm}^3$ , bilamana suhunya dinaikkan  $1^\circ\text{C}$ . Dalam rumus ketentuan ini dapat ditulis:

$$V_2 = V_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

Dimana

$V_1$ : volume benda pada suhu  $t_1$  atau cc,

$V_2$ : volume benda pada suhu  $t_2$  atau cc,

$t_1$  : suhu benda sebelum dipanasi,

$t_2$  : suhu benda setelah dipanasi, dan  $\alpha$  : koefisien muai ruang (alpha).

Tabel 2.1 koefisien muai-panjang dan muai-ruang benda padat

No.	Jenis bahan	Koefisien muai panjang	Koefisien muai ruang
1.	Besi	0,000012	0,000036
2.	Marmer	0,000012	0,000036
3.	Nikel	0,000013	0,000039
4.	Emas	0,000014	0,000042
5.	Kuningan	0,000019	0,000057
6.	Platina	0,000019	0,000057
7.	Aluminium	0,000024	0,000072

Jika akan menghitung perpanjangan saja, maka dapat menggunakan koefisien muai panjang ( $\lambda$ ), menyatakan bahwa koefisien muai-panjang suatu benda adalah bilangan yang menunjukkan pertambahan panjang dalam cm dari suatu benda yang panjangnya  $1 \text{ cm}$  bila dinaikkan suhunya  $1^\circ\text{C}$ . Untuk jelasnya dapat dirumuskan dalam persamaan:

$$L_2 = L_1 [1 + \lambda (t_2 - t_1)]$$

Dimana

$L_1$ : panjang benda pada suhu  $t_1$  atau cc,

$L_2$ : panjang benda pada suhu  $t_2$  atau cc,

$t_1$  : suhu benda sebelum dipanasi, dan

$\lambda$  : koefisien muai-panjang ( $\lambda$ ).

### 2.3.1.1. Panas Jenis Bahan Padat

Yang dimaksud dengan *panas jenis* zat adalah bilangan yang menunjukkan berapa kalori yang diperlukan oleh 1 gram zat itu pada tiap kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$ . Berikut adalah tabel panas-jenis beberapa bahan padat.

Tabel 2.2 Panas jenis bahan padat

No.	Nama bahan	Panas jenis	No.	Nama bahan	Panas jenis
1.	Emas	0,03	7.	Nikel	0,11
2.	Timah	0,03	8.	Gelas	0,20
3.	Perak	0,06	9.	Aluminium	0,21
4.	Kuningan	0,09	10.	Naphtalin	0,31
5.	Tembaga	0,09	11.	Es	0,50
6.	Besi	0,10			

### 2.3.1.2. Pangkal Cair/Beku Bahan Padat

Kalau 1 gram tembaga dipanaskan hingga suhunya naik terus, maka setelah suhu mencapai  $1083^{\circ}\text{C}$  tembaga akan mulai mencair. Suhu Jika  $1083^{\circ}\text{C}$  ini disebut *pangkal cair tembaga*. Kemudian dipanaskan terus hingga seluruhnya mencair. Selama pencairan awal sampai akhir suhu tetap  $1083^{\circ}\text{C}$  tidak naik walaupun dipanaskan terus. Bila telah mencair seluruhnya dan tetap dipanaskan, maka suhu cair tembaga itu akan naik melebihi pangkal cair. Sebaliknya, jika tembaga yang sedang mencair pada suhu lebih tinggi dari  $1083^{\circ}\text{C}$  itu mulai didinginkan, maka suhu sedikit demi sedikit akan turun dan setelah mencapai suhu  $1083^{\circ}\text{C}$  tembaga mulai membeku lagi. Jadi suhu  $1083^{\circ}\text{C}$  juga merupakan *pangkal beku* dari tembaga. *Berarti pangkal cair = pangkal beku*.

Ketentuan : pangkal cair/beku suatu zat adalah suhu yang pada saat pencairan/pembekuan zat itu terjadi. Berikut adalah tabel menjelaskan tentang pangkal cair/beku bahan padat.

Tabel 2.3 pangkalcair/beku bahan padat

No.	Nama bahan	Pangkal cair/beku	No.	Nama bahan	Pangkal cair/beku
1.	Es	$0^{\circ}\text{C}$	8.	Emas	$1063^{\circ}\text{C}$
2.	Naphtalin	$80^{\circ}\text{C}$	9.	Tembaga	$1083^{\circ}\text{C}$
3.	Bismuth	$271^{\circ}\text{C}$	10.	Nikel	$1452^{\circ}\text{C}$
4.	Timah	$327^{\circ}\text{C}$	11.	Besi	$1530^{\circ}\text{C}$
5.	Seng	$419^{\circ}\text{C}$	12.	Platina	$1755^{\circ}\text{C}$
6.	Aluminium	$659^{\circ}\text{C}$	13	wolfram	$3400^{\circ}\text{C}$
7.	perak	$961^{\circ}\text{C}$			

### 2.3.1.3. Kalor Lebur Dan Kalor Beku

Ketentuan menyatakan bahwa *kalor lebur* suatu zat adalah bilangan yang menunjukkan beberapa kalori yang diperlukan untuk mencairkan 1 gram zat padat itu pada pangkal cair. Sedangkan *kalor beku* suatu zat adalah bilangan yang menunjukkan banyaknya kalori yang dikeluarkan oleh 1 gram zat ketika membeku pada pangkal bekunya.

#### Contoh 1

1. Sebatang aluminium pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  panjangnya 40 cm. Jika dipanaskan sampai  $100^{\circ}\text{C}$ , dengan koefisien muai panjang aluminium  $\alpha = 0,000024$ , berapakah panjang aluminium setelah dipanaskan ?

Jawab:  $L_2 = L_1 (1 + \alpha (t_2 - t_1)) = 40 \{1 + 0,000024(100 - 30)\} = 40,0672$

Jadi panjangnya setelah dipanaskan sampai  $100^{\circ}\text{C}$  menjadi 40,0672 cm.

2. sebuah benda pejal dibuat dari kuningan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  volumenya 30 cc. Jika dipanasi sampai  $120^{\circ}\text{C}$  dengan koefisien muai-ruang  $\beta = 0,000057$ . Berapakah volumenya setelah dipanaskan ?

jawab:  $V_2 = V_1 (1 + \beta (t_2 - t_1)) = 30 \{1 + 0,000057(120 - 30)\} = 30,1539$

jadi volume kuningan setelah dipanaskan sampai  $120^{\circ}\text{C}$  menjadi 30,1539 cc.

### 2.3.1.4. Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah perubahan bentuk dari suatu benda padat akibat adanya gaya-gaya dari luar yang bekerja pada benda tersebut. Jadi adanya perubahan itu tergantung kepada besar kecilnya gaya, bentuk benda, dan dari bahan apa benda tersebut dibuat. Jika tidak ada gaya dari luar yang bekerja, maka ada tiga kemungkinan yang kemungkinan akan terjadi pada suatu benda:

- a. *Bentuk benda akan kembali ke bentuk semula*, hal ini karena benda mempunyai sifat kenyal (elastis)
- b. *Bentuk benda sebagiannya saja akan kembali ke bentuk semula*, hal ini hanya sebagian saja yang dapat kembali ke bentuk semula karena besar gaya yang akan bekerja melampaui batas *kekenyalan* sehingga sifat kekenyalan menjadi berkurang.
- c. *Bentuk benda berubah sama sekali*, hal ini dapat terjadi karena besar gaya yang bekerja jauh melampaui batas kekenyalan sehingga sifat kekenyalan sama sekali hilang.

### 2.3.1.5. Tegangan patah

Tiap bahan yang mengalami pembebanan jika ditambah terus menerus, mula-mula mengalami perubahan bentuk dan akhirnya akan patah. Tegangan patah adalah batas tegangan dalam  $\text{kg/cm}^2$ , dimana bahan akan patah apabila bebannya melampaui batas. Sedangkan yang dimaksud dengan tegangan tarik/tekan dalam satuan  $\text{kg/cm}^2$  yaitu besarnya gaya yang bekerja (kg) dalam satuan luas ( $\text{cm}^2$ ), dan dapat ditulis dengan persamaan:  $\sigma_t = \frac{P}{q}$ , dimana  $\sigma_t$  : tegangan ( $\text{kg/cm}^2$ ), P : gaya yang bekerja (kg), dan q : luas potongan normal ( $\text{cm}^2$ ).

Besar *batas-proporsional*, *batas-elastis*, *batas-cair* dan *batas-patah* untuk tiap-tiap bahan dapat diperoleh dengan percobaan. Kecuali besar tegangan yang diizinkan  $\sigma_{di}$  dapat pula tergantung kepada macam muatannya, antara lain:

- Muatan yang bersifat diam dan besarnya tetap, dimaksud muatan statis.
- Muatan santak mempunyai satu arah, tetapi berubah antara nilai nol dan nilai tertinggi. Untuk muatan ini tegangan yang diizinkan  $1/3$  dari muatan tegangan statis.
- Muatan berganti-ganti bekerja dengan arah berganti-ganti. Tegangan yang diizinkan  $1/3$  dari tegangan yang diizinkan untuk muatan statis.

#### Contoh 2

Jika pada muatan statis suatu bahan mempunyai  $\sigma_p = 1200 \text{ kg/cm}^2$ , maka pada muatan santaks diambil  $\sigma_{di} = 2/3 \times 1200 = 800 \text{ kg/cm}^2$ . Pada muatan berganti-ganti harus diambil  $\sigma_{di} = 1/3 \times 1200 = 400 \text{ kg/cm}^2$ .

**angka keamanan**, yaitu pertandingan antara tegangan yang diizinkan, atau

dirumuskan:  $v = \frac{\sigma_p}{\sigma_{di}}$ , dimana v : angka keamanan,  $\sigma_p$  : tegangan patah dan  $\sigma_{di}$  : tegangan yang diizinkan.

#### Contoh 3

Suatu bahan mempunyai tegangan patah  $4000 \text{ kg/cm}^2$ , dan untuk tegangan yang diizinkan sebesar  $800 \text{ kg/cm}^2$ . Hitung berapa angka keamanannya dari bahan tersebut ?

Jawab:  $v = \frac{\sigma_p}{\sigma_{di}} = \frac{4000}{800} = 5$

Angka keamanan selalu diambil lebih besar dari satu, sehingga makin besar angka keamanan suatu bangunan maka makin aman bangunan tersebut.

### 2.3.1.6. Perubahan Bentuk Karena Beban

Jika suatu batang mengalami beban tarik/tekan, maka akan memanjang atau memendek. Menurut percobaan Robert Hooke menyatakan: batang yang panjangnya 1 cm dibawah batas muatan tertentu, maka pemanjangan atau pemendekannya:

- Berbanding lurus dengan gaya tarik/tekan (P)
- Berbanding lurus dengan panjang semula (l)
- Berbanding terbalik dengan luas potongan (q)
- Tergantung pada macam bahan batang tersebut.

Ditulis dalam bentuk persamaan (disebut rumus Hooke) sebagai berikut:

$$\frac{p \cdot l}{E \cdot q}$$

Dimana

- l : perpanjangan/perpendekan (cm),
- P : besar beban (kg), l : panjang batang sebelum dibebani (cm),
- E : modulus elastis ( tergantung macam bahan),
- q : luas potongan (cm<sup>2</sup>).

### 2.3.1.7. Tegangan geser

Tegangan geser biasanya diberi tanda  $\tau$  (baca : tau) dapat ditulis dengan

persamaan:  $\tau = \frac{P}{q}$  dimana

- P: besar beban (kg),
- q: luas potongan normal ( cm<sup>2</sup>), dan
- $\tau$ : tegangan geser yang diizinkan (kg/cm<sup>2</sup>).

### 2.3.1.8. Sifat Kimia

Berkarat adalah termasuk sifat kimia dari suatu bahan yang terbuat dari logam. Hal ini terjadi karena reaksi kimia dari bahan itu sendiri dengan sekitarnya atau bahan itu sendiri dengan bahan cairan. Biasanya reaksi kimia dengan bahan cairan itulah yang disebut *berkarat* atau *korosi*. Sedangkan reaksi kimia dengan sekitarnya disebut *pemburaman*.

### 2.3.2. Bahan Listrik Berbentuk Cair

Cairan atau bahan bentuk cair adalah benda yang pada suhu biasa berbentuk cair dan umumnya tidak dalam keadaan murni tetapi merupakan persenyawaan macam-macam unsur.

### 2.3.1 Air

Macam-macam air di alam, antara : air hujan, air sumur, air tambang atau mineral, dan air laut. Semua air tersebut bukan bahan penyekat, tetapi sebaliknya akan membahayakan penyekat karena sifatnya yang merusak seperti terjadi karat karena beroksidasi dengan air tersebut. Air suling atau air murni dapat disebut sebagai bahan penyekat walaupun masih dapat mengalirkan arus listrik dalam jumlah yang sangat kecil. Karena air dalam susunan kimianya mengandung zat asam yang mudah bergabung dengan logam, maka air tidak dipakai sebagai penyekat listrik secara langsung. Kalau ada air yang digunakan dalam peralatan/mesin listrik, fungsinya hanya sebagai pendingin dan tidak langsung berhubungan dengan hantaran atau bagian yang bertegangan listrik.

### 2.3.2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah hasil pemurnian minyak bumi yang diperlukan untuk pendingin. Karena transformator, tahanan pengasut, penghubung tenaga, atau yang bekerja dengan tegangan tinggi sangat membutuhkan pendinginan. Tanpa pendinginan yang baik akan merusak penyekat inti, lilitan dan bagian lain yang perlu. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sebagai minyak transformator, antara lain :

- Minyak harus cair dan jernih, tidak berwarna (transparan)
- Bebas dari komponen air, asam, alkali, aspal, ter, dan sebagainya
- Campuran abu (arang) pada minyak baru tidak lebih dari 0,005 %
- Minyak baru tidak boleh mengandung asam 0,05 mg KOH/g
- Minyak yang pernah dipakai mengandung asam 0,4 mg KOH/g.
- Pengantar panas + 0,0015 W/cm pada suhu + 20<sup>0</sup>C, atau pengantar panas tidak lebih dari 0,02 W/cm pada suhu + 80<sup>0</sup>C.

Mengingat persyaratan di atas sangat berat, maka perlu tindakan pencegahan untuk mempertahankan kondisi yang diinginkan, antara lain :

- Pengawasan dalam pengiriman atau transport
- Tempat penyimpanan, baik wadah maupun gudang
- Pengontrolan selama dipakai
- Segera dibersihkan jika mulai kotor
- Tempat dan cara pembersihan yang baik
- Minyak harus selalu tertutup rapat
- Menambah atau mengganti minyak harus melalui disaring dengan sempurna
- Saringan harus baik, jangan ada bagian-bagian kecil dari saringan terbawa dalam minyak, misalnya potongan kecil filter, serat-serat dan kotoran lainnya.

### 2.3.2.3. Minyak Kabel

Minyak kabel merupakan salah satu pemurnian minyak bumi yang dibuat pekat dengan cara dicampur dengan damar. Minyak kabel digunakan untuk memadatkan penyekat kertas pada kabel tenaga, kabel tanah, dan terutama kabel tenaga tegangan tinggi. Selain untuk menguatkan daya sekat dan mekanisnya

penyekat kertas, juga untuk menjaga atau menahan air supaya tidak dapat meresap dan sekaligus sebagai *dielektrikum*. Minyak yang digunakan sebagai dielektrikum pada kondensator kertas keadaannya lebih padat, dan pada suhu 35 – 50°C, keadaannya padat sekali.

### 2.3.3. Bahan Listrik Berbentuk Gas

Gas merupakan benda teringan dan tidak mempunyai bentuk dan volume yang tetap. Beberapa macam bahan gas yang dapat dijadikan sebagai penyekat, antara lain:

#### 2.3.3.1. Udara

Susunan udara di bumi hampir 80 % terdiri dari Nitrogen (N<sub>2</sub>) dan kira-kira 20 % adalah Oksigen (O<sub>2</sub>), yang lain-lain macam gas dan uap hanya 1 % saja yaitu Argon, Helium, Neon, Krypton, Xenon, dan Carbondioksida (CO<sub>2</sub>).

Dalam peralatan dan mesin listrik disengaja atau tidak udara merupakan sebagian dari penyekat lain yang telah ditentukan, seperti antara kawat-kawat jaringan listrik, udara dipakai sebahai penyekat. Pada tegangan yang tidak terlalu tinggi udara adalah penyekat yang baik, karena kebocoran melalui udara adalah kecil sekali. Tetapi bila tegangan antara dua penghantar atau elektroda menjadi terlalu tinggi, maka akan ada arus yang meloncat melalui udara yang disebut tegangan tembus. Bila jarak antara dua penghantar tidak begitu besar, keteguhan -listrik udara kurang lebih 3 sampai 5 kV/mm, tetapi keteguhan ini akan menurun bila jarak antara kedua elektroda itu semakin besar. Artinya besar tegangan tembus (breakdown voltage) dari udara tidak sebanding dengan jarak antara kedua elektroda tersebut. Untuk keamanan maka harus menggunakan penyekat padat. Tekanan udara juga berpengaruh terhadap keteguhan-listrik dari udara/gas, dimana keteguhan akan naik apabila tekanan udara/gas naik, dan sebaliknya akan turun apabila tekanan udara/gas menurun. Udara banyak digunakan sebagai pendingin mesin, generator, dan transformator dengan ventilator atau pompa.

#### 2.3.3.2. Nitrogen

Jenis gas ini tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa, begitu pula tidak dapat terbakar, tidak memelihara pembakaran, sangat larut sedikit dalam air dan sukar bersenyawa dengan unsur lain. Gas ini dihasilkan dengan cara penyulingan bertingkat udara cair yaitu dengan pendinginan dan pemampatan udara dapat menjadi cair. Penyulingan dilakukan untuk menguapkan gas nitrogen pada titik didih – 196°C, sehingga tinggal oksigen cair, warnanya biru muda.

Nitrogen merupakan penyekat juga, karena 80 % terdiri dari nitrogen, dan digunakan sebagai pengontrol saluran kabel pengisi/distribusi untuk mengetahui masih baik/tidaknya penyekat kabel yang dipakai. Pada kabel tanah sering terjadi kerusakan penyekat akibat adanya karat, kerusakan mekanis atau kerusakan lapisan timah hitam karena tergores atau retak, sebagai akibat tanah longsor, gempa bumi dan sebab lain. Pada kabel dengan penyekat (kertas, kain pennisan, karet, dan sebagainya) yang masip tidak dapat segera diketahui jika terjadi keretakan/kerusakan penyekatnya. Maka sekarang kabel tidak dibuat masip tetapi bagian tengahnya berlubang yang merupakan saluran. Saluran ini diisi gas nitrogen dengan tekanan 1 – 1,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Apabila terjadi keretakan/kerusakan kabel maka terjadilah kebocoran nitrogen pada tempat keretakan tersebut, sehingga tekanan nitrogen pada kabel menurun. Dengan demikian dapat segera diketahui terjadinya kerusakan kabel. Untuk tekanan sedang digunakan sekitar  $2,5 - 3 \text{ kg/cm}^2$ . Dengan digunakan sistem ini ternyata bahan penyekat padat yang dipakai dapat lebih hemat daripada yang masip. Ada juga kemungkinan dinaikkannya tekanan gas menjadi  $+ 15 \text{ kg/cm}^2$ , tetapi masih jarang dipakai.

### 2.3.3.2. Hidrogen

Hidrogen bebas hanya terdapat sedikit dalam lapisan udara. Gas gunung berapi juga mengandung hidrogen tetapi bercampur dengan zat lain. Sebagai persenyawaan dalam jumlah besar misalnya pada air, hidrokarbon, dsb., hidrogen diperdagangkan dalam botol-botol baja dengan tekanan 150 atmosfer (atm). Sifat hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, merupakan gas teringan, dimana pada  $0^\circ\text{C}$  dan 76 cm Hg, satu liter Hidrogen beratnya 0,09 gram. Dalam bentuk cair mudah terbakar tetapi tidak memelihara pembakaran. Hidrogen mudah bergabung dengan oksigen dan chlor dan merupakan pereduksi yang kuat. Gas hidrogen ini dibuat dengan cara : elektrolisa air, dan dengan cara mendinginkan gas air ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) sampai  $- 191^\circ\text{C}$ , dimana gas CO mengembun tinggal  $\text{H}_2$  saja.

Keuntungan penggunaan gas hidrogen dibandingkan dengan udara pada sistem pendingin turbogenerator dan kondensor sinkron, antara lain :

- Kerugian ventilasi berkurang 8 sampai 10 kali, dan efisiensi mesin mencapai 0,7 sampai 1 persen lebih tinggi, dan kepekaan hidrogen lebih rendah 8 – 10 kali dari udara.
- Rata-rata pemindahan panas oleh hidrogen pada bagian-bagian panas 1,35 kali lebih banyak dan daya hantar panas hidrogen 6,7 kali lebih besar, sehingga dapat mengurangi 20 % keaktifan bahan (baja dan tembaga).
- Daya tahan penyekat meningkat dengan tidak adanya oksidasi. Debu dan lembab sangat berkurang sehingga mengurangi jumlah periode pemeliharaan dan perbaikan.
- Karena tidak ada bahaya kebakaran jika terjadi kerusakan pada penyekat lilin, maka tidak dibutuhkan pengaman kebakaran.
- Kebisingan suara berkurang sekali.
- Pendingin yang dibutuhkan relatif lebih rendah

### 2.3.3.3. Karbon Dioksida

setiap pembakaran carbon dengan oksigen yang berlebihan akan menghasilkan carbondioksida. Gas ini tidak berwarna, menyebabkan rasa segar pada air, tidak terbakar bahkan dapat memadamkan nyala api dan larut dalam air. Dalam teknik listrik gas karbondioksida juga digunakan dalam turbogenerator. Jika suatu mesin dengan pendingin hidrogen akan diganti dengan pendingin udara atau sebaliknya, sedang mesin tetap jalan, maka gas hidrogen yang diganti harus terbuang keluar dahulu. Begitu pula jika udara akan diganti gas hidrogen, udara harus bersih terbuang

dahulu. Sebab pencampuran antara hidrogen dengan udara mengakibatkan ledakan, dimana jika terjadi dalam suatu mesin sangat berbahaya.

### **2.5.2. Penutup**

### **2.5.3. Bahan Diskusi dan Tugas**

1. Dari pengertian yang sudah diuraikan, benda listrik jika dikelompokkan dalam bentuk ada berapa macam, sebutkan dan jelaskan.
2. Sebutkan contoh dari bahan listrik berbentuk padat.
3. Bagaimana prinsip kerja dari bahan listrik berbentuk cair yaitu minyak trafo.
4. Bagaimana prinsip kerja dari bahan listrik berbentuk gas yaitu nitrogen

### **2.6. Daftar Pustaka**

1. P3BKH, Bahan- Bahan Listrik, Dikti, 2003
2. Firdaus, Bahan Listrik, Universitas Sriwijaya, 2013.

### **2.7. Senarai**

1. Bahan listrik jika dikelompokkan menurut wujud terdiri dari tiga wujud yaitu, padat, cair dan gas.
2. Bahan listrik berdasarkan wujud padat mempunyai sifat mekanis, sifat kimia.
3. Bahan listrik berdasarkan wujud cair terdiri dari dari air, minyak tranformator serta minyak kabel.
4. Bahan listrik berdasarkan wujud gas terdiri dari dari udara, nitrogen serta karbon dioksida.

# **BAB 3**

## **PENGELOMPOKKAN BERDASARKAN BAHAN LISTRIK**

### **3.1. Deskripsi Singkat**

Tujuan dari mempelajari bab ini mahasiswa bisa membedakan bahan listrik berdasarkan bahan yang listriknya.

### **3.2. Tujuan Instruksional Khusus**

Setelah mempelajari materi ini mahasiswa dapat menjelaskan proses terbentuknya bahan listrik dari bahan yang dibuat.

### **3.3. Penyajian**

#### **3.3.1. Konduktor**

Bahan penghantar ialah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik lain. Penghantar dapat berupa kabel ( penghantar dengan selubung isolasi) atau kawat ( penghantar tanpa isolasi).

Bahan- bahan yang digunakan sebagai penghantar harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Konduktifitasnya cukup baik.
2. Koefisien muai panjangnya kecil.
3. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar.

Bahan – bahan yang biasa digunakan sebagai penghantar adalah :

1. Logam biasa, seperti tembaga, aluminium dan besi.
2. Logam campuran ( alloy) yaitu logam dari tembaga atau aluminium yang dicampur dengan jumlah tertentu dari logam jenis lain untuk meningkatkan kekuatannya mekaniknya.
3. Logam paduan ( composite) yaitu dua atau lebih jenis logam yang dipadukan dengan cara kompresi, peleburan atau pengelasan.

Klasifikasi penghantar padat menurut bahannya adalah:

1. Kawat logam biasa, contoh: BBC ( bare copper konduktor ) dan AAC ( all aluminium konduktor)
2. Kawat logam campuran ( alloy), contoh : AAAC ( all aluminium alloy konduktor).
3. Kawat logam paduan ( composite), contoh: kawat baja berlapis tembaga ( copper clad steel).
4. Kawat lilit campuran ( alloy ), yaitu kawat yang lilitnya terdiri dari dua jenis logam atau lebih, contoh: ACSR ( aluminium konduktor steel reinforced)

Klasifikasi konduktor menurut konstruksinya:

1. Kawat pada ( solid wire) berpenampang bulat.
2. Kawat berlilit ( stranded wire) terdiri dari 7 sampai 61 kawat padat yang dililit menjadi satu.
3. Kawat berongga ( hollow konduktor) adalah kawat berongga yang dibuat untuk mendapatkan diameter yang besar.

Klasifikasi konduktor menurut bentuk fisiknya dapat dibedakan atas:

1. Kawat Telanjang
2. Kawat berisolasi yang merupakan kawat telanjang dan pada bagian luarnya diisolasi sesuai dengan peruntukan tegangan kerja, contohnya:
  - a. Kabel twisted



Gambar. 3.1. Contoh kabel twisted

b. Kabel NYY



Gambar 3.2. Contoh Kabel NYY

c. Kabel NYCY



Gambar. 3.3. Contoh Kabel NYCY

e. Kabel NYFGBY

**3.3.1.1. Karakteristik Dari Konduktor**

Ada dua jenis karakteristik dari bahan penghantar yaitu:

1. Karakteristik mekanik, kekuatan tarik.
2. Karakteristik listrik, kekuatan arus.

**3.3.1.2. Resistansi Listrik**

Yaitu kemampuan suatu bahan dalam menahan arus listrik yang dinyatakan dalam formula berikut ini:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Dimana :

- R adalah tahanan dalam bahan ( $\Omega$ )
- $\rho$  adalah tahanan jenis bahan ( $\Omega \text{mm}^2 \text{m}$ )
- l adalah panjang bahan ( m)
- A adalah luas penampang bahan ( $\text{mm}^2$ )

**3.3.1.3. Koefisien temperatur hambatan**

Yaitu besarnya perubahan tahanan akibat perubahan suhu dinyatakan oleh:

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

Dimana:

- R = Tahanan akhir setelah perubahan suhu ( $\Omega$ )

$R_0$  = Tahanan awal sebelum perubahan suhu ( $\Omega$ )  
 $\alpha$  = Koefisien temperatur bahan  
 $t$  = temperatur akhir ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $t_0$  = temperatur awal ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 3.3.1.4. Penamaan Konduktor

1. Penghantar
  - N – tembaga
  - NA – alumunium
2. Isolasi
  - Y – Isolasi PVC
  - 2Y – Isolasi XLPE
3. Selubung Dalam
  - G – karet
  - 2G – karet butyl
  - K – timah
  - KL – alumunium dengan permukaan licin
  - KWK – selubung dari XLPE
  - Y – selubung dari PVC
  - 2Y – selubung dari politilen
  - Z- selubung dari pita seng
4. Perisai
  - B – pita baja
  - F – baja pipih
  - L – Jalinan Kawat baja
  - Q – Kawat baja berlapis seng
  - R – Kawat baja bulat satu lapis
  - RR – kawat baja bulat dua lapis
  - Z – kawat baja berbentuk huruf Z
5. Spiral
  - D- spiral anti tekan
  - Gb – spiral dari pita baja
6. Selubung luar
  - A – selubung dari yute
  - Y – selubung dari PVC
7. Bentuk penghantar kabel
  - Se – sektor pejal
  - Sm – sektor serabut
  - Re – bulat pejal
  - Rm bulat serabut

### **3.4.1. Bahan Penyekat (Isolator)**

Bahan penyekat atau sering disebut dengan istilah *isolasi* adalah suatu bahan yang digunakan dengan tujuan agar dapat memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Sehingga untuk bahan penyekat ini perlu diperhatikan mengenai sifat-sifat dari bahan tersebut, seperti : sifat listrik, sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia, dan lain-lain.

#### **3.4.1.1. Sifat Listrik**

yaitu suatu bahan yang mempunyai tahanan jenis listrik yang besar agar dapat mencegah terjadinya rambatan atau kebocoran arus listrik antara hantaran yang berbeda tegangan atau dengan tanah. Karena pada kenyataannya sering terjadi kebocoran, maka harus dibatasi sampai sekecil-kecilnya agar tidak melebihi batas yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku (PUIL : peraturan umum instalasi listrik).

#### **3.4.1.2. Sifat Mekanis**

Mengingat sangat luasnya pemakaian bahan penyekat, maka perlu dipertimbangkan kekuatannya supaya dapat dibatasi hal-hal penyebab kerusakan karena akibat salah pemakaian. Misal memerlukan bahan yang tahan terhadap tarikan, maka dipilih bahan dari kain bukan dari kertas karena kain lebih kuat daripada kertas.

#### **3.4.1.3. Sifat Termis**

Panas yang timbul pada bahan akibat arus listrik atau arus gaya magnet berpengaruh kepada penyekat termasuk pengaruh panas dari sekitarnya. Apabila panas yang terjadi cukup tinggi, maka diperlukan pemakaian penyekat yang tepat agar panas tersebut tidak merusak penyekatnya.

#### **3.4.1.3. Sifat Kimia**

Akibat panas cukup tinggi dapat mengubah susunan kimianya, begitu pula kelembaban udara atau basah disekitarnya. Apabila kelembaban dan keadaan basah tidak dapat dihindari, maka harus memilih bahan penyekat yang tahan air, termasuk juga kemungkinan adanya pengaruh zat-zat yang merusak seperti: gas, asam, garam, alkali dan sebagainya.

### **3.4.2. Bentuk Penyekat**

Bentuk penyekat menyerupai dengan bentuk benda pada umumnya, yaitu: padat, cair, dan gas sesuai kebutuhannya.

### 3.4.2.1. Penyekat Bentuk Padat

Beberapa macam penyekat bentuk padat sesuai dengan asalnya, diantaranya:

- a. Bahan tambang, seperti: batu pualam, asbes, mika mekanit, mikafolium, mikalek dan sebagainya
- b. Bahan berserat, seperti: benang, kain (tekstil), kertas, prespan, kayu, dll.
- c. Gelas dan keramik.
- d. Plastik.
- e. Karet, bakelit, ebonit, dan sebagainya.
- f. Bahan-bahan lain yang didapatkan.

### 3.4.2.2. Penyekat Bentuk Cair

Penyekat dalam bentuk cair ini yang paling banyak digunakan adalah minyak transformator dan macam-macam minyak hasil bumi.

### 3.4.2.3. Penyekat Bentuk Gas

Penyekat dalam bentuk gas ini dapat dikelompokkan ke dalam: udara dan gas-gas lain, seperti: Nitrogen, Hidrogen dan Carbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan lain-lain.

### 3.4.3. Pembagian Kelas Bahan Penyekat

Berdasarkan suhu maksimum yang diizinkan, maka bahan penyekat listrik dapat dibagi menjadi:

Kelas	Maksimum Temperatur (°C)	Kelas	Maksimum Temperatur (°C)
Y	90	F	155
A	150	H	180
E	120	C	180 ke atas
B	130		

#### 1. Kelas Y

Yang termasuk dalam kelas ini adalah bahan berserat organik (seperti kertas, karton, katun, sutera, dan sebagainya) yang tidak dicelup dalam bahan pernis atau bahan pencelup lainnya. Termasuk juga bahan termoplastik yang dapat lunak pada suhu rendah.

#### 2. Kelas A

Yaitu bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam pernis atau kompon atau yang terendam dalam cairan dielektrikum (seperti penyekat fiber pada transformator yang terendam minyak). Bahan-bahan ini adalah katun, sutera, dan

kertas yang telah dicelup, termasuk kawat email (enamel) yang terlapis damar-oleo dan damar polyamide.

### **3. Kelas E**

Yaitu bahan penyekat kawat enamel yang memakai bahan pengikat polyvinylformal, polyurethane dan damar epoxy dan bahan pengikat lain sejenis dengan bahan selulosa, pertinaks dan tekstolit, film triacetate, film dan serat polyethylene terephthalate.

### **4. Kelas B**

Yaitu bahan bukan organik (seperti : mika, gelas, fiber, asbes) yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan pernis atau kompon, dan biasanya tahan panas (dengan dasar minyak pengering, bitumin sirlak, bakelit, dan sebagainya).

### **5. Kelas F**

Yaitu bahan bukan organik yang dicelup atau direkat menjadi satu dengan episode, polyurethane atau pernis lain yang tahan panas tinggi.

### **6. Kelas H**

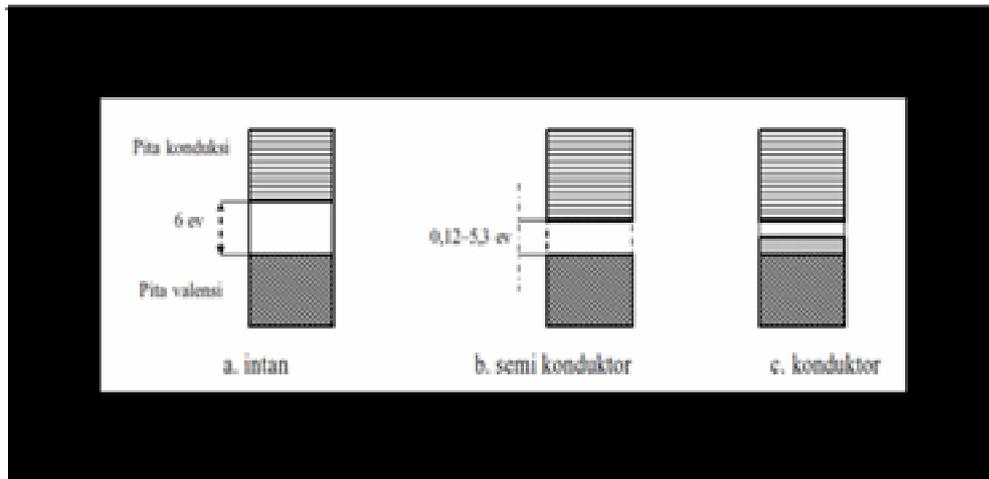
Yaitu semua bahan komposisi bahan dasar mika, asbes dan gelas fiber dicelup dalam silikon dan tidak mengandung sesuatu bahan organik seperti kertas, katun dll.

### **7. Kelas C**

Yaitu bahan bukan organik yang tidak dicelup dan tidak terikat dengan zat organik, seperti : mika, mikanit, yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat bukan organik), mikalek, gelas dan bahan keramik. Hanya satu bahan organik saja yang termasuk kelas C yaitu polytetrafluoroethylene (teflon).

#### **3.5.1. Bahan Semikonduktor**

Semi konduktor saat ini mempunyai peranan penting di bidang elektronika dan penggunaannya tidak terbatas pada arus lemah. Hal penting dalam semi konduktor adalah memahami susunan pita dan atom konduksi elektroniknya baik pada bahan konduktor maupun pada semi konduktor. Pada bahan tersebut terdapat pita konduksi maupun pita valensi, dimana kedua pita tersebut saling menumpuk, dan pada isolator jarak keduanya cukup jauh. Pada semi konduktor jarak keduanya tidak terlalu jauh dan ini memungkinkan terjadinya tumpang tindih jika dipengaruhi : panas, medan magnet, dan tegangan yang cukup tinggi. Perbandingan jarak kedua pita disebut celah energi seperti ditunjukkan pada gambar 3.4



Gambar 3.4. Celah energi pada beberapa bahan

Dari gambar 3.4 di atas terlihat bahwa celah energi pada intan 6 eV dan intan merupakan bahan isolator dengan resistivitas tinggi, sedangkan bahan semi konduktor mempunyai celah energi lebih sempit daripada isolator 0,12 – 5,3 eV seperti Si sebagai salah satu bahan semi konduktor dengan celah energi 1,1 eV.

Berdasarkan lebar dan sempitnya celah energi dari bahan-bahan di atas, terlihat bahwa untuk menjadikan bahan semikonduktor agar menghantar listrik diperlukan energi yang tidak besar. Silikon dan germanium murni disebut semi konduktor *intrinsik* jika belum mendapatkan bahan tambahan, sedangkan yang sudah mendapatkan bahan tambahan disebut *ekstrinsik*. Bahan tambahan yang dimaksud arsenikum (As) atau boron (B). bahan semikonduktor yang mendapatkan tambahan As akan menjadi semi konduktor jenis N, sedangkan yang mendapatkan tambahan B akan menjadi semi konduktor jenis P. Beberapa bahan tambahan untuk semi konduktor dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Energi Ionisasi

Bahan Pengotoran		Si (ev)	Ge (ev)
Tipe- n	Pospor	0,04	0,012
	Arsen	0,049	0,013
	Antimon	0,039	0,010
Tipe- p	Boron	0,045	0,010
	Aluminium	0,057	0,010
	gallium	0,065	0,011
	indium	0,16	0,011

### 3.5.1.1. Semi Konduktor Intrinsik

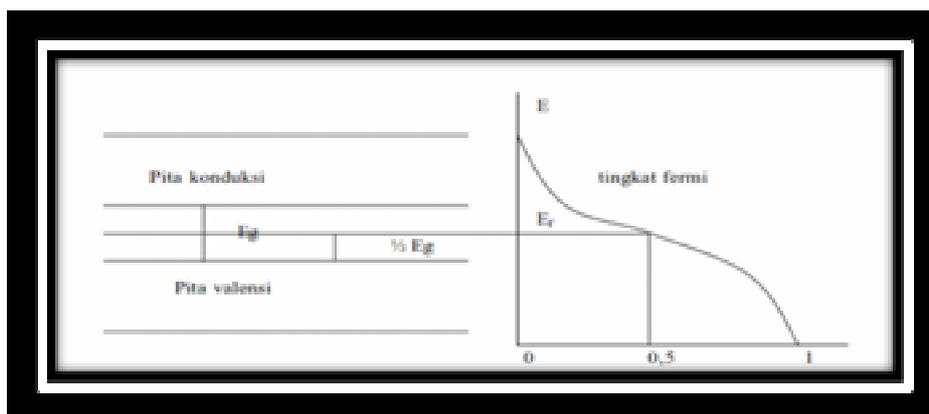
Telah dibahas sebelumnya, untuk menjadikan pita valensi bertumpang tindih dengan pita konduksi diantaranya diperlukan medan. Sebagai contoh : Si mempunyai celah energi 1 eV. Ini diperkirakan beda energi antara dua inti ion yang terdekat dengan jarak  $\pm 1 \text{ \AA}$  ( $10^{-10} \text{ m}$ ). Maka dari itu diperlukan gradien medan  $\pm 1 \text{ V}/10^{-10} \text{ m}$  untuk menggerakkan elektron dari bagian atas pita valensi ke bagian bawah pita konduksi. Namun gradien sebesar itu kurang praktis. Kemungkinan lain untuk keadaan transisi yaitu tumpang tindih kedua pita dapat diperoleh dengan pemanasan. Pada suhu kamar ada juga beberapa elektron yang melintasi celah energi dan hal ini menyebabkan terjadinya semi konduksi. Pada semi konduktor intrinsik, konduksi tersebut disebabkan proses intrinsik dari bahan tanpa adanya pengaruh tambahan. Kristal Si dan Ge murni adalah semi konduktor intrinsik. Elektron-elektron yang dikeluarkan dari bagian teratas pita valensi ke bagian pita konduksi karena energi termal adalah penyebab konduksi. Banyaknya elektron yang terkuat untuk bergerak melintasi celah energi dapat dihitung dengan distribusi kemungkinan Fermi-Dirac.

$$p(E) = \frac{1}{(1 + e^{\frac{E - E_f}{k \cdot T}})}$$

dimana  $E_f$  : tingkat fermi seperti gambar 8.2,  $k$  : konstanta boltzman =  $8,64 \cdot 10^{-5} \text{ eV}/^\circ\text{K}$ ,  $E - E_f$  :  $E_g/2$ ,  $E_g$  : besaran celah energi termal  $KT$  pada suhu kamar (0,026 eV). Karena nilai 1 pada penyebut dapat diabaikan, maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$P(E) \approx e^{-\frac{E - E_f}{kT}}$$

Pada suhu  $0^\circ\text{C}$  semua elektron berada pada pita valensi, dimana keadaan ini kemungkinan adanya elektron di daerah  $0 > E > E_f$  adalah 100 % atau  $P(E) = 1$ ; semua keadaan terdapat elektron. Untuk  $E > E_f$ ,  $P(E) = 0$  kemungkinan adanya elektron di daerah  $E > E_f$  adalah 0 %, semua keadaan di atas  $E_f$  adalah kosong kalau energi elektron  $E$  sama besar dengan kemungkinan  $P(E)$ , maka dapat dituliskan bahwa banyaknya elektron  $n$  yang melalui celah energi adalah :  $n = N e^{-\frac{E_g}{2kT}}$

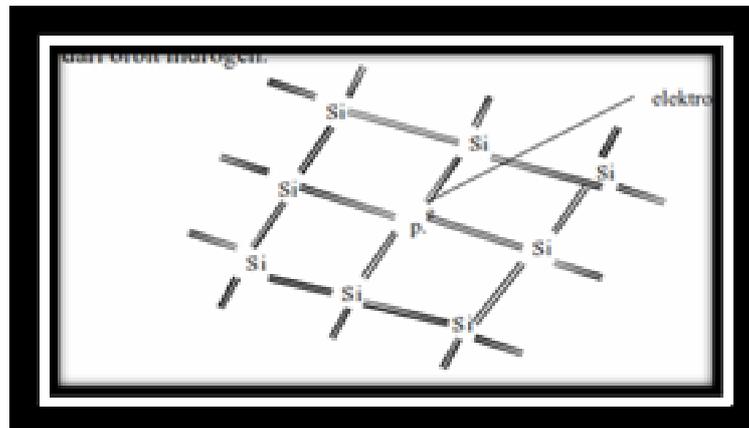


Gambar 3.5. Tingkat fermi pada semi konduktor intrinsik pada pertengahan celah energi.

Karena perpindahan elektron dari pita valensi, maka pada pita valensi terjadi lubang di setiap tempat yang ditinggalkan elektron tersebut. Suatu semi konduktor intrinsik mempunyai lubang yang sama pada pita valensi dan elektron pada pita konduksi. Pada pemakaian elektron yang lari ke pita konduksi dari pita valensi, misalnya karena panas dapat dipercepat menggunakan keadaan kosong yang memungkinkan pada pita konduksi. Pada waktu yang sama lubang pita valensi juga bergerak tetapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Konduktivitas dari semi konduktor intrinsik tergantung konsentrasi muatan pembawa tersebut yaitu  $n_e$  dan  $n_h$ .

### 3.5.1.2. Semi Konduktor Ekstrinsik

Pada semi konduktor ekstrinsik konduksi dapat dilakukan setelah adanya penyuntikan bahan penambah atau pengotoran dari luar (ekstraneous impurities). penyuntikan bahan tambahan terhadap semi konduktor murni disebut *doping*. Penambahan bahan tersebut kepada semi konduktor murni akan meningkatkan konduktivitas semi konduktor. Suatu kristal silikon yang didoping dengan elemen kolom 5 pada susunan berkala seperti P, As atau Sb. Pada gambar 8.3 menjelaskan kristal Si yang didoping dengan P. Pada gambar 8.3 tersebut 4 dari 5 elektron pada orbit terluar dari atom pospor mengikat 4 silikon sekelilingnya. Elektron ke 5 dari atom P tidak mempunyai atom semula dan dapat diasumsikan berputar mengelilingi ion pospor positif seperti halnya elektron 1s mengelilingi inti hidrogen. Namun demikian mempunyai sebuah perbedaan penting yaitu elektro dari atom pospor bergerak pada medan listrik dari kristal silikon dan bukan pada ruang bebas seperti halnya pada atom H. Hal ini akan membawa akibat konstanta dielektrik dari kristal pada perhitungan orbitan dan radius orbit elektron menjadi sangat besar kira-kira  $80 A^0$  dibandingkan  $0,5 A^0$  dari orbit hydrogen



Gambar 3.6 . Silikon yang didoping dengan pospor

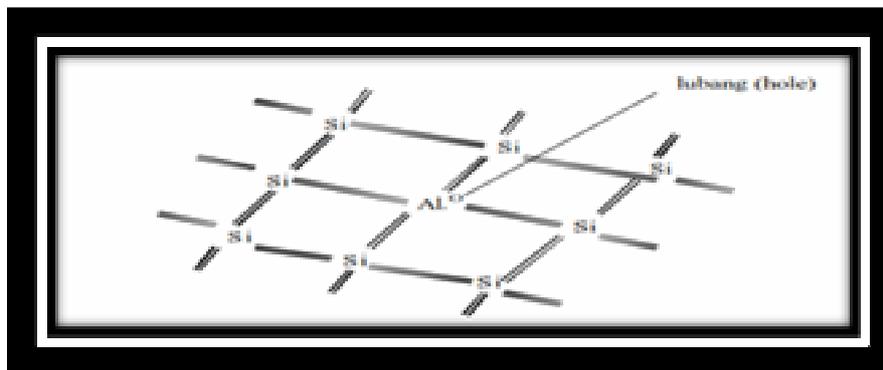
Hal ini dapat diartikan bahwa elektron ke-5 tersebut bebas dan tingkat energinya bedekatan terhadap pita konduksi. Eksistensi elektron ke-5 ke dalam pita konduksi lebih cepat terlaksana daripada eksistensi dari pita valensi kristal Si. Atom p dinamakan mendonorkan elektronnya pada semi konduktor. Tingkat energi dari elektron ke-5 dinamakan tingkat donor. Semi konduktor yang didonorkan dari

elemen-elemen pada kolom 4 (mendonorkan muatan negatif) disebut semi konduktor tipe-n. Energi yang diperlukan untuk mengeluarkan elektron ke-5 masuk ke dalam pita konduksi disebut energi ionisasi seperti ditunjukkan pada tabel 8.1.

Dibandingkan dengan celah energi, besarnya energi ionisasi dari atom pengotor sangat kecil. Pada suhu kamar, elektron-elektron tingkat donor sudah dikeluarkan dari pita valensi masuk ke dalam pita konduksi. Kumpulan elektron ini jauh lebih besar dari kumpulan elektron yang dikeluarkan dari pita valensi pada proses intrinsik. Sesuai dengan hukum gerakan massa, hasil dari banyaknya elektron-elektron pada pita konduksi dan banyaknya lubang pada pita valensi harus konstan. Kondisi ini secara drastis akan mengurangi banyaknya lubang pada semi konduktor tipe-n. Elektron-elektron pada pita konduksi menjadi pembawa muatan mayoritas (majority charge carries).

Proses doping kristal Si dengan elemen kolom 3 antara lain : Ga, Al, dan In dapat dijelaskan:

Aluminium mempunyai 3 elektro pada orbit terluarnya, sedangkan untuk menyisipkan Si pada akristal ini Al memerlukan elektron ekstra untuk melengkapi ikatan sekelilingnya menjadi tetra hedral (mengikat 4 atom Si). Elektron ekstra ini dapat diperoleh dari atom Si yang terdekat sehingga menimbulkan lubang pada Si. Atom Al dengan elektron ekstra menjadi sebuah muatan negatif dan lubang dengan sebuah muatan positif dapat dianggap berputar mengelilingi atom Al. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Silikon yang didoping dengan elemen kolom ke -3 (Al).

Pada suhu  $0^{\circ}$ , lubang tetap terikat pada atom pengotor. Kalau suhu dinaikkan, lubang akan terlepas dari atom pengotor dan menjadi konduksi. Energi ionisasi untuk sebuah ikatan lubang bebas dari pengotornya kira-kira sama dengan energi ionisasi dari elektron-elektron donor pada kristal yang sama. Tingkat ikatan lubang disebut tingkat akseptor (aluminium menerima sebuah elektron) dan selalu di atas pita valensi.

Kumpulan lubang diusahakan dengan eksitasi termal pada Si yang didoping jauh lebih besar daripada yang diusahakan dengan eksitasi dari elektron pada pita konduksi. Menurut hukum gerakan massa disini lubang-lubang positif sebagai pembawa mayoritas muatan. Dengan demikian semi konduktor ekstrinsik disebut semi konduktor tipe-p. Pada semi konduktor ekstrinsik, banyaknya elektron pada pita konduksi dan banyaknya lubang pada pita valensi tidak sama apakah elektron atau

yang lubangnya lebih dominan tergantung dari tipe proses ekstrinsiknya. Adapun macammacam penggunaan semi konduktor seperti ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Macam-macam Semi konduktor dan Penggunaannya

Nama Semi Konduktor	Penggunaanya
Barium titanate (Ba Ti)	Termistor (PTC)
Bismut Telurida (Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> )	Konversi termo elektrik
Cadmium sulfida (Cd S)	Sel Fotokonduktif
Gallium arsenida (Ga As)	Dioda, transistor, laser, led, generator gelombang mikro
Germanium (Ge)	Diode, transistor
Indium antimonida (In Sb)	Magnetoresistor, piezoresistor, detektor radiasi inframerah
Indium arsenida (In As)	Piezoresistor
Silikon (Si)	Diode, transistor, IC
Silikon Carbida (Si Cb)	Varistor
Seng Sulfida (Zn S)	Perangkat penerangan elektro
Germanium Silikon (Ge Si)	Pembangkitan termoelektrik
Selenium (Se)	Rectifier
Aluminium Stibium (Al Sb)	Diode penerangan
Gallium pospor (Ga P)	Diode penerangan
Indium pospor (In P)	Filter inframerah
Tembaga Oksida	Rectifier
Plumbun Sulfur (Pb S)	Foto sel
Plumbun Selenium (Pb Se)	Foto sel
Indium Stibium (In Sb)	Detektor inframerah, filter inframerah, generator Hall

### 3.6.1. Bahan Magnetik

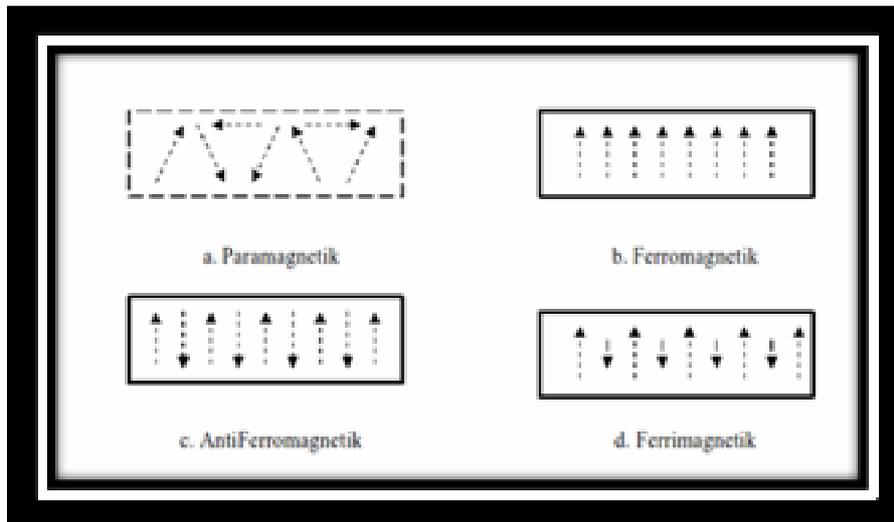
#### 3.6.1.2. Sifat-sifat magnetik

Menurut sifat bahan terhadap pengaruh kemagnetan, maka dapat digolongkan menjadi:

- Diamagnet*, yaitu bahan yang sulit untuk menyalurkan garis-garis gaya magnet (ggm). Permeabilitasnya lebih kecil dari 1 (satu) dan tidak mempunyai dua kutub permanen. Contoh bahan ini antara lain : Bi, Cu, Au, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiSO<sub>4</sub>, dan lain-lain.
- Paramagnetik*, yaitu bahan yang dapat menyalurkan ggm tetapi tidak banyak. Permeabilitasnya sedikit lebih besar dari 1 (satu), dan susunan dwikutubnya tidak beraturan. Contoh bahan ini diantaranya : Al, Fe, FeSO<sub>4</sub>, Fe Cl<sub>2</sub>, Mo, W, Ta, Pt, dan Ag.

- c. *Ferromagnetik*, yaitu bahan yang mudah menyalurkan ggm, dengan permeabilitas jauh di atas 1 (satu). Contohnya : Fe, Co, Ni, Gd, Dy.
- d. *Anti Ferromagnetik*, yaitu bahan yang mempunyai susceptibilitas positif yang kecil pada segala suhu dengan perubahan susceptibilitas suhu karena keadaan khusus. Teori anti ferromagnetik ini dikembangkan oleh Neel seorang ilmuwan Perancis. Susunan dwikutubnya sejajar tetapi berlawanan arah. Contohnya :  $MnO_2$ , MnO, FeO, dan CoO.

Bahan-bahan ferromagnetik mempunyai resistivitas rendah sehingga pemakaiannya terbatas pada frekuensi rendah. Sehingga dikembangkan bahan ferrimagnetik yang mempunyai resistivitas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bahan ferromagnetik. e. *Ferrimagnetik (ferrit)*, yaitu suatu bahan yang mampu digunakan untuk perlatan dengan frekuensi tinggi disamping arus eddy yang terjadi kecil. Rumus bahan ferrimagnetik adalah  $MO, Fe_2O_3$  (M : logam bervalensi 2 yaitu : Mn, Mg, Ni, Cu, Co, Zn, Cd). Contohnya : ferrit ( $\square\square NiO$ ), seng ( $\square\square ZnO$ ), dan nikel ( $Fe_2O_3$ ) dimana  $\square\square+ \square\square= 1$ . Gambaran dwikutub bahan magnet seperti dijelaskan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 susunan dwikutub bahan-bahan magnetik

Istilah bahan magnetik yang umum digunakan adalah bahan ferromagnetik, yang dapat dikategorikan menjadi 2 macam, yaitu :

- a. Bahan yang mudah dijadikan magnet yang lazim disebut bahan magnetik lunak. Bahan ini banyak digunakan untuk inti transformator, inti motor atau generator, rele, peralatan sonar atau radar.
- b. Bahan ferromagnetik yang sulit dijadikan magnet tetapi setelah menjadi magnet tidak mudah kembali seperti semula yang disebut dengan bahan magnetik keras. Bahan ini digunakan untuk pabrikan magnet permanen.

Sifat-sifat bahan magnetik mirip dengan sifat dari bahan dielektrik, dimana momen atom dan molekul-molekul yang menyebabkan adanya dwikutub sama dengan momen dwikutub pada bahan dielektrik. Magnetisasi pada bahan magnet seperti polaritas pada bahan dielektrik.

### 3.6.1.2. Parameter-Parameter Magnetik

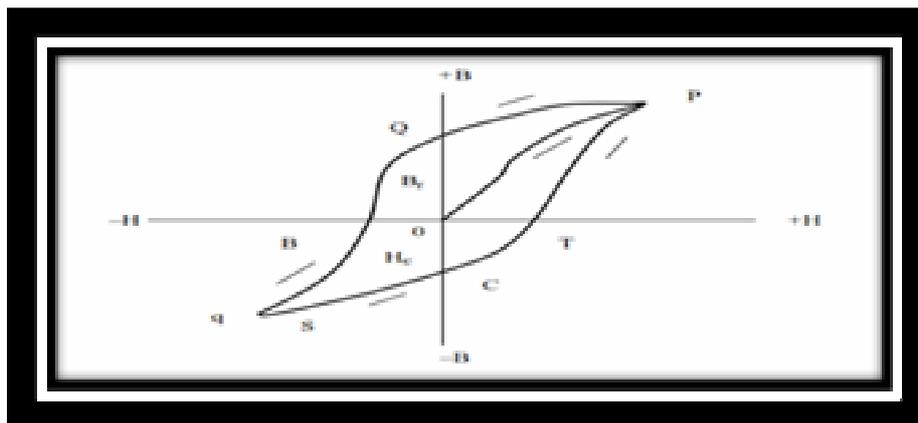
Beberapa parameter yang menentukan sifat kemagnetan (magnetisasi) dari suatu bahan antara lain :

#### a. Permeabilitas dan Susceptibilitas Magnetik

Pada perhitungan tentang magnet terdapat hubungan antara fluksi (B) dengan satuan  $\text{Wb/m}^2$  atau tesla dengan kuat medan (H) dengan satuan A lilit/m, yang dirumuskan :  $B = \mu \cdot H$  karena  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  maka dapat juga ditulis dengan :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

dimana  $\mu_r$ : permeabilitas bahan yang merupakan hasil perkalian permeabilitas absolut ( $\mu_0$ ) dengan permeabilitas relatif ( $\mu_r$ ), besarnya  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \text{ H/m}$ . Kuantitas yang diekspresikan ( $\mu_r - 1$ ) disebut magnetisasi per unit dari intensitas medan magnet yang disebut susceptibilitas magnetisasi. Besarnya  $\mu_r$  untuk bahan ferromagnetik adalah tidak konstan. Jika arus I dialirkan melalui kumparan dengan inti bertambah dari nol bertahap sehingga medan magnet dan rapat fluksi akan bertambah. Pertambahan keduanya akan sebanding seperti terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Jerat Histeris bahan Ferro

Berdasarkan gambar 3.9 , kurva OP mula-mula naik dengan tajam, kemudian setelah mencapai tahapan tertentu kurvanya mendatar karena B telah mencapai kejenuhan (saturasi). Kalau diadakan perbandingan B dengan H maka diperoleh harga yang tidak tetap. Setelah tercapai titik P, kemudian I diturunkan secara bertahap sehingga diperoleh kurva PQ yaitu pada saat I sama dengan nol, masih terdapat sisa kemagnetan ( $B_r$ ). Kemudian arah arus dibalik dengan cara sebelumnya maka H akan bertambah dan B menjadi nol di titik R sehingga diperoleh  $H_c$  yang disebut dengan gaya Koersip (Coersive Force). Prosedur di atas diulang-ulang sehingga diperoleh kurva tertutup PQRSCTP yang disebut dengan istilah *Jerat Histerisis Magnetik*. Luas daerah ini sebanding dengan volume bahan magnetik yang dimagnetisasi. Apabila inti tersebut diberi arus bolak-balik maka akan menimbulkan arus eddy (eddy current) yang lazim disebut dengan *arus pusar* atau *arus focoult*.

*b. Momen Magnetik*

Seperti diketahui bahwa jika sebuah kumparan yang dilewati arus (I) diletakkan pada rapat arus yang merata akan menimbulkan torsi yang besarnya tergantung pada : luas kumparan, arus, dan rapat fluksi yang terpotong bidang kumparan. Momen dwikutub magnetik hubungannya dengan torsi adalah :

$$P_m = I \cdot \text{Kumparan}$$

dimana  $P_m$  : merupakan vektor yang arahnya tegak lurus terhadap kumparan dengan satuan  $A/m^2$  . Batang magnet permanen juga dapat menyebabkan torsi apabila diletakkan di dalam medan yang merata. Jika magnet tersebut diharapkan untuk mendapatkan kutub-kutub bebas yang berlawanan, maka dapat dikatakan sebagai momen dwikutub sebagai hasil dari kuat kutub dengan jarak antara kutub-kutub.

*c. Magnetisasi*

Semua bahan memungkinkan menghasilkan medan magnetik, dari itu diperoleh secara eksperimental untuk menimbulkan momen magnetik. Besarnya momen ini per unit volume disebut magnetisasi dari medium (M) dengan satuan C/m, dt atau A/m. Pada saat medan magnet diberikan kepada suatu bahan, induksi magnetik (rapat fluksi) adalah penjumlahan dari efek pada keadaan pakem suatu bahan, sehingga besarnya rapat fluksi (B) menjadi :

$$B = \mu_0 \cdot H + \mu_0 \cdot M$$

$$M = (\mu_r - 1) \cdot H = X_m \cdot H$$

$X_m$  adalah susceptibilitas magnetik, M magnetisasi bahan dapat diekspresikan sebagai momen dwikutub ( $\mu_m$ ) dengan satuan C.  $M^2/dt$  atau  $A/m^2$ , dimana :  $M = N \cdot \mu_m$  N adalah jumlah dwikutub magnetik per unit volume. Berdasarkan susceptibilitasnya dapat dibedakan sifat kemagnetan suatu bahan yaitu : untuk  $X_m$  negatif  $10^{-5}$  adalah diamagnetik, untuk  $X_m$  kecil dan positif  $10^{-3}$  pada suhu kamar (karena  $X_m$  berbanding terbalik dengan suhu) adalah paramagnetik, untuk  $X_m$  yang besar adalah ferromagnetik.

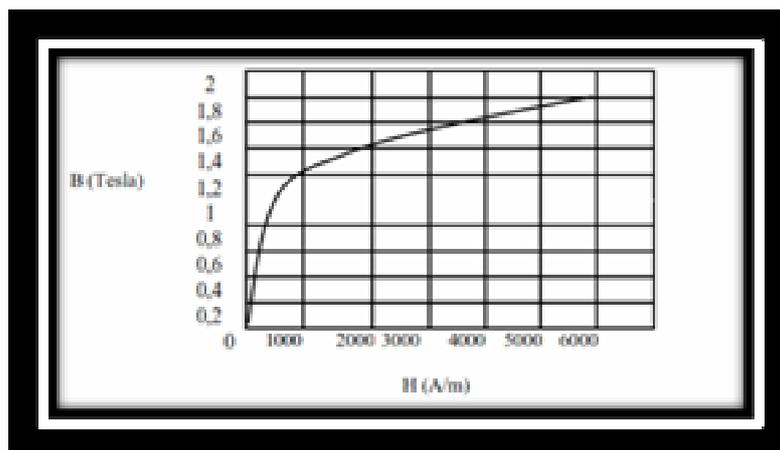
**3.6.1.3. Laminasi Baja Kelistrikan**

Cara yang paling praktis untuk mengubah bahan magnetik lunak untuk menjadi baja kelistrikan adalah dengan menambah silikon ke dalam komposisinya. Cara ini akan mengurangi rugi histerisis dan arus pusar dengan tajam, karena resistivitasnya bertambah. Paduan baja dengan tambahan silikon, sekarang ini merupakan bahan yang sangat penting untuk bahan magnetik lunak pada teknik listrik. Namun perlu diingat bahwa penambahan silikon akan menyebabkan bahan menjadi rapuh.

Tabel 3.3. memberikan data campuran silikon pada baja sehubungan dengan resistivitas dan massa jenisnya.

Kandungan Si (%)	Resistivitas $\rho$ –mm <sup>2</sup> /m	Massa Jenis g/cm <sup>3</sup>
0,8 – 1,8	1,25	7,8
1,8 – 2,8	0,4	7,75
2,8 – 4,0	0,5	7,65
4,0 – 4,8	0,57	7,55

Laminasiun tuk transformator umumnya mengandung Si sekitar 4 %, sedangkan untuk jangkar motor listrik kandungan Si nya 1 – 2 %. Namun hal ini dapat diubahubah berdasarkan standar masing-masing negara penghasil mesin-mesin tersebut. Selanjutnya periksa tabel 7.2. Ketebalan laminasi baja transformator untuk inti peralatan listrik adalah 0,1 – 1 mm, dan yang bisa dipasarkan adalah 0,35 mm dan 0,5 mm dalam bentuk lembaran 2 x 1 m, 1,5 x 0,75 m. kurva magnetisasi baja transformator seperti ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kurva B – H baja transformator

Baja listrik jenis lain adalah baja listrik dengan proses dingin. Kemampuan baja listrik sangat tinggi terutama jika fluksi magnetiknya searah dengan panjang laminasi. Karena kristal baja ini dibuat searah dengan proses dingin dan aniling pada ruang yang diisi hidrogen. Baja ini digunakan pada pembuatan inti transformator dengan lilitan jenis ribbon (misalnya : transformator arus). Baja ini memungkinkan mengurangi berat dan dimensi transformator 20 – 25 % dan untuk transformator radio, hal ini dapat mencapai 40 %.

Tabel 3.4. bahan-bahan Magnetik Lunak

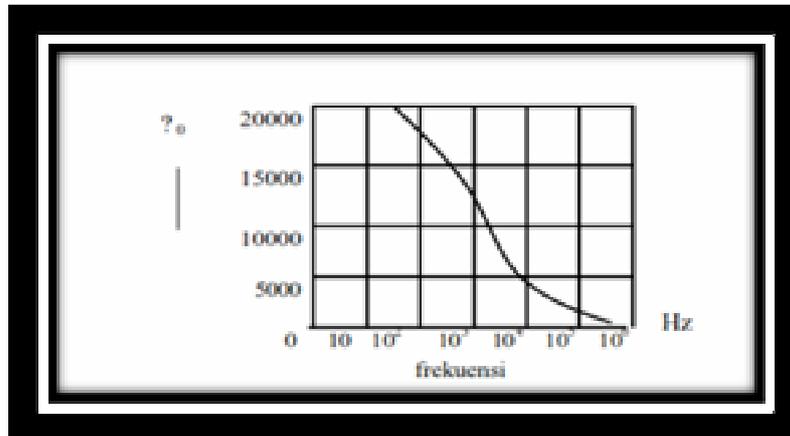
Klasifikasi	Komposisi (sisanya % Fe)	Hc A lilit/m	Br Wb/m <sup>2</sup>
I.Besi Murni untuk baja listrik.	0,01 % C	6,32 – 31,6	2,1 – 2,15
II.Besi Tuang.	2 – 3,5% C	126,4	> 1,5
III.Dinamo dan transformator:			
Baja trafo I	0,7% Si	158	2,1
Baja trafo II	1% Si	252,8	2
Baja trafo III	1,7 – 2,7% Si	63,2 – 79	1,95
Baja trafo IV	3,4 – 4,3% Si	23,7 – 47,4	1,9
IV.Bahan yang mengandung Ni			
Permenorm 3601 KI (it)	36% Si	7,9	1,3
Nikel murni	99% Ni; 0,2% Cu	1,2	0,6
Hyperm	50% Ni	4,74 – 1,9	1,5
Memetal (it)	76% Ni; 5% Cu	1,2	0,8
Supermaloy	79% Ni; 5% Mo 0,5% Mn	0,47	0,78
V.Bahan yang mengandung Al			
Sendust	5,4% Al; 9,6% Si	1,74	1,1
vacadur	16% Al	3,95	0,9
VI.Bahan yang mengandung Co			
Vacoflux 50	49% Co; 1,8 V	110,6	2,35
Cobal murni	99% Co	790	7,8
VII.Paduan termo			
Thermoflux 65/1000			
30 Ni induksinya sangat tergantung pada suhu, misalnya : H = 7900 amper lilit/m			
	t = 0 <sup>0</sup> C	t = 20 <sup>0</sup> C	t = 60 <sup>0</sup> C
	B = 0,41	B = 0,3	B = 0,065

Dimana it : inti toroida, 1 A lilit/m = 0,0126 oersted, 1 wb/m<sup>2</sup> = 10<sup>-4</sup> gauss.

### 3.6.1.4. Bahan Magnet Lunak Lain

Bahan magnetik lunak yang banyak digunakan adalah paduan besi-nikel. Kurva pada gambar 7.3 menunjukkan hubungan antara permeabilitas dengan komposisi antara besi dan nikel. Pada komposisi nikel 20 % paduan menjadi nonmagnetis dan permeabilitas maksimum dicapai pada komposisi nikel ± 21,5 %. Paduan yang terdiri dari besi-nikel dengan tambahan molibdenum, chromium atau tembaga disebut permalloy. Permalloy dapat dibedakan berdasarkan kandungan nikelnya yaitu permalloy nikel rendah yaitu permalloy yang mengandung nikel 40 – 50% dan permalloy yang mengandung nikel 72 – 80 % disebut permalloy tinggi.

Dibandingkan dengan permalloy tinggi permalloy rendah mempunyai permeabilitas yang lebih rendah, mempunyai induksi pada keadaan jenuh yang lebih tinggi, permeabilitas permalloy berbanding terbalik dengan frekuensi seperti ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3.10  $\mu = f(f)$  pada permalloy

Permalloy yang mengandung Ni sangat tinggi akan mempunyai permeabilitas yang tinggi (hingga 800.000) setelah diadakan treatment termal. Daya koersipnya rendah yaitu antara 0,32 – 0,4 ampere lilit/m. Permalloy dipabrikasi pada lembaran tipis hingga sampai 3 mikron. Permalloy sensitive terhadap benturan, tekanan mempengaruhi sifat kemagnetannya. Permeabilitas absolut dari paduan alfer yang komposisinya 9,5 % Si, 5,6 % Al, dan sisanya besi, berkisar antara 10.000 – 35.000, daya koersip 1,59 ampere lilit/m dan resistivitas 0,81  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

Alfer adalah sangat regas sehingga mudah dijadikan bubuk untuk dibuat bahan dielektrikmagnet. Harganya lebih daripada permalloy karena komposisinya tidak tergantung Ni. Camlloy termasuk bahan magnetik lunak yang komposisinya adalah 66,5 % Ni, 30 % Cu, 3,5 % Fe. Yang menarik dari bahan ini adalah : bahan akan kehilangan sifat ferromagnetnya (titik currie) pada suhu yang relatif rendah yaitu 100°C (titik currie untuk Fe adalah 768°C). Bahan-bahan ferromagnetik yanaga berubah ukurannya pada medan magnet antara lain Ni murni, beberapa paduan antara Fe dengan Cr, Co dengan Al. Gejala demikian ini disebut magnetostriksi). Dielektrikmagnet digunakan untuk peralatan rangkaian magnetik yang bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi dengan kerugian arus pusar yang rendah.

Sekarang banyak digunakan ferrit pada peralatan yang bekerja pada frekuensi tinggi, dimana bahan ini adalah kompon keramik yang mempunyai rumus umum  $\text{MO Fe}^2 \text{O}^3$ . M adalah logam diantara Fe, Cu, Mn, Zn dan Ni. Ferrit dibuat dengan campuran senyawa oksidanya dengan perbandingan yang tepat dalam bentuk bubuk, dengan tambahan sedikit bahan organik untuk mengikat atau merekatkan ditekan dan dipanasi 1100 – 1400°C di ruang yang berisi oksida.

Ferrit adalah semikonduktor yang mempunyai resistivitas antara  $10^2 - 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ . karena resistivitas yang tinggi tersebut, maka penggunaannya pada frekuensi tinggi adalah tepat karena rugi daya yang disebabkan arus pusar adalah kecil. Pada ferrit besarnya permeabilitas adalah berbanding terbalik dengan frekuensi. Ferrit

mempunyai massa jenis  $3 - 5 \text{ g/cm}^3$ , kapasitas termal  $0,17 \text{ kalori/g}^\circ\text{C}$ , konduktivitas panas  $5.10^{-2} \text{ W/cm}^\circ\text{C}$ , muai panjang  $10^{-5}$  setiap  $^\circ\text{C}$ .

### 3.6.1.4. Bahan Magnet Permanen

Magnet permanen digunakan pada instrumen penginderaan, rele, mesin-mesin listrik kecil, dan lain-lain. Baja karbon yaitu baja dengan komposisi karbon  $0,4 - 1,7 \%$  yang merupakan dasar untuk pembuatan magnet permanen. Walaupun harganya murah tetapi kualitas kemagneetannya tidak terlalu tinggi. Kemagnetan bahan ini relatif mudah hilang terutama oleh pukulan atau vibrasi. Untuk menaikkan mutu kemagnetan baja karbon ditambah wolfram, kromium atau kobal. Magnet yang dibuat dari karbon murni, wolfram, kromium, dan baja kobal harus dikeraskan dalam air atau minyak mineral sebelum dimagnetisasi.

Bahan paduan ini terdiri dari aluminium, nikel dan besi, dimana jika bahan tersebut ditambah dengan Si maka disebut *alnisi*. Sedangkan alnico adalah bahan paduan yang terdiri dari aluminium, nikel, dan kobal, dimana bahan tersebut mempunyai sifat kemagnetan yang tinggi dan lebih murah dibanding baja kobal kualitas tinggi. Vectolit adalah bahan paduan yang terdiri dari besi, kobal oksida sedangkan ferroxdure adalah bahan paduan yang terdiri dari besi oksida dan barium dimana bahan ini disebut juga barium ferrit dan di pasaran dengan nama arnox, indox atau ferroba yang dibuat dari bahan bubuk yang dipadukan pada suhu tinggi. Penggunaannya antara lain : magnet penguat suara, perangkat penggandeng magnetik, dan lain-lain. Sifat-sifat kemagnetan dari bahan magnet permanen paduan dijelaskan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5. Sifat Bahan Magnet Keras

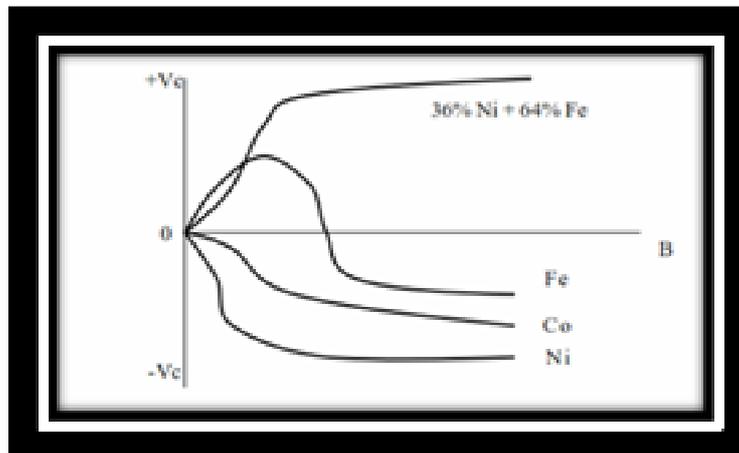
Nama	Komposisi	Hc A- lilit/m	Br Wb/m <sup>2</sup>	(BH) Maks
Baja wolfram	93,3% Fe, 0,7% C, 6% W	4800	1,05	2.400
Baja chrom	96% Fe, 1% C, 3% Cr	4800	0,9	2.200
Baja kobal	59% Fe, 1% C, 5% Cr, 5% W, 30%Co	17.500	0,9	7.400
Alni	57% Fe,4% Cu,25% Ni,14%Al	43.800	0,55	10.400
Alnisi	51% Fe, 1% Si,34% Ni, 14%Al	63.700	0,4	11.200
Alnico II	55%Fe,17%Ni,12% Co,10%Al	50.000	0,7	17.000
Alnico V	51% Fe,24% Co,14% Ni,8%Al	50.000	1,2	45.000
Vektolit	44% Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , 30% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 26% Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70.000	0,6	4.000
Platina kobal	77% Pt, 23% Co	200.000	0,45	16.000

### 3.6.1.5. Magnetostriksi

Pada saat bahan ferromagnetik dimagnetisasi, secara fisik akan terjadi perubahan dimensi yang disebut dengan gejala *magnetostriksi*. Ada 3 jenis magnetostriksi, yaitu :

- Magnetostriksi *Longitudinal* yaitu perubahan panjang atau pendek searah dengan magnetisasi.
- Magnetostriksi *transversal* yaitu perubahan dimensi tegak lurus dengan arah magnetisasi.
- Magnetostriksi *volume* yaitu perubahan volume sebagai akibat kedua efek di atas.

Perubahan panjang ( $\Delta l$ ) searah induksi magnetisasi disebut *efek joule*. Magnetostriksi joule ( $\lambda$ ) adalah perbandingan antara perubahan panjang ( $\Delta l$ ) dengan panjang semula ( $l$ ), yang harganya tidak lebih dari  $30 \cdot 10^{-6}$ . Magnetostriksi beberapa bahan dapat dijelaskan pada gambar 3.12.



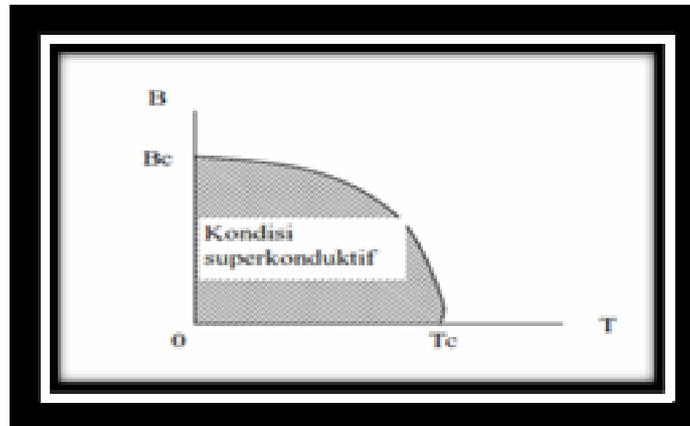
Gambar 3.12. Magnetostriksi joule sebagai fungsi dari medan magnet ( $H$ )

Perubahan searah panjang menyebabkan perubahan permeabilitas ke arah perubahan panjang tersebut yang disebut *efek Villari*. Secara umum dikatakan bahwa permeabilitas akan naik karena adanya penurunan perubahan akibat kenaikan tegangan tarik. Sebaliknya untuk bahan dengan  $\lambda$  negatif, tekanan yang digunakan akan mengurangi permeabilitas. Secara praktis pengaruh penggunaan magnetostriksi sangat terbatas, diantaranya : osilator frekuensi tinggi dan generator super sound, proyektor suara bawah air, detektor suara, dan lain-lain. Karena permeabilitas berhubungan dengan magnetostriksi maka untuk menggunakan bahan-bahan permeabilitas tinggi harus diusahakan magnetostriksinya serendah mungkin.

### 3.7.1. Bahan Superkonduktor

Bahan konduktor yang dijumpai sehari-hari, selalu mempunyai resistansi. Hal ini disebabkan bahan-bahan tersebut mempunyai resistivitas. Seperti telah dibahas bahwa resistivitas akan mencapai harga nol pada suhu kritis ( $T_c$ ). Dewasa ini sedang dikembangkan usaha untuk mencapai suhu kritis ( $T_c$ ) bahan-bahan

untuk dijadikan super konduktor. Disamping itu medan magnet pada bahan super konduktor lebih kecil daripada medan kritis ( $H_c$ ) seperti ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Daerah super konduktor pada bidang medan magnet dan suhu.

Dengan demikian suatu super konduktor akan hilang super konduktivitasnya jika suhunya di atas kritis dan medannya di atas kuat medan kritis. Terdapat 30 unsur dan hampir 100 senyawa yang dapat digunakan sebagai bahan super konduktor. Suhu kritis tertinggi super konduktor adalah  $18,1^0\text{K}$  untuk senyawa  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  yang ditemukan oleh Mathias seorang ahli USA.

Perlu diingat bahwa tidak selalu terjadi pada bahan yang pada suhu kamar seperti : Cu, Ag dan Au merupakan konduktor yang baik akan menjadi super konduktor pada kondisi yang lebih mudah dibandingkan bahan lain pada suhu kamar konduktivitasnya jelek. Ada 2 jenis super konduktor yaitu jenis I : Pb, Ag, dan Sn dapat menyalurkan arus pada permukaan sampai kedalaman  $10^4$  mm pada medan magnet hingga setinggitingginya seperti medan magnet Nb dan paduan Pb. Super konduktor jenis II jika medan magnetnya mencapai medan kritis dan suhu kritisnya relatif (lebih tinggi dari jenis I), keadaan super konduktor tidak langsung berubah menjadi konduktor normal, tetapi menjadi bahan yang merupakan peralihan atau dari kondisi super konduktor menjadi konduktor normal. Pada jenis I yang mengantarkan arus tetap akan menimbulkan medan magnet tanpa kerugian karena medan listrik di semua tempat nol, sedangkan pada jenis II dalam keadaan yang sama akan menimbulkan kerugian yang sangat kecil dan dapat diabaikan. Jika diteliti dari tabel 8.3 dapat dijelaskan bahwa :

- a. Logam monovalen adalah bukan super konduktor.
- b. Logam ferromagnetik dan antiferromagnetik adalah bukan super konduktor.
- c. Konduktor yang baik pada suhu kamar adalah bukan super konduktor dan logam super konduktor sebagai logam normal adalah bukan konduktor yang baik pada suhu kamar.
- d. Film tipis dari Be, Bi, dan Fe adalah menunjukkan sebagai super konduktor.

- e. Bismut, Pb, dan Te menjadi super konduktor jika mendapat tekanan yang tinggi.

Penggunaan dari super konduktor sampai saat ini belum dipabrikasi dalam skala besar. Mesin -mesin listrik, transformator dan kabel sedang dikembangkan menggunakan super konduktor. Dengan menggunakan super konduktor efisiensi dapat dicapai 99,99 %. Dengan kabel super konduktor berdiameter beberapa cm dapat digunakan menyalurkan semua daya yang dihasilkan semua pembangkit listrik di Indonesia. Terdapat dua perangkat yang umum menggunakan super konduktor, yaitu:

### 3.7.1.2. Elektromagnet

Karena konduktor tidak mempunyai kerugian yang disebabkan resistansi, maka dimungkinkan membuat selenoide dengan super konduktor tanpa kerugian yang menimbulkan panas. Selenoide dengan arus yang sangat kecil pada medan magnet nol untuk kawat yang digunakan memungkinkan membangkitkan sebuah medan magnet tipis dari lilitan. Karena dengan bahan super konduktor memungkinkan membuat elektromagnet yang kuat dengan ukuran yang kecil. Aplikasi dari elektromagnet dengan super konduktor antara lain : komponen Magneto Hidro Dinamik.

Tabel 3.6. Suhu Kritis ( $T_c$ ) beberapa bahan super konduktor

Unsur	$T_c$ ( $^{\circ}$ K)	Senyawa	$T_c$ ( $^{\circ}$ K)
Ti	0,49	Na Bi	2,2
Zn	0,82	Ba Ba <sub>3</sub>	6,0
Al	1,20	Nb Zn	10,8
Tl	2,38	Mo N	12,0
In	3,40	Mo Re	12,6
Sn	3,73	V <sub>2,96</sub> Ga	14,4
Hg	4,16	Nb N	15,2
Ta	4,39	V <sub>3</sub> Si	17,1
V	5,1	Nb <sub>3</sub> Al	18,0
Pb	7,22	Nb <sub>3</sub> Sn	18,1
Nb	8,00		
Tc	11,2		
Th	1,37	Cu S	1,6
U	0,68	Pb Sb	1,5

### 3.7.1.3. Elemen Penghubung

Karena super konduktor mempunyai  $H_c$  dan  $T_c$ , maka dalam pemakaian super konduktor sebagai elemen penghubung dapat menggunakan pengaruh salah satu besaran di atas. Artinya suatu gawai penghubung yang menggunakan super konduktor akan dapat berubah sifatnya dari super konduktor menjadi konduktor biasa karena perubahan suhu atau medan magnet di atas nilai kritisnya. Pemutus arus yang

bekerja dipengaruhi oleh magnetik dielektrik Cryotron, misalnya digunakan pada pemutus komputer.

### 3.8.1. Bahan Nuklir

Bahan nuklir sering dipakai sebagai bahan bakar reaktor nuklir. Reaktor nuklir adalah pesawat yang mengandung bahan-bahan nuklir yang dapat membelah, yang disusun sedemikian sehingga suatu reaksi berantai dapat berjalan dalam keadaan dan kondisi terkendali. Dengan sendirinya syarat agar suatu bahan dapat dipergunakan sebagai bahan bakar nuklir adalah bahan yang dapat mengadakan fisi (pembelahan atom). Dalam reaktor nuklir digunakan bahan uranium 235, plutonium 239, uranium 233.

Manfaat dari reaktor nuklir ini adalah sebagai pembangkit energi listrik, pembuatan radioisotop (isotop radioaktif) dan untuk penelitian dan memproduksi plutonium sebagai bahan senjata nuklir.

Sebuah reaktor nuklir paling tidak memiliki empat komponen dasar, yaitu:

1. Elemen bahan bakar
2. Moderator neutron
3. Batang kendali
4. Perisai beton



Gambar 3. 14. Skema reaktor Nuklir

### 3.8.2. Bahan Khusus Lainnya

Bahan khusus lainnya untuk pembuatan kontaksekering dan lainnya, contohnya adalah

1. Sel bahan bakar
2. Bahan baterai
3. Bahan Resistor
4. Dan lain sebagainya.

### **3.9. Penutup**

#### **3.9.1. Bahan Diskusi dan Tugas**

1. Dari pengertian yang sudah diuraikan, benda listrik jika dikelompokkan dalam bentuk ada berapa macam, sebutkan dan jelaskan.
2. Sebutkan contoh dari bahan listrik berbentuk padat.
3. Bagaimana prinsip kerja dari bahan listrik berbentuk cair yaitu minyak trafo.
4. Bagaimana prinsip kerja dari bahan listrik berbentuk gas yaitu nitrogen

#### **3.9.2. Daftar Pustaka**

1. P3BKH, Bahan- Bahan Listrik, Dikti, 2003
2. Firdaus, Bahan Listrik, Universitas Sriwijaya, 2013.

#### **3.9.3. Senarai**

1. Bahan listrik jika dikelompokkan menurut wujud terdiri dari tiga wujud yaitu, padat, cair dan gas.
2. Bahan listrik berdasarkan wujud padat mempunyai sifat mekanis, sifat kimia.
3. Bahan listrik berdasarkan wujud cair terdiri dari dari air, minyak transformator serta minyak kabel.
4. Bahan listrik berdasarkan wujud gas terdiri dari dari udara, nitrogen serta karbon dioksida.

## **Daftar Pustaka**

Foundations of Material Science and Engineering. MC Graw Hill, 1988.

Syarifuddin Mahmudsyah, Bahan- Bahan Listrik, 2010.

Iiorisky, Electrical Engineering Material.

Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Listrik, Cetakan ke Enam, Pradnya Paramita, 2005.

H.A. Muhaimin, bahan Listrik, Prandnya Paramita, 2005.

Sumanto, Pengetahuan Bahan Untuk Mesin & Listrik, Penerbit Ardi, 2005.

Firdaus, Bahan Listrik, Universitas Sriwijaya, 2013.

P3BKH, Bahan- Bahan Listrik, Dikti, 2003

*This Page Is Intentionally Left Blank*



universitas  
MALIKUSSALEH

Tujuan dari mempelajari struktur atom ini mahasiswa diharapkan memahami konsep dari bahan pembentukan semikonduktor.

Setelah mempelajari materi ini mahasiswa dapat menjelaskan proses terbentuknya semikonduktor berdasarkan struktur atom.

Dalton menggambarkan atom sebagai bola padat yang tidak dapat dibagi lagi.

1. Seluruh materi tersusun dari atom.
2. Atom dari unsur adalah identik.
3. Setiap unsur memiliki atom yang berbeda.
4. Atom dapat diubah dengan reaksi

Struktur atom merupakan satuan dasar materi yang terdiri inti atom beserta awan elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya. Inti atom mengandung campuran proton ( bermuatan positif) dan neutron ( bermuatan netral).

Elektron- elektron pada suatu atom terikat pada inti atom oleh gaya elektromagnetik. Sekumpulan atom dapat berikatan satu dengan yang lainnya membentuk sebuah molekul. Atom yang memiliki jumlah proton dan elektron yang sama bersifat netral. Sedangkan yang memiliki jumlah proton dan elektron yang berbeda bersifat positif atau negatif dan disebut sebagai ion. Atom dikelompokkan pada jumlah proton dan neutron pada inti atom tersebut. Jumlah proton menentukan unsur kimia atom tersebut, jumlah neutron menentukan isotop unsur tersebut.

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**