

4

ZAT PADAT DAN PIRANTI SEMIKONDUKTOR

Standar Kompetensi

Menganalisis konsep fisika zat padat dan semikonduktor dalam menghasilkan produk teknologi elektronika.

Kompetensi Dasar

- Menganalisis konsep ikatan atom dan struktur kristal
- Menganalisis penerapan semikonduktor pada bidang teknologi

Indikator

- Membedakan dasar kerja beberapa jenis ikatan atom dalam kristal zat padat
- Melukiskan susunan atom pada kristal dua dimensi
- Mengaplikasikan peristiwa difraksi Bragg pada penemuan struktur kristal
- Mengidentifikasi sifat konduktivitas zat pada isolator, konduktor dan semikonduktor berdasarkan konsep pita energi
- Membedakan karakteristik semikonduktor jenis P dan jenis N
- Menerapkan prinsip kerja sambungan semikonduktor P dan N pada rangkaian penyearah dan penguat.

Pendalaman Materi

A. KRISTAL DAN AMORF

Berdasarkan struktur partikel penyusunnya, zat padat dibedakan menjadi kristal dan amorf. Kristal memiliki susunan partikel yang teratur dan berulang secara periodik dalam rentang yang panjang. Contoh : es, intan, gula, garam dapur, belerang, silikon, germanium dan besi.

Amorf memiliki susunan partikel yang teratur dalam rentang yang pendek. Contoh : plastik, aspal, dan kaca. Titik lebur kristal jelas, karena gaya ikat antar partikel hampir sama, sehingga ikatan antar partikel akan putus pada suhu tertentu. Kristal dibedakan menjadi monokristal dan polikristal. Dilihat dari ikatan yang terjadi antar partikel penyusunnya, kristal dibedakan menjadi :

1. Kristal ionik, yaitu kristal yang terbentuk berdasarkan ikatan ionik, partikel penyusunnya saling memberi dan menerima elektron sehingga terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dan ion negatif. Contoh :

NaCl dan CsCl. Kristal ionik berisat keras, stabil, konduktor yang buruk, titik lebur tinggi, tembus cahaya, menyerap radiasi inframerah dan mudah larut dalam cairan polar (air).

2. Kristal Kovalen, yaitu kristal yang terbentuk berdasarkan ikatan kovalen, yaitu pemakaian bersama elektron dan atom penyusunnya. Contoh : Silikon, germanium, silikon karbid (SiC). Kristal kovalen bersifat sangat keras, titik lebur sangat tinggi, tembus cahaya, konduktor yang buruk, sukar larut dalam zat cair biasa.
3. Kristal logam, yaitu kristal yang terbentuk berdasarkan ikatan logam, yaitu ikatan antara gas elektron dengan ion positif penyusun logam tersebut. Contoh : besi, perak, seng, tembaga. Kristal logam memiliki sifat : sebagai konduktor yang baik, tidak tembus cahaya, mengkilap, dapat dicampur dengan kristal logam lain.
4. Kristal Molekuler, yaitu kristal yang terbentuk berdasarkan ikatan van der Waals, yaitu ikatan antara molekul yang memiliki dipole listrik tidak permanent akibat gaya elektrostatis dari distribusi muatan listrik yang tidak simetris (gaya van der Waals). Ikatan van der Waals dapat terjadi antara dua molekul polar, molekul polar dan non polar atau antara dua molekul non polar. Contoh : He, Ne, Ar, CH₄, dan GeCl₄ padat.
5. Kristal ikatan Hidrogen adalah kristal yang terbentuk berdasarkan ikatan hidrogen, yaitu ikatan antar molekul yang terjadi akibat gaya elektrostatis kuat (lebih kuat dari gaya van der Waals) antara sebuah atom H yang terikat pada suatu molekul dengan atom Nitrogen, atom Oksigen atau atom Fluorin pada molekul lain. Contoh : kristal H₂O padat, NH₃ dan HF.

B. DIFRAKSI BRAGG

Struktur kristal dapat ditentukan dengan melewati sinar X pada bidang kristal, maka sinar X akan dihamburkan ke segala arah. Menurut Bragg, hamburan sinar X akan mengalami interferensi konstruktif secara matematis ditulis :

$$2d \cdot \sin \theta = n\lambda$$
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

- d = jarak antar dua bidang atom yang (m)
 θ = sudut hamburan
 λ = panjang gelombang sinar X (m)
n = orde berkas sinar yang terhambur

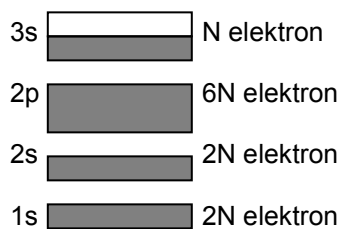
C. PITA ENERGI

Elektron-elektron dalam atom hanya diperbolehkan menempati tingkat-tingkat energi.

Jika jumlah atom banyak dan saling berdekatan, maka electron valensi masing-masing atom akan berinteraksi, sehingga tingkat-tingkat energinya saling bertumpukan dan berimpit membentuk pita energi.

Berdasarkan pengisian electron, pita energi terdiri dari pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi adalah pita energi teratas yang terisi penuh oleh electron. Pita konduksi adalah pita energi di atas pita valensi yang terisi sebagian atau tidak terisi electron. Antara pita valensi dan pita energi terdapat celah yang disebut celah energi.

Misalnya atom Natrium yang memiliki konfigurasi electron $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. Elektron pada atom Na akan mengisi dalam empat pita energi. Pita 1s berisi 2 elektron, pita 2s berisi 2 elektron, pita 2p berisi 6 elektron dan pita 3s berisi 1 elektron. Gambaran pita energi pada atom Natrium adalah :



D. KONDUKTIVITAS ZAT PADAT

Konduktivitas atau daya hantar listrik ditentukan oleh struktur pita energi dan pengisian electron pada pita energi. Berdasarkan konduktivitasnya, zat padat dibedakan menjadi :

- Konduktor, merupakan zat padat yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Ciri-ciri konduktor adalah pita valensinya (PV) terisi penuh electron, pita konduksinya (PK) terisi sebagian electron.
- Isolator, yaitu bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Ciri-cirinya PV penuh dengan electron, PK tidak terisi electron (kosong) dan celah energinya lebar.
- Semikonduktor, yaitu bahan yang memiliki sifat antara konduktor dan isolator. PV terisi penuh electron, PK kosong electron, namun karena celah energinya kecil maka electron dapat dengan mudah untuk meloncat dari PV ke PK jika suhu bahan semikonduktor dinaikkan. Jadi pada suhu rendah semikonduktor berperilaku seperti isolator.

E. SEMIKONDUKTOR INTRINSIK & EKSTRINSIK

Semikonduktor intrinsik adalah semikonduktor murni yang masih belum dikotori/disisipi oleh dengan atom lain. Contoh : Germanium dan Silikon. Semikonduktor intrinsik yang dipengaruhi oleh medan listrik, maka terjadi aliran electron yang arahnya berlawanan dengan arah medan listrik. Akibatnya terdapat lubang (hole) yang ditinggalkan electron seolah-olah bergerak searah medan listrik. Jadi arus listrik bergerak searah dengan hole yang dianggap muatan positif.

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang telah disipi oleh atom lain. Pengotoran atau penyisipan atom lain ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas bahan semikonduktor. Syarat atom yang dijadikan pengotor (doping) adalah berukuran hampir sama dengan atom murni dan memiliki electron valensi berbeda satu dengan electron

valensi atom murni. Semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi semikonduktor ekstrinsik tipe N dan tipe P.

Semikonduktor jenis N terjadi jika atom pengotor memiliki 5 buah electron valensi (seperti fosfor, arsenikum, antimon) untuk ditambahkan pada kristal yang memiliki 4 elektron valensi (seperti Ge dan Si), sehingga pada atom pengotor terdapat 1 elektron yang tidak berpasangan. Sebuah electron bebas inilah yang menjadi pembawa muatan mayoritas. Fosfor, arsenikum dan antimon disebut atom donor.

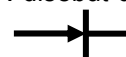
Semikonduktor jenis P dibentuk dengan menambahkan atom pengotor yang memiliki 3 elektron valensi (seperti gallium, boron dan indium) pada kristal yang memiliki 4 elektron valensi, sehingga terdapat lubang (hole) pada atom pengotornya. Hole inilah yang menjadi pembawa muatan mayoritas pada pita valensi. Galium, boron dan indium disebut atom akseptor.

F. DIODE SEMIKONDUKTOR

Diode semikonduktor dibuat dengan menyambungkan semikonduktor ekstrinsik tipe P dan N. Sambungan semikonduktor P-N juga dapat dibuat piranti semikonduktor lain, seperti transistor. Penyambungan kedua tipe semikonduktor dapat melalui cara peleburan atau penumbuhan kristal.

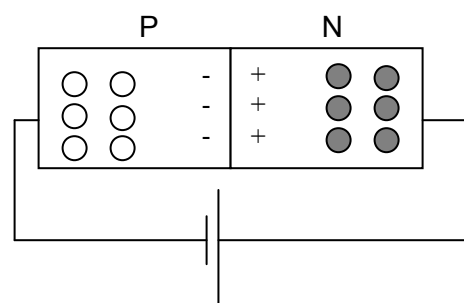
Pada saat kedua jenis semikonduktor disambungkan, terjadi difusi electron dari tipe N menembus daerah sambungan dan mengisi lubang (hole) pada tipe P. Akibatnya terjadi polarisasi muatan yang menimbulkan medan listrik yang menghambat aliran electron lebih lanjut. Hal ini menyebabkan pada daerah sekitar sambungan terbebas dari pembawa muatan mayoritas. Daerah sekitar sambungan ini disebut *lapisan pengosongan atau lapisan perintang (depletion layer)*. Medan listrik pada lapisan pengosongan menyebabkan timbulnya beda potensial yang disebut tegangan perintang (potensial barrier) yang menghambat aliran arus listrik melalui sambungan. Tegangan perintang untuk sambungan P-N Germanium sekitar 0,1 V dan sambungan P-N silicon sekitar 0,6 V.

Hasil sambungan P-N disebut diode, yang diberi simbol :



Panjar Mundur

Diode diberi tegangan mundur (reverse bias) jika sisi P dihubungkan ke polaritas negatif baterai dan sisi N dihubungkan ke polaritas positif. Pemberian tegangan mundur menyebabkan lapisan pengosongan semakin lebar, karena electron bebas di sisi N tarik oleh kutub + baterai untuk mengisi hole pada sisi P. Melebarnya lapisan ini berhenti ketika tegangan perintang sama dengan tegangan baterai, sehingga tidak lagi ada arus yang mengalir, kecuali arus bocor (arus reserve).



Jika tegangan mundur diperbesar, arus reserve hamper tidak berubah. Jika tegangan mundur terus diperbesar, pada nilai tegangan tertentu arus reserve melonjak sangat besar dan sambungan mengalami kerusakan. Tegangan yang menyebabkan terjadinya kerusakan sambungan disebut tegangan rusak atau tegangan tembus (breakdown voltage).

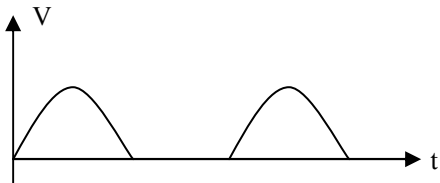
Panjar Maju

Diode diberi tegangan maju (forward bias) jika sisi P dihubungkan ke polaritas positif baterai dan sisi N dihubungkan ke polaritas negatif. Tegangan maju akan mengurangi tebal lapisan pengosongan, karena kutub + baterai mendorong hole dan kutub - baterai mendorong electron menuju lapisan pengosongan. Lapisan pengosongan hilang jika tegangan perintang sama dengan tegangan baterai, sehingga terjadi difusi electron dan aliran arus listrik (arus maju atau forward current) melalui sambungan.

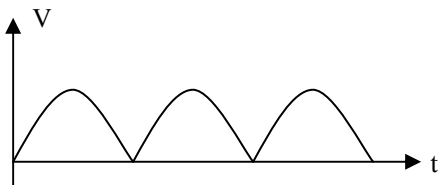
Pemanfaatan Diode sebagai Penyearah

Penyearah (rectifier) adalah alat yang melewatkan arus hanya ke satu arah saja. Alat ini biasanya digunakan untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Ada dua jenis penyearah, yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

Penyearah setengah gelombang terdiri dari sebuah trafo, sebuah diode dan resistor. Penyearah gelombang penuh trafo, dua buah diode dan resistor atau terdiri dari sebuah trafo, empat diode dan resistor. Grafik tegangan output terhadap waktu untuk penyearah setengah gelombang adalah :



Dan grafik tegangan output terhadap waktu untuk penyearah gelombang penuh adalah :



Diode Zener

Diode zener adalah diode yang bekerja pada panjar mundur dan berfungsi untuk menstabilkan tegangan. Untuk mengendalikan arus mundur agar tidak melampaui kemampuan disipasi daya diode zener (agar diode zener tidak rusak), maka diode zener perlu dihubungkan dengan hambatan seri yang besarnya :

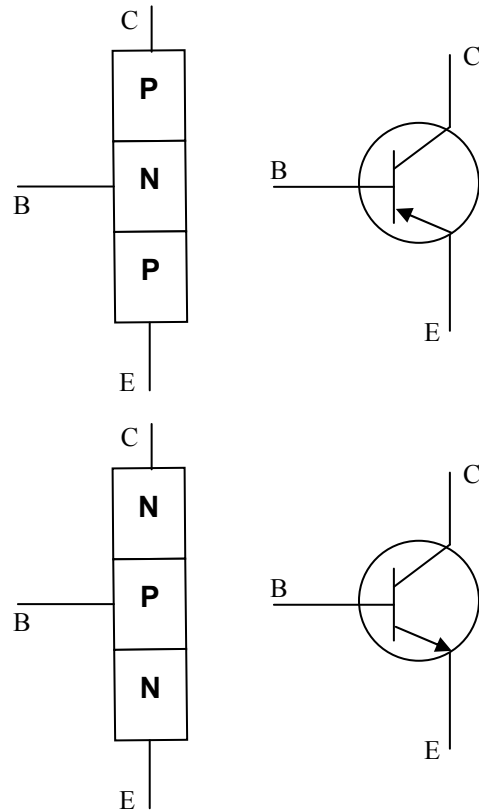
$$R_s = \frac{V_i - V_z}{I}$$

$$P = V_z \cdot I$$

- R_s = hambatan seri (Ω)
- V_i = tegangan masukan (V)
- V_z = tegangan zener (V)
- I = arus masukan (A)
- P = daya disipasi (watt)

G. TRANSISTOR

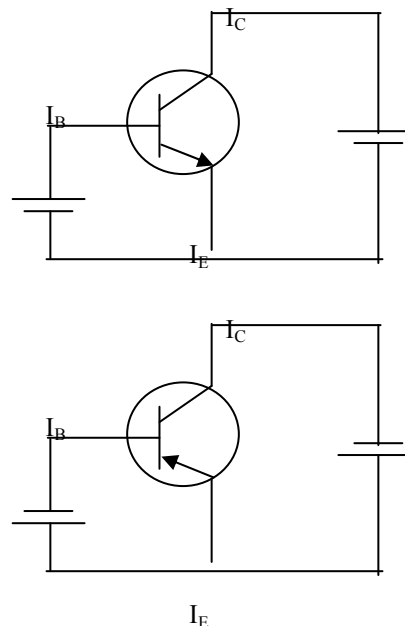
Transistor merupakan hasil sambungan semikonduktor jenis N dan P secara berselang-seling. Transistor berasal dari kata transfer artinya pemindahan dan resistor artinya hambatan. Jadi transistor berarti peralihan dari bahan yang bersifat menghambat menjadi bahan yang bersifat menghantarkan arus listrik. Transistor dibedakan menjadi transistor NPN dan PNP. Setiap transistor memiliki tiga kaki yang disebut basis (B), emitor (E) dan kolektor (C). Kontruksi dan symbol kedua transistor adalah sebagai berikut :



Emitor berfungsi untuk sebagai pembangkit pembawa muatan mayoritas dan kolektor berfungsi sebagai pengumpul pembawa muatan mayoritas.

Rangkaian Transistor

Ada 3 macam rangkaian transistor, yaitu rangkaian *common-emitter* (emitor bersama), *common base* (basis bersama), dan *common collector* (kolektor bersama). Perhatikan rangkaian *common emitter* tipe NPN dan tipe PNP berikut :



Pada transistor NPN pembawa muatan mayoritas adalah electron, sedangkan pembawa muatan mayoritas transistor PNP adalah hole (lubang).

Transistor sebagai Penguat Arus Listrik

Perhatikan rangkaian common emitter di atas ! Sesuai dengan hukum Kirchoff, kita peroleh bahwa besarnya kuat arus emitor dan factor penguatan arus adalah :

$$I_E = I_B + I_C$$

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Transistor sebagai Penguat Tegangan

Faktor penguat tegangan adalah :

$$A = \frac{V_{output}}{V_{input}}$$

Jika penguat dalam keadaan diam (rangkaiannya belum diberi tegangan masukan AC), maka agar transistor bekerja, maka sambungan E-B dipanjar maju dan sambungan C-B dipanjar mundur dengan sumber tegangan DC (V_{CC}).

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_L + V_{CE}$$

$$V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$$

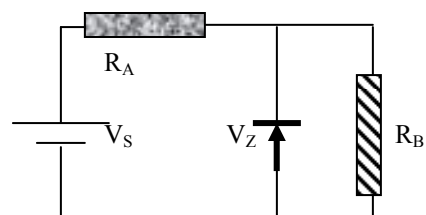
Selain sebagai penguat transistor juga dapat dimanfaatkan untuk **rangkaiannya saklar**.

Uji Kompetensi

- Sinar X monokromatik panjang gelombangnya 0,166 nm didatangkan pada suatu permukaan kristal KCl. Jarak antar bidang atom dalam kristal KCl 0,332 nm. Berapa sudut berkas sinar X dengan permukaan bidang kristal agar orde maksimum ke-2 dapat diamati ?
- Sebuah semikonduktor intrinsic melewatkan arus 40 mA ketika dihubungkan dengan baterai. Tentukan :
 - jumlah hole dan jumlah electron yang melalui semikonduktor per sekon
 - jumlah electron yang melalui titik dalam penghantar yang dihubungkan baterai per sekon
- Sebuah diode PN diseri dengan hambatan 500 ohm dan rangkaian dihubungkan dengan baterai 12 V. Jika arus yang mengalir 20 mA, tentukan :
 - beda potensial sambungan
 - daya disipasi sambungan
 - jika polaritas baterai dibalik, menyebabkan arus turun menjadi $100 \mu A$, berapa beda potensial sambungan sekarang ?
- Tegangan zener diode IN4001 adalah 1 V sewaktu arus maju 1 A mengalir pada diode.

Jika diode dihubungkan dengan sumber tegangan DC 6 V, hitunglah :

- hambatan seri yang harus dipasang agar diode aman
 - daya disipasi pada diode.
- Gambarkan rangkaian transistor common basis tipe PNP. Jika arus emitor = 2 A dan arus basis 60 mA, hitunglah :
 - besarnya arus kolektor
 - factor penguatan arus
 - Sebuah transistor NPN common emitter digunakan sebagai penguat tegangan memiliki resistor beban $2 \text{ k}\Omega$ yang dipasang seri pada kolektor dan bekerja pada tegangan input 9 V.
 - gambarlah rangkaian penguat tersebut
 - tentukan arus listrik yang melalui kolektor
 - Diketahui rangkaian berikut :



Jika tegangan sumber $V_s = 10 \text{ V}$, tegangan rusak diode zener 6 V, hambatan $R_A = 100 \text{ ohm}$ dan $R_B = 1000 \text{ ohm}$, tentukan besarnya daya disipasi pada :

- hambatan R_A
- hambatan beban R_B
- diode zener

Evaluasi

- Ikatan antar atom di bawah ini yang termasuk ikatan ionik adalah ...
 - NaCl dan NaOH
 - NaCl dan LiCl
 - NaCl dan H_2O
 - KCl dan H_2SO_4
 - NaH dan H_2
- Ikatan yang terjadi antara dua atom karena patungan electron valensi dari kedua atom adalah ikatan
 - ionik
 - kovalen
 - hydrogen
 - logam
 - Van der Waals
- Atom H dengan atom C dapat membentuk molekul CH_4 dengan ikatan ...
 - ionik
 - kovalen
 - hydrogen
 - logam
 - Van der Waals
- Ikatan energi paling lemah adalah ikatan ...
 - ionik
 - kovalen
 - hydrogen
 - logam
 - Van der Waals
- Dibawah ini adalah sifat ikatan kristal :
 - kristal keras
 - konduktor jelek
 - titik lebur tinggi
 - larut dalam cairan polar

- Sifat kristal ionik adalah ...
- 1,2
 - 1,3
 - 2,4
 - 4
 - semua benar
- Panjang gelombang terbesar yang dapat dianalisis oleh kristal batuan gram dengan jarak pisah antar atom $2,48 \text{ \AA}$ dalam orde kedua adalah ... \AA .
 - 0,62
 - 1,24
 - 2,48
 - 4,96
 - 9,42
 - Pembawa muatan mayoritas pada bahan semikonduktor ekstrinsik adalah ...
 - hole
 - electron
 - hole dan electron
 - proton
 - netron
 - Celah energi antara pita valensi dan pita konduksi bahan isolator, semikonduktor dan konduktor berturut-turut adalah a, b, dan c maka ...
 - $a > b > c$
 - $a < b < c$
 - $a < b > c$
 - $a > b < c$
 - $a < c < b$
 - Semikonduktor tipe N memiliki tingkat energi ...
 - akseptor terletak di dekat pita konduksi
 - donor terletak di dekat pita valensi
 - akseptor terletak di dekat pita valensi
 - donor terletak di dekat pita konduksi
 - donor terletak di bawah pita konduksi
 - Pengotoran pada bahan semikonduktor intrinsik dimaksudkan untuk ...
 - menurunkan daya hantar listriknya
 - menurunkan resistivitasnya
 - menurunkan harga jualnya
 - memperbesar celah energi
 - memperbesar hambatan jenisnya
 - Semikonduktor intrinsic pada suhu 0K bersifat sebagai isolator karena ...
 - jarak celah energi antara PK dan PV terlalu besar
 - tidak ada tingkat energi akseptor pada pita energi
 - tidak ada tingkat energi donor pada pita energi
 - tidak cukup energi bagi electron untuk pindah ke PK
 - tidak ada pembawa muatan yang diberikan dari luar
 - Pernyataan yang benar tentang isolator adalah ...
 - PK penuh electron, PV kosong electron, celah energi sempit
 - PV penuh electron, PK kosong electron, celah energi lebar
 - PK dan PV penuh electron
 - PV penuh electron, PK sebagian electron
 - PV penuh electron, PK kosong electron
 - Konduktivitas listrik semikonduktor intrinsic ...
 - tidak tergantung suhu
 - berkurang jika suhu berkurang
 - berkurang jika suhu bertambah
 - dapat berkurang atau bertambah jika suhu bertambah
 - bergantung pada tingkat pengotoran
 - Zat padat dengan tingkat donor yang ditempati electron berada di bawah pita energi kosong adalah ...
 - semikonduktor intrinsic
 - semikonduktor tipe P.
 - semikonduktor tipe N
 - transistor
 - diode
 - Terjadinya lapisan penghalang pada sambungan semikonduktor N dan P adalah ...
 - electron pada semikonduktor N tidak bergerak
 - hole pada semikonduktor P tidak bergerak
 - terjadinya difusi electron dan hole pada daerah sambungan sehingga timbul medan listrik
 - electron pada semikonduktor N bergerak menjauhi sambungan
 - hole pada semikonduktor P bergerak menjauhi sambungan
 - Diode zener digunakan sebagai ...
 - Penguat
 - Pemantap tegangan
 - Penyearah
 - Osilator
 - Multibrator
 - Dalam daerah breakdown, sebuah diode zener berkelakuan seperti sumber
 - tegangan tetap
 - arus tetap
 - hambatan tetap
 - induktansi tetap
 - kapasitansi tetap
 - Diketahui rangkaian common emitter dengan transistor tipe NPN. P saat transistor dalam keadaan siap kerja, hubungan potensial pada basis, emitter dan kolektor berikut yang benar adalah ...
 - $V_E > V_B$ dan $V_C > V_B$
 - $V_E > V_B$ dan $V_C < V_B$
 - $V_E = V_B$ dan $V_C > V_B$
 - $V_E < V_B$ dan $V_C < V_B$
 - $V_E < V_B$ dan $V_C > V_B$
 - Diketahui rangkaian transistor common base tipe PNP. Jika kuat arus emitor 2 mA dan kuat arus basis $0,02 \text{ mA}$, maka factor penguat transistor adalah ...
 - 100
 - 99
 - 77
 - 60
 - 59
 - Sebuah transistor emitter bersama penguat tegangan memiliki resistor beban kolektor $2,2 \text{ k}\Omega$ dan berkerja dari rel suplai tegangan 10 V . Arus kolektor yang sesuai adalah ... ma
 - 5
 - 2
 - 0,2
 - 20
 - 50