

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Energi Surya**

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang amat sangat panas. Diameter bola matahari adalah  $1,39 \times 10^6$  kilometer, sedang jarak rata – rata dengan bumi adalah  $1,5 \times 10^8$  kilometer. Temperature efektif pada permukaan besarnya 5.760 K, sedangkan pada inti temperaturnya dapat mencapai lebih kurang  $8 \times 10^6$  sampai dengan  $40 \times 10^6$  K. Energi utama yang ditumbuhkan berada dari inti sampai sejauh 0,23 R (R = jari – jari bola matahari) menempati 90% dari seluruh dari energi yang terjadi. Pada jarak 0,7 R dari inti, temperaturnya turun sampai kira – kira menjadi 130.000 K sampai dengan 5.500 K. Dari pengamatan para ahli, permukaan bola matahari terdiri atas bintik – bintik sel dengan ukuran 1.000 sampai 3.000 km yang umur rata – ratanya hanya beberapa menit saja. Bagian luar fotosfer terdiri atas atmosfer surya yang sangat transparan dan merupakan lapisan gas yang lebih dingin dan disebut dengan lapisan balik (*Reversing layer*). Diluar lapisan ini terdapat lapisan – lapisan gas yang disebut dengan lapisan kromosfer dengan ketebalan sekitar 10.000 km, temperaturnya sekitar 5.000 K atau lebih.

Gelombang energi yang memancarkan melalui ruang angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda – beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan berdasar panjang gelombang, yang memberikan rangsangan energy yang lebih besar adalah semakin pendek panjang gelombangnya. Radiasi yang dipancarkan melau permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radio) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar Y).

Meskipun matahari memancarkan gelombang cahaya pada berbagai panjang gelombang, cahaya dari matahari yang tampak dari pandangan mata manusia hanya 46% dari cahaya total yang dipancarkan, dengan panjang gelombang berkisar antara 0,35 sampai 0,75 mikron. Cahaya violet mempunyai panjang gelombang berkisar 0,35 mikron yang merupakan sinar cahaya yang tidak tampak pandang. Demikian pula warna merah mempunyai panjang gelombang 0,75

mikron. Inframerah mempunyai panjang gelombang lebih besar yang juga tidak tampak pandang oleh manusia.

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi. Menurut pengukuran radiasi surya oleh Badan Angkasa Luar Amerika Serikat NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) melalui misi ruang angkasa tahun 1971 diperoleh data tentang besaran konstanta matahari yang harganya sama dengan  $1.353 \text{ Watt/m}^2$ . Dari besaran tersebut 7,85% atau  $105,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan melalui sinar ultraviolet, 47,33% atau  $640,4 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia (*visible light*) dan 44,85% atau  $606,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar inframerah.

Problem utama dalam pemanfaatan energi surya adalah faktor siang dan malam yang selalu bergantian datangnya sehinggah kontinuitas perolehan energi surya selalu terputus pada malam hari. Sampai saat ini energi surya dimanfaatkan baik dengan teknologi sederhana maupun canggih. Konversi energi surya dibedakan menjadi sumber tenaga listrik dari energi surya, tenaga uap dari energi surya dan sistem pemanasan air/udara melalui tenaga surya.

### **2.1.1 Penerapan Energi Matahari**

Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Oleh sebab itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal selayaknya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; investasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama. (*International Energy Agency, 2011*)

Teknologi surya dikategorikan secara umum menjadi: teknologi pasif dan teknologi aktif, tergantung pada cara penyerapan, konversi, dan penyaluran cahaya matahari. Teknologi aktif meliputi penggunaan panel fotovoltaik, pompa,

dan kipas untuk mengubah energi surya ke bentuk yang berguna. Teknologi pasif meliputi pemilihan bahan konstruksi yang memiliki sifat termal yang bagus, perancangan ruangan dengan sirkulasi udara secara alami, dan menghadapkan bangunan ke matahari. Teknologi aktif meningkatkan persediaan listrik dan disebut sebagai teknologi sisi penawaran, sedangkan teknologi pasif mengurangi kebutuhan sumber daya alam lain dan disebut sebagai teknologi sisi permintaan.

#### 1. Termal Surya untuk Memanaskan Air

Sistem air panas surya menggunakan sinar matahari untuk memanaskan air. Di daerah dengan lintang bujur geografis rendah (di bawah 40 derajat), 60% - 70% air panas untuk keperluan rumah tangga dengan temperatur sampai dengan 60 °C dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pemanasan surya (*Renewables for Heating and Cooling*, 2017). Jenis pemanas air surya yang umum digunakan adalah kolektor buluh (44%) dan plat datar dengan kaca (34%) untuk kebutuhan air panas rumah tangga; kolektor plastik tanpa kaca (21%) digunakan untuk memanaskan kolam renang (*Solar Heat Worldwide (Markets and Contributions to the Energy Supply*, 2005).

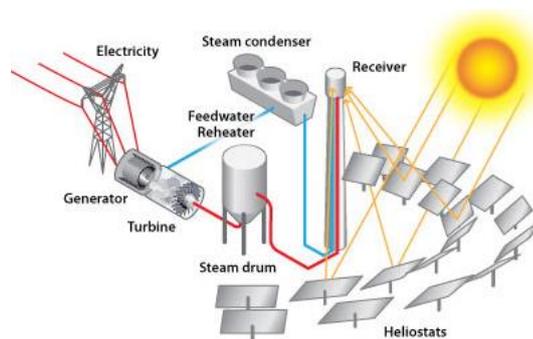
Sampai dengan tahun 2007, kapasitas total terpasang dari sistem air panas surya adalah sekitar 154 GW (*Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply*, 2006). Tiongkok memimpin dalam hal ini dengan kapasitas terpasang 70 GW sampai dengan tahun 2006 dan memiliki target jangka panjang 210 GW menjelang tahun 2020 (*Renewables 2007 Global Status Report*, 2017). Israel dan Siprus merupakan negara dengan tingkat penggunaan sistem air panas surya per kapita tertinggi, dengan lebih dari 90% rumah menggunakannya. Di Amerika Serikat, Kanada, dan Australia, pemanasan kolam renang adalah aplikasi utama air panas surya dengan kapasitas terpasang 18 GW sampai dengan tahun 2005 (*Solar Water Heating "How California Can Reduce Its Dependence on Natural Gas"*, 2017)

#### 2. Energi Matahari Untuk Produksi Listrik.

Tenaga surya adalah proses pengubahan cahaya matahari menjadi listrik, baik secara langsung menggunakan *photovoltaic*, atau secara tak langsung menggunakan tenaga surya terpusat (*Concentrated Solar Power*, CSP). Sistem CSP menggunakan lensa atau cermin dan sistem lacak untuk memfokuskan

paparan cahaya matahari yang luas menjadi seberkas sinar yang kecil. PV mengubah cahaya menjadi aliran listrik menggunakan efek fotolistrik.

Pembangkit CSP komersial pertama kali dikembangkan pada tahun 1980an. Sejak tahun 1985, pemasangan SEGS CSP berkapasitas 354 MW di gurun Mojave, California adalah pembangkit listrik surya terbesar di dunia. Pembangkit listrik CSP lain meliputi pembangkit listrik tenaga surya Solnova berkapasitas 150 MW dan pembangkit listrik tenaga surya Andasol berkapasitas 100 MW; keduanya berada di Spanyol. Proyek Surya Agua Caliente berkapasitas 250 MW di Amerika Serikat dan Lahan Surya Charanka berkapasitas 221 MW di India adalah pembangkit *photovoltaic* terbesar di dunia. Proyek surya melebihi 1 GW sedang dikerjakan, tapi kebanyakan *photovoltaic* dipasang di atap-atap dengan ukuran kapasitas kecil, yakni kurang dari 5 kW, yang terhubung dengan saluran listrik menggunakan meteran net dan atau tarif feed-in (*Grid Connected Renewable Energy: Solar Electric Technologies*, 2017)



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari  
(Sumber :<http://www.eia.gov>)

Sel surya, atau sel fotovoltaik, adalah peralatan yang mengubah cahaya menjadi aliran listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik. Sel fotovoltaik pertama dibuat oleh Charles Fritts pada tahun 1880an (Perlin, 1999 : 147). Pada tahun 1931, seorang insinyur Jerman, Dr. Bruno Lange, membuat sel fotovoltaik menggunakan perak selenida ketimbang tembaga oksida (*Magic Plates, Tap Sun For Power*, 1931). Walaupun sel selenium purwa rupa ini mengubah kurang dari 1% cahaya yang masuk menjadi listrik, Ernst Werner von Siemens dan James Clerk Maxwell melihat pentingnya penemuan ini (Perlin, 1999:18–20). Dengan

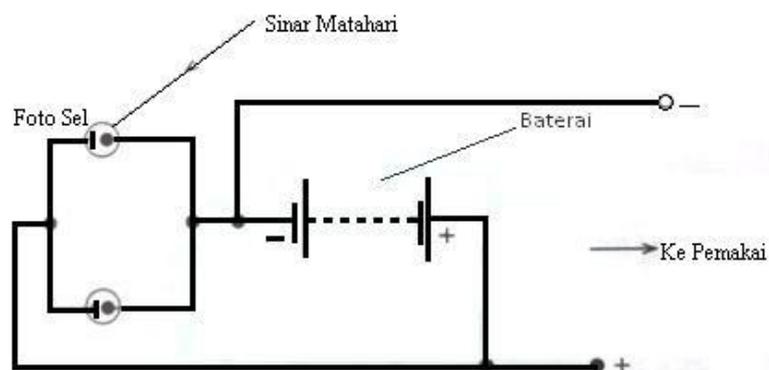
mengikuti kerja Russel Ohl pada tahun 1940an, peneliti Gerald Pearson, Calvin Fuller, dan Daryl Chapin membuat sel surya silikon pada tahun 1954 (Perlin, 1999 : 29). Biaya sel surya ini 286 dollar AS per watt dan mencapai efisiensi 4,5 - 6 % (Perlin, 1999 : 29–30, 38). Menjelang tahun 2012, efisiensi yang tersedia melebihi 20% dan efisiensi maksimum fotovoltaik penelitian melebihi 40%.



Gambar 2. *Photovoltaic* Sel Surya di Jerman.  
(Sumber :[https://id.wikipedia.org/wiki/Energi\\_surya](https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya))

### 2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pada prinsipnya, pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari sekelompok foto sel yang mengubah sinar matahari menjadi gaya gerak listrik (ggl) untuk mengisi baterai aki (B). Dari baterai aki (B) energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki (B) diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki (B) tersebut. (Djiteng Marsudi: 2005; 132)



Gambar 3. Foto sel dan baterai aki (B) sebagai sumber energi listrik  
(Sumber : Djiteng Marsudi: 2005: 132)

Sel surya atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris "*Photo Voltaic*".

Kata *photovoltaic* berasal dari dua kata “*photo*” berasal dari kata Yunani yakni “*phos*” yang berarti cahaya, dan kata “*volt*” adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari nama penemu Alessandro Volta (1745-1827), sebagai pionir dalam mempelajari teknologi kelistrikan. Jadi secara harfiah “*photovoltaic*” mempunyai arti Cahaya-Listrik, dan itu dilakukan sel surya yaitu merubah energi cahaya menjadi listrik, penemunya Edmond Becquerel dan kawan-kawan pada abad 18. (Iman Permana: 2008; 30)

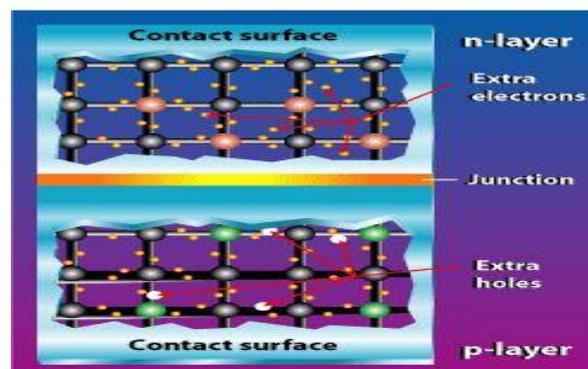
*Photovoltaic* adalah bahan semikonduktor yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik. Jadi pada *photovoltaic* ini, bahan semikonduktor yang diproses sedemikian rupa sehingga apabila bahan tersebut terkena sinar matahari atau cahaya, maka akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah (DC). *Photovoltaic* ini juga sejenis dengan dioda yang tersusun atas PN *junction*. (Zuhal: 1995; 194)

Pengembangan Sel Surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan Silikon yang secara Individu (*chip*) banyak digunakan, diantaranya :

1. *Mono-crystalline* (Si), dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentukan bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
2. *Polycrystalline/Multi-crystalline* (Si), dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel *Polycrystalline* (efektivitas 18% ), tetapi biaya lebih murah.
3. *Gallium Arsenide* (GaAs). Galium Arsenide pada unsur periodik III-V berbahan semikonduktor ini sangat efisien dan efektif dalam menghasilkan energi listrik sekitar 25%. Banyak digunakan pada aplikasi pemakaian Sel Surya (Mintorogo, 2000).

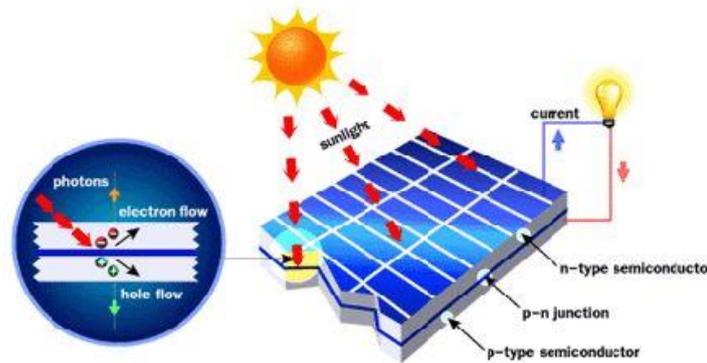
### 2.1.3 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom *dopant*. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 4. *Uinction* antara semikonduktor tipe-p (*extra hole*) dan tipe-n (*extra electrons*).

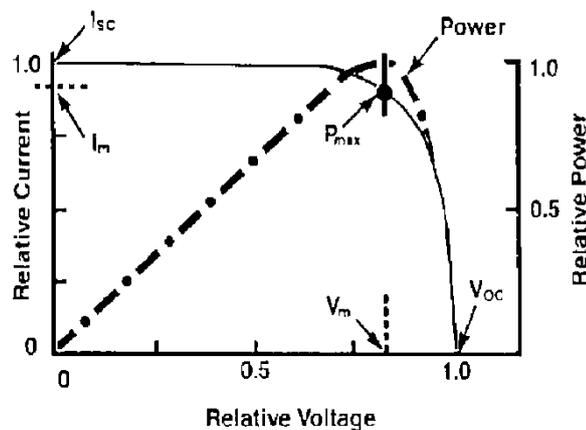
Peran dari p-n *junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n *junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 5. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction

#### 2.1.4 Karakteristik Modul Fotovoltaik

Sifat-sifat listrik dari modul fotovoltaik biasanya diwakili oleh karakteristik arus tegangannya, yang mana disebut juga kurva I-V (lihat gambar 2.10). Kurva I-V dapat diukur menurut susunan peralatan seperti ditunjukkan dalam gambar kurva 2.10 menunjukkan arus yang diberikan oleh modul fotovoltaik ( $I_{\text{mod}}$ ), sebagai suatu fungsi dari tegangan modul fotovoltaik ( $V_{\text{mod}}$ ), pada suatu radiasi tertentu. Untuk mendapatkan daya yang maksimum dari suatu *photovoltaic*, maka beban harus terletak pada titik yang disebut *Maximum Power Point* (MPP).



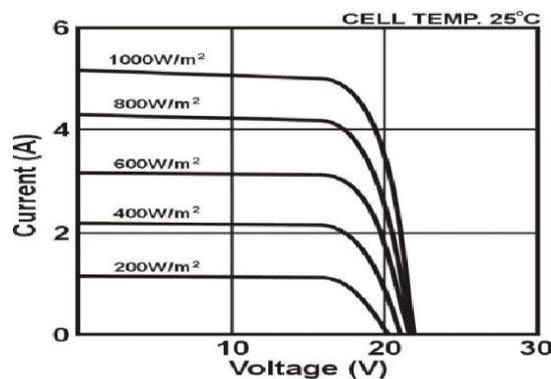
Gambar 6. Kurva arus-tegangan dari sebuah modul surya  
(Sumber: Zuhail: 1995; 199)

Jika sebuah modul *photovoltaic* dikenai hubung singkat ( $V_{\text{mod}} = 0$ ), maka arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka ( $I_{\text{mod}} = 0$ ), maka tegangan modul disebut tegangan terbuka ( $V_{oc}$ ). Daya yang dihasilkan modul *photovoltaic*, adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic*. Jika tegangan dari modul ditambah, misalnya dengan

menambah tahanan beban dan dimulai dari  $V_{mod} = 0$  (pada kondisi hubung singkat), maka daya dari modul bertambah dari nol sampai ke daya maksimum pada suatu tegangan tertentu.

Pada nilai dimana modul memberikan daya maksimumnya disebut nilai daya maksimum, dan dikarakteristikan dengan besaran tegangan nilai daya maksimum ( $V_{mp}$ ), daya nilai daya maksimum ( $P_{mp}$ ) dan arus nilai daya maksimum ( $I_{mp}$ ). Untuk beban yang konstan, titik MPP tidak dapat dicapai oleh semua radiasi. Hal ini memerlukan suatu rangkaian pengatur yang mampu membawa beban pada titik MPP-nya. Rangkaian ini dikenal sebagai rangkaian pengatur MPP (*MPP Regulator Circuit*). Tetapi apabila *photovoltaic* ini digunakan untuk mengisi baterai maka hampir semua titik MPP dapat didekati, yaitu dengan mendesain *photovoltaic* agar tegangannya sama dengan tegangan baterai. (Zuhal: 1995; 196)

Berikut ini merupakan karakteristik tegangan versus arus yang dipengaruhi oleh radiasi yang berbeda-beda pada *photovoltaic*.



Gambar 7. Karakteristik *photovoltaic*  
(Sumber: Zuhal: 1995; 195)

#### 4.1.5 Efisiensi Panel surya

Efisiensi dari panel dihitung adalah dengan membagi output daya sel (dalam watt) pada maksimum powerpoint ( $P_m$ ) oleh cahaya masukan ( $E$ , dalam  $W / m^2$ ) dan luas permukaan sel surya ( $A_c$  di  $m^2$ ). (Rugianto : 2015)

$$\eta = P_m / (E \times A_c)$$

$$\eta_{max} \text{ (maximum efficiency)} = \frac{P_{max} \text{ (maximum power output)}}{(E_{S,y}^{SW} \text{ (incident radiation flux)} * A_c \text{ (area of collector)})}$$

Pada umumnya suatu panel surya memiliki efisiensi hanya sekitar 20-30%, yang berarti secara mudahnya suatu panel surya hanya dapat mengkonversi sekitar 20% saja dari seluruh energi cahaya yang diterima oleh panel surya. Sedangkan sisanya dipantulkan kembali ke udara.

Sehingga dalam kondisi standar, panel surya dengan luas sekitar 1 meter persegi dapat menghasilkan energi sekitar 200 W perjam operasinya. Namun hal ini tidak begitu pasti juga, sebab untuk daerah dengan paparan sinar matahari yang cukup tinggi panel surya dapat menyerap lebih banyak energi bahkan hingga 3000 Watt perjam.

## 2.2 Semikonduktor

Bahan semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor, sehingga memungkinkan elektron berpindah dari satu atom penyusun ke atom penyusun lain dengan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut (pemberian tegangan, perubahan suhu dan sebagainya). Oleh karena itu semikonduktor bisa bersifat setengah menghantar. semikonduktor didefinisikan berdasarkan konduktivitas listriknya, yakni semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai resistivitas ( $10^{-4}$  hingga  $0,5 \Omega\text{m}$ ) antara konduktor dan isolator, contohnya germanium, silikon, karbon, selenium, dan sebagainya. Perhatikan tabel berikut :

Tabel 1. Resistivitas Bahan Semikonduktor

No.	Bahan	Klasifikasi	Resistivitas
1	Tembaga	Konduktor yang baik	$1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
2	Germanium	Semikonduktor	$0,6 \Omega\text{m}$
3	Kaca	Isolator	$9 \times 10^{11} \Omega\text{m}$
4	Nichrome	Bahan resistan	$10^{-4} \Omega\text{m}$

Sumber : staff.uny.ac.id.2017

Membandingkan resistivitas bahan-bahan di atas nampak bahwa resistivitas germanium (semikonduktor) cukup tinggi dibandingkan tembaga (konduktor) tetapi cukup rendah dibandingkan kaca (isolator). Ini memunjukkan bahwa

resistivitas semikonduktor terletak antara konduktor dan isolator. Tetapi akan salah bila dikatakan bahwa semikonduktor sebagai bahan resistan. Sebagai contoh nichrome yang merupakan satu bahan resistan tertinggi, memiliki resistivitas yang jauh lebih rendah dari pada germanium. Hal ini menunjukkan bahwa secara elektrik germanium tidak dapat dianggap sebagai konduktor atau isolator atau sebuah bahan resistan. Sangat mungkin untuk membuat campuran logam (alloy) yang resistivitasnya terletak dalam kisaran semikonduktor tetapi campuran tersebut tidak dapat dianggap sebagai semikonduktor. Kenyataannya, semikonduktor memiliki sejumlah sifat khusus yang membedakannya dari konduktor, isolator dan bahan resistan.

### **2.2.1 Sifat – Sifat Semikonduktor**

Berikut sifat – sifat dari semikonduktor :

- a. Resistivitas semikonduktor lebih kecil dari pada isolator tetapi lebih besar dari pada konduktor.
- b. Semikonduktor memiliki resistansi dengan koefisien suhu negatif, yaitu bahwa resistansi semikonduktor menurun dengan kenaikan suhu dan sebaliknya. Sebagai contoh, germanium menjadi isolator pada suhu rendah tetapi merupakan konduktor yang baik pada suhu tinggi.
- c. Ketika ketakmurnian metalik yang tepat (seperti arsenik, gallium, dsb.) ditambahkan ke dalam semikonduktor, maka sifat-sifat konduksi arusnya berubah cukup besar. Inilah sifat yang paling khas dan penting.

### **2.2.2 Karakteristik Bahan Semikonduktor**

Semikonduktor elemental terdiri atas unsur – unsur pada sistem periodik golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Karbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan. Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas yang tinggi sehingga dapat digunakan dengan efektif untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser.

Semikonduktor gabungan (kompon) terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur periodik golongan IIB dan IIIA (valensi 2 dan 3) dengan non logam pada golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan yang stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan

InP, sedangkan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS. Berikut tabel bahan semikonduktor dan karakteristik bahan semikonduktor.

Tabel 2. Bahan Semikonduktor

II B	III A	IV A	V A	VI A
	B	C	N	
	Boron	Carbon	Nitrogen	
	Al	Si	P	S
	Aluminum	Silicon	Phosphorus	Sulfur
Zn	Ga	Ge	As	Se
Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium
Cd	In	Sn	Sb	Te
Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium
Hg		Pb	Bi	
Mercury		Lead	Bismuth	

Sumber : blog.ummy.ac.id.2017

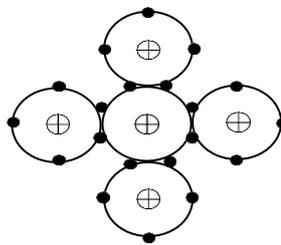
Tabel 3. Karakteristik Bahan Semikonduktor

Material	Lattice parameter (nm)	Melting point (K)	Energy gap (eV at 25°C)	Electron mobility (cm <sup>2</sup> /V-s)	Hole mobility (cm <sup>2</sup> /V-s)
Diamond	0,3560	-4300	5,4	1.800	1400
Si	0,5431	1685	1,12 I	1.450	450
Ge	0,5657	1231	0,68 I	3.600	1900
ZnS	0,5409	3200	3,54 D	120	5
ZnSe	0,5669	1790	2,58 D	530	28
ZnTe	0,6101	1568	2,26 D	530	100
CdTe	0,6477	1365	1,44 D	1.050	100
HgTe	0,6460	943	-0,15	25.000	350
CdS	0,5832	1750	2,42 D	340	50
AlAs	0,5661	1870	2,16 I	1.200	420
AlSb	0,6136	1330	1,60 I	200	420
GaP	0,5451	1750	2,26 I	110	75
GaAs	0,5653	1510	1,43 I	8.500	400
GaSb	0,6095	980	0,67 D	5.000	850
InP	0,5869	1338	1,27 D	4.600	150
InAs	0,6068	1215	0,36 D	30.000	460
InSb	0,6479	796	0,165 D	80.000	1250

\*I refers to indirect bang gap; D refers to direct bang gap (see section 13.4.1).  
Sources: S.M. Sze, *Semiconductor Devices: Physic and Technology*, Wiley, New York (1985) and B. R. Pamplin, in *Handbook of Chemistry and Physics* (R. C. Weast, Ed.), CRC. Press Boca Raton, Fl. (1980)

### 2.2.3 Ikatan dalam Semikonduktor

Atom-atom setiap unsur terikat bersama oleh aksi pengikatan dari elektron-elektron valensi. Ikatan tersebut terkait dengan kenyataan bahwa adanya kecenderungan setiap atom untuk melengkapi orbit terakhirnya dengan memerlukan 8 elektron. Tetapi banyak bahan yang orbit terakhirnya tidak lengkap yakni bahwa orbit terakhirnya tidak memiliki 8 elektron. Hal ini membuat atom-atom aktif masuk ke dalam persetujuan dengan atom lain untuk mencukupi 8 elektron dalam orbit terakhirnya. Untuk itu, atom – atom dapat kehilangan, ketambahan, atau menggunakan bersama elektron valensinya dengan atom lain. Dalam semikonduktor, ikatan terbentuk dengan penggunaan bersama elektron-elektron valensi. Ikatan itu disebut sebagai ikatan kovalen. Dalam formasi ikatan kovalen, setiap atom menyumbangkan jumlah yang sama elektron valensi dan sumbangan elektron itu digunakan bersama oleh atom-atom yang mengajak formasi itu dalam ikatan kovalen. Gambar berikut menunjukkan ikatan kovalen antar atom-atom germanium. Sebuah atom germanium mempunyai 4 elektron valensi. Hal ini cenderung setiap atom germanium memiliki 8 elektron pada orbit terakhirnya.



Gambar 8. Ikatan kovalen antar atom germanium

Posisi setiap atom germanium sendiri terletak antara empat atom germanium yang lain. Setiap atom tetangga menggunakan bersama satu elektron valensi terhadap atom pusatnya. Dalam urusan kerja sama ini, atom pusat melengkapi orbit terakhirnya dengan 8 elektron mengitari intinya. Dalam cara demikian, atom pusat membangun ikatan kovalen. Hal-hal pokok berikut berkaitan dengan ikatan kovalen :

- a. Ikatan kovalen dibangun dengan penggunaan bersama dari elektron-elektron valensi.

- b. Dalam formasi ikatan kovalen, setiap elektron valensi dari suatu atom membentuk ikatan langsung dengan elektron valensi atom terdekat. Dengan kata lain, electron valensi terkait dengan atom-atom tertentu. Untuk alasan ini, elektron-elektron valensi dalam semikonduktor tidak bebas.

Suatu bahan di mana atom-atom atau molekul-molekulnya tersusun dalam pola secara teratur dikenal sebagai kristal. Semua semikonduktor mempunyai struktur sebagai kristal. Oleh karenanya sepotong germanium pada umumnya disebut kristal germanium.

#### **2.2.4 Jenis Semikonduktor**

Berdasarkan mekanisme terbentuknya gejala semikonduktivitas, semikonduktor terdiri atas:

- a. Semikonduktor Intristik

Semikonduktor dalam bentuk yang paling murni dikenal sebagai semikonduktor intrinsik. Dalam semikonduktor intrinsik, pada suhu kamar, pasangan lubang-elektron tercipta. Ketika medan listrik di kenakan menyilang semikonduktor intrinsik, konduksi arus terjadi melalui dua proses, sebutlah oleh elektron bebas dan lubang. Elektron bebas dihasilkan karena patahnya beberapa ikatan kovalen oleh energi termal. Pada saat yang sama lubang terbentuk dalam ikatan kovalen itu. Di bawah pengaruh medan listrik pengkonduksian yang melalui semikonduktor itu karena elektron dan lubang. Karena itu, arus total di dalam semikonduktor merupakan jumlah dari arus oleh elektron bebas dan lubang. Ingat bahwa arus dalam kawat di luar semikonduktor sepenuhnya karena elektron. Lubang yang merupakan muatan positif bergerak menuju terminal negatif pencatu daya. Ketika lubang mencapai terminal negatif, maka elektron masuk ke dalam kristal semikonduktor dekat terminal itu dan bergabung dengan lubang, kemudian saling menghapuskan. Pada saat yang sama, elektron yang terikat longgar dekat terminal positif ditarik menjauh dari atom-atomnya menuju terminal positif. Hal ini menciptakan lubang baru dekat terminal positif yang akan bergeser lagi menuju terminal negatif.

- b. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor intrinsik mempunyai kemampuan konduksi arus kecil pada suhu kamar. Untuk menjadi berguna sebagai piranti elektronik, semikonduktor murni harus diubah sedemikian hingga secara signifikan menaikkan sifat konduksinya. Ini dicapai dengan menambahkan sedikit impuritas (ketakmurnian) yang sesuai ke dalam semikonduktor itu. Ini kemudian disebut semikonduktor ekstrinsik atau tak murni. Proses penambahan impuritas ke dalam semikonduktor dikenal sebagai doping. Jumlah dan jenis impuritas itu dikendalikan dengan teliti selama pengolahan semikonduktor intrinsik. Pada umumnya  $10^8$  atom semikonduktor dengan satu atom impuritas yang ditambahkan. Maksud penambahan impuritas adalah untuk menaikkan jumlah elektron bebas atau lubang dalam kristal semikonduktor. Jika impuritas pentavalen (memiliki 5 elektron valensi) ditambahkan ke dalam semikonduktor, maka dihasilkan sejumlah besar elektron bebas di dalam semikonduktor itu. Dengan kata lain, penambahan impuritas trivalen (memiliki 3 elektron valensi) menciptakan sejumlah lubang dalam kristal semikonduktor. Tergantung pada jenis impuritas yang ditambahkan, semikonduktor ekstrinsik dikelompokkan ke dalam semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p.

#### **Semikonduktor Tipe-N**

Dikatakan N-type karena Semikonduktor jenis ini pembawa muatannya (*Charge Carrier*) adalah terdiri dari Elektron. Elektron adalah bermuatan Negatif sehingga disebut dengan Tipe Negatif atau N-type. Pada Semikonduktor yang berbahan *Silicon* (Si), Proses Doping dengan menambahkan *Arsenic* atau *Antimony* akan menjadikan Semikonduktor tersebut sebagai N-type Semikonduktor. Terdapat 2 (dua) pembawa muatan atau *Charge Carrier* dalam N-type Semikonduktor yakni Elektron sebagai *Majority Carrier* dan *Hole* sebagai *Minority Carrier*.

#### **Semikonduktor Tipe-P**

Dikatakan P-type karena Semikonduktor jenis ini kekurangan Elektron atau disebut dengan "*Hole*". Ketika pembawa muatannya adalah *Hole* maka Semikonduktor tersebut merupakan Semikonduktor bermuatan

Positif. Pada Semikonduktor yang berbahan *Silicon* (Si), Proses Doping dengan menambahkan Indium akan menjadikan Semikonduktor tersebut sebagai P-type Semikonduktor. 2 (dua) pembawa muatan yang terdapat dalam P-type Semikonduktor adalah *Hole* sebagai *Majority Carrier* dan Elektron sebagai *Minority Carrier*.

### 2.2.5 Pemanfaatan Semikonduktor

Semikonduktor merupakan terobosan dalam teknologi bahan listrik yang memungkinkan pembuatan komponen elektronik dalam wujud mikro, sehingga peralatan elektronik dapat dibuat dalam ukuran yang lebih kecil. Beberapa komponen elektronik yang menggunakan bahan semikonduktor yaitu:

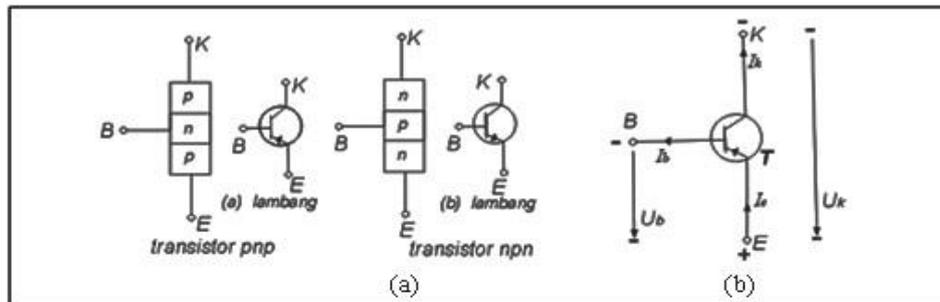
- a. Dioda
- b. Transistor
- c. IC (*Integrated Circuit*)
- d. Mikroprosesor

## 2.3 Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, di mana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu *Basis* (B), *Emitor* (E) dan *Colektor* (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya *Emitor* dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar dari pada arus input *Basis*, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output *Colektor*.

Transistor adalah komponen semikonduktor dengan dua lapisan Pertemuan P-N. Transistor terbagi dua macam jenis, yakni transistor PNP dan transistor NPN, seperti yang terlihat pada Gambar 9. (a), dengan lambang-lambang seperti tampak disampingnya. Bahan dasar yang biasa digunakan adalah germanium atau silikon. Salah satu elektroda yang dimaksudkan untuk memberikan arus (arus lubang-lubang pada transistor PNP, elektron-elektron pada transistor NPN) disebut *emitter* (E). Arus dari *emitter* sebagian mengalir ke *basis* (B), sebagian ke

*colector* (C). Arus yang datang dari *emitter* ke *colector* diteruskan ke bagian-bagian rangkaian lainnya. Dasar kerja transistor PNP dan NPN adalah sama, sehingga untuk mempelajarinya cukup meninjau transistor PNP yang pada umumnya dibuat dengan bahan dasar germanium (Margunadi, 1986: 162-163).



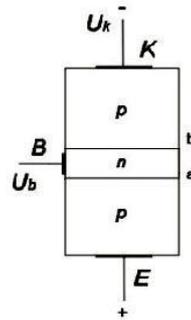
Gambar 9. (a) Transistor PNP dan NPN (b) Arah referensi tegangan dan arus

Transistor PNP menunjukkan anak panah di dalam simbol pada hubungan *emitter* menunjuk ke dalam. Transistor NPN menunjukkan anak panah di dalam simbol pada hubungan *emitter* menunjuk keluar. Adapun keterangan tersebut adalah sebagai berikut:

- Untuk transistor PNP basis harus negatif terhadap *emitter* (atau kurang positif terhadap *emitter*).
- Emitor harus positif terhadap *kolektor*. Arusnya mengalir dari plus (+) ke minus (-).
- Untuk transistor NPN, basis harus positif terhadap *emitter* (atau kurang negatif terhadap *emitter*).
- Kolektor harus positif terhadap *emitter* (Daryanto, 2000: 45-46)

Gambar 9. (b) menunjukkan arah-arah referensi tegangan dan arus pada transistor PNP. Polaritas tegangan terlihat seperti yang ditunjukkan, yakni kolektor diberi tegangan negatif terhadap *emitter*, maka arah tegangan pada lapisan Peralihan P-N antara *emitter* dan *basis* (lapisan Pertemuan a, Gambar 10. adalah sesuai dengan arah penghantaran). Tetapi arus tak dapat mengalir ke katoda K karena arah tegangan pada lapisan N-P antara *basis* dan *kolektor* berlawanan dengan arah penghantaran. Keadaan akan berubah bila B diberi tegangan negatif terhadap K. Lubang-lubang dari lapisan P yang terhubung pada katoda mulai membanjiri

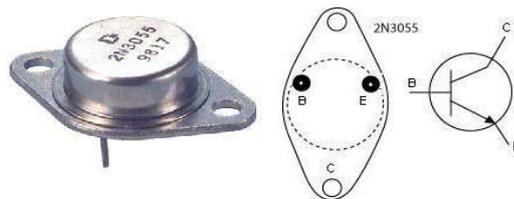
lapisan N karena polaritas B sesuai dengan arah penghantaran. Jumlah donor pada lapisan N dibuat lebih kecil daripada akseptor di lapisan P, maka hanya sebagian kecil daripada lubang-lubang mengalami rekombinasi dengan elektron-elektron bebas di lapisan N. Sebagian besar lubang-lubang mengalir ke kolektor karena pengaruh medan listrik yang lebih kuat di K disebabkan lapisan N dibuat lebih tipis dari lapisan Peralihan (Margunadi, 1986: 162-163).



Gambar 10. Lapisan pertemuan a

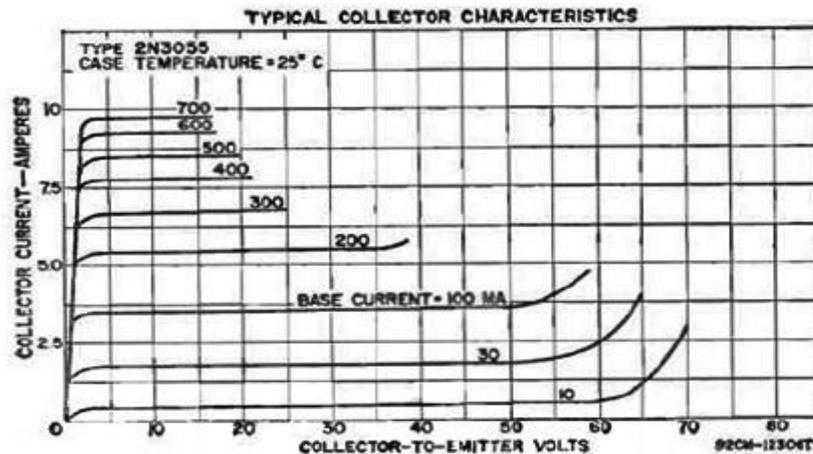
### 2.3.1 Transistor 2N3055 Hubungan *Common – Collector*

Transistor 2N3055 merupakan jenis NPN transistor daya. Pada hubungan ini, sinyal dimasukkan pada bagian basis – kolektor dan sebagai keluarannya adalah emitter. Gambar rangkaian hubungan *common – collector* ini dapat dilihat pada Gambar 11. Hubungan jenis ini juga disebut dengan emiter pengikuti karena emiter selalu mengikuti atau meniru basis. Jika tegangan basis menurun maka tegangan emiter menurun pula. Tahanan masukan hubungan jenis ini sangat besar karena sinyal masukan diberikan pada sambungan basis – kolektor yang berada dalam keadaan bias balik. Karena tahanan masukan sangat tinggi dan tahanan keluar relatif rendah, hubungan jenis dapat meningkatkan tegangan arus tetapi tidak dapat meningkatkan tegangan.



Gambar 11. Transistor 2N3055

Kurva karakteristik hubungan  $I_c$ ,  $I_b$ , dan  $V_{ce}$  untuk suatu harga  $V_{be}$ , dari transistor 2N3055 yang memberikan gambaran efek dari pemberian tegangan yang tinggi dapat di lihat pada Gambar 11. Gambar 11 menunjukkan bahwa besarnya  $I_c$  naik dengan adanya kenaikan  $I_b$ .

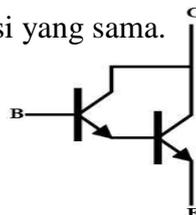


Gambar 12. Kurva hubungan  $V_{ce}$  -  $I_c$

Transistor umumnya dibuat dari bahan silicon dan sebagian (terutama transistor-transistor tipe lama) dibuat dari bahan germanium. Unsur logam bernama Germanium dalam transistor ini berbahaya bagi lingkungan apabila sudah tidak terpakai lagi. Unsur ini memiliki dampak negatif apabila terakumulasi dalam sistem perairan, namun Germanium mempunyai kemampuan menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik (Purwanti, 2011: Kompas.com).

### Rangkaian Seri

Sambungan transistor secara seri ini digunakan untuk mendapatkan penguatan yang tinggi, karena hasil penguatan pada transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor kedua. Keuntungan dari rangkaian seri adalah penggunaan ruang yang lebih kecil dari pada rangkaian dua buah transistor biasa dengan bentuk konfigurasi yang sama.

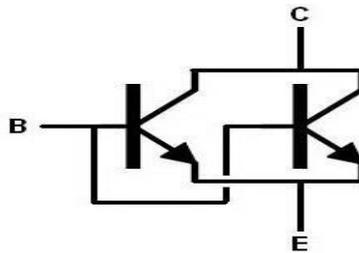


Gambar 13. Rangkaian transistor seri

Rangkaian transistor seri bersifat seolah-olah sebagai satu transistor tunggal yang mempunyai penguatan yang tinggi. Penguatan total dari rangkaian transistor seri bisa mencapai 1000 kali atau lebih. Dari segi tegangan listriknya, voltase base- emitter rangkaian ini juga lebih besar, dan secara umum merupakan jumlah dari kedua tegangan masing-masing transistornya, seperti nampak dalam rumus berikut :

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2}$$

### Rangkaian Paralel



Gambar 14. Rangkaian transistor paralel

Konfigurasi transistor paralel bertujuan untuk menguatkan kapasitas arus transistor. pada konfigurasi transistor secara paralel ini kaki basis dihubungkan dengan basis, emitor dengan emitor dan kolektor dengan kolektor. Pada konfigurasi 2 buah transistor paralel maka besarnya kapasitas atau kemampuan mengalirkan arus listrik transistor akan naik 2 kali lipat. Menghubungkan 2 buah transistor power secara paralel maka besarnya kemampuan transistor mengalirkan arus  $I_{max}$  akan menjadi 2 kali lebih besar sesuai persamaan berikut :

$$I_{MAXtotal} = I_{MAX1} + I_{MAX2}$$

## 2.4 Kelistrikan

### 2.4.1 Usaha, Daya dan Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Arus membawa energi listrik melalui sebuah rangkaian. Tingkat ketika energi listrik menjadi hilang adalah daya pada rangkain itu. Daya dilambangkan dengan P dan satuannya watt. Karena satuan daya adalah watt dan satuan waktu adalah detik, maka satuan energi dalam bentuk wattdetik atau wattsecond (Ws), wathour (Wh) atau kiliwathour (kWh).

Rumus untuk menentukan daya adalah :  $P = \frac{W}{t}$

Rumus untuk menentukan energi :  $W = P \cdot t$

Keterangan :

P = Daya (watt)

t = Waktu (s)

W = Energi

#### 2.4.2 Panas Listrik

Ketika arus mengalir melalui tahanan, tumbukan antara elektron dengan atom pada bahan tahanan menimbulkan panas. Ini menghasilkan kerugian energi. Energi yang berubah menjadi panas ini dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P = I^2 \cdot R \text{ atau } P = V \cdot I \text{ atau } P = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan :

P = Daya

I = Kuat arus

R = Tahanan

V = Tegangan

#### 2.4.3 Arus dan Tegangan

Arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu dengan simbol  $i$  (dari kata Perancis : *intensite*), dengan kata lain arus adalah muatan yang bergerak. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang memengaruhinya. Muatan adalah satuan terkecil dari atom atau sub bagian dari atom. Dimana dalam teori atom modern menyatakan atom terdiri dari partikel inti (proton bermuatan + dan neutron bersifat netral) yang dikelilingi oleh muatan elektron (-), normalnya atom bermuatan netral. Muatan terdiri dari dua jenis yaitu muatan positif dan muatan negatif. Arah arus searah dengan arah muatan positif (arah arus listrik) atau berlawanan dengan arah aliran elektron. Suatu partikel dapat menjadi muatan positif apabila kehilangan elektron dan menjadi muatan negatif apabila menerima elektron dari partikel lain. Coulomb adalah unit dasar dari *International System of Units* (SI) yang digunakan untuk mengukur muatan listrik.

Simbol :  $Q$  = muatan konstan

$q$  = muatan tergantung satuan waktu

muatan 1 elektron =  $-1,6021 \times 10^{-19}$  coulomb

1 coulomb =  $-6,24 \times 10^{18}$  elektron

Secara matematis arus didefinisikan :  $i = dq/dt$

Satuannya : Ampere (A)

Dalam teori rangkaian arus merupakan pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial disuatu elemen atau komponen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya.

Macam-macam arus :

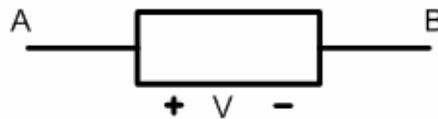
1. Arus searah (*Direct Current/DC*)

Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya dimana pun kita meninjau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan nilai yang sama

2. Arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*)

Arus AC adalah arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk perioda waktu tertentu (mempunyai perioda waktu :  $T$ ).

Tegangan atau sering kali orang menyebut dengan beda potensial dalam bahasa Inggris *voltage* adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu coulomb) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial jika kita menggerakkan/memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Keterkaitan antara kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan. Secara matematis :  $v = dw/dq$  Satuannya : Volt (V)



Gambar 15. Tegangan

Pada gambar diatas, jika terminal/kutub A mempunyai potensial lebih tinggi daripada potensial di terminal/kutub B. Maka ada dua istilah yang seringkali dipakai pada Rangkaian Listrik, yaitu :

1. Tegangan turun/ *voltage drop*

Jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah dalam hal ini dari terminal A ke terminal B

2. Tegangan naik/ *voltage rise*

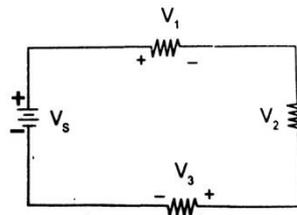
Jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi dalam hal ini dari terminal B ke terminal A. Pada buku ini istilah yang akan dipakai adalah pengertian pada item nomor 1 yaitu tegangan turun. Maka jika beda potensial antara kedua titik tersebut adalah sebesar 5 Volt, maka  $V_{AB} = 5 \text{ Volt}$  dan  $V_{BA} = -5 \text{ Volt}$

#### 2.4.4 Penerapan Hukum Kirchoff pada Rangkaian Seri

Pada rangkaian seri berlaku pula hukum kirchoff yang berbunyi sebagai berikut: jumlah total tegangan pada sebuah rangkaian tertutup sama dengan nol, atau jumlah semua tegangan pada setiap tahanan sama dengan sumber tegangan. Pada Gambar 15. terdapat tiga tahanan dan satu sumber tegangan. Ini berarti pula terdapat tiga tegangan (*voltage drop*) dan satu sumber tegangan. Jika jumlah semua tegangan yang ada pada rangkaian tertutup tersebut maka kita memperoleh rumus persamaan sebagai berikut.

$$V_s - V_1 - V_2 - V_3 = 0 \text{ Atau } V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

Persamaan ini tidak hanya berlaku untuk tiga tegangan saja tetapi juga berlaku untuk berapapun jumlah tegangan.

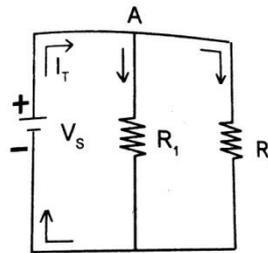


Gambar 16. Rangkaian seri

### 2.4.5 Penerapan Hukum Ohm pada Rangkaian Paralel

Suatu rangkaian dinyatakan paralel dua komponen atau lebih dihubungkan pada sumber tegangan yang sama. Rangkaian paralel disebut menyediakan lebih dari satu jalur bagi arus untuk mengalir. Setiap jalur paralel disebut cabang.

Pada Gambar 15 terdapat rangkain paralel dengan dua tahanan. Arus yang mengalir keluar dari sumber terbagi menjadi dua bagian pada titik A. sebagian yang mengalir melalui tahanan  $R_1$  dan sisanya mengalir pada tahanan  $R_2$ .



Gambar 17. Rangkaian Paralel

Tahanan tahanan yang dihubungkan secara paralel akan mengalami penurunan resistansi. Ini merupakan kebalikan dari tahanan tahanan yang di hubungkan secara seri. Dan tahanan total pada kombinasi paralel selalu lebih kecil dari pada tahanan yang paling kecil pada kombinasi tersebut. rumus untuk menghitung tahanan total pada tahanan yang di hubungkan secara paralel adalah sebagai berikut.

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### 2.5 Analisa SEM – EDX (*Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan berbagai sinyal yang mengandung informasi tentang topografi dan komposisi permukaan sampel. Berkas elektron dipindai dalam pola pemindaian raster , dan posisi balok digabungkan dengan sinyal yang terdeteksi untuk menghasilkan gambar. SEM bisa mencapai resolusi lebih baik dari 1 nanometer. Spesimen dapat diamati dalam vakum tinggi di SEM konvensional, atau dalam kondisi vakum

atau basah rendah dalam tekanan variabel atau SEM lingkungan, dan pada berbagai suhu kriogenik atau tinggi dengan instrumen khusus (*Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy* (VP-ESEM), 2008)

Mode SEM yang paling umum adalah deteksi elektron sekunder yang dipancarkan oleh atom yang tereksitasi oleh berkas elektron. Jumlah elektron sekunder yang dapat dideteksi tergantung antara lain pada spesimen topografi. Dengan memindai sampel dan mengumpulkan elektron sekunder yang dipancarkan menggunakan detektor khusus, gambar yang menampilkan topografi permukaan dibuat.

*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* adalah teknik analisis yang digunakan untuk analisis unsur atau bahan kimia Karakterisasi sampel. Ini bergantung pada interaksi beberapa sumber eksitasi sinar-X dan sampel. Kemampuan karakterisasi sebagian besar disebabkan oleh prinsip dasar bahwa masing-masing elemen memiliki struktur atom unik yang memungkinkan rangkaian puncak spektrometer elektromagnetik yang unik (prinsip utama spektroskopi) (*Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 2003).

EDS dapat digunakan untuk menentukan elemen kimia mana yang ada dalam sampel, dan dapat digunakan untuk memperkirakan kelimpahan relatifnya. Keakuratan analisis kuantitatif komposisi sampel ini dipengaruhi oleh berbagai faktor. Banyak elemen akan memiliki puncak emisi sinar X yang tumpang tindih (misalnya, Ti  $K_{\beta}$  dan VK  $\alpha$ , Mn  $K_{\beta}$  dan Fe  $K_{\alpha}$ ). Keakuratan komposisi yang diukur juga dipengaruhi oleh sifat sampel. Sinar-X dihasilkan oleh atom manapun dalam sampel yang cukup tereksitasi oleh sinar masuk. Sinar-X ini dipancarkan ke segala arah (secara isotropik), sehingga tidak mungkin lolos dari sampel. Kemungkinan sinar X keluar dari spesimen, dan karena itu tersedia untuk dideteksi dan diukur, bergantung pada energi sinar-X dan komposisi, jumlah, dan kepadatan material yang harus dilalui untuk mencapai detektor. Karena efek absorpsi sinar-X dan efek yang serupa, perkiraan komposisi sampel yang akurat dari spektrum emisi sinar-X yang diukur memerlukan penerapan prosedur koreksi kuantitatif, yang kadang-kadang disebut sebagai koreksi matriks (*Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 2003).