

TEORI ELEKTRONIKA DASAR I

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG KEMU
TITIK BUKU
KHAUSAH BIDANG KEMU PERPUSTAKAAN



TERIMA
SUMBER
KOLEKSI
NO
KEMU
oleh

26-3-1988

Sladech

K1

503/8ld/88-20

621.31 SYA 20

H.Syukur Syafei

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG KEMU

Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan

PADANG
1983

KATA PENGANTAR

Teknologi Elektronika dewasa ini telah memasyarakat, memegang peranan akan kebutuhan manusia pada hari ini dan untuk masa mendatang, karena peralatan elektronika, mulai dari yang sangat sederhana sekali, sampai kepada peralatan elektronika yang canggih, sangat terpercaya keandalannya, dengan efisiensi yang sangat tinggi sekali antara lain:

1. Transaksi jual beli, pengolahan data statistik, proses administrasi, dipergunakan peralatan elektronika yaitu komputer dengan tipe sederhana.
2. Peralatan perhubungan darat, laut, udara, maupun antar planit, peralatan kedokteran, dipergunakan sistem kendali (kontrol) dan sistem komunikasi teknik elektronika yang lengkap.
3. Begitu pula di bidang jasa, peralatan elektronika dapat menggantikan tenaga manusia secara operasional.

Untuk dapat memahami teknik elektronika mulai dari yang sederhana sampai kepada yang canggih, perlu pengertian dasar elektronika, buku ini dengan judul "Teori Elektronika Dasar I" yang mengemukakan masalah-masalah mendasar tentang watak-watak komponen-komponen aktif (komponen elektronika) dalam rangkaian-rangkaian yang sangat sederhana sekali, diharapkan buku kecil ini dapat membantu.

2

Buku "Teori Elektronika Dasar II" adalah melengkapi buku I yang mengemukakan masalah-masalah tentang watak-watak komponen elektronika antara lain FET, JFET, BJT, SCR, TRIAC, dan DIAC, serta rangkaian-rangkaian dampak balik (Feedback), Multivibrator dengan keluarganya dan Osilator dari berbagai tipe lengkap dengan perhitungan-perhitungannya.

Mudah-mudahan buku ini dapat memenuhi kebutuhan bahan bacaan dalam Bahasa Indonesia dan dapat membantu para peminat teknik elektronika, dalam menyelesaikan masalah-masalah peralatan elektronika.

Kritik-kritik dan saran-saran demi kesempurnaan buku ini sangat kami harapkan, untuk itu terlebih dahulu kami mengucapkan terima kasih.

FPTK IKIP PADANG

Padang, Juli 1983.

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.Prinsip utama	1
2.Elektron valensi dan ikatan kovalen ...	2
3.Pita hantaran,pita terlarang dan pita valensi	4
4.Atom donor dan atom akseptor	10
II.GANDENGAN P - N	16
1.Gandengan P-N dengan pra sikap maju ...	19
2.Gandengan P-N dengan pra sikap mundur..	21
III, DIODA	23
1.Dioda sambungan (gandengan) P-N	23
2.Dioda zener	32
3.Dioda trobos	36
4.Garis beban rangkaian dioda	36
IV.TRANSISTOR.	
1.Bahan dan cara kerjanya	39
2.Watak transistor	41
3.Pra sikap penguat transistor emitor bersama.....	43

4. Rangkaian emitor bersama dan basis bersama dan rangkaian ekivalen.....	41
5. Transistor sebagai penguat daya	50
6. Penguat daya dengan kopling transformator.....	52
7. Ukuran penguatan desibel.....	53
V. TRANSFORMATOR.....	56
1. Azas transformator.....	56
2. Tenaga transformator	58
3. Rendemen transformator	58
4. Transformator penyesuaian impedansi	60
5. Bahan transformator.....	62
6. Transformator tenaga	65
VI. CATU DAYA	74
1. Penyearah setengah gelombang	74
2. Penyearah gelombang penuh.....	76
3. Filter	77
4. Pelipat tegangan	79
5. Penyearah jembatan Wheathstone.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
I.2.1 Awan elektron	3
I.3.1 Susunan pita tenaga.....	4
I.3.2 Susunan kristal semikonduktor.....	7
I.3.3 Elektron bebas dan hole.....	8
I.4.1 Elektron bebas, ion positif, lubang dan ion negatif	12
II.1 Gandengan P-N dalam keadaan terbuka ..	16
II.1.1 Gandengan P - N dengan pra sikap maju.	19
II.2.1 Gandengan P-N dengan pra sikap mundur	21
III.1.1 Watak ideal dioda P-N	24
III.1.2 Rangkaian dioda, tegangan fungsi dari arus.....	25
III.1.3 Watak dioda dengan pra sikap maju	26
III.1.4 Rangkaian dioda zener.....	28
III.1.5 Kurva dioda ideal	29
III.1.6 Rangkaian dioda sebagai penyearah.....	29
III.1.7 Watak pra sikap dioda dan rangkaian ekivalen	30
III.1.8 Rangkaian ekivalen dioda dan arus puncak	31
III.2.1 Watak dioda zener, rangkaian ekivalen.	32
III.2.2 Rangkaian pendekatan ideal	34
III.3.1 Watak dioda trobos	36
III.4.1 Watak garis beban	37
IV.1.1 Rangkaian transistor.....	40

Gambar	Halaman.
IV.2.1. Kurva transistor PNP emitor bersama	42
IV.3.1. Rangkaian emitor bersama	43
IV.4.1. Rangkaian transistor dengan pra sikap te- tap	44
IV.4.2 Karakteristik output, transistor yang ter- pasang emitor bersama	45
IV.4.3 Rangkaian transistor emitor bersama dan rangkaiannya ekuivalen	47
IV.4.4 Rangkaian transistor terpasang basis ber- sama dan rangkaiannya ekuivalen	49
IV.5.1 Rangkaian penguat transistor.....	50
IV.5.2 Watak kolektor	51
IV.6.1 Rangkaian penguat daya dengan kopling transformator.....	52
V.1.1 Bagan transformator	56
V.1.2 Bagan transformator dengan inti besi....	57
V.2.1 Transformator dalam keadaan termuat	58
V.3.1 Bagan transformator dengan teras mantol	59
V.3.2 Bagan transformator tipe toroida.....	59
V.3.3 Toroida dengan gulungan	60
V.5.1 Kurva B-H dari bahan teras trafo.....	64
V.6.a.1 Bentuk teras mantol	65
V.6.a.2 Potongan-potongan teras mantol	65
V.6.a.3 Rangka gulungan dari kertas keras	66
V.6.a.4 Transformator yang telah disusun	66

Gambar	Halaman.
VI.1.1 Rangkaian dan kurva penyearah setengah gelombang	75
VI.2.1 Rangkaian dan kurva penyearah gelombang penuh	77
VI.3.1 Penyearah gelombang penuh dengan filter kapasitor	78.
VI.3.2 Kurva penyearah dengan filter kapasitor...	78
VI.4.1 Rangkaian doubler(pelipat).....	80
VI.5.1 Penyearah jembatan	81

DAFTAR TABEL

Tabel.		Halaman.
I.3.1	Besaran kristal germanium dan silikon	10
IV.4.1	Harga-harga parameter (h) dari suatu transistor untuk tiga macam konfigurasi	49
V.5.1	Daftar sifat-sifat dari beberapa jenis bahan trafo.....	63
V.6.a.1	Transformator kerja.....	66
V.6.a.2	Tebal kawat gulungan sekunder.....	66

I. PENDAHULUAN.

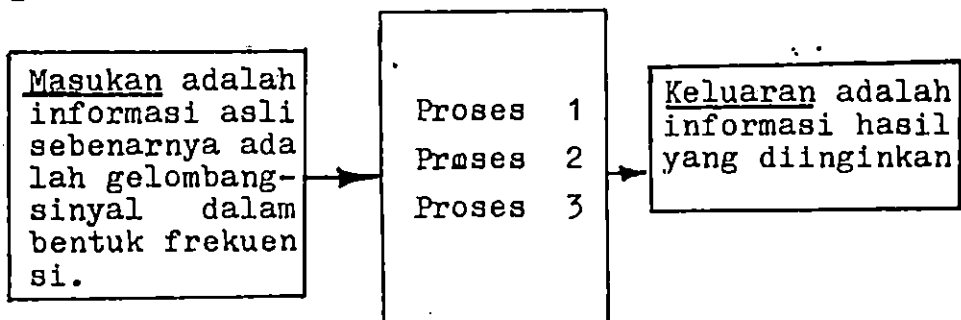
1. Prinsip utama.

Ruang lingkupelektronika sangat luas, pada prinsipnya mempunyai karakteristik yang sama, menguraikan pemindahan informasi melalui tenaga listrik dan magnet, dengan bertitik tolak pada perpindahan elektron-elektron yang bermuatan.

Bidang elektronika yang penting yang banyak dilola pada saat ini adalah :

- a. Bidang komunikasi (communication).
- b. Bidang pengukuran (measurement).
- c. Bidang pengendalian (control).
- d. Bidang perhitungan (computation).

Yang dimaksud dengan informasi yaitu perpindahan elektron dalam bentuk tenaga listrik atau magnet, berupa perubahan arus dan tegangan dalam bentuk frekuensi, melalui sistem analog dan digital, sesuai dengan bentuk asli dari informasi aslinya. Secara sekematis, proses informasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Pada proses 1, proses 2 dan proses 3, terjadi peroba-

han bentuk melalui sistem analog atau sistem digital dan pada keluaran dirobah menjadi informasi hasil yang diinginkan.

Yang penting adalah mempelajari sifat-sifat fisis dari komponen-komponen elektronika dalam suatu rangkaian dengan sistem yang tepat dalam rangka pemindahan informasi sesuai dengan yang diinginkan. Dasar-dasar Elektronika mempelajari sifat - sifat dasar komponen-komponen elektronika dalam suatu rangkaian.

2. Elektron valensi dan ikatan kovalen.

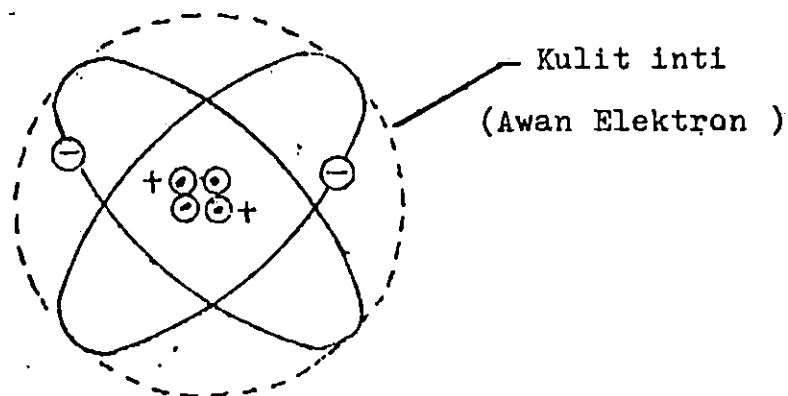
Sifat zat serta penggunaannya pada komponen elektronika ditentukan oleh susunan mikroskopis dari zat itu. Zat terdiri dari atom-atom dan atom tersusun dari inti atom yang bermuatan positif dikelilingi oleh elektron-elektron yang bermuatan negatif pada orbitnya masing-masing. Makin jauh orbit elektron dari intinya, makin tinggi tenaga elektron itu, orbit-orbit ditentukan oleh jumlah bilangan kuantum. Tenaga elektron dapat berubah-ubah secara meloncat (diskrit). Tingkat tenaga elektron dari suatu atom, digambarkan dengan diagram tingkat tenaga, berupa garis-garis mendatar, dimana tingginya terhadap garis referensi menyatakan besar tenaganya. Elektron-elektron menurut bilangan kuantumnya dapat

dikelompokkan yaitu, yang beredar pada orbit kulit luar dan pada sub kulit (bagian dalam). Elektron-elektron yang beredar pada kulit luar dinamakan elektron valensi. Elektron-elektron valensi inilah yang menentukan sifat-sifat listrik, kimia, maupun sifat termis suatu unsur kimia.

Ikatan elektron-elektron yang beredar pada kulit luar terhadap inti, tidak sekuat ikatan elektron-elektron pada sub kulit bagian dalam terhadap intinya.

Didalam zat padat, atom-atomnya letaknya sangat berdekatan, sehingga terjadi interaksi antara atom-atomnya, dimana elektron valensi membentuk ikatan antara atom-atomnya.

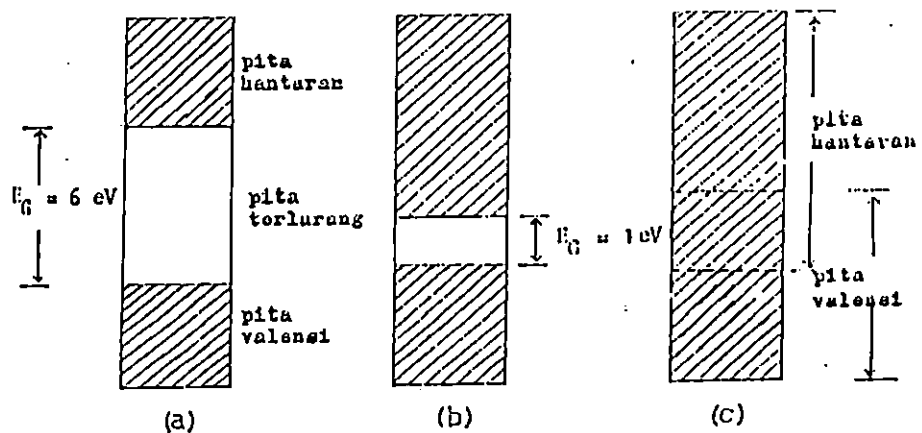
Dalam kristal silicon, germanium atau intan atom-atom tersusun sebagai kristal tetrahedral karena adanya ikatan kovalen.



Gambar.I.2.1 :

3. Pita hantaran, pita terlarang dan pita valensi.

Akibat adanya interaksi antara atom-atom serta adanya ikatan-ikatan yang terjadi didalam zat padat/kristal, maka menurut konsep mekanika kuantum atau mekanika gelombang, tingkat tenaga sangat banyak jumlahnya. Tingkat-tingkat tenaga itu dapat di kelompokkan berupa pita tenaga.



Gambar I.3.1

Susunan pita tenaga pada (a) isolator, (b) semi konduktor (c) logam.

Banyaknya tingkat-tingkat tenaga baru atau kedudukan (state) yang tersedia bagi elektron-elektron didalam zat padat/kristal ternyata lipat dua ter-

hadap banyaknya elektron yang berada yang ada didalam zat padat/kristal, oleh karena itu tidaklah mungkin terjadi kedua pita tenaga terisi pada tiap keduanya. Pada 0° K, tenaga elektron-elektron tidak cukup besar, maka semua elektron hanya berada pada pita yang dibawah. Pita yang sebelah atas pada suhu rendah kosong, disebut pita hantaran. Apabila suhu zat padat kristal naik, maka ada elektron dari pita valensi oleh karena termisnya bergerak ke pita hantaran, maka elektron tadi dapat bergerak bebas sebagai pembawa muatan (carrier) yang dapat melaksanakan hantaran listrik.

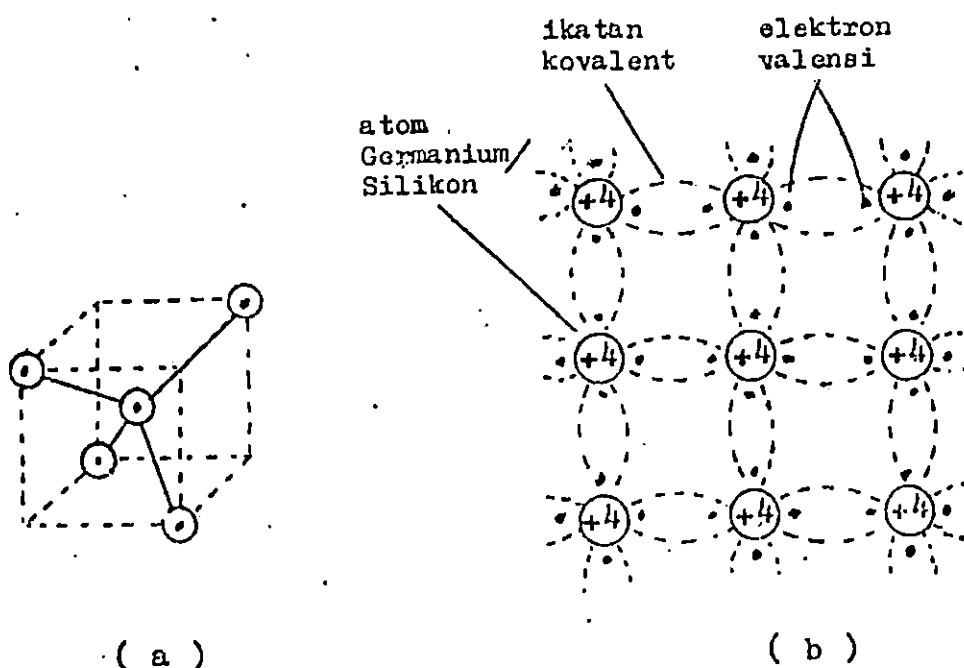
Antara pita hantaran dengan pita valensi disebut pita terlarang dengan lebar pitanya adalah selisih dari harga terendah pita hantaran (E_c) dengan tenaga tertinggi dari pita valensi (E_v) dinamakan energy gap (sela tenaga) atau (E_g). Biasanya E_g dinyatakan dengan eV (elektron volt), yaitu tenaga yang sama dengan perolehan tenaga yang berpindah tempat dengan beda potensial 1 Volt. Bahan dengan E_g yang besarnya beberapa Volt adalah tergolong bahan penyekat (isolator), misalnya intan dengan $E_g = 6$ eV, silikon $E_g = 1,121$ eV dan germanium $E_g = 0,785$ eV semuanya pada 0° K. Bahan pengantar dimana E_g di sekitar 1 eV adalah bahan Semi Konduktor.

Semi konduktor adalah bahan yang tahanannya jenisnya diantara konduktor dengan isolator, yaitu bahan yang tahanannya jenisnya diantara 10^{-2} Ohm cm sampai dengan 10^{-6} Ohm.cm. Unsur-unsur pada sistem berkala golongan IV pada umumnya bersifat semi konduktor, yang terpenting diantaranya adalah silikon (Si) dan germanium (Ge), yang memiliki 4 buah elektron valensi, atom-atomnya tersusun sebagai tetrahedral (tetrahedron) sebagaimana susunan kristal intan, karena adanya ikatan - ikatan kovalen.

Susunan kristal tetrahedral, tiap-tiap atomnya terikat oleh empat ikatan kovalen dengan empat atom yang berdekatan. Kalau suhu kristal naik, tenaga termis dari elektron valensi juga naik, melebihi E_g , maka elektron itu meloncat ke pita hantaran, berarti elektron-elektron tersebut telah keluar dari kovalen dan menjadi elektron bebas.

Pada kovalen terjadi kekosongan karena elektron-elektronnya sudah keluar menjadi elektron bebas, pada lubang ikatan kovalen, terjadi muatan positif yang dinamakan lubang (Hole).

Jika pada ikatan kovalen terbentuk suatu lubang dan elektron dari lubang ini masuk ke lubang lainnya, seolah-olah ada lubang yang bergerak dari ikatan kovalen yang satu, ke ikatan kovalen yang lainnya.



Gambar I.3.2.

Susunan kristal semikonduktor.

(a) Susunan kristal intan (tetrahedral)

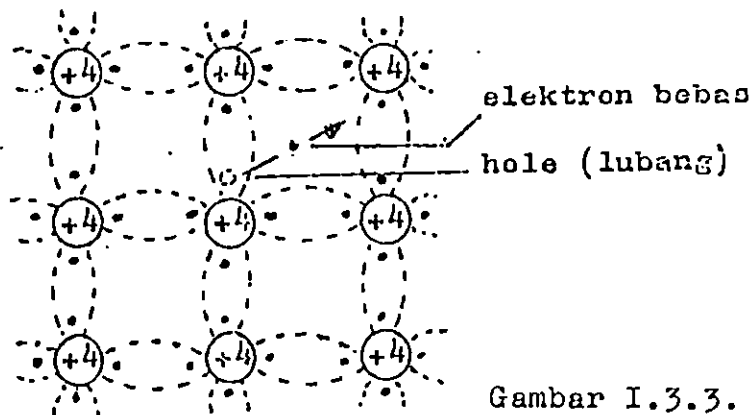
(b) Gambar dua dimensi silikon atau germanium (pada suhu 0° K).

Berdasarkan konsep-konsep fisika kuantum, bahwa lubang dapat diperlakukan sebagai zarah yang bermuatan positif sebesar muatan elektron, mempunyai massa efektif dengan mengikuti hukum Newton.

Kristal silikon dan kristal germanium pada suhu 0° K elektron valensinya terikat erat dalam ikatan kovalennya, dengan demikian dapat diambil kesimpulan:

Semikonduktor intrinsik pada suhu 0° K bersi-

fat sebagai isolator dan pada suhu tinggi sebagai konduktor hal ini disebabkan ada pasangan-pasangan elektron dan lubang yang banyaknya sama berfungsi sebagai pembawa muatan.



Elektron bebas akibat pengaruh panas di dalam kristal silikon atau germanium.

Jika pembawa elektron bebas per satuan volume (n_i) dan ketepatan lubang per satuan volume (p_i) berlaku hubungan :

$$n_i = p_i$$

Berdasarkan statistik Fermi-Dirac serta keadaan pita tenaga untuk semi konduktor intrinsik dapat dibuktikan bahwa :

$$n_i^2 = A_0 \cdot T^3 \cdot e^{-E_{GO}/kT}$$

dimana : A_0 = Tetapan tidak tidak bergantung pada suhu.

$$T = \text{Suhu } ^\circ\text{K}$$

$$E_g = \text{Sela tenaga (eV)}$$

$$k = \text{Tetapan bilangan } \frac{e V}{o K} = 8,62 \cdot 10^{-5}$$

Dari persamaan diperoleh:

Jumlah pembawa muatan cepat bertambah, dengan naiknya suhu. Jika pada suhu tertentu jumlah pembawa muatan tetap, jika secara mikroskopis, jumlah yang tetap itu terjadi dengan penggantian-penggantian elektron serta lubang, yaitu dengan peristiwa rekombinasi (bergabung kembali) antara elektron dengan lubang, serta pembentukan pasangan elektron dengan lubang yang disebut ionisasi. Jumlah pembawa muatan selalu tetap karena kecepatan rekombinasi sama dengan kecepatan ionisasi.

Hantaran (sigma) : Ketahanan (rho)

Untuk semi konduktor intrinsik terdapat persamaan - persamaan

$$= q \cdot n_i (u_n + u_p)$$

$$= \frac{1}{q \cdot n_i (u_n + u_p)}$$

dimana q adalah muatan elektron = $1.602 \cdot 10^{19}$ Coulomb

$$u_n = \text{mobilitas } \frac{\text{cm}^2}{\text{Volt-detik}}$$

$$u_p = \text{mobilitas lubang } \frac{\text{cm}^2}{\text{Volt.detik}}$$

Dibawah ini diberikan besaran-besaran untuk kristal germanium dan silikon.

DAFTAR I.3.1.

Besaran	Satuan	Germanium	Silikon
rapat atom	atom/cm ³	$4,4 \cdot 10^{22}$	$5,0 \cdot 10^{22}$
E_{GO} , pada 0°K	eV	0,785	1,21
E_G , pada 300°K	eV	0,72	1,1
n_i , pada 300°K	Pengang-angkut/cm ³	$2,5 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
u_n , pada 300°K	cm ² /Volt.det		
u_n , pada 300°K	cm ² /Volt.det.	1800	500
tahanan jenis in-	ohm . cm	45	230.000

Untuk silikon pada suhu 300°K atom-atomnya yang melepaskan satu ikatan kovalen $3 \cdot 10^{-11}$, jadi muatan sedemikian kecilnya, sehingga tahanan jenis semikonduktor ini sangat besar.

4. Atom donor dan atom akseptor.

Untuk menyusun komponen elektronika diperlukan bahan yang kaya untuk mengangkut muatan, apakah elektron saja atau lubang saja. Dengan memasukkan atom-atom lain yang bervalensi 3 atau 5 yang kecil saja ke semi konduktor intrinsik (murni) terjadilah semi konduktor ekstrinsik (tak mur

ni) yang kaya akan lubang atau elektron saja, peristiwa ini dinamakan doping (pengotoran).

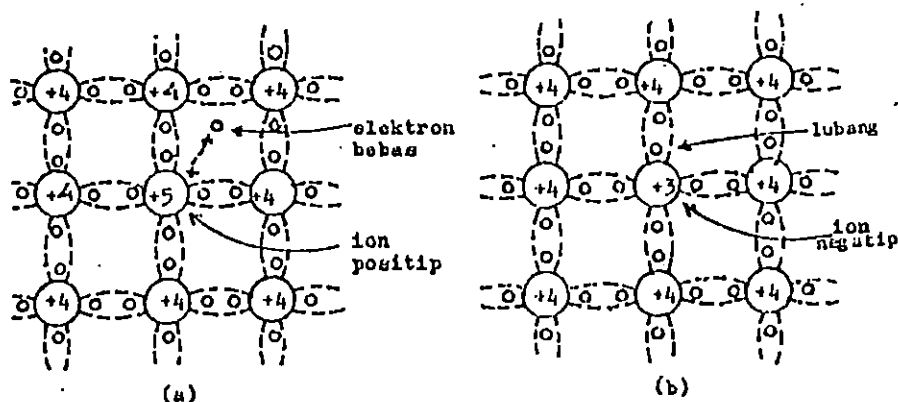
Prosentase tingkat pengotoran adalah perbandingan atom asli dengan atom lainnya 10^6 berbanding 1, misalnya pengotoran pada germanium $1 \cdot 10^{-6}$ kali atom lainnya sehingga tahanan jenis germanium naik $1/12$ kali.

Selanjutnya mengenai sifat-sifat semi konduktor ekstrinsik (tak murni), diadakan peninjauan keatom yang bervalensi 5 yaitu fosfor (P) atau arsenikum (As) dan antimon (Sb). Dengan prosentase doping sama dengan diatas pada peristiwa pencampuran, atom pencampuran kelebihan 1 elektron, elektron ini mudah sekali melepaskan diri dari ikatan kovalennya dapat menjadi elektron bebas, sehingga meningkatkan daya hantar dari germanium atau silikon, atom yang membebaskan elektronnya ini masuk ke pita hantaran disebut atom donor.

Karena atom donor ini adalah ion positif yang terikat ditempat, terbentuknya elektron bebas tidak disertai terbentuknya lubang, akan tetapi yang terbentuk ion positif yang tak dapat bergerak adanya ion-ion positif ini sangat menentukan watak-watak komponen, semi konduktor yang dihasilkan adalah semi konduktor jenis N.

Tenaga untuk membebaskan elektron dari atom

donor dinamakan tenaga ionisasi atom donor (E_c) di mana ($E_c - E_D$) untuk silikon besarnya sekitar 0,05 eV, sedangkan untuk germanium 0,01 eV, dimana (E_D) tingkat tenaga elektron atom donor bervalensi 5.



Gambar I.4.1

Tenaga ionisasi ini sangat kecil, sehingga pada suhu yang sangat rendah, semua atom donor telah membebaskan kelebihan elektronnya.

Disamping elektron bebas yang berasal dari atom donor ada juga terjadi rekombinasi dari atom asli, dimana tenaga ionisasinya sangat besar jika dibandingkan dengan tenaga ionisasi atom donor (E_G) 1,1 eV untuk silikon dan 0,72 eV untuk germanium, maka jumlah pasangan elektron bebas dengan lubang pada suhu yang tidak terlalu tinggi dapat

diabaikan, jadi elektron bebas merupakan pengangkut mayoritas, sedangkan lubang yang sangat sedikit jumlahnya merupakan pengangkut minoritas. Kerapatan pengangkut elektron bebas untuk semi konduktor N sama dengan kerapatan atom donor N_D maka:

$$n = N_D$$

$$n = \text{Konsentrasi elektron (---\frac{\text{elektron}}{3} ---)}$$

$$N_D = \text{Konsentrasi atom donor (---\frac{\text{atom}}{3} ---)}$$

Konsentrasi lubang dihitung berdasarkan hukum massa aksi yaitu :

$$n \cdot p = n_i^2$$

P adalah kerapatan lubang dan n_i kerapatan pengangkut :

$$n \cdot p = \frac{n_i^2}{N_D}$$

Untuk tingkat doping $1 \cdot 10^{-6}$ maka :

$$n \gg p$$

kesimpulannya elektron merupakan pengangkut mayoritas dan lubang merupakan pengangkut minoritas.

Melalui persamaan diatas dapat dihitung tahanan jenis semi konduktor N adalah :

$$= \frac{1}{q(n u_n + p u_p)} = \frac{1}{q N_D u_n}$$

Sekarang kita tinjau atom bervalensi 3 antara lain Barium (B) Aluminium (Al) dan Galium (Ga), dilakukan proses pengotoran sebagaimana halnya dengan atom bervalensi 5, atom bervalensi 3 ini akan mengelilingi atom kristal yang bervalensi 4.

Agar terlaksana ikatan kovalen, atom bervalensi 3 ini kekurangan 1 elektron, untuk itu dinamakan atom ini atom akseptor dimana tingkat tenaga elektron akseptor sedikit lebih besar dari tingkat tenaga atom asli. Jika E_A tingkat tenaga elektron atom akseptor dan E_V tingkat tenaga elektron atom asli, maka dengan sedikit saja menambah tenaga kepada $(E_A - E_V)$, elektron akan meloncat dari ikatan kovalennya dan mengisi kekurangan-kekurangan pada atom akseptor disertai pembentukan lubang-lubang pada ikatan kovalen yang ditinggalkan. Karena menerima tambahan 1 elektron, maka atom akseptor menjadi ion negatif yang terikat ditempat. Tenaga untuk membentuk lubang dan ion negatif yaitu $E_A - E_V$ adalah tenaga ionisasi atom akseptor sebesar 0,01 eV untuk germanium dan 0,05 eV untuk silikon, jadi atom akseptor menghasilkan lubang tanpa disertai elektron bebas, sehingga semi konduktor yang terjadi dinamakan semi konduktor jenis P.

Sama halnya dengan semi konduktor jenis N, maka untuk semi konduktor jenis P, konsentrasi lu-

bang P sama dengan kerapatan atom akseptor, pada suhu yang tidak terlalu rendah, semua atom akseptor sudah terionkan, dan lubang yang berasal dari pembentukan pasangan elektron dan lubang, jumlahnya sangat sedikit, karena tenaga ionisasinya sangat besar.

Jadi konsentrasi lubang adalah :

$$p = N_a$$

dan konsentrasi elektron adalah :

$$n = \frac{n_i}{N_A}$$

Pada suhu yang tidak terlalu tinggi, dengan perhitungan yang sama halnya seperti perhitungan kerapatan pengangkut muatan pada semi konduktor jenis N, diperoleh:

Semi konduktor jenis P, lubang merupakan pengangkut mayoritas dan elektron merupakan pengangkut minoritas.

dengan tahanan :

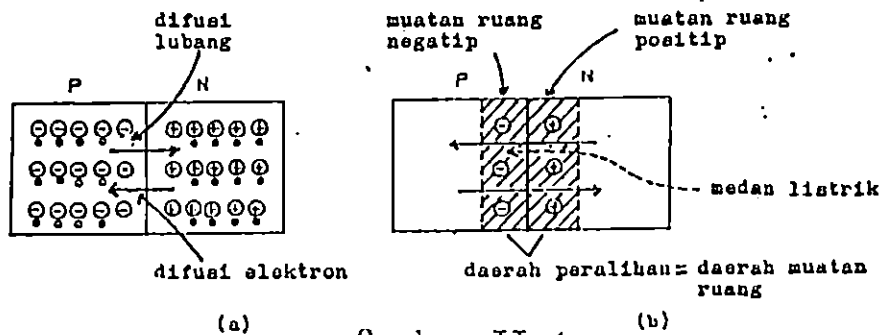
$$= \frac{1}{q(h.u_n + p.u_p)} = \frac{1}{q.N_A.u_p}$$

II. GANDENGAN P-N

Komponen semi konduktor dengan gandengan P - N (P-N junction) ialah suatu rangkaian dengan semi konduktor N digandeng dengan semi konduktor P.

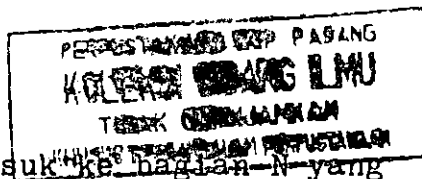
Untuk menganalisa gandengan P-N ini, langkah pertama ditinjau gandengan P-N dalam keadaan terbuka yaitu tidak ada faktor luar yang mempengaruhinya.

Sebagaimana telah diterangkan bahwa kedua semi konduktor ini mempunyai sifat yang bertentangan semi konduktor P konsentrasi lubangnya jauh lebih besar dari konsentrasi lubang pada bagian N dan semi konduktor N konsentrasi elektronnya jauh lebih besar dari konsentrasi elektron dibagian P. Setelah terjadi penggandengan perbedaan konsentrasi pembawa muatan, mengakibatkan terjadinya peristiwa difusi lubang dibagian P ke bagian N dan difusi elektron dari bagian N ke bagian P.



Gambar II.1

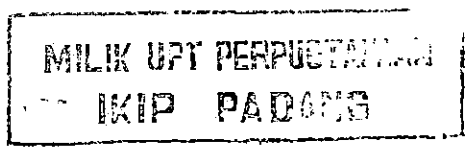
Gandengan P-N dalam keadaan terbuka (a) Menunjukkan konsentrasi lubang dan konsentrasi elektron, difusi lubang



Segera lubang masuk ke bagian N yang kaya dengan elektron, terjadi penggabungan, demikian juga elektron yang masuk ke bagian P yang kaya akan lubang segera bergabung, akibatnya disekitar gandingan yaitu pada daerah transisi, pembawa muatan menjadi kosong, daerah ini dinamakan daerah kosong (depletion region).

Dengan lenyapnya lubang di P maka ion negatif tidak dalam keadaan normal, begitu pula lenyapnya elektron di bagian N, maka ion positif dekat gandingan juga tidak netral, hal ini disebabkan ion-ion tidak dapat bergerak seolah-olah di daerah transisi pada bagian P tertimbun muatan negatif dan di daerah transisi pada bagian N tertimbun muatan positif. Muatan-muatan tersebut tidak dapat bergerak dinamakan muatan ruang daerah transisi tersebut dinamakan daerah muatan ruang.

Besarnya muatan ruang positif sama dengan besarnya muatan ruang negatif. Akibatnya seluruh kristal dalam keadaan netral, dengan adanya muatan ruang di daerah transisi terdapat medan listrik atau beda potensial. Medan listrik ini menghalangi peningkatan difusi baik lubang maupun elektron, potensial ini merupakan potensial penghalang (barrier potensial) dilambangkan V_0 , potensial tersebut disebut potensial kontak.



Medan listrik atau potensial kontak disamping menghalangi difusi mengakibatkan pengaliran lubang dari bagian N ke P dan pengaliran elektron dari P ke N. Keduanya merupakan arus yang saling menambah, dinamakan arus difusi yang arahnya dari P ke N, yaitu arus arah maju I_f ($f = \text{forward}$).

Arus yang disebabkan oleh aliran lubang dari N ke P dan arus elektron dari P ke N yang juga saling menambah disebut arah aliran dari N ke P.

Arus arah mundur I_r ($r = \text{reverse}$).

Keadaan akan setimbang apabila tegangan mencapai harga pada saat arus difusi sama besarnya dengan arus yang mengalir dengan kata lain arus bersih sama dengan nol atau

$$I_f = I_r$$

Dengan menggunakan hukum Thermodinamika dan tingkat tenaga menurut Fermi, keadaan setimbang tercapai apabila :

$$V_0 = k.T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

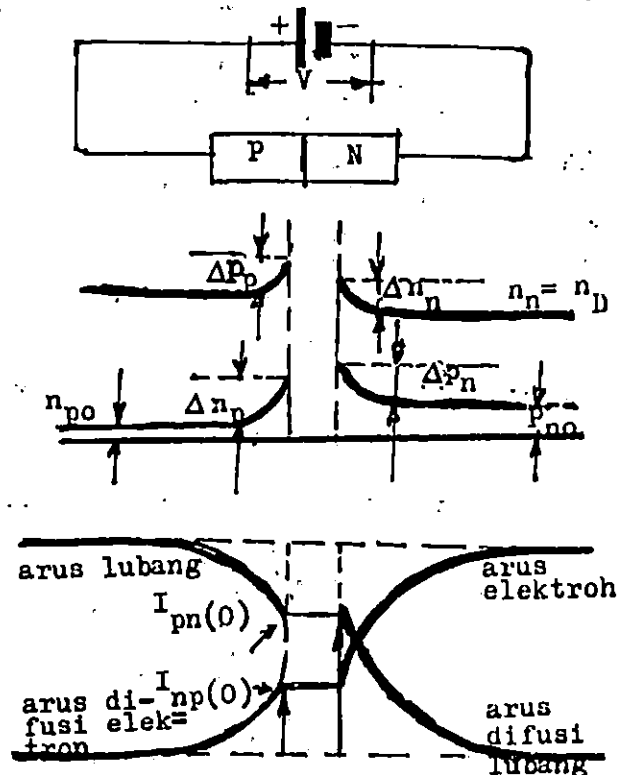
Untuk pembawa minoritas pada masing-masing bagian dengan lambang n_{00} lubang pada bagian N yaitu p_{no} (Indek o disini menyatakan bahwa gandengan P-N dalam keadaan terbuka) berdasarkan hukum masa aksi, diperoleh:

$$n_{p0} = n_n \cdot e^{-V_0 \cdot q / KT} = N_D \cdot e^{-V_0 \cdot q / KT}$$

$$p_{n0} = p_p \cdot e^{-V_0 q / KT} = N_A \cdot e^{-V_0 \cdot q / KT}$$

Lebarnya daerah muatan ruang bergantung pada V_0, N_A dan N_D , sangat menentukan watak-watak komponen Arus balik I_f besarnya ditentukan oleh kecepatan pembentukan pembawa minoritas (pasangan elektron dan lubang) yang pada suhu tertentu tetap besarnya, merupakan arus jenuh pada suhu tertentu I_s (skeptakan Saturation, berarti jenuh).

1. Gandengan P-N dengan pra sikap maju.



Gambar II.1.1

Gandengan P-N yang dihubungkan dengan sumber tegangan bagian P pada kutub positif dan N kutub negatif dari sumber. Dengan ini dikatakan gandengan P-N mendapat tegangan prasikap maju. Tegangan sumber melalui P dan N, diteruskan ke daerah transisi V memperkecil potensial penghalang sehingga menjadi $(V_0 - V)$, arus difusi dari P ke N, arus maju bertambah besar, melebihi arus balik I_s yang besar tetap. Dengan ini arus total tidak lagi I_0 dan arahnya dari bagian P ke bagian N, arus ini dipertahankan oleh arus rangkaian. Kerapatan pembawa mayoritas di bagian P (lubang) dari tempat yang jauh ke daerah transisi $p_p = N_A$ sedangkan pembawa muatan mayoritas di bagian N (elektron), $n_n = N_D$. Dengan adanya arus rangkaian luar maka didekat bagian P tertimbun elektron (lihat gambar). Untuk $y = 0$ kecepatan lubang melalui p_p , untuk $x = 0$ kerapatan elektronnya, dibandingkan dengan n_n mendapat kelebihan sebesar n_p .

Untuk menghitung besar arus netonya dapat di pilih disembarang tempat, karena menurut hukum kontinuitas, arus disetiap bagian besarnya sama. Kalau kita pilih didaerah transisi arus yang mengalir adalah arus balik yang sangat kecil dibanding dengan arus difusinya maka arus neto didaerah elektron yaitu jumlah arus difusi lubang di $X = 0$ dan arus di-

fusi elektron di $Y = 0$.

Untuk arus difusi dititik $X = 0$ adalah :

$$I_{pn}(0) = \frac{A_q \cdot D_p}{L_p} p_n = \frac{A_q \cdot D_p}{L_p} p_{no} \cdot (e^{qV/KT} - 1)$$

Dan arus difusi elektron dititik $Y = 0$ adalah:

$$I_{np}(0) = \frac{A_q \cdot D_n}{L_n} n_p = \frac{A_q \cdot D_n}{L_n} N_{po} \cdot (e^{qV/KT} - 1)$$

dimana: A = luas penampang. q = muatan elektron
 D_p dan D_n = nilai tetapan difusi untuk lo-
 bang dan elektron.

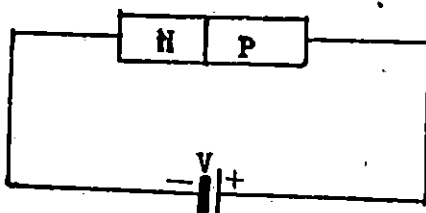
L_p dan L_n = nilai tetapan panjang difusi un-
 tuk lubang dan elektron.

jadi arus bersih (netto) adalah:

$$I = I_0 (e^{qV/KT} - 1)$$

$$\text{dimana: } I_0 = A_q \left(\frac{D_p \cdot p_{no}}{L_p} + \frac{D_n \cdot n_{po}}{L_n} \right)$$

2. Gandengan P-N dengan pra sikap mundur.



Gambar II.2.1

Gandengan diberi tegangan pra sikap mundur (reverse-biased).

Kutub negatif sumber tenaga dihubungkan ke bagian N dan kutub positif ke bagian P. Karena bagian N dan bagian P adalah suatu penghantar, ma

ka tegangan sumber diteruskan kedaerah transisi, sehingga tegangan ini, akan mempertinggi potensial kontak menjadi $V_0 + V$. Jika ditinjau secara microscopis adalah disebabkan tertariknya lubang dan elektron kearah luar gandengan, daerah transisi atau daerah muatan ruang menjadi lebar (daerah lebar = L) dan besarnya adalah :

$$L = \left(\frac{2 \epsilon}{q} (V_0 + V) \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

= konstanta dielektrikum bahan semi konduktor.
lebar daerah transisi di bagian P (L_p) dan lebar daerah transisi di bagian N (L_n), besarnya masing - masing:

$$L_p = L \frac{N}{N_A + N_D} \text{ dan } L_n = L \frac{N_A}{N_A + N_D}$$

Arusnya adalah dengan naiknya potensial kontak atau potensial penghalang bagian arus difusi dari bagian P ke bagian N, yaitu arus yang menyebabkan pembawa mayoritas tidak ada lagi, yang ada hanya aliran lubang dari N ke P yaitu arus balik(reverse) yang dilakukan oleh pembawa-pembawa minoritas. Arus ini besarnya tergantung pada kecepatan pembentukan pasangan elektron dan lubang.

III . DIODA.

1. Dioda sambungan (gandengan) P - N

Sebenarnya apa yang dibicarakan pada gandengan P - N dengan pra sikap maju atau mundur, sebenarnya telah membicarakan dioda sambungan P - N.

Arus yang mengalir pada dioda P - N adalah :

$$I = I_0 (e^{qV/KT} - 1)$$

I_0 adalah arus jenuh yang melalui dioda pada dioda mendapat tegangan balik (reverse), arus ini sangat kecil orde uA.

q adalah muatan elektron = $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb.

k adalah konstanta Boltzman.

T adalah suhu pada derajat Kelvin.

$\frac{KT}{q}$ dapat diganti dengan V_T yaitu tegangan yang

tergantung pada suhu , untuk:

$$V_T = 1/40 \text{ Volt (Volt pada suhu kamar } \pm 20^\circ \text{ Celsius)}$$

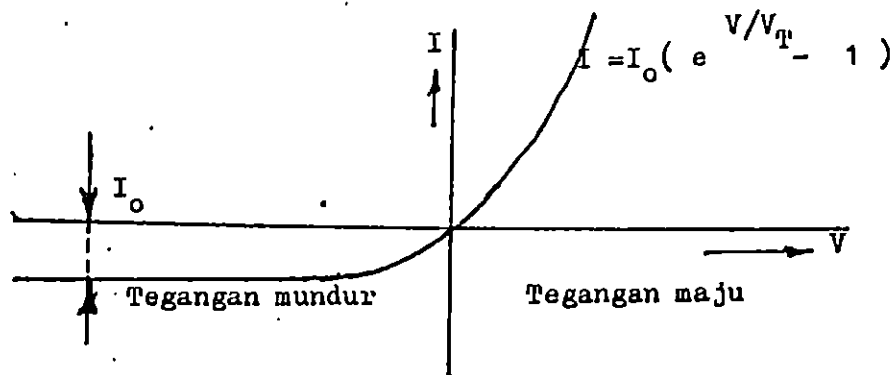
romus dapat diganti:

$$I = I_0 (e^{V/V_T} - 1)$$

dimana : V tegangan terpasang pada dioda.

V_T tegangan ekivalen suhu.

I_0 arus jenuh.



Gambar:III.1.1. Watek ideal dioda P-N.

Tegangan maju (forward) I terletak pada daerah V positif dan $I = I_r$ (arus mundur) $= I_0$ terletak pada daerah tegangan negatif dalam hal ini I tetap.

Secara garis besar ada dua bentuk pra sikap terhadap dioda, yaitu pra sikap maju dan pra sikap mundur. Kedua pra sikap ini sangat berbeda sekali jadi sangat penting dalam menentukan polritas dioda dalam suatu rangkaian.

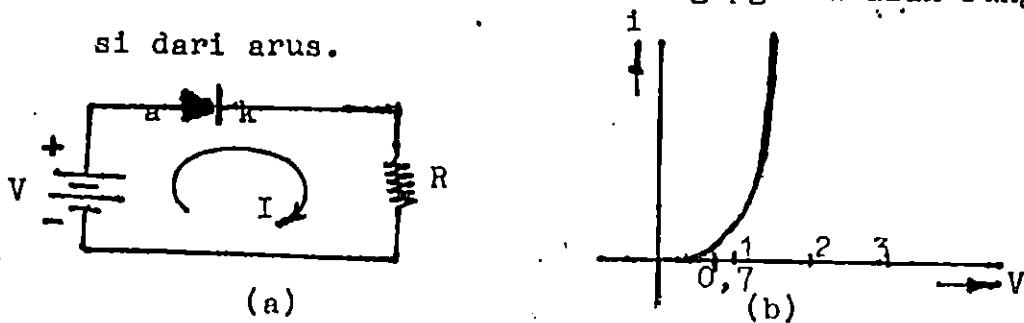
Suatu dioda silikon dalam suatu rangkaian diberi tegangan pra sikap maju, mula-mula dioda tidak menghantar, tepat pada saat tegangan mencapai 0,7 Volt, arus naik dengan cepat sekali, elektron mengalir dari bahan N melintasi gandingan terus melintasi bahan P, terus kembali ke sumber. Pada saat dioda pra sikap maju, potensial barrier jauh lebih kecil

dari potensial sumber, dengan demikian potensial barrier dapat dihilangkan, jadi arus maksimum akan melalui dioda.

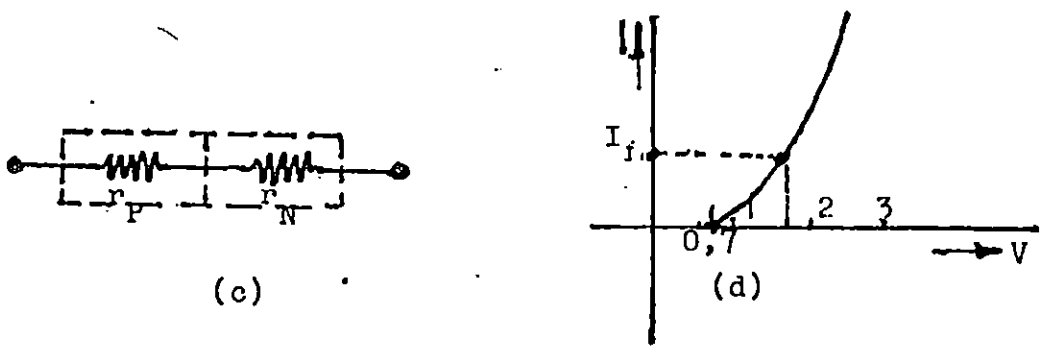
Jika dioda mendapat pra sikap mundur, dimana anoda terhubung polaritas negatif dan katoda terhubung polaritas positif dari sumber, pada saat dioda pra sikap mundur, elektron bergerak mulai dari gandingan ke arah positif dari sumber, proses ini memperlebar daerah pengosongan dan menaikkan potensial barrier sehingga menghalangi elektron dari kutub negatif ke kutub positif dari sumber.

Dioda dalam keadaan pra sikap mundur mempunyai tahanan yang besar, tidak dapat mengalirkan arus kecuali arus bocor.

Dioda dengan pra sikap maju sifatnya berbeda sekali dengan dioda pra sikap mundur adalah sangat menentukan untuk menetapkan polaritas dioda dalam suatu rangkaian. Untuk itu kita tinjau watak dioda dalam keadaan pra sikap maju dari dioda silikon. Pada kurva dibuat tegangan adalah fungsi dari arus.



Gambar III.1.2:



Gambar III.1.3

- a. Rangkaian dioda pra sikap maju.
- b. Watak dioda pra sikap maju.
- c. Tahanan pemisah.
- d. Arus pra sikap maju.

Dari watak dioda dengan pra sikap maju ternyata dioda tak hantar, sebelum tegangan 0,7 Volt (untuk dioda silikon), mulai tegangan sumber bergerak melewati 0,7 Volt, arus akan naik dengan cepat 0,7 Volt ini, dinamakan titik bangkit (raising point) dari dioda silikon. Untuk dioda germanium titik bangkitnya 0,2 Volt.

Tegangan dimana terdapat arus bertambah besar, disebut tegangan knee. Diatas tegangan knee arus dioda bertambah dengan cepat, disaat ini tahanan pemisah yang dilalui arus antara bahan P dengan bahan N (r_P dan r_N), jumlah tahanan pemisah ini disebut r_B , jadi sangat ditentukan oleh pengotoran, yaitu besarnya daerah P dan N yang dipergu-

Tahanan R_4 , R_5 , dan R_6 adalah seri.

$$R_s = R_4 + R_5 + R_6 = 4 + 6 + 2 = 12 \text{ ohm.}$$

Tahanan R_7 dan R_8 adalah paralel.

$$R_{p2} = \frac{R_7 R_8}{R_7 + R_8} = \frac{12 \times 6}{12 + 6} \text{ ohm} = \frac{72}{18} \text{ ohm} = 4 \text{ ohm}$$

Tahanan R_1 , R_{p2} , dan R_2 dihubungkan seri.

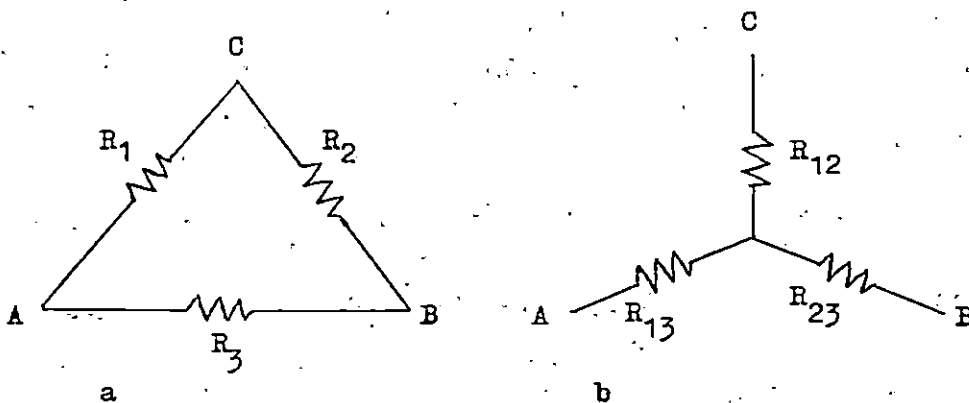
$$R_{s3} = R_1 + R_{p2} + R_2 = 12 + 4 + 9 = 25 \text{ ohm}$$

Jadi nilai tahanan total $R_{AB} = 25 \text{ ohm}$.

D. Rangkaian Segitiga Dan Rangkaian Bintang

Dalam menyelesaikan suatu rangkaian tahanan yang komplis, kadang-kadang mengalami kesulitan bila hanya menggunakan prinsip rangkaian tahanan seri dan paralel. Kesulitan ini ditemui bila dalam rangkaian tersebut terdapat beberapa buah tahanan yang merupakan hubungan segitiga (Δ) atau hubungan bintang (Y). Jalan keluar untuk mengatasi kesulitan ini dapat dilakukan dengan transformasi hubungan bintang ke hubungan segitiga.

1. Transformasi Rangkaian Segitiga ke Rangkaian Bintang



Gambar 3.8. a. Tiga resistor dalam hubungan Δ

b. Tiga resistor dalam hubungan Y

(Theraja, 1980: 50)

Pada gb 3.8a dapat dilihat bahwa tahanan R_1 , R_2 dan R_3 merupakan hubungan segitiga. Sedangkan pada gb 3.8b terdapat tahanan R_{12} , R_{13} , dan R_{23} yang merupakan hubungan bintang. Hubungan segitiga ini dapat ditransformasikan (diubah) menjadi hubungan bintang. Caranya adalah, tentukan sembarang titik P didalam segitiga ABC tersebut, tetapkan tahanan-tahanan pada hubungan ini, misalkan pada PA terdapat tahanan R_{13} , pada PB terdapat tahanan R_{23} dan pada PC terdapat tahanan R_{12} . Dalam hal ini rangkaian tahanan R_{12} , R_{13} , dan R_{23} yang berpotongan di titik P berbentuk rangkaian bintang.

Kedua bentuk rangkaian tahanan ini dikatakan ekuivalen jika dilakukan pengukuran tahanan pada dua titik yang sama akan menghasilkan nilai yang sama pula untuk kedua rangkaian tersebut. Misalnya dilakukan pengukuran di titik A dan B pada hubungan delta akan diperoleh nilai yang sama bila dilakukan pengukuran dititik A dan B pada hubungan bintang. Keadaan ini dapat terjadi bila nilai-nilai tahanan pada hubungan bintang diperoleh dari nilai-nilai tahanan pada hubungan segitiga.

Pada hubungan segitiga dapat ditentukan nilai tahanan antara titik A dan B , dengan menggunakan prinsip rangkaian seri sehingga diperoleh $R_s = R_1 + R_2$. Tahanan R_s dan R_3 adalah paralel, maka tahanan antara A dan B adalah,

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_3}$$

$$\text{atau } R_{AB} = \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan tahanan antara titik A dan B pada hubungan bintang adalah,

$$R_{AB} = R_{13} + R_{23} \dots\dots\dots(2)$$

karena R_{13} dan R_{23} adalah seri dan R_{12} tidak berfungsi bila pengukuran dilakukan pada titik A dan B. Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh,

$$R_{13} + R_{23} = \frac{R_3 + (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(3)$$

Penentuan nilai tahanan antara titik B dan C pada hubungan segitiga adalah sebagai berikut. Tahanan R_1 dan R_3 adalah seri, maka $R_s = R_1 + R_3$. Tahanan R_s dan R_2 adalah paralel, maka diperoleh

$$R_{BC} = \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(4)$$

Tahanan antara titik B dan C pada hubungan bintang adalah, $R_{BC} = R_{12} + R_{23} \dots\dots\dots(5)$

Dari persamaan (4) dan (5) diperoleh,

$$R_{12} + R_{23} = \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(6)$$

Penentuan nilai tahanan antara titik A dan C pada hubungan segitiga adalah sebagai berikut. Tahanan R_2 dan R_3 adalah seri, maka $R_s = R_2 + R_3$. Tahanan R_s dan R_1 adalah paralel, sehingga diperoleh,

$$R_{AC} = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(7)$$

Tahanan antara titik A dan C pada hubungan bintang adalah, $R_{AC} = R_{12} + R_{13} \dots\dots\dots(8)$

Dari persamaan (7) dan (8) diperoleh,

$$R_{12} + R_{23} = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(9)$$

Dengan cara mensubstitusikan persamaan (3),(6) dan (9), yaitu dengan mengurangkan dua persamaan dan hasilnya dijumlahkan dengan persamaan yang ketiga, diperoleh,

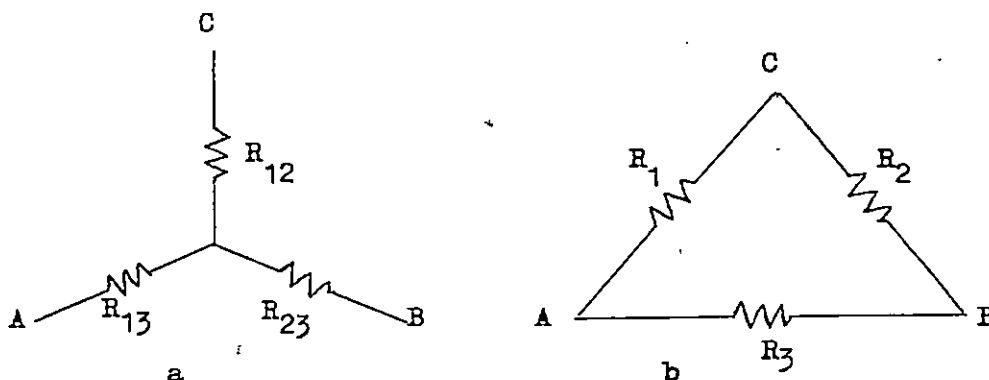
$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-5)$$

$$R_{23} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-6)$$

$$R_{13} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-7)$$

Ada cara yang mudah untuk mengingat ketiga rumus ini yaitu, tahanan pada masing-masing titik pada hubungan bintang diperoleh dari hasil kali dua tahanan pada hubungan segitiga pada titik yang sama dan dibagi dengan jumlah dari ketiga tahanan pada hubungan delta. (Theraja, 1980:51).

2. Transformasi Rangkaian Bintang ke Rangkaian Segitiga



Gambar 3.9. a. Tiga resistor dalam hubungan Y
b. Tiga resistor dalam hubungan Δ
(Theraja, 1980:50)

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Pada gb 3.9a terdapat tahanan R_{12} , R_{23} , dan R_{13} yang merupakan hubungan bintang, dan pada gb 2.9b terdapat tahanan R_1 , R_2 , dan R_3 yang merupakan hubungan segitiga. Hubungan bintang dapat ditransformasikan menjadi hubungan segitiga. Caranya adalah, hubungkan titik A, B dan C pada hubungan bintang dan tempatkan sebuah tahanan pada masing-masing sisi segitiga ABC: Misalnya pada sisi AB terdapat tahanan R_3 , pada sisi BC terdapat tahanan R_2 dan pada sisi AC terdapat tahanan R_1 . Kedua bentuk rangkaian tahanan ini akan ekuivalen jika nilai-nilai tahanan pada hubungan segitiga diperoleh dari nilai-nilai tahanan pada hubungan bintang.

Adapun nilai-nilai tahanan pada hubungan segitiga dapat diperoleh dengan cara menggunakan persamaan (3), (6), dan (9) yang terdapat pada transformasi hubungan delta ke hubungan bintang. Caranya adalah dengan mengalikan persamaan (3) dan (6), persamaan (6) dan (9), persamaan (3) dan (9). Hasil yang diperoleh dari perkalian persamaan ini, disubstitusikan satu sama lainnya dan disederhanakan sehingga diperoleh,

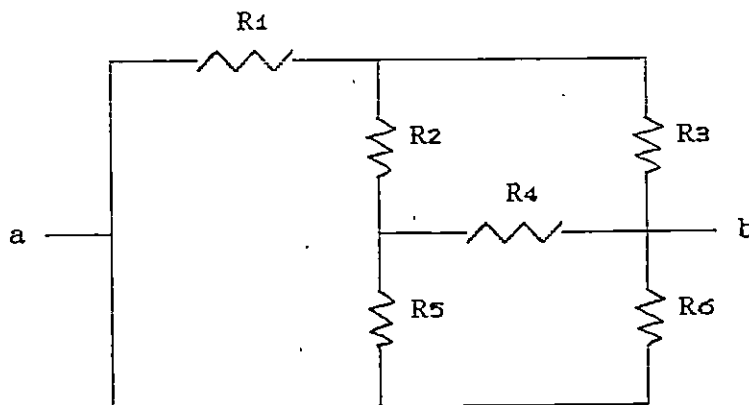
$$R_1 = R_{12} + R_{13} + \frac{R_{12} R_{13}}{R_{23}} \quad (3-8)$$

$$R_2 = R_{12} + R_{23} + \frac{R_{12} R_{23}}{R_{13}} \quad (3-9)$$

$$R_3 = R_{13} + R_{23} + \frac{R_{13} R_{23}}{R_{12}} \quad (3-10)$$

Adapun cara yang mudah untuk mengingat ketiga rumus ini yaitu, tahanan pada masing-masing sisi dalam hubungan segitiga diperoleh dari penjumlahan dua tahanan pada dua titik yang sama ditambah dengan hasil kali kedua tahanan itu setelah dibagi dengan tahanan ketiga dalam hubungan bintang (Theraja, 1980:51).

Contoh 4.

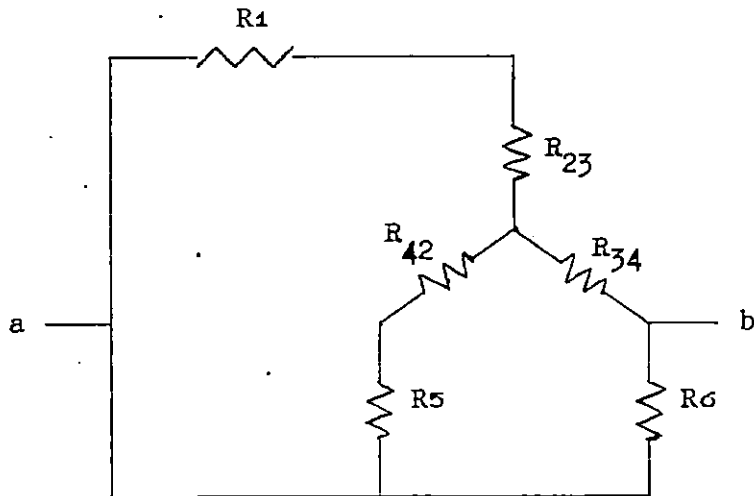


Gambar 3.10. Rangkaian tahanan untuk contoh 4
(Toro, 1984:85)

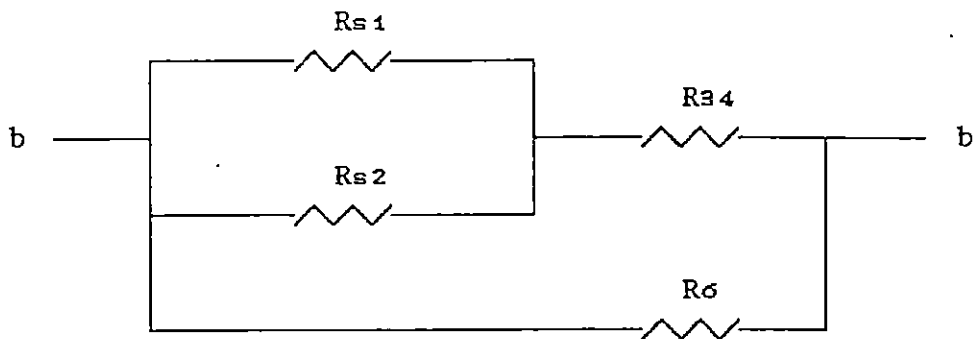
Diketahui harga-harga $R_1 = 6,75$ ohm, $R_4 = 8$ ohm, $R_2 = 2$ ohm, $R_5 = 4$ ohm, $R_3 = 6$ ohm, $R_6 = 9$ ohm. Tentukan nilai tahanan antara a dan b pada rangkaian.

Penyelesaian:

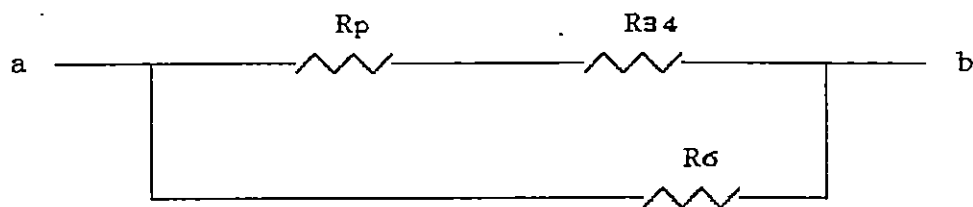
Tahanan R_2 , R_3 , dan R_4 adalah hubungan Δ . Hubungan ini ditransformasikan ke hubungan Y, sehingga rangkaian diatas dapat diubah seperti pada gb 3.11.



a



b



c

Gambar 3.11. a. Perubahan bentuk rangkaian gb 3.10
 b. Perubahan bentuk rangkaian gb 3.11.a
 c. Perubahan bentuk rangkaian gb 3.11.b

Dengan menggunakan rumus transformasi Δ ke Y diperoleh,

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{2 \times 6}{2 + 6 + 8} = 0,75 \text{ ohm}$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{6 \times 8}{2 + 6 + 8} = 3 \text{ ohm}$$

$$R_{42} = \frac{R_4 R_2}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{8 \times 2}{2 + 6 + 8} = 1 \text{ ohm}$$

Tahanan R1 dan R23 adalah seri.

$$R_{s1} = R_1 + R_{23} = 6,75 + 0,75 = 7,5 \text{ ohm}$$

Tahanan R42 dan R5 adalah seri.

$$R_{s2} = R_{42} + R_5 = 1 + 4 = 5 \text{ ohm}$$

Tahanan R_{s1} dan R_{s2} dihubungkan paralel.

$$R_p = \frac{R_{s1} R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}}$$

$$R_p = \frac{7,5 \times 5}{7,5 + 5} = 3 \text{ ohm}$$

Tahanan R_p dan R34 adalah seri.

$$R_{s3} = R_p + R_{34} = 3 + 3 = 6 \text{ ohm}$$

Tahanan R_{s3} dan R6 adalah paralel.

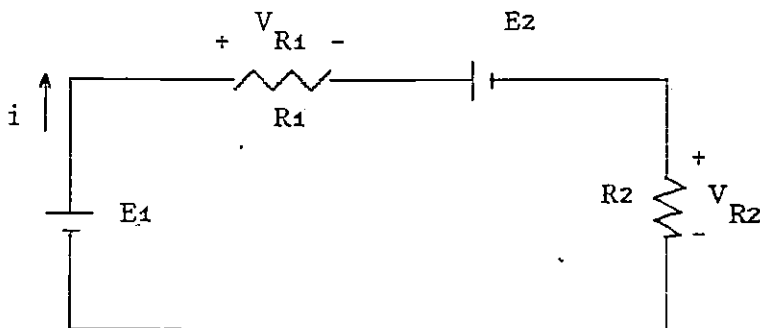
$$R_{ab} = \frac{R_{s3} R_6}{R_{s3} + R_6} = \frac{6 \times 9}{6 + 9} = 3,6 \text{ ohm}$$

BAB IV

TEKNIK ANALISIS RANGKAIAN

A. Analisis Rangkaian Loop Tunggal

Setelah membahas hukum Ohm dan hukum Kirchhoff, selanjutnya akan dibahas penggunaan hukum-hukum ini di dalam analisis rangkaian. Gambar 4.1 memperlihatkan sebuah rangkaian loop tunggal yang terdiri atas dua sumber tegangan dan dua tahanan. Kabel-kabel penghubung dianggap mempunyai tahanan nol. Besar arus dan tegangan pada setiap tahanan dapat ditentukan.



Gambar 4.1. Sebuah rangkaian loop tunggal
(Hayt, 1985:42)

Misalkan arah arus searah dengan putaran jarum jam, seperti pada gambar 4.1. Penentuan arah arus ini dapat dilakukan secara bebas. Jika arusnya ternyata positif maka arah arus yang ditetapkan benar, jika negatif berarti arahnya terbalik. Menurut hukum arus Kirchhoff, besar arus yang melalui setiap elemen dalam rangkaian tersebut adalah sama. Selanjutnya kita pilih referensi tegangan untuk masing-masing tahanan. Penggunaan hukum Ohm menghendaki bahwa arah arus dan tegangan harus dipilih se-

hingga arus memasuki terminal referensi tegangan positif. Arah tegangan pada masing-masing tahanan ditentukan oleh arah arus yang sudah diberikan. Tegangan yang dimaksud adalah V_{R1} dan V_{R2} dengan tanda-tanda yang diperlihatkan dalam gb 4.1. Langkah terakhir adalah penggunaan hukum tegangan Kirchhoff pada loop yang ada.

Untuk loop yang sudah ditetapkan searah dengan putaran jarum jam, dimulai dari sudut kiri bawah, dapat diperoleh persamaan dengan menuliskan langsung setiap tegangan yang pertama ditemui pada referensi positif dan menuliskan negatif untuk tegangan yang ditemui pada terminal negatif. Jadi diperoleh persamaan,

$$-E_1 + V_{R1} + E_2 + V_{R2} = 0$$

Menurut hukum Ohm, $V_{R1} = iR_1$ dan $V_{R2} = iR_2$

maka persamaan di atas menjadi,

$$-E_1 + iR_1 + E_2 + iR_2 = 0$$

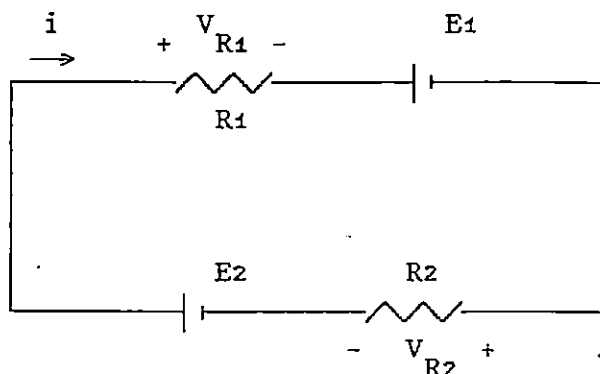
Dari persamaan ini diperoleh arus,

$$i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

Kedua sumber tegangan dalam gb 4.1 dianggap mempunyai tahanan dalam yang sangat kecil dan boleh diabaikan. Jika tahanan dalam ini tidak dapat diabaikan maka tahanan itu harus dimasukkan ke dalam R_1 dan R_2 .

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Contoh 1.



Gambar 4.2. Rangkaian loop tunggal untuk contoh 1
(Hayt, 1985:45)

Dalam gb 4.2 diketahui dua sumber tegangan $E_1 = 30$ volt, $E_2 = 120$ volt, tahanan dalamnya diabaikan, dan dua tahanan $R_1 = 30$ ohm, $R_2 = 15$ ohm. Tentukan besar arus dan tegangan pada masing-masing tahanan.

Penyelesaian:

Arah arus ditetapkan searah dengan putaran jarum jam seperti pada gb 4.2, dimulai dari sudut kiri bawah. Dari hukum tegangan Kirchhoff dihasilkan,

$$V_{R1} + E_1 + V_{R2} - E_2 = 0$$

Penggunaan hukum Ohm pada setiap tahanan menghasilkan,

$$30i + 30 + 15i - 120 = 0$$

$$\text{sehingga, } i = \frac{120 - 30}{30 + 15} = 2 \text{ A}$$

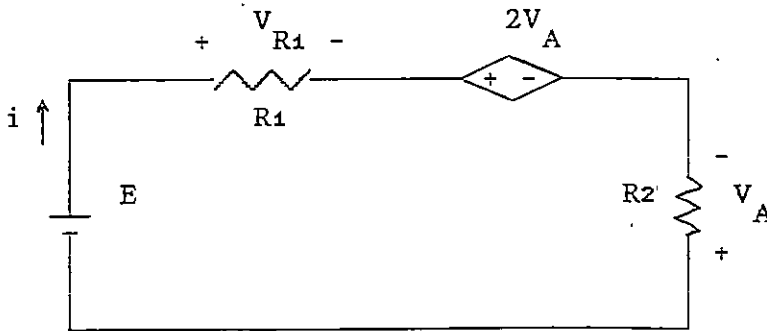
Arus i ternyata positif, berarti bahwa arah arus yang ditetapkan adalah benar. Tegangan pada setiap tahanan adalah,

$$V_{R1} = 30i = 60 \text{ volt}$$

$$V_{R2} = 15i = 30 \text{ volt}$$

Contoh 2.

Dalam contoh 2 ini terdapat sebuah sumber tegangan sebagai sumber tak bebas. Sumber tegangan tak bebas adalah sumber tegangan dimana tegangan sumber tergantung pada tegangan setiap bagian rangkaian (Hayt, 1985:21).



Gambar 4.3. Rangkaian satu loop yang mengandung sumber tegangan tak bebas (Hayt, 1985:46)

Untuk gb 4.3 diketahui $E = 120$ volt, tahanan dalamnya diabaikan, sumber tegangan tak bebas $2V_A$, dan dua tahanan $R_1 = 30$ ohm dan $R_2 = 15$ ohm. Tentukan besar arus dalam rangkaian.

Penyelesaian:

Arah arus diberikan seperti pada gambar, searah dengan putaran jarum jam. Perlu diperhatikan bahwa tanda referensi untuk V_A terbalik dari tanda yang seharusnya ditetapkan, dan hukum Ohm untuk elemen ini haruslah dinyatakan sebagai $V_A = -15i$. Dengan menggunakan hukum tegangan Kirchhoff diperoleh,

$$-E + V_{R1} + 2V_A - V_A = 0$$

dan dengan menggunakan hukum Ohm dihasilkan,

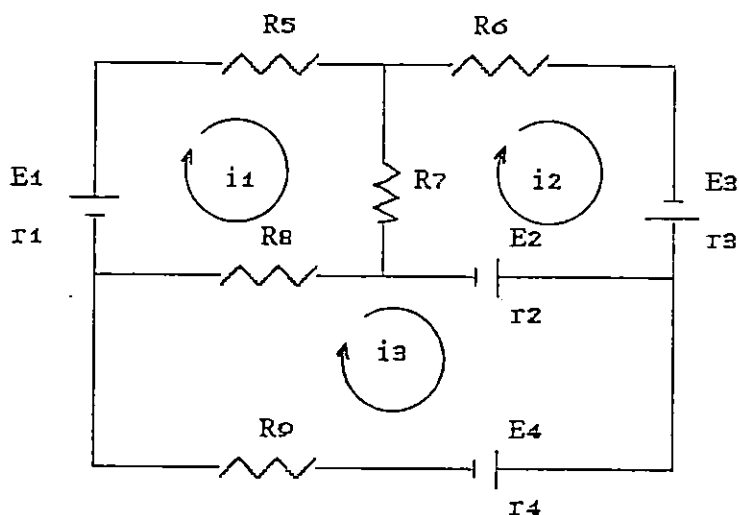
$$-120 + 30i + 2(-15i) - (-15i) = 0$$

maka, $i = 8A$

B. Analisis loop

Pengertian arus loop adalah arus yang dimisalkan mengalir dalam satu loop atau lintasan tertutup. Arah arus loop atau arah loop dapat ditentukan secara bebas. Arus dalam satu loop mempunyai harga yang sama. Loop yang lain mempunyai arus loop yang berlainan pula. Arus loop digunakan sebagai dan diberi nama, misalnya i_1 untuk arus dalam loop 1, i_2 untuk loop 2, dan seterusnya.

Dalam metode analisis loop terdapat penyatuan kedua hukum Kirchhoff, yaitu hukum arus Kirchhoff dan hukum tegangan Kirchhoff. Selanjutnya akan diuraikan penggunaan metode analisis loop dalam rangkaian seperti pada gb 4.4.



Gambar 4.4. Rangkaian yang terdiri dari tiga loop
(Sutrisno, 1983:74)

Ada tiga loop yang terdapat dalam rangkaian gb 4.4. Terlebih dahulu ditetapkan arus loop dan arahnya, misalnya i_1 , i_2 , dan i_3 , searah dengan perputaran jarum jam. Dengan menggunakan hukum tegangan Kirchhoff untuk tiap loop diperoleh satu persamaan, sehingga untuk rangkaian

ini ada tiga persamaan.

Untuk loop 1, (lintasan tertutup melalui $E_1 - R_5 - R_7 - R_8$)

$$\sum E = E_1$$

$$\sum iR = i_1 r_1 + i_1 R_5 + (i_1 - i_2) R_7 + (i_1 - i_3) R_8$$

sehingga diperoleh persamaan,

$$E_1 = i_1 (r_1 + R_5 + R_7 + R_8) - i_2 R_7 - i_3 R_8 \dots\dots\dots (1)$$

Perhatikan bahwa arus yang melalui R_7 adalah $(i_1 - i_2)$, dan arus yang melalui R_8 adalah $(i_1 - i_3)$. Hal ini sesuai dengan hukum arus Kirchhoff.

Untuk loop 2, (lintasan tertutup melalui $R_7 - R_6 - E_3 - E_2$)

$$\sum E = E_3 - E_2$$

$$\sum iR = (i_2 - i_1) R_7 + i_2 R_6 + i_2 r_3 + (i_2 - i_3) r_2$$

sehingga untuk loop 2 berlaku,

$$E_3 - E_2 = -i_1 R_7 + i_2 (r_2 + r_3 + R_6 + R_7) - i_3 r_2 \dots\dots\dots (2)$$

Perlu diperhatikan bahwa untuk loop 2 ini, arus yang melalui R_7 adalah $(i_2 - i_1)$, bandingkan dengan arus yang melalui R_7 untuk loop 1.

Untuk loop 3, (lintasan tertutup melalui $R_8 - E_2 - E_4 - R_9$)

$$\sum E = E_2 - E_4$$

$$\sum iR = (i_3 - i_1) R_8 + (i_3 - i_2) R_2 + i_3 r_4 + i_3 R_9$$

Jadi persamaannya,

$$E_2 - E_4 = -i_1 R_8 - i_2 R_2 + i_3 (r_2 + r_4 + R_8 + R_9) \dots\dots\dots (3)$$

Jika semua ggl, tahanan dan tahanan dalam diketahui maka arus loop i_1 , i_2 , dan i_3 dapat ditentukan. Ada dua cara

yang dapat digunakan untuk menyelesaikan ketiga persamaan di atas, yaitu cara eliminasi dan cara determinan.

1. Penyelesaian persamaan dengan cara eliminasi

Ggl, tahanan, dan tahanan dalam yang sudah diketahui harganya dimasukkan ke dalam masing-masing persamaan di atas dan disederhanakan sehingga diperoleh persamaan dengan variabel i_1 , i_2 , dan i_3 . Misalkan persamaan-persamaan tersebut,

$$a_1 i_1 + b_1 i_2 + c_1 i_3 = d_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$a_2 i_1 + b_2 i_2 + c_2 i_3 = d_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$a_3 i_1 + b_3 i_2 + c_3 i_3 = d_3 \dots\dots\dots (3)$$

Dari ketiga persamaan ini dapat diperoleh harga i_1 , i_2 , dan i_3 . Langkah pertama adalah menggabungkan dua dari tiga persamaan tersebut, misalnya persamaan (1) dan (2).

$$a_1 i_1 + b_1 i_2 + c_1 i_3 = d_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$a_2 i_1 + b_2 i_2 + c_2 i_3 = d_2 \dots\dots\dots (2)$$

Hilangkan (eliminasi) salah satu variabel i , misalnya i_3 , dengan cara menyamakan koefisien i_3 untuk kedua persamaan. Sehingga diperoleh satu persamaan dengan variabel i_1 dan i_2 .

$$a_1 i_1 + b_1 i_2 + c_1 i_3 = d_1 \quad | \quad \times c_2$$

$$a_2 i_1 + b_2 i_2 + c_2 i_3 = d_2 \quad | \quad \times c_1$$

$$a_1 c_2 i_1 + b_1 c_2 i_2 + c_1 c_2 i_3 = c_2 d_1$$

$$a_2 c_1 i_1 + b_2 c_1 i_2 + c_1 c_2 i_3 = c_1 d_2$$

$$(a_1 c_2 - a_2 c_1) i_1 + (b_1 c_2 - b_2 c_1) i_2 = (c_2 d_1 - c_1 d_2) \dots (4)$$

Langkah kedua adalah menggabungkan persamaan (2) dan (3) dengan cara yang sama seperti di atas, sehingga diperoleh satu persamaan dengan variabel i_1 dan i_2 .

$$a_2 i_1 + b_2 i_2 + c_2 i_3 = d_2 \quad | \times c_3$$

$$a_3 i_1 + b_3 i_2 + c_3 i_3 = d_3 \quad | \times c_2$$

$$a_2 c_3 i_1 + b_2 c_3 i_2 + c_2 c_3 i_3 = c_3 d_2$$

$$a_3 c_2 i_1 + b_3 c_2 i_2 + c_2 c_3 i_3 = c_2 d_3$$

$$(a_2 c_3 - a_3 c_2) i_1 + (b_2 c_3 - b_3 c_2) i_2 = (c_3 d_2 - c_2 d_3) \dots (5)$$

Langkah selanjutnya adalah menggabungkan persamaan (4) dan (5). Salah satu variabel dihilangkan, misalnya i_2 , dengan cara yang sama seperti di atas sehingga diperoleh i_1 . Dengan memasukkan harga i_1 ke persamaan (4) atau (5) diperoleh i_2 . Harga i_3 diperoleh setelah memasukkan harga i_1 dan i_2 ke persamaan (1).

2. Penyelesaian persamaan dengan cara determinan

Penyelesaian persamaan dengan cara eliminasi variabel sering membutuhkan prosedur yang panjang dan mungkin tidak memberikan hasil jika tidak dikerjakan dengan sistematis, untuk persamaan simultan yang lebih

banyak jumlahnya. Metode yang lebih praktis untuk menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut adalah penggunaan determinan. Tinjau kembali persamaan (1), (2) dan (3) seperti di atas.

$$a_1 i_1 + b_1 i_2 + c_1 i_3 = d_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$a_2 i_1 + b_2 i_2 + c_2 i_3 = d_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$a_3 i_1 + b_3 i_2 + c_3 i_3 = d_3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dengan menggunakan notasi determinan, variabel i_1 , i_2 , dan i_3 dalam ketiga persamaan tersebut dapat

ditulis sebagai berikut:

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}} \quad i_2 = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}} \quad i_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}$$

$$\text{atau, } i_1 = \frac{D_{i1}}{D}, \quad i_2 = \frac{D_{i2}}{D}, \quad i_3 = \frac{D_{i3}}{D}$$

D adalah determinan yang dibentuk dari susunan koefisien i_1 , i_2 , dan i_3 dari ketiga sistem persamaan. D_{i1} adalah determinan D dimana kolom koefisien i_1 diganti dengan unsur ruas kanan (unsur yang diketahui), D_{i2} adalah determinan D dimana kolom koefisien i_2 diganti dengan unsur ruas kanan, dan D_{i3} adalah determinan D dimana kolom koefisien i_3 diganti dengan unsur ruas kanan.

Selanjutnya diuraikan bagaimana cara untuk menyelesaikan determinan tersebut. Misalkan determinan,

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

determinan ini disebut determinan orde tiga, dan dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - b_1 \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix}$$

Determinan orde dua yang muncul diselesaikan sebagai berikut,

$$\begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} = b_2 c_3 - b_3 c_2$$

$$\begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_2 c_3 - a_3 c_2$$

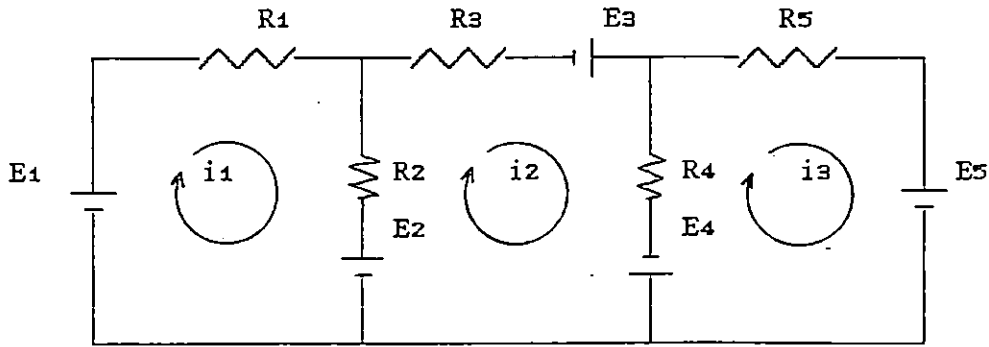
$$\begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix} = a_2 b_3 - a_3 b_2$$

sehingga penyelesaian dari determinan D adalah,

$$D = a_1 (b_2 c_3 - b_3 c_2) - b_1 (a_2 c_3 - a_3 c_2) + c_1 (a_2 b_3 - a_3 b_2)$$

Perlu diperhatikan bahwa tanda untuk suku kedua (b_1) adalah negatif, demikian seterusnya jika ada suku keempat (determinan orde empat).

Contoh 3



Gambar 4.5. Rangkaian untuk contoh 3
(Theraja, 1980:24)

Dalam gb 4.5 diketahui lima sumber ggl masing-masing $E_1 = 20$ volt, $E_2 = 5$ volt, $E_3 = 5$ volt, $E_4 = 5$ volt, $E_5 = 15$ volt, tahanan dalam sumber ggl diabaikan, dan lima tahanan masing-masing $R_1 = 6$ ohm, $R_2 = 3$ ohm, $R_3 = 4$ ohm, $R_4 = 2$ ohm, $R_5 = 6$ ohm. Tentukan arus yang melalui masing-masing tahanan.

Penyelesaian:

Misalkan arus loop i_1 , i_2 , dan i_3 dengan arah sesuai dengan perputaran jarum jam. Dengan menggunakan hukum tegangan Kirchhoff diperoleh tiga persamaan.

Untuk loop 1

$$\sum E = E_1 - E_2$$

$$\sum iR = i_1 R_1 + (i_1 - i_2) R_2$$

sehingga persamaannya,

$$E_1 - E_2 = i_1 (R_1 + R_2) - i_2 R_2$$

$$20 - 5 = i_1 (6+3) - i_2 \cdot 3$$

$$15 = 9i_1 - 3i_2$$

$$5 = 3i_1 - i_2 \dots\dots\dots (1)$$

Untuk loop 2

$$\sum E = E_2 + E_3 + E_4$$

$$\sum iR = (i_2 - i_1)R_2 + i_2R_3 + (i_2 - i_3)R_4$$

dan persamaannya,

$$E_2 + E_3 + E_4 = -i_1R_2 + i_2(R_2 + R_3 + R_4) - i_3R_4$$

$$5 + 5 + 5 = -3i_1 + i_2(3 + 4 + 2) - 2i_3$$

$$15 = -3i_1 + 9i_2 - 2i_3 \dots\dots\dots (2)$$

Untuk loop 3

$$\sum E = -E_4 - E_5$$

$$\sum iR = (i_3 - i_2)R_4 + i_3R_5$$

dan persamaannya,

$$-E_4 - E_5 = -i_2R_4 + i_3(R_4 + R_5)$$

$$-5 - 15 = 2i_2 + i_3(2 + 6)$$

$$-20 = -2i_2 + 8i_3$$

$$-10 = -i_2 + 4i_3 \dots\dots\dots (3)$$

Ada dua cara untuk menghitung harga i_1 , i_2 , dan i_3 , dari ketiga persamaan yang sudah diperoleh di atas.

1. Dengan cara eliminasi

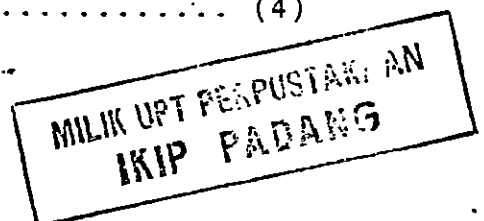
Sebagai langkah awal, eliminasi i_1 dari persamaan

(1) dan (2).

$$(1) \longrightarrow 5 = 3i_1 - i_2$$

$$(2) \longrightarrow 15 = -3i_1 + 9i_2 - 2i_3$$

$$\begin{array}{r} \hline 20 = 8i_2 - 2i_3 \dots\dots\dots (4) \end{array}$$



Selanjutnya eliminasi i_2 dari persamaan (3) dan (4).

$$(3) \longrightarrow -10 = -i_2 + 4i_3 \quad | \times 1$$

$$(4) \longrightarrow 20 = 8i_2 - 2i_3 \quad | \times 2$$

$$-10 = -i_2 + 4i_3$$

$$40 = 16i_2 - 4i_3$$

$$\hline 30 = 15i_2$$

$$i_2 = 2A$$

Dengan memasukkan harga i_2 ke persamaan (2) diperoleh,

$$-10 = -i_2 + 4i_3$$

$$-10 = -2 + 4i_3$$

$$i_3 = -2A$$

(tanda negatif menyatakan arah i_3 terbalik)

Harga i_2 dimasukkan ke persamaan (1) sehingga,

$$5 = 3i_1 - i_2$$

$$5 = 3i_1 - 2$$

$$i_1 = 7/3 A$$

Arus yang melalui tahanan R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , dan R_5 masing-masing sebesar $7/3 A$, $1/3 A$, $2A$, $4A$, dan $2A$.

Perhatikan bahwa arus yang melalui R_2 adalah $i_1 - i_2$, dan arus yang melalui R_4 adalah $i_2 - i_3$.

2. Dengan cara determinan

Dengan menggunakan notasi determinan, variabel i_1 , i_2 , dan i_3 dalam persamaan (1), (2), dan (3) seperti di atas dapat ditulis sebagai berikut,

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 5 & -1 & 0 \\ 15 & 9 & -2 \\ -10 & -1 & 4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -3 & 9 & -2 \\ 0 & -1 & 4 \end{vmatrix}} = \frac{5(36-2) + 1(60-20) + 0(-15+90)}{3(36-2) + 1(-12-0) + 0(3-0)}$$

$$i_1 = \frac{210}{90} = \frac{7}{3} \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 5 & 0 \\ -3 & 15 & -2 \\ 0 & -10 & 4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -3 & 9 & -2 \\ 0 & -1 & 4 \end{vmatrix}} = \frac{3(60-20) - 5(-12-0) + 0(30-0)}{3(36-2) + 1(-12-0) + 0(3-0)}$$

$$i_2 = \frac{180}{90} = 2 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -1 & 5 \\ -3 & 9 & 15 \\ 0 & -1 & -10 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -3 & 9 & -2 \\ 0 & -1 & 4 \end{vmatrix}} = \frac{3(-90+15) + 1(30-0) + 5(3-0)}{3(36-2) + 1(-12-0) + 0(3-0)}$$

$$i_3 = \frac{-180}{90} = -2 \text{ A}$$

Dari kedua cara ini dapat dilihat bahwa i_1 , i_2 , dan i_3 yang diperoleh mempunyai harga yang sama.

C. Analisis Simpul

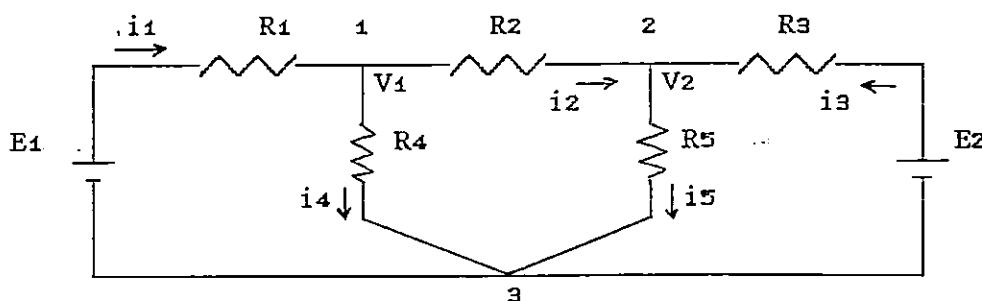
Analisis simpul (nodal analysis) adalah suatu metode analisis rangkaian dengan menggunakan hukum arus Kirchhoff. Seperti halnya metode analisis loop, analisis simpul juga membutuhkan sejumlah persamaan minimum. Setiap sambungan yang terdapat dalam rangkaian, tiga atau lebih cabang rangkaian, disebut sebuah simpul.

Langkah-langkah yang diperlukan dalam menggunakan metode analisis simpul ini adalah sebagai berikut:

1. Buatlah sebuah diagram rangkaian yang bersih dan sederhana.
2. Anggap bahwa rangkaian mempunyai n simpul, pilih satu diantara simpul tersebut sebagai simpul referensi.
3. Tuliskan tegangan simpul, misalnya V_1 , V_2 , ... V_{n-1} pada simpul yang bersangkutan dengan mengingat bahwa setiap tegangan simpul diukur terhadap simpul referensi yang dipilih.
4. Jika rangkaian hanya mengandung sumber arus, gunakan hukum arus Kirchhoff pada setiap simpul non referensi.
5. Jika rangkaian tersebut mengandung sumber tegangan, ubahlah buat sementara rangkaian yang diberikan dengan mengganti setiap sumber tegangan itu dengan sebuah rangkaian pendek, yang berarti mereduksi banyaknya simpul dengan satu simpul untuk setiap sumber tegangan

yang ada. Dengan menggunakan tegangan simpul terhadap referensi, pakailah hukum arus Kirchhoff pada setiap simpul dalam rangkaian. Jadi jumlah persamaan yang diperoleh adalah sebanyak $n - 1$.

Selanjutnya kita gunakan metode analisis simpul untuk menganalisis rangkaian seperti pada gb 4.6.



Gambar 4.6. Sebuah rangkaian bersimpul tiga (Theraja, 1980:36)

Rangkaian seperti pada gb 4.6 mempunyai tiga simpul yaitu simpul 1, 2, dan 3. Satu diantara ketiga simpul itu ditetapkan sebagai simpul referensi, yaitu simpul 3. Simpul yang lain juga dapat dipilih sebagai referensi, tetapi akan didapat penyederhanaan dari persamaan-persamaan yang dihasilkan jika simpul yang dihubungkan dengan cabang yang paling banyak dijadikan sebagai simpul referensi. Tegangan pada simpul 1 relatif terhadap simpul referensi 3 dinyatakan sebagai V_1 , demikian pula tegangan pada simpul 2 dinyatakan sebagai V_2 relatif terhadap simpul referensi.

Hukum arus Kirchhoff digunakan pada simpul 1 dan 2. Untuk simpul 1 diperoleh persamaan arus,

$$i_1 = i_2 + i_4 \dots \dots \dots (1)$$



Pada loop yang melalui $E_1 - R_1 - R_4$ didapat persamaan dari hukum tegangan Kirchhoff.

$$E_1 = i_1 R_1 + V_1$$

$$\text{atau } i_1 = \frac{E_1 - V_1}{R_1} \dots \dots \dots (2)$$

Dari hukum Ohm diperoleh,

$$i_2 = \frac{V_1 - V_2}{R_2} \dots \dots \dots (3)$$

$$i_2 = \frac{V_1}{R_4} \dots \dots \dots (4)$$

$(V_1 - V_2)$ adalah tegangan simpul 1 terhadap simpul 2 jika $V_1 > V_2$.

Dengan cara mensubstitusi persamaan (2), (3), dan (4) ke persamaan (1) diperoleh persamaan,

$$\frac{E_1 - V_1}{R_1} = \frac{V_1 - V_2}{R_2} + \frac{V_1}{R_4}$$

dan disederhanakan menjadi,

$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) - \frac{V_2}{R_2} - \frac{E_1}{R_1} = 0 \quad (4-1)$$

Persamaan arus untuk simpul 2 adalah,

$$i_2 + i_3 = i_5 \dots \dots \dots (5)$$

Pada loop yang melalui $E_2 - R_3 - R_5$ didapat persamaan,

$$E_2 = i_3 R_3 + V_2$$

$$\text{atau } i_3 = \frac{E_2 - V_2}{R_3} \dots\dots\dots (6)$$

Menurut hukum Ohm,

$$i_5 = \frac{V_2}{R_5} \dots\dots\dots (7)$$

Substitusi persamaan (3), (6), dan (7) ke persamaan (5).

$$\frac{V_1 - V_2}{R_2} + \frac{E_2 - V_2}{R_3} = \frac{V_2}{R_5}$$

disederhanakan menjadi,

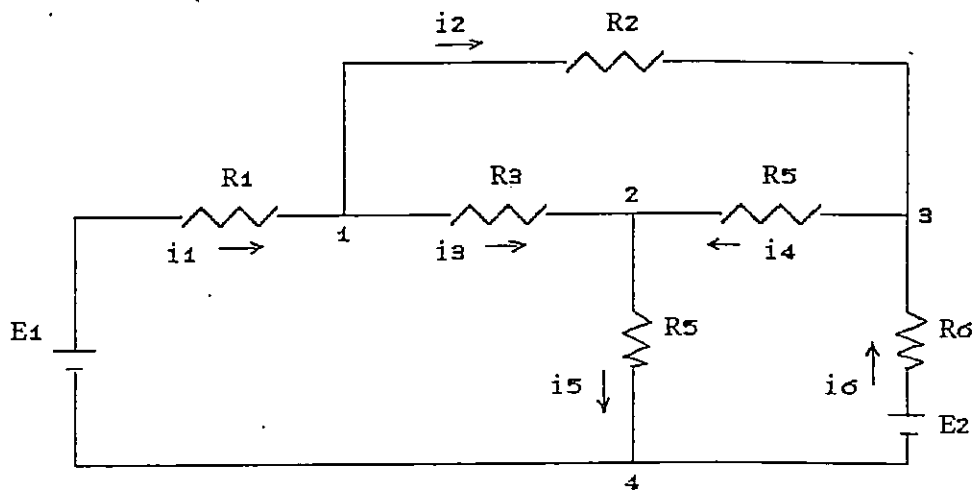
$$V_2 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) - \frac{V_1}{R_2} - \frac{E_2}{R_3} = 0 \quad (4-2)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (4-1) dan (4-2) dapat diperoleh tegangan V_1 dan V_2 , selanjutnya dapat pula dihitung arus yang melalui masing-masing cabang rangkaian.

Persamaan (4-1) dan (4-2) kelihatannya rumit, tetapi sebenarnya dapat diperoleh lebih mudah dengan cara sebagai berikut:

1. Kalikan tegangan V_1 dengan jumlah kebalikan dari tahanan-tahanan yang berhubungan langsung dengan simpul 1 yaitu $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)$.
2. Kurangi dengan hasil bagi tegangan V_2 dengan tahanan yang menghubungkannya ke simpul 1 yaitu R_2 .
3. Kurangi dengan hasil bagi tegangan E_1 dengan tahanan yang menghubungkannya ke simpul 1 yaitu R_1 .
4. Hasil dari langkah 1, 2, dan 3 di atas adalah nol.

Contoh 4



Gambar 4.7. Rangkaian untuk contoh 4
(Theraja, 1980:62)

Dalam gb 4.7 diketahui dua sumber ggl masing-masing $E_1 = 40V$, $E_2 = 32V$, tahanan dalamnya diabaikan, dan enam tahanan masing-masing $R_1 = 3 \text{ ohm}$, $R_2 = 4 \text{ ohm}$, $R_3 = 4 \text{ ohm}$, $R_4 = 8 \text{ ohm}$, $R_5 = 2 \text{ ohm}$, $R_6 = 3 \text{ ohm}$. Hitunglah arus yang melalui masing-masing tahanan.

Penyelesaian:

Rangkaian seperti pada gambar 4.9 mempunyai empat simpul yaitu simpul 1, 2, 3, dan 4. Simpul 4 dijadikan sebagai simpul referensi. Tegangan pada simpul 1, 2, dan 3 adalah V_1 , V_2 , dan V_3 , relatif terhadap simpul 4. Dengan memperhatikan cara untuk mendapatkan persamaan untuk masing-masing simpul seperti yang sudah diuraikan di atas, maka dengan mudah diperoleh persamaan-persamaan yang diperlukan.

Untuk simpul 1,

$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{V_2}{R_3} - \frac{V_3}{R_2} - \frac{E_1}{R_1} = 0$$

$$V_1 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) - \frac{V_2}{4} - \frac{V_3}{4} - \frac{40}{3} = 0$$

$$10V_1 - 3V_2 - 3V_3 = 160 \dots\dots\dots(1)$$

Untuk simpul 2,

$$V_2 \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) - \frac{V_1}{R_3} - \frac{V_3}{R_4} = 0$$

$$V_2 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{2} \right) - \frac{V_1}{4} - \frac{V_3}{8} = 0$$

$$-2V_1 + 7V_2 - V_3 = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Untuk simpul 3.

$$V_3 \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} \right) - \frac{V_1}{R_2} - \frac{V_2}{R_4} - \frac{E_2}{R_6} = 0$$

$$V_3 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{3} \right) - \frac{V_1}{4} - \frac{V_2}{8} - \frac{32}{3} = 0$$

$$-6V_1 - 3V_2 + 17V_3 = 256 \dots\dots\dots(3)$$

Dengan menggunakan metode determinan, harga V_1 , V_2 , dan V_3 dari ketiga persamaan di atas diperoleh sebagai berikut:

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 160 & -3 & -3 \\ 0 & 7 & -1 \\ 256 & -3 & 17 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10 & -3 & -3 \\ -2 & 7 & -1 \\ -6 & -3 & 17 \end{vmatrix}} = \frac{160(119-3) + 3(0+256) - 3(0-1792)}{10(119-3) + 3(-34-6) - 3(6+42)}$$

$$= \frac{24704}{896} = 27,57 \text{ volt}$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 160 & -3 \\ -2 & 0 & -1 \\ -6 & 256 & 17 \end{vmatrix}}{896} = \frac{10(0+256) - 160(-34-6) - 3(-512-0)}{896}$$

$$= \frac{10496}{896} = 11,7 \text{ volt}$$

$$V_3 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & -3 & 160 \\ -2 & 7 & 0 \\ -6 & -3 & 256 \end{vmatrix}}{896} = \frac{10(1792-0) + 3(-512-0) + 160(6+42)}{896}$$

$$= \frac{24064}{896} = 26,86 \text{ volt}$$

Setelah memperoleh harga V_1 , V_2 , dan V_3 , selanjutnya dihitung besar arus yang melalui masing-masing tahanan dengan menggunakan hukum Ohm. Terlebih dahulu tentukan arah arusnya.

$$i_2 = \frac{V_1 - V_3}{R_2} = \frac{27,57 - 26,86}{4} = 0,1775 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{V_1 - V_2}{R_3} = \frac{27,57 - 11,7}{4} = 3,9675A$$

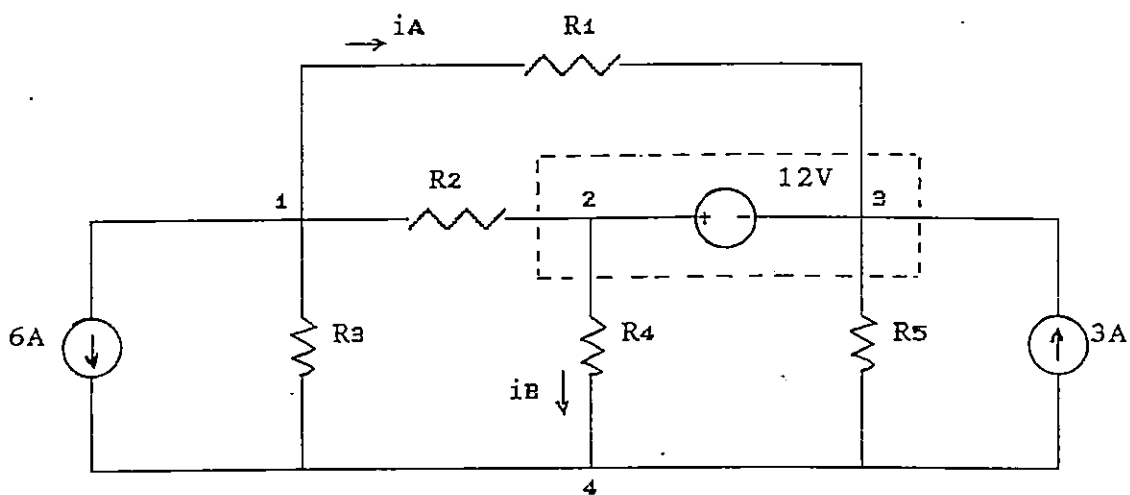
$$i_1 = i_2 + i_3 = 0,1775 + 3,9675 = 4,145A$$

$$i_4 = \frac{V_3 - V_2}{R_4} = \frac{26,86 - 11,7}{8} = 1,895A$$

$$i_5 = i_3 + i_4 = 3,9675 + 1,895 = 5,8625A$$

$$i_6 = i_4 - i_2 = 1,895 - 0,1775 = 1,7175A$$

Contoh 5



Gambar 4.8. Rangkaian bersimpul 4 untuk contoh 5
(Toro, 1984:82)

Dalam gb 4.8 diketahui lima buah tahanan masing-masing $R_1 = 2 \text{ ohm}$, $R_2 = 2 \text{ ohm}$, $R_3 = 5 \text{ ohm}$, $R_4 = 10 \text{ ohm}$, $R_5 = 5 \text{ ohm}$, dua sumber arus masing-masing 6A dan 3A, dan sebuah sumber tegangan 12V. Tentukan arus i_A dan i_B .

Penyelesaian:

Rangkaian seperti pada gb 4.10 mempunyai 4 simpul, sebagai simpul referensi adalah simpul 4. Tegangan pada simpul 1, 2, dan 3 adalah V_1 , V_2 , dan V_3 , relatif terha-

dap simpul 4. Sebelum hukum arus Kirchhoff digunakan pada masing-masing simpul, terlebih dahulu anggaplah bahwa sumber tegangan 12 volt sebagai sebuah rangkaian pendek (hubungan singkat) yang menghubungkan simpul 2 dan 3. Kedua simpul ini disebut simpul super, yang digambarkan dengan garis putus-putus dalam gb 4.10. Hal ini dilakukan karena besar arus di dalam cabang yang mengandung sumber tegangan tidak diketahui.

Ada lima cabang yang berhubungan dengan simpul super, jumlahkan kelima arus yang meninggalkan simpul super tersebut, sehingga diperoleh persamaan,

$$\frac{V_2 - V_1}{R_2} + \frac{V_2}{R_4} + \frac{V_3}{R_5} - 3 + \frac{V_3 - V_1}{R_1} = 0$$

$$\frac{V_2 - V_1}{2} + \frac{V_2}{10} + \frac{V_3}{5} - 3 + \frac{V_3 - V_1}{5} = 0$$

$$-10V_1 + 6V_2 + 7V_3 = 30 \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan hukum arus Kirchhoff pada simpul 1 adalah,

$$6 + \frac{V_1}{R_3} + \frac{V_1 - V_2}{R_2} + \frac{V_1 - V_3}{R_1} = 0$$

$$6 + \frac{V_1}{5} + \frac{V_1 - V_2}{2} + \frac{V_1 - V_3}{2} = 0$$

$$12V_1 - 5V_2 - 5V_3 = -60 \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan ketiga diperoleh dari kenyataan bahwa sebenarnya terdapat sebuah sumber tegangan 12 V diantara simpul 2 dan 3, dan bukan rangkaian pendek, maka

$$V_2 - V_3 = 12 \dots\dots\dots(3)$$

Substitusi persamaan (3) ke (1) menghasilkan,

$$-10V_1 + 13V_2 = 114 \dots\dots\dots(4)$$

Substitusi persamaan (3) ke (2) menghasilkan,

$$12V_1 + 10V_2 = -120 \dots\dots\dots(5)$$

Dari persamaan (4) dan (5) diperoleh V_1 dan V_2

$$-10V_1 + 13V_2 = 114 \quad | \quad \times 6$$

$$12V_1 + 10V_2 = -120 \quad | \quad \times 5$$

$$-60V_1 + 78V_2 = 684$$

$$\frac{60V_1 - 50V_2 = -600}{+}$$

$$28V_2 = 84$$

$$V_2 = 3$$

Dari persamaan (5) diperoleh,

$$12V_1 - 10V_2 = -120$$

$$12V_1 - 10 \times 3 = -120$$

$$V_1 = -7,5$$

Dari persamaan (3) diperoleh,

$$V_2 - V_3 = 12$$

$$3 - V_3 = 12$$

$$V_3 = -9$$

Dengan menggunakan hukum Ohm didapat,

$$i_A = \frac{V_1 - V_3}{R_1} = \frac{-7,5 + 9}{2} = 0,75A$$

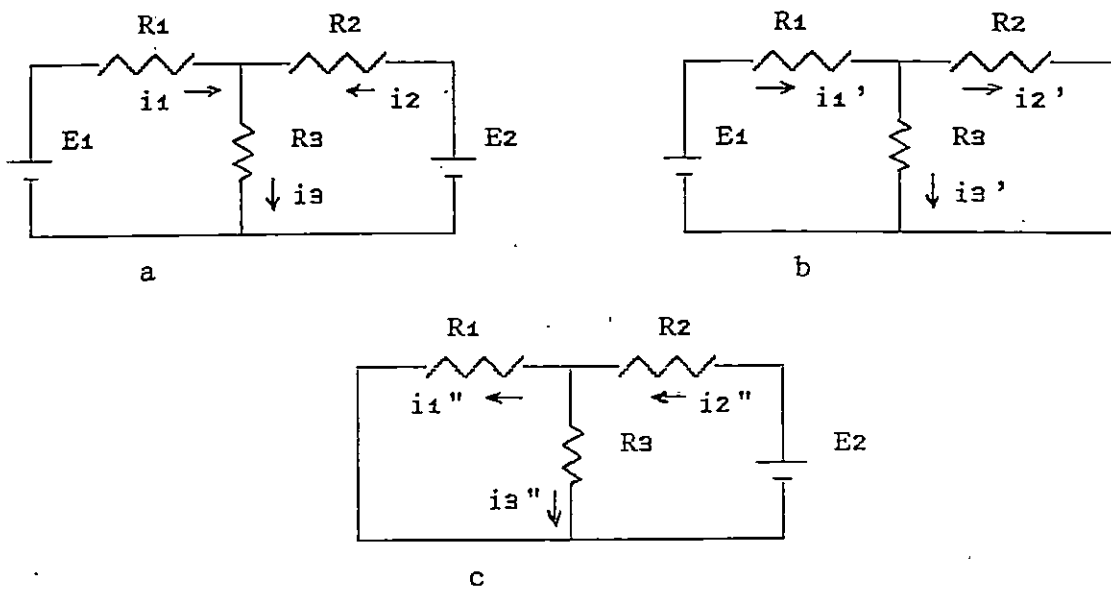
$$i_B = \frac{V_2}{R_4} = \frac{3}{10} = 0,3A$$

D. Metode Superposisi

Metoda Superposisi dapat digunakan untuk menganalisis suatu rangkaian linier yang mempunyai lebih dari satu sumber tegangan atau sumber arus. Tegangan atau arus yang melalui setiap tahanan atau sumber dapat dihitung dengan melakukan penjumlahan aljabar daripada semua tegangan atau arus yang dihasilkan oleh setiap sumber bebas. Semua sumber tegangan bebas yang lain diganti oleh rangkaian pendek dan semua sumber arus bebas yang lain diganti oleh rangkaian terbuka (Hayt, 1985:100).

Jika ada n buah sumber bebas, maka kita lakukan n kali perhitungan. Setiap sumber bebas adalah aktif hanya dalam satu perhitungan. Sebuah sumber tegangan yang tidak aktif adalah identik dengan sebuah rangkaian pendek, dan sebuah sumber arus bebas yang tidak aktif adalah sebuah rangkaian terbuka. Sumber-sumber tak bebas pada umumnya adalah aktif dalam setiap perhitungan. Berikut ini akan dibahas contoh pemakaian metode superposisi untuk menganalisis rangkaian.

Contoh 6.



Gambar 4.9. Penyelesaian sebuah rangkaian dengan metoda superposisi.

- Rangkaian sesungguhnya
- Arus dari E1, jika E2 dihubungkan singkat
- Arus dari E2, jika E1 dihubungkan singkat (Theraja, 1980:37)

Dalam gb 4.9 diketahui dua sumber tegangan masing-masing $E_1 = 10V$, $E_2 = 15V$, dan tiga buah tahanan masing-masing $R_1 = 3K\ \Omega$, $R_2 = 6K\ \Omega$, dan $R_3 = 3K\ \Omega$. Tentukan arus yang melalui masing-masing tahanan.

Penyelesaian:

Rangkaian seperti pada gb 4.9.b digunakan untuk menghitung arus yang dihasilkan oleh sumber E_1 sebagai sumber aktif, setelah sumber E_2 dihubungkan singkat. Arus dalam rangkaian ini adalah,

$$i_1' = \frac{E_1}{R_1 + (R_2 // R_3)} = \frac{10}{3000 + 2000} = 2\ \text{mA}$$

Dengan menggunakan prinsip pembagian arus, didapat

$$i_2' = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times i_1' = \frac{3000}{6000 + 3000} \times 2 = 2/3 \text{ mA}$$

$$i_3' = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times i_1' = \frac{6000}{6000 + 3000} \times 2 = 4/3 \text{ mA}$$

Selanjutnya ditentukan arus yang dihasilkan oleh sumber E2 sebagai sumber aktif, setelah sumber E1 dihubungkan singkat seperti pada gb 4.9.c.

$$i_2'' = \frac{E_2}{R_2 + (R_1 // R_3)} = \frac{15}{6000 + 1500} = 2 \text{ mA}$$

$$i_1'' = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times i_2'' = \frac{3000}{3000 + 3000} \times 2 = 1 \text{ mA}$$

$$i_3'' = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \times i_2'' = \frac{3000}{3000 + 3000} \times 2 = 1 \text{ mA}$$

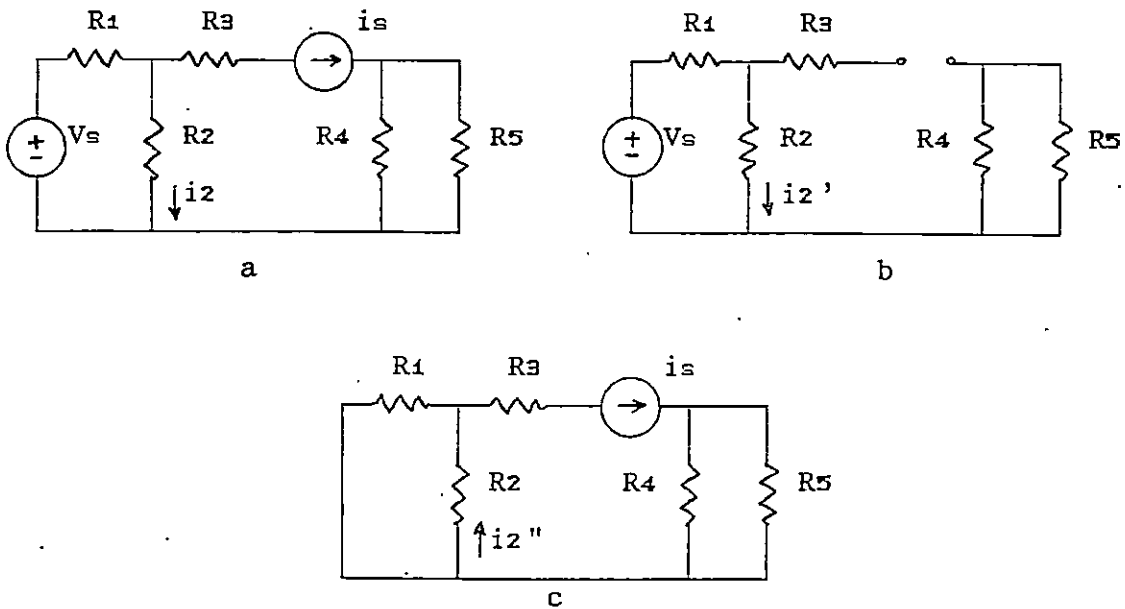
Arus yang melalui masing-masing tahanan dalam rangkaian seperti pada gb 4.9.a dapat ditentukan dengan penjumlahan aljabar dari arus yang sudah diperoleh dalam rangkaian gb 4.11.b dan gb 4.9.c.

$$i_1 = i_1' - i_1'' = 2 - 1 = 1 \text{ mA}$$

$$i_2 = i_2'' - i_2' = 2 - 2/3 = 4/3 \text{ mA}$$

$$i_3 = i_3' + i_3'' = 4/3 + 1 = 7/3 \text{ mA}$$

Contoh 7.



Gambar 4.10. Penyelesaian sebuah rangkaian dengan metoda superposisi.

- Rangkaian sesungguhnya
 - Arus i_2' dari V_s , bila i_s terbuka
 - Arus i_2'' dari i_s , bila V_s dihubung singkat
- (Hayt, 1985:132)

Dalam gb 4.10 diketahui dua sumber tegangan masing-masing $V_s = 24V$, sebuah sumber arus $i_s = 2 \text{ mA}$, dan lima buah tahanan masing-masing $R_1 = 3,3K \text{ Ohm}$, $R_2 = 4,7K \text{ Ohm}$, $R_3 = 6,8K \text{ Ohm}$, $R_4 = 4,7K \text{ Ohm}$, dan $R_5 = 3,3K \text{ Ohm}$. Hitunglah besar arus yang melalui tahanan R_2 .

Penyelesaian:

Arus yang melalui tahanan R_2 berasal dari sumber V_s , bila sumber arus i_s terbuka seperti pada gb 4.10.b adalah,

$$i_2' = \frac{V_s}{R_1 + R_2} = \frac{24}{3300 + 4700} = 3 \text{ mA}$$

Dengan menggunakan prinsip pembagian arus pada rangkaian gb 4.10.c, diperoleh arus i_2'' yang berasal dari sumber arus i_s bila sumber V_s dihubung singkat.

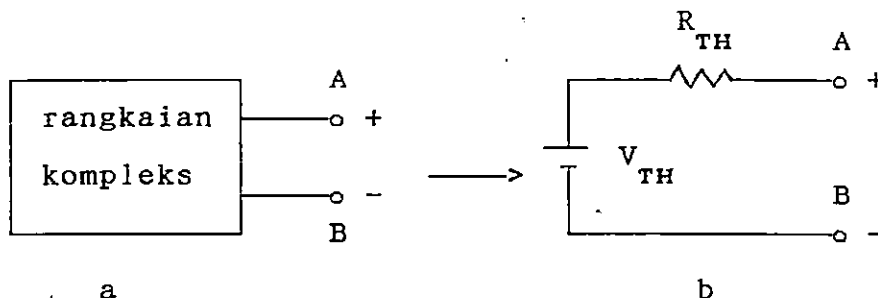
$$i_2'' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times i_s = \frac{3300}{3300 + 4700} \times 2 \text{ mA} = 0.825 \text{ mA}$$

Jadi arus yang melalui tahanan R_2 pada rangkaian gb 4.10.a adalah,

$$i_2 = i_2' - i_2'' = 3 - 0,825 = 2.175 \text{ mA}$$

E. Teorema Thevenin

Teori ini pertama kali ditemukan pada tahun 1883 oleh seorang insinyur Perancis yang bernama ML Thevenin (Hayt, 1985:103). Teorema Thevenin menyatakan bahwa adalah mungkin untuk mengganti sebuah komponen (kecuali tahanan beban) dengan sebuah rangkaian ekuivalen yang hanya mengandung sebuah sumber tegangan Thevenin V_{TH} yang dihubungkan seri dengan sebuah tahanan Thevenin R_{TH} (Leach, 1984:95). Teorema Thevenin mereduksi sebuah rangkaian kompleks menjadi sebuah rangkaian sederhana yang mempunyai sebuah sumber tegangan bebas dan sebuah tahanan ekuivalen.

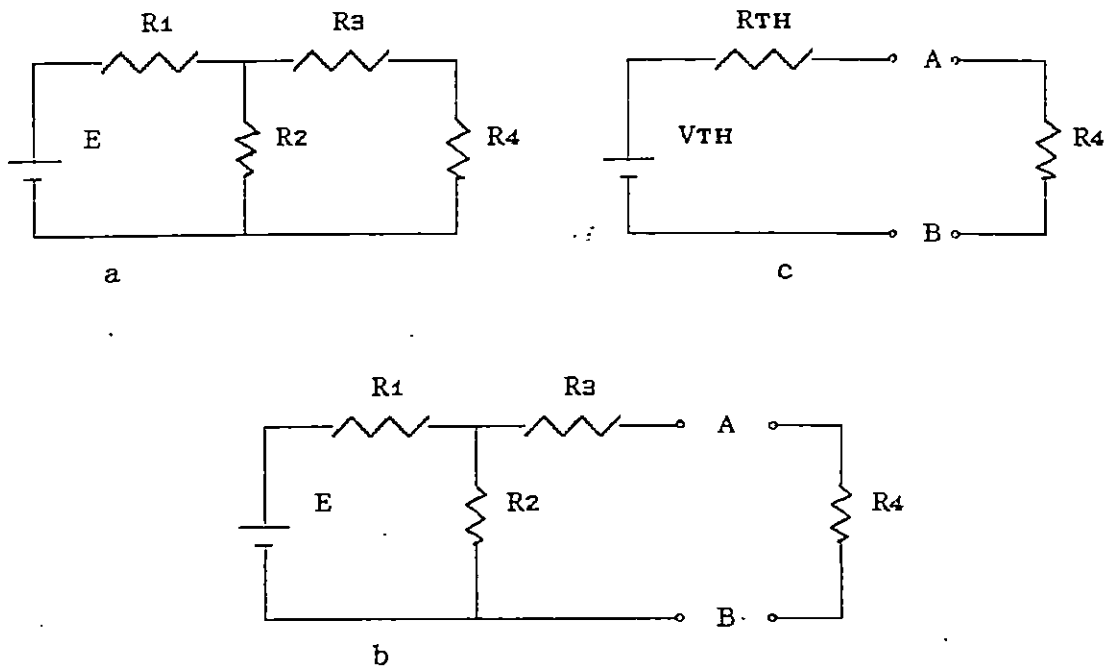


Gambar 4.11. Rangkaian untuk teorema Thevenin
 a. Blok diagram rangkaian kompleks
 b. Rangkaian ekuivalen Thevenin
 (Leach, 1984:95)

Rangkaian kompleks dalam gb 4.11.a dapat direduksi menjadi sebuah rangkaian seperti pada gb 4.11.b. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menentukan rangkaian ekivalen Thevenin adalah:

1. Gambar rangkaian Thevenin, seperti pada gb 4.11.b.
2. V_{TH} adalah tegangan antara terminal A dan B dalam gb 4.11.a
3. R_{TH} adalah tahanan ekivalen antara terminal a dan b dalam gb 4.11.a setelah semua sumber tegangan dihubung singkat dan semua sumber arus diganti dengan rangkaian terbuka.

Contoh 8.



Gambar 4.12 Rangkaian untuk contoh 8

- a. Rangkaian sesungguhnya
 - b. Tahanan R dipisahkan dari rangkaian
 - c. Rangkaian ekivalen Thevenin
- (Toro, 1984:73)

Pada rangkaian gb 4.12 diketahui sebuah sumber tegangan $E = 24 \text{ V}$, tahanan $R_1 = R_2 = 10 \text{ K Ohm}$, $R_3 = 5 \text{ K Ohm}$ dan $R_4 = 2 \text{ K Ohm}$. Hitunglah besar arus yang melalui tahanan R_4 dengan menggunakan teorema Thevenin.

Penyelesaian:

Terlebih dahulu tahanan R_4 dipisahkan dari rangkaian seperti pada gb 4.12.b, karena yang akan ditentukan adalah arus yang melalui R_4 . Selanjutnya ditentukan rangkaian ekuivalen Thevenin dari rangkaian gb 4.12.b. Gambar rangkaian ekuivalen Thevenin ini diperlihatkan dalam gb 4.12.c. Tegangan Thevenin diperoleh dari rangkaian 4.12.b dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan. Perlu diingat bahwa tidak ada arus yang melalui R_3 , juga tidak ada tegangan pada R_3 , jadi $V_{AB} = V_{R_2}$.

$$V_{TH} = V_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E = \frac{10}{10 + 10} \times 24 = 12 \text{ V}$$

Tahanan R_{TH} didapat dari rangkaian gb 4.15.b setelah sumber tegangan & dihubung singkat.

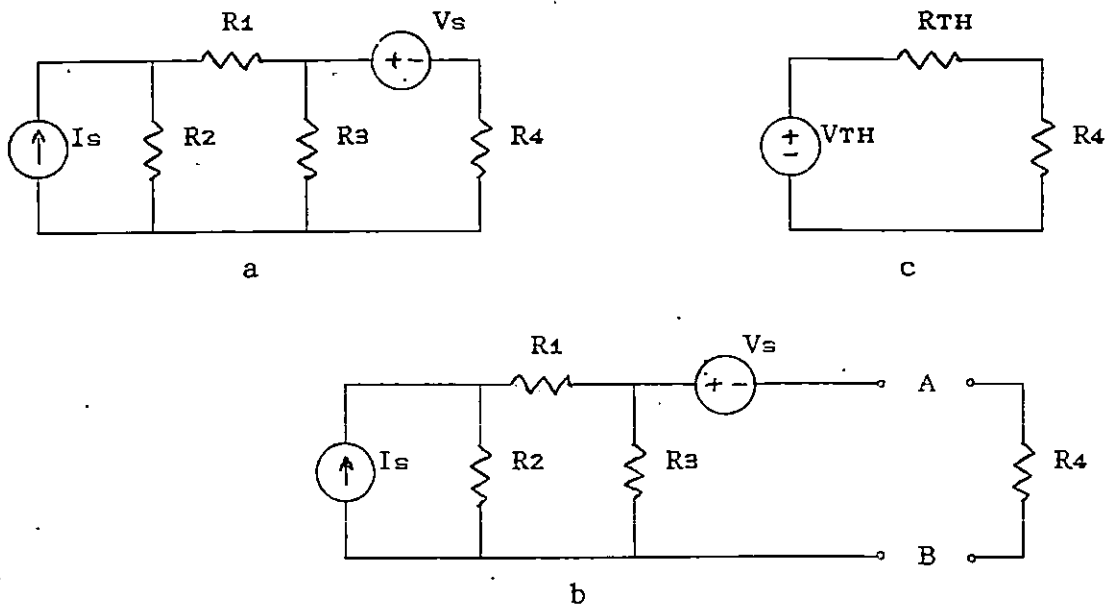
$$R_{TH} = (R_1 // R_2) + R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{10 \times 10}{10 + 10} + 5$$

$$= 10 \text{ K Ohm}$$

Arus yang melalui tahanan R_4 dapat ditentukan dari rangkaian gb 4.12.c, setelah menghubungkan kembali R_4 ke terminal A dan B.

$$I_{R_4} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_4} = \frac{12 \text{ V}}{(10 + 2) \text{ K Ohm}} = 1 \text{ mA}$$

Contoh 9.



Gambar 4.13 Rangkaian untuk contoh 9

- a. Rangkaian sesungguhnya
- b. Tahanan R dikeluarkan dari rangkaian
- c. Rangkaian ekivalen Thevenin
(Hayi, 1985:112)

Dalam rangkaian gb 4.13 diketahui sumber tegangan $V_s = 120$ volt, sumber arus $I_s = 0,8$ A, tahanan $R_1 = 50$ Ohm, $R_2 = 250$ Ohm, $R_3 = 100$ Ohm, dan $R_4 = 25$ Ohm. Dengan menggunakan teorema Thevenin, hitunglah arus yang melalui tahanan R_4 .

Penyelesaian:

Rangkaian ekivalen Thevenin dari rangkaian gb 4.13.b diperlihatkan dalam gb 4.13.c. tegangan Thevenin V_{TH} adalah tegangan V_{AB} dalam rangkaian gb 4.13.b. Bila sumber arus I_s terbuka maka hanya V_s yang bekerja. Karena rangkaian ini terbuka maka $V_{AB} = -120$ V. Bila sumber tegangan V_s dihubung singkat maka hanya I_s yang bekerja. Dengan

menggunakan prinsip pembagi arus diperoleh arus yang melalui R_3 ,

$$I_{R3} = \frac{R_2}{R_2 + (R_1 + R_3)} \times I_s = \frac{250}{250 + (50 + 100)} \times 0,8 = 0,5 \text{ A}$$

$$\text{dan } V_{AB} = I_{R3} R_3 = 0,5 \times 100 = 50 \text{ V}$$

Karena sesungguhnya sumber tegangan dan sumber arus keduanya bekerja maka tegangan Thevenin adalah,

$$V_{TH} = V_{AB} = -120 + 50 = -70 \text{ V}$$

Tahanan R_{TH} diperoleh dari rangkaian gb 4.13.b setelah sumber tegangan V_s dihubung singkat dan sumber arus I_s terbuka.

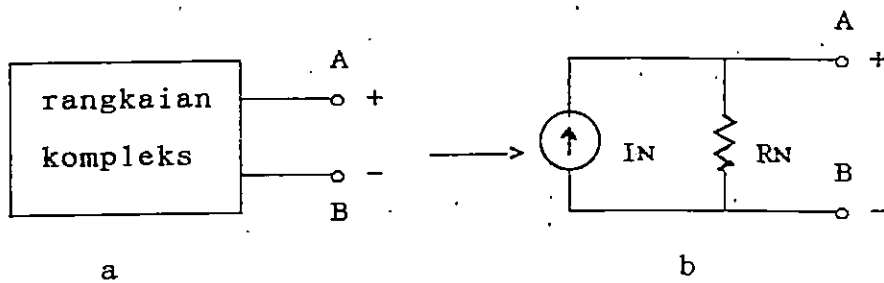
$$R_{TH} = (R_1 + R_2) // R_3 = (50 + 250) // 100 = 75 \text{ Ohm}$$

Jadi arus yang melalui tahanan R_4 dapat ditentukan dari rangkaian gb 4.13.c

$$I_{R4} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_4} = \frac{-70}{75 + 25} = -0,7 \text{ A}$$

F. Teorema Norton

Pada prinsipnya teorema Norton tidak jauh berbeda dengan teorema Thevenin, teorema Norton dapat ditinjau sebagai akibat dari teorema Thevenin, dan pertama sekali ditemukan oleh E.L. Norton. Teorema Norton menyatakan bahwa suatu rangkaian kompleks yang dihubungkan antara dua terminal dapat diganti dengan sebuah rangkaian ekivalen yang mengandung sebuah sumber arus Norton I_N yang dihubungkan paralel dengan sebuah tahanan Norton R_N , dan dihubungkan antara dua terminal yang sama (Leach, 1984: 100). Dengan menggunakan teorema Norton kita dapat mereduksi sebuah rangkaian kompleks menjadi sebuah rangkaian sederhana atau sebuah rangkaian ekivalen yang terdiri dari sebuah sumber arus bebas dan sebuah tahanan ekivalen.

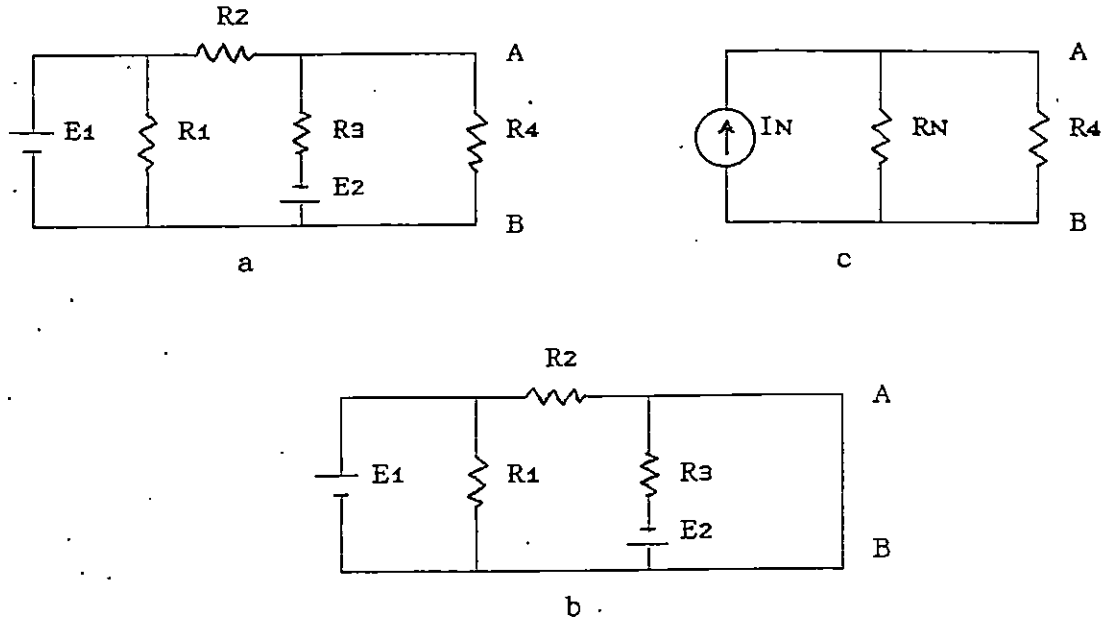


Gambar 4.14. Rangkaian untuk teorema Norton
 a. Blok diagram rangkaian kompleks
 b. Rangkaian ekuivalen Norton
 (Leach, 1984:100)

Sebuah rangkaian kompleks seperti pada gb 4.14.a dapat direduksi menjadi sebuah rangkaian seperti pada gb 4.14.b. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menentukan rangkaian ekuivalen Norton adalah:

1. Gambar rangkaian Norton seperti pada gb 4.14.b.
2. I_N adalah arus yang melalui hubungan singkat antara terminal A dan B dalam gb 4.14.a. Arus ini disebut juga arus rangkaian pendek (I_{sc}).
3. R_N adalah tahanan ekuivalen antara terminal A dan B dalam gb 4.14.a setelah semua sumber tegangan dihubungkan singkat dan semua sumber arus diganti dengan rangkaian terbuka. Tahanan ekuivalen ini sama dengan tahanan Thevenin (R_{TH}).

Contoh 10.



Gambar 4.15 Rangkaian untuk contoh 10

- Rangkaian sesungguhnya
- Terminal A dan B dihubungkan singkat
- Rangkaian ekuivalen Norton
(Theraja, 1980:60)

Dalam rangkaian gb 4.15 diketahui sumber tegangan $E_1 = 50$ V, $E_2 = 100$ V, tahanan $R_1 = 40$ Ohm, $R_2 = 50$ Ohm, $R_3 = 20$ Ohm, dan $R_4 = 10$ Ohm. Hitunglah tegangan antara A dan B dengan menggunakan teorema Norton.

Penyelesaian:

Terlebih dahulu terminal A dan B dihubungkan singkat seperti pada gb 4.15.b. Arus hubungan singkat yang melalui terminal A dan B yang berasal dari sumber tegangan E_1 adalah,

$$I_{sc1} = \frac{E_1}{R_2} = \frac{50}{50} = 1 \text{ A, dengan arah dari A ke B}$$

(arus loop yang melalui E_1 , R_2 , A, dan B. E_2 dihubungkan singkat).

Arus hubungan singkat yang melalui terminal A dan B yang berasal dari sumber tegangan E_2 adalah,

$$I_{sc2} = \frac{E_2}{R_3} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A, dengan arah dari B ke A}$$

(arus loop yang melalui E_2 , B, A, dan R_3 . E_1 dihubungkan singkat).

Jadi arus Norton yang berasal dari kedua sumber tegangan adalah,

$$I_N = 1 - 5 = -4 \text{ A dengan arah dari A ke B.}$$

Tahanan R_N diperoleh dari rangkaian gb 4.19.a setelah kedua sumber tegangan dihubungkan singkat dan R_4 dilepas dari rangkaian.

$$R_N = R_2 // R_3 = 50 // 20 = 100/7 \text{ Ohm.}$$

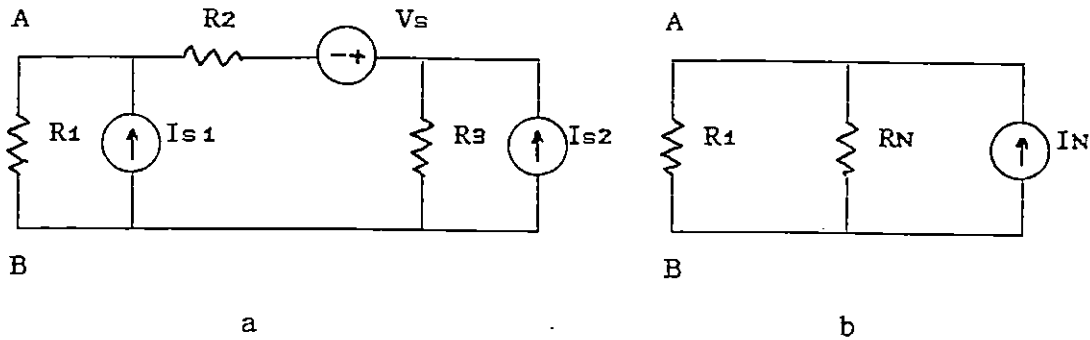
Tegangan antara terminal A dan B didapat dari rangkaian gb 4.15.c, dimana tahanan R_N dan R_4 paralel.

$$R_p = R_N // R_4 = 100/7 // 10 = 100/17 \text{ Ohm.}$$

$$\text{Jadi, } V_{AB} = I_N R_p = -4 \times 100/17 = -23,5 \text{ V}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa potensial terminal A lebih rendah daripada potensial terminal B.

Contoh 11.



Gambar 4.16 Rangkaian untuk contoh 11
 a. Rangkaian sesungguhnya
 b. Rangkaian ekuivalen Norton
 (Hayt, 1985:132)

Diketahui dalam gb 4.16, sumber tegangan $V_s = 6$ V, sumber arus $I_{s1} = 3$ A, $I_{s2} = 6$ A, tahanan $R_1 = 12$ Ohm, $R_2 = 4$ Ohm, dan $R_3 = 2$ Ohm. Dengan menggunakan teorema Norton, hitunglah arus yang melalui tahanan R_1 .

Penyelesaian:

Terminal A dan B dalam gb 4.16.a terlebih dahulu dihubungkan singkat, arus hubungan singkat yang melalui terminal A dan B yang berasal dari sumber tegangan V_s adalah,

$$I_{sc1} = \frac{V_s}{R_2 + R_3} = \frac{6}{4 + 2} = 1\text{A, dengan arah dari B ke A}$$

(arus loop yang melalui V_s , R_3 , B, A dan R_2 . I_{s1} dan I_{s2} terbuka).

Arus hubungan singkat yang berasal dari sumber arus I_{s1} adalah,

$$I_{sc2} = I_{s1} = 3 \text{ A, dengan arah dari A ke B}$$

(arus loop yang melalui I_{s1} , A, dan B. V_s dihubungkan singkat, I_{s2} terbuka).

Dan arus hubungan singkat yang berasal dari sumber arus I_{s2} adalah,

$$I_{sc3} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_{s2} = \frac{2}{4 + 2} \times 6 = 2A, \text{ dengan arah}$$

dari A ke B. (Prinsip pembagi arus, V_s dihubung singkat, I_{s1} terbuka).

Jadi arus Norton adalah,

$$I_N = -1 + 3 + 2 = 4 A, \text{ dengan arah dari A ke B.}$$

Tahanan R_N didapat dari rangkaian gb 4.16.a setelah sumber tegangan dihubung singkat, kedua sumber arus terbuka, dan R_1 dikeluarkan dari rangkaian.

$$R_N = R_2 + R_3 = 4 + 2 = 6 \text{ Ohm.}$$

Arus yang melalui tahanan R_1 diperoleh dari rangkaian gb 4.16.b dengan menggunakan prinsip pembagi arus.

$$I_{R1} = \frac{R_N}{R_1 + R_N} \times I_N = \frac{6}{12 + 6} \times 4 = 4/3 A$$

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M., Finn, E.J. (1983) Fundamental University Physics. Volume II. London: Addison-Wesley Publishing Company.
- Halliday, D., Resnick, R., Silaban, P. (1990) Fisika, Jilid 2, Jakarta: Erlangga.
- Hayt, W.H., Kemmerly, J.E., Silaban, P. (1985) Rangkaian Listrik, Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Leach, D.P. (1984) Basic Electric Circuit, third edition, USA: John Wiley & Sons.
- Sears, F.W., Zemansky, M.W., Soedarjana. (1985) Fisika Untuk Universitas 2, Listrik Magnet, Bandung: Bina Cipta.
- Sutrisno, Tan Ik Gie (1983) Fisika Dasar, Listrik Magnet dan Termofisika, Bandung: ITB.
- Theraja, B.L. (1980) Electrical Technology. New Delhi: S. Chand & Company LTD.
- Toro, V.D. (1984) Principles of Electrical Engineering. New Delhi: Prentice-Hall.