BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Letak Geografis

Berdasarkan dinas komunikasi dan informatika kota Palembang,Palembang merupakan salah satu kota metropolitan di Indonesia dan secara geografis terletak antara 2^{o} 52′ sampai 3^{o} 5′ Lintang Selatan dan 104^{o} 37′ sampai 104^{o} 52′ Bujur Timur dengan ketinggian rata-rata 8 meter dari permukaan air laut. Luas wilayah Kota Palembang sebesar 400,61 km^2 yang secara administrasi terbagi atas 16 kecamatan dan 107 kelurahan. Kota Palembang merupakan ibu kota Propinsi Sumatera Selatan dengan batas wilayah yaitu di sebelah utara, timur dan barat dengan Kabupaten Banyu Asin; sedangkan sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Muara Enim.

2.2 Radiasi Matahari

Matahari adalah sumber energi utama bagi atmosfer, lautan, dan semua benda hidup yang ada di bumi. Energi terbentuk oleh adanya proses termonuklir dimana hidrogen dikonversi menjadi helium (massa dikonversi menjadi energi). Laju konversi sebesar 4 x 10pangkat6 ton setiap detik terjadi di inti (*core*) matahari. Radiasi yang dipancarkan berupa energi dengan osilasi medan elektromagnetik. Yang terpenting adalah karakteristik panjang gelombang yakni jarak antara dua puncak. Energi elektromagnetik bergerak melalui ruang hampa dengan kecepatan cahaya sebesar 3 x 10pangkat8 m s-1 . Radiasi matahari berbentuk spektrum/gelombang elektromagnetik bergerak dari matahari ke segala arah dengan kecepatan cahaya berbentuk tiga spektrum, yaitu :

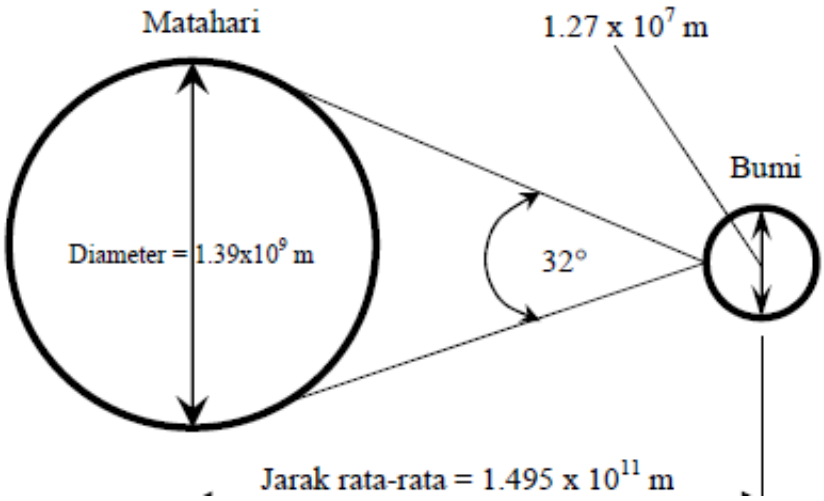
1. Radiasi gelombang pendek (< 0.4 µm (mikro meter)) : efek letal (mematikan) dengan komposisi sinar gamma, sinar X, dan sinar U.V. Total 9% dari keseluruhan.
2. Radiasi tampak (*visible light*) pada panjang gelombang 0,4 – 0,7 µm dalam bentuk cahaya pelangi MJKHBNU (merah, jingga, kuning, biru, nila, dan ungu) sebanyak 41% mempunyai efek kehidupan terutama pada PAR

(*photosynthetic active radiation*) : yakni bagian radiasi yang menyebabkan aktifnya fotosintesis.

3. Radiasi gelombang panjang (*infra red*) dengan panjang gelombang > 0,7 µm , mempunyai efek termal (panas) sebanyak 50% (r.larasati:2012)

Hubungan geometris dari matahari-bumi ditunjukkan Gambar1.Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi-matahari adalah $1{,}495 \times 10^{11}$m, dengan sudut kecenderungan matahari 32°. Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari, Gsc, adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari,Gsc,sebesar 1367 W/m2, dengan ketidakpastian sebesar 1%.

Konstanta radiasi ekstraterestrial, Gon, yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke-n pada satu tahun. Hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk elips, sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi.(dwi mulyono:2003)



Gambar 1. Hubungan geometris bumi-matahari

Ada tiga macam cara radiasi matahari sampai ke permukaan bumi, yaitu:

a. Radiasi langsung (*Beam/Direct Radiation*)

   Adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.

b. Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*)

   Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.

C. Radiasi total (*Global Radiation*)

   Adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).

2.3 Potensi 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; inventasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama.

Energi surya adalah energi yang berupa panas dan cahaya yang dipancarkan matahari. Energi surya (matahari) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling penting. Indonesia mempunyai potensi energi surya yang melimpah. Namun melimpahnya sumber energi surya di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal.matahari adalah sumber energi yang memancarkan energi sangat besarnya ke permukaan bumi. Permeter persegi permukaan bumi menerima hingga 1000 watt energi matahari. Sekitar 30% energi tersebut dipantulkan kembali luar angkasa, dan sisanya diserap oleh awan, lautan, dan

daratan. Jumlah energi yang diserap oleh atmosfer, lautan, dan daratan bumi sekitar 3.850.000 eksajoule (EJ) per tahun. Untuk melukiskan besarnya potensi energi surya, energi surya yang diterima bumi dalam waktu satu jam saja setara dengan jumlah energi yang digunakan dunia selama satu tahun lebih.berbagai sumber energi terbarukan lainnya, semisal energi angin, biofuel, air, dan biomassa, berasal dari energi surya.bahkan sumber energi fosil pun terbentuk lewat bantuan energi matahari. Hanya energi panas bumi dan pasang surut saja yang relatif tidak memperoleh energi dari matahari. (alamendah:2014)

Salah satu cara untuk memanen radiasi panas dan cahaya yang dipancarkan matahari menjadi listrik adalah dengan memanfaatkan teknologi termal dan teknologi sel surya atau sel *photovoltaic*. Teknologi termal biasanya digunakan untuk mengeringkan hasil pertanian dan perikanan, memasak (kompor surya), dan memanaskan air. Sedangkan sel surya merupakan alat untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan efek *fotoelektrik*. Dengan teknologi sel surya (*photovoltaic*) energi surya diubah menjadi energi listrik yang bisa digunakan untuk berbagai hal.dengan potensinya yang sangat besar tersebut, energi surya diyakini menjadi sumber energi utama di masa depan.apalagi dengan beberapa keunggulan energi surya seperti energi surya merupakan sumber yang hampir tak terbatas dan ramah lingkungan.yang hingga kini masih menjadi kendala adalah teknologi sel surya dan media penyimpanan yang masih sangat mahal dan memiliki kemampuan yang terbatas. (alamendah:2014)

Sebagai negara yang berada di kawasan khatulistiwa, potensi energi surya di Indonesia sangat besar. Indonesia memiliki sekitar 4.8 KWh/m2 atau setara dengan 112.000 GWp energi surya. Sayangnya, seperti berbagai energi terbarukan lainnya, energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal. Dari total potensi energi surya tersebut, Indonesia baru memanfaatkan sekitar 10 MWp. (alamendah:2014)

Bagi Indonesia, energi surya menjadi salah satu alternatif energi terbaik. Dengan potensinya yang besar akan mampu melepaskan Indonesia dari ketergantungan terhadap sumber energi konvensional. Energi surya pun cocok diterapkan pada daerah-daerah terpencil maupun pulau-pulau kecil di Indonesia.

Pemanfaatan energi surya menjadi salah satu sumber energi alternatif ini bisa dilakukan dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).(alamendah:2014)

Gambar 2.pembangkit listrik tenaga surya
(Sumber :https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya)

2.4 Sel Surya

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.

Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon berperan sebagai isolator pada temperature rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon Sel Surya adalah sebuah diode yang terbentuk dari lapisan atas silikon tipe n (silicon doping 3 of "phosphorous"), dan lapisan bawah silikon tipe p (silicon doping of "boron"). Elektron-elektron bebas terbentuk dari

million photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (junction= 0.2-0.5 micron) menyebabkan terjadinya aliran listrik. Pengembangan Sel Surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan Silikon yang secara Individu (chip) banyak digunakan diantaranya:

a) 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 effisiensi sekitar 24%.

b) 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.

c) Gallium Arsenide (GaAs)

Sel Surya Galium Arsenide pada unsur periodik III-V berbahan semikonduktor ini sangat efisien dan efektif dalam menghasilkan energi listrik sekitar 25%. Banyaj digunakan pada aplikasi pemakaian Sel Surya. (jatmiko dkk:2011)

2.4.1 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Faktor dari pengoperasian Sel Surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung beberapa faktor yaitu:

a) Ambient air temperature

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 250 Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel akan melemahkan tegangan (Voc). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 10 Celsius (dari 250) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 100C.

b) Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariable, dan sangat tergantung keadaan spectrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada *current* (I) sedikit pada tegangan [6].

c) Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi larik PV dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca larik PV

d) Keadaan atmosfir bumi

Keadaan atmosfir bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.

e) Orientasi panel atau larik PV

Orientasi dari rangkaian PV (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai guidline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

f) Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum ± 1000 W/m2 atau 1 kW/m2. Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurusan antara sinar matahari dengan bidang PV, maka ekstra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).Solar Panel PV pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.(jatmiko dkk:2011)

2.4.2 Kelebihan dan kekurangan

a. Kelebihan

Sel surya dapat memberikan kelebihan dibandingkan dengan sumber sumber tenaga lainnya, seperti generator diesel, fosil dan lain-lain. Berikut adalah kelebihannya:

1. Tidak membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi. Hal ini menguntungkan karena tidak menyebabkan gangguan pada lingkungan karena tidak menyebabkan polusi akibat proses pemakaian bahan bakar, dan tidak mengeluarkan suara mesin yang bergerak sehingga tidak mengganggu lingkungan.
2. Sel surya memiliki ketahanan dan kestabilan yang sudah teruji waktu operasinya cukup lama.
3. Sel surya dapat dengan mudah di bangun di daerah terpencil dan dapat di pindahkan peletakannya.

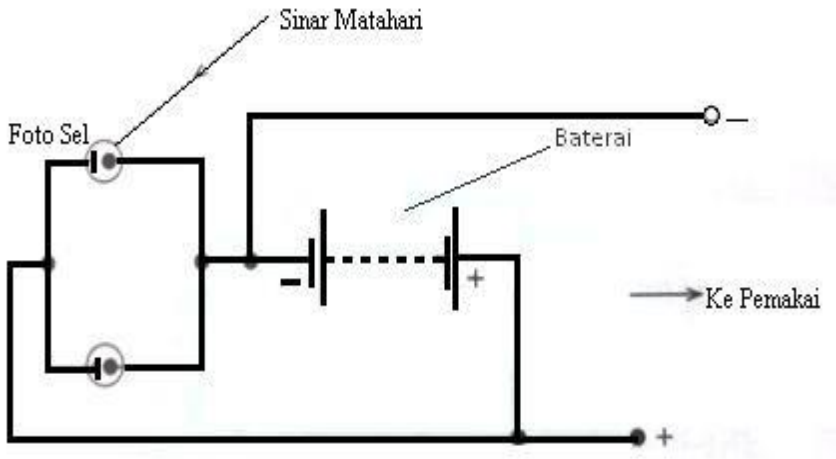
b. Kekurangan

Di samping memiliki keuntungan sel surya juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

1. Terlalu bergantung pada matahari, sehingga sangat terpengaruh oleh keadaan cuaca dalam produksi listriknya.
2. Biaya pembangunannya cukup mahal.
3. Membutuhkan komponen tambahan untuk mengonversi dan memperbesar output listriknya.

2.4.3 Komponen Pembangkit 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 kepemakai. 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) teersebut. (Djiteng Marsudi: 2005)

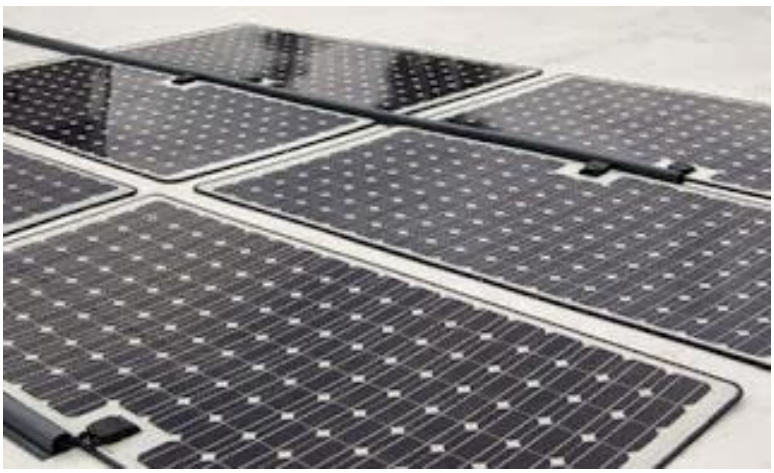


Gambar 3. Foto sel dan baterai aki (B) sebagai sumber energi listrik
(Sumber : Djiteng Marsudi: 2005)

Selain itu pembangkit tenaga surya di lengkapi dengan beberapa komponen untuk instalasi pembangkit listrik diantaranya:

1. Panel surya

Panel surya mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon (disebut juga solar cells) yang disinari matahari/ surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. (Ali Muhammad hanafiyah:2013). Contoh panel surya dapat di lihat pada gambar 4.



Gambar 4.contoh panel Surya (Solar Cell)
(sumber: Ali Muhammad hanafiyah:2013)

2. Charge controller

Charge controller, digunakan untuk mengatur pengaturan pengisian baterai yang di gunakan pada instalasi dimana tegangan maksimun yang dihasilkan solar cells panel pada hari yang terik akan menghasilkan tegangan tinggi yang dapat merusak baterai. (Ali Muhammad hanafiyah:2013) Contoh Charge controller dapat di lihat pada gambar 5.

Gambar 5 .Contoh charge controller

(sumber:Ali Muhammad hanafiyah:2013)

3. Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang mengkonversikan tegangan searah (DC-direct current) menjadi tegangan bolak balik (AC- alternating current). (Ali Muhammad hanafiyah:2013), Contoh inverter dapat di lihat pada gambar 6

Gambar 6. Contoh Inverter

(sumber: Ali Muhammad hanafiyah:2013)

4. Baterai

Baterai, adalah perangkat kimia untuk menyimpan tenaga listrik dari tenaga surya. Tanpa baterai, energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari. contoh baterai dapat di lihat pada gambar 7

Gambar 7.contoh baterai
(sumber:Ali Muhammad hanafiyah:2013)

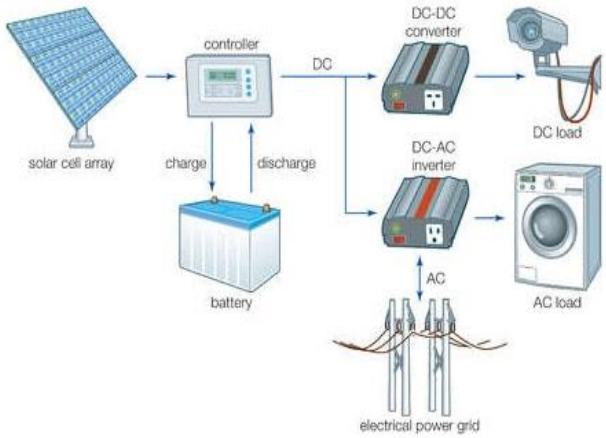
5. Konverter

Konverter adalah alat elektronika yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Konverter yang digunakan adalah jenis DC *Choper*. Jenis ini diguakan hanya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan saja namun tidak mengubah jenis arus. Konverter ini lebih dikenal dengan nama konverter DC to DC. Konverter yang digunakan mampu menaikkan tegangan hingga 35 volt. contoh konverter dapat di lihat pada gambar 8.

Gambar 8. Contoh konverter jenis DC *chopper*

(Sumber: www.google/search/converter/2017)

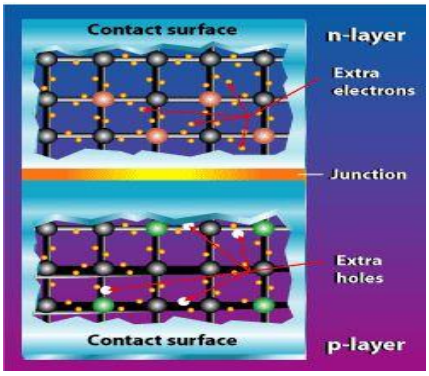
Komponen komponen instalasi listrik pada panel surya di atas apabila di rangkai akan menunjukkan seperti pada gambar 9.



Gambar 9.contoh rangkaian komponen sel surya
(sumber: http://suryautamaputra.co.id)

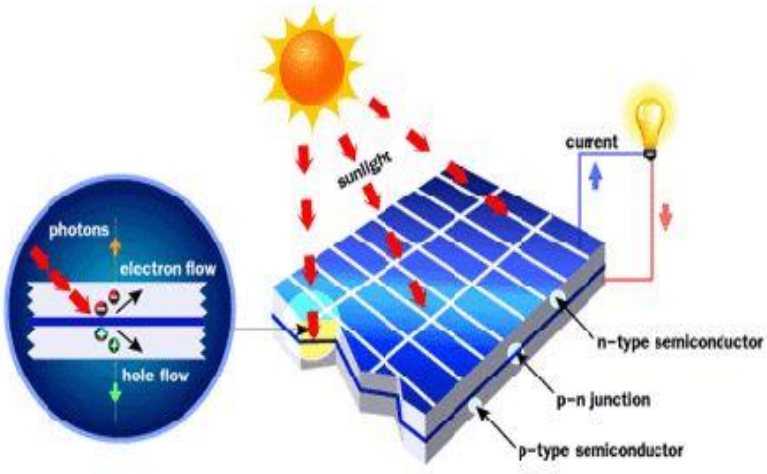
2.4.4 Prinsip Kerja Pembangkit Tenaga Surya

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.(Wilman septina:2013)



Gambar 10. *Unction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n.*
Sumber(teknologisurya.wordpress.com)

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 11 dibawah. (Wilman septina:2013)



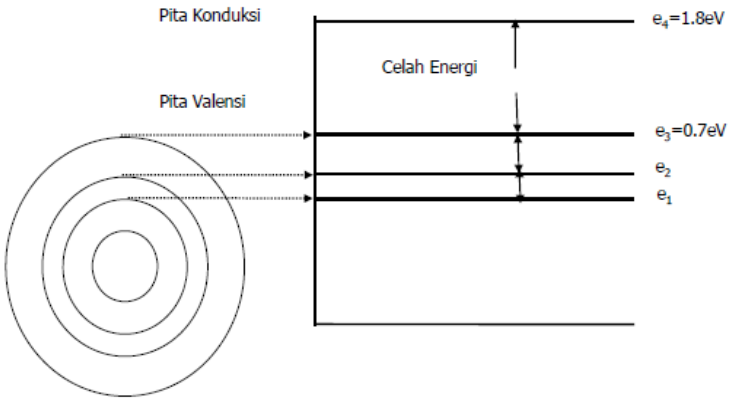
Gambar 11. *Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction*
(Sumber:teknologisurya.wordpress.com)

2.5 Semikonduktor

2.5.1 Pengertian Umum

Bahan semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energy 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.hukum dasar yang menjelaskan hubungan antara elektron dengan kulit orbit :

- elektron bergerak dalam kulit orbit. Elektron tidak dapat mengelilingi inti atom dalam ruangan yang ada antara dua buah kulit orbit.
- setiap kulit orbit berhubungan dengan sebuah range energy khusus,elektron-elektron yang bergerak dalam suatu kulit orbit akan memilki sejumlah energi yang sama. Catatan : level energi dalam kulit akan meningkat ketika makin jauh dari inti atom. Hal ini dapat disimpulkan maka elektron valensi selalu memilki level energi yang tertinggi dalam setiap atom.
- elektron untuk berpindah dari suatu kulit ke kulit yang lain menyerap energi untuk menyesuaikan level energi antara level energi kulit awal dengan level energi kulit yang dituju.
- Jika suatu atom menyerap cukup energi untuk berpindah dari suatu kulit yang satu kekulit yang lain, sebenarnya elektron ini kembali melepaskan energi yang diserapnya dan mengembalikannya ke kulit energi yang rendah .(ichwan yelfianhar:2010)



Gambar 12.celah dan level energy silicon
(Sumber:ichwan yelfianhar)

2.5.2 Karateristik bahan semikonduktor

Struktur ikatan atom bahan semikonduktor dapat diamati pada Silikon (Si), Germanium (Ge) dan Galium Arsenida (GaAs). Hampir semua bahan semikonduktor yang dibentuk memiliki struktur ikatan kovalen, baik pada semikonduktor elemental maupun semikonduktor gabungan. Semikonduktivitas dapat terjadi dengan memberikan energi maupun pengotor (dopping) sehingga pada ikatan kovalen yang sempurna akan terbentuk hole atau kelebihan elektron, sehingga muncul sifat 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, sedangakan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS. (ichwan yelfianhar:2010)

Berikut ini merupakan gambar tabel bahan dari semikonduktor pada gambar 13.

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

Gambar 13.Bahan Semikonduktor
(Sumber:ichwan yelfianhar)

Berikut merupakan gambar 14. Karakteristik Bahan Semikonduktor

Material	Lattice parameter (nm)	Melting point (K)	Energy gap (eV at 25°C)		Electron mobility (cm^2/V-s)	Hole mobility (cm^2/V-s)
Diamond	0.3560	~4300	5.4		1,800	1400
Si	0.5431	1685	1.12	I[a]	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	D	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

[a] I refers to indirect band gap; D refers to direct band gap (see Section 13.4.1.).
Sources: S. M. Sze, *Semiconductor Devices: Physics 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).

Gambar 14. Karakteristik Bahan Semikonduktor
(Sumber:ichwan yelfianhar)

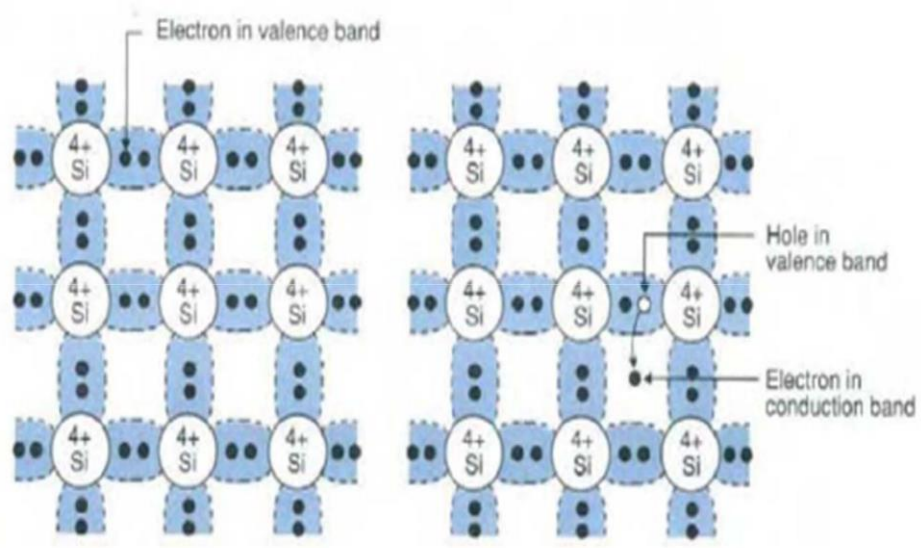
2.5.3 Jenis Semikonduktor

Berdasarkan mekanisme terbentuknya gejala semi konduktivitas, semikonduktor terdiri atas:

- Semikonduktor intrinsic

Terbentuk dari semikonduktor murni yang memiliki ikatan kovalen sempurna seperti Si, Ge, C dan sebagainya.

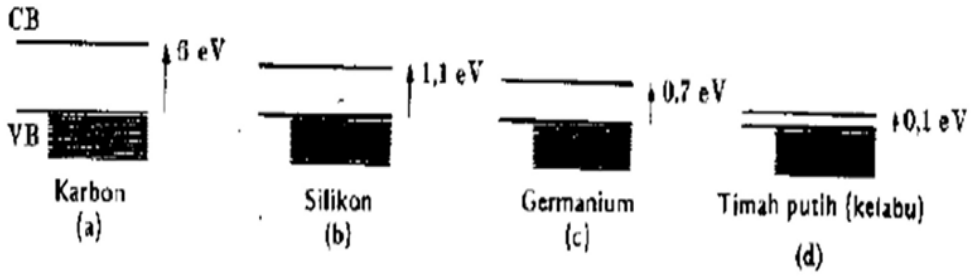
Mekanisme terbentuknya semikonduktor intrinsik diperlihatkan pada semikonduktor murni seperti Si. Pada kondisi normal atom – atom Si saling berikatan melalui 4 ikatan kovalen (masing – masing memiliki 2 elektron valensi). Ketika suhu dinaikkan maka stimulasi panas akan mengganggu ikatan valensi ini sehingga salah satu elektron valensi akan berpindah ke pita konduksi. Lokasi yang ditinggalkan oleh elektron valensi ini akan membentuk hole. Pasangan hole dan elektron ini menjadi pembawa muatan dalam semikonduktor intrinsik.(ichwan yelfianhar 2010). Proses ini diperlihatkan pada gambar 15 berikut:



a. Kondisi normal b. Kondisi terstimulasi

Gambar 15. muatan dalam semikonduktor intrinsic
(Sumber:ichwan yelfianhar)

Semakin kecil celah energi maka jumlah pembawa muatan semakin meningkat. Sehingga konduktivitas dari unsur golongan IV pada sistem periodik meningkat dari karbon ke silikon, germanium dan timah putih. Konduktivitas ini merupakan sifat dasar dari bahan dan tidak ditimbulkan oleh kotoran, oleh karena itu dinamakan semikonduktivitas intrinsik.(ichwan yelfianhar 2010).perbandingan celah energi unsur pada golongan IV diperlihatkan pada gambar 16 berikut:

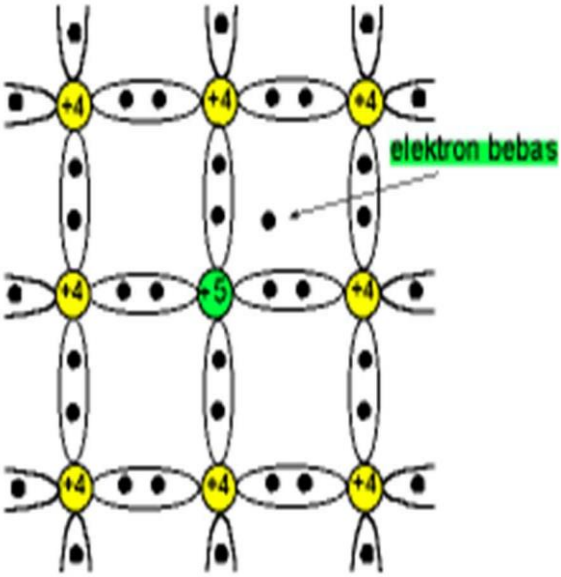


Gambar 16.perbandingan celah energi unsur pada golongan IV
(Sumber:ichwan yelfianhar)

- Semikonduktor ekstrinsik

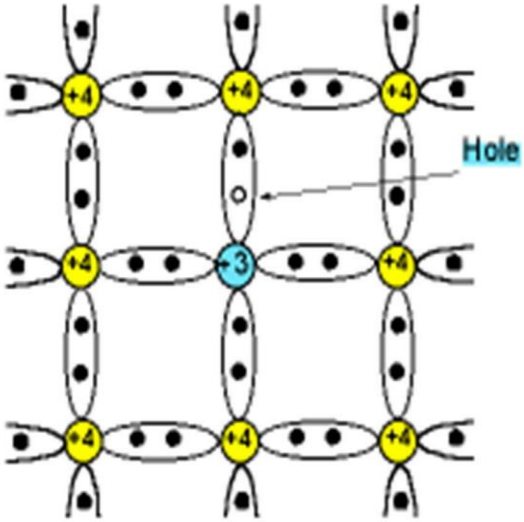
Terbentuk dari semikonduktor murni yang dikotori oleh atom dopping sebagai penghasil elektron konduksi atau hole. Terdiri atas dua tipe: Tipe – N (Silikon + Phospor atau Arsenic) dan Tipe – P (Silikon + Boron, Galium atau Indium) semikonduktor ekstrinsik terbentuk melalui mekanisme doping, yang dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen sehingga diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. Mekanisme ini dilakukan dengan jalan memberikan atom pengotor ke bahan semikonduktor murni sehingga apabila atom pengotor memiliki kelebihan elektron valensi (valensi 5) akan terdapat elektron bebas yang dapat berpindah. Apabila semikonduktor murni diberikan pengotor dengan valensi kurang (valensi 3) maka akan terbentuk area kosong (hole) yang menjadi pembawa muatan. Mekanisme ini menentukan jenis semikonduktor yang dibentuk (tipe – N atau tipe – P).(ichwan yelfianhar:2010)

Bahan silikon diberi doping *phosphorus* atau *arsenic* yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi. Dengan doping, Silikon yang tidak lagi murni ini (*impurity semiconductor*) akan memiliki kelebihan elektron. Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n disebut juga **donor** yang siap melepaskan elektron.



Gambar 17.semikonduktor tipe N
(Sumber:ichwan yelfianhar)

Kalau Silikon diberi doping *Boron*, *Gallium* atau *Indium*, maka akan didapat semikonduktor tipe-p. Untuk mendapatkan silikon tipe-p, bahan dopingnya adalah bahan trivalen yaitu unsur dengan ion yang memiliki 3 elektron pada pita valensi. Karena ion silikon memiliki 4 elektron, dengan demikian ada ikatan kovalen yang bolong (*hole*). Hole ini digambar-kan sebagai **akseptor** yang siap menerima elektron. Dengan demikian, kekurangan elektron menyebabkan semikonduktor ini menjadi tipe-p



Gambar 18.semikonduktor tipe P
(Sumber:ichwan yelfianhar)

2.5.4 Pemanfaatan Semikondukor

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:

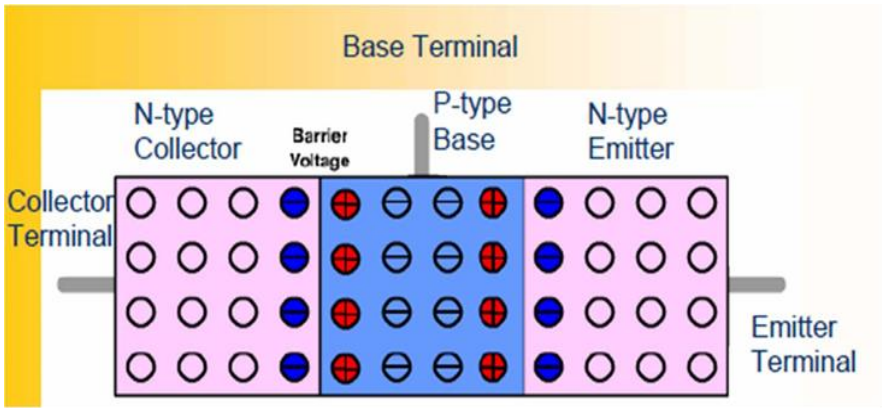
a. Dioda
b. Transistor
c. IC (*Integated Circuit*)
d. Mikroprosesor

2.6 Transistor

Transistor adalah komponen elektronik yang dibuat dari materi semikonduktor yang dapat mengatur tegangan dan arus yang mengalir melewatinya dan dapat berfungsi sebagai saklar elektronik dan gerbang elektronik.transistor dapat digunakan pada:

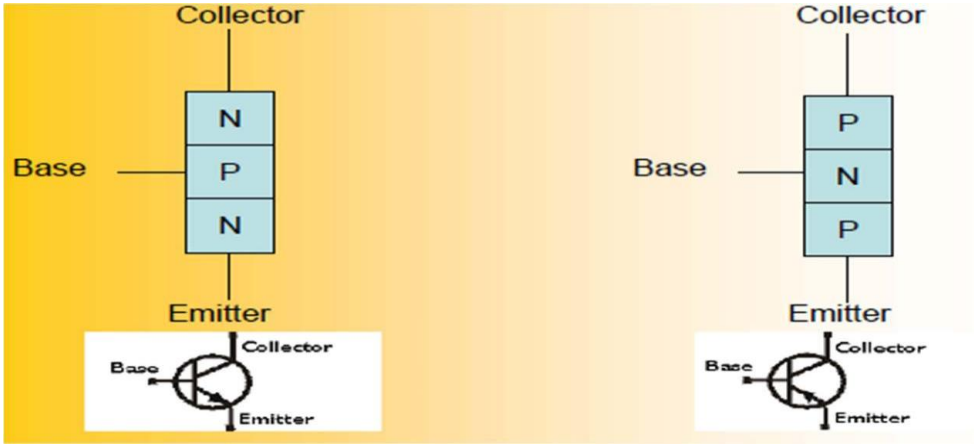
- Rangkaian Switching
- Rangkaian Penguat
- Rangkaian Osilasi
- Sensor

Transistor yang umum digunakan dinamakan Bipolar Junction Transistor (BJT) karena dirancang dari semi konduktor tipe N dan P yang dihubungkan melalui penghubung (junction). Bagian – bagiannya antara lain:



Gambar 19.Bagian bagian transistor
(Sumber:ichwan yelfianhar)

Transistor memiliki dua buah tipe yaitu tipe NPN dan tipe PNP



Gambar 20.Tipe-tipe transistor
(Sumber:ichwan yelfianhar)

2.7 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_{β} dan VK_{α} , Mn K_{β} dan Fe K_{α}). 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).*

2.8 Konsep rangkaian listrik

Arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yan 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 memepengaruhinya. 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.(mohamad ramdhani:2005)

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 dimaan 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)

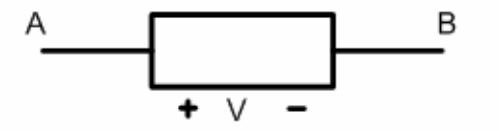
Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya diaman pun kita meninjau arus tersebut pada wakttu berbeda akan mendapatkan nilai yang sama

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 perida waktu : T). (mohamad ramdhani:2005)

Tegangan atau seringkali orang menyebut dengan beda potensial dalam bahasa Inggris v*oltage* 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 21. Tegangan
(sumber:mohamad ramdhani:2005)

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*

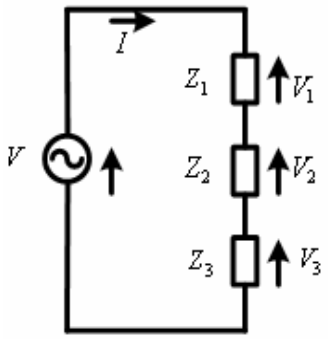
Jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah dalam hal ini dari terminal A ke terminal B

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 VAB = 5 Volt dan VBA = -5 Volt

Rangkaian Seri

Jika salah satu terminal dari dua elemen tersambung, akibatnya arus yang lewat akan sama besar.

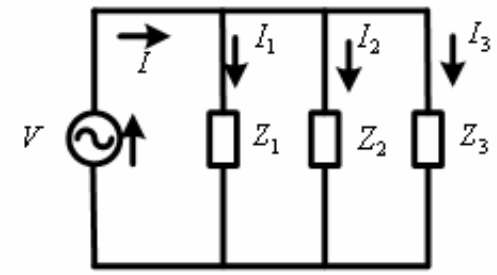


$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$= IZ_1 + IZ_2 + IZ_3$$
$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

Gambar 22. Rangkaian Seri
(sumber:mohamad ramdhani:2005)

Rangkaian Paralel

Jika semua terminal terhubung dengan elemen lain dan akibatnya tegangan diantaranya akan sama.



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$
$$= \frac{V}{Z_1} + \frac{V}{Z_2} + \frac{V}{Z_3}$$
$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$

Gambar 23.Rangkaian parallel
(sumber:mohamad ramdhani:2005)

Konfigurasi transistor parallel bertujuan untuk menguatkan kapasitas arus transistor. pada konfigurasi transistor secara parallel ini kaki basis dihubungkan dengan basis, emitor dengan emitor dan kolektor dengan kolektor.Pada konfigurasi 2 buah transistor parallel maka besarnya kapasitas atau kemampuan mengalirkan arus listrik transistor akan naik 2 kali lipat. Menghubungkan 2 buah transistor power secara parallel maka besarnya kemampuan transistor mengalirkan arus Imax akan menjadi 2 kali lebih besar sesuai persamaan Imax total = I Max_1+Max_2 .(mohamad ramdhani:2005)