

TUGAS AKHIR

PENDETEKSI ARUS NETRAL PADA TRAFODISTRIBUSI

BERBASIS MIKROKONTROLER



Oleh:

JANVIVER LUASE

NIM. 12 023 012

Dosen Pembimbing

MUCHDAR D. PATABO, ST.MT

NIP. 19631128 199003 1 002

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

POLITEKNIK NEGERI MANADO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saluran distribusi tenaga listrik merupakan salah satu komponen yang mendistribusikan energi listrik dari gardu induk ke pusat beban atau konsumen. Dalam pendistribusian tenaga listrik harus diusahakan sebaik dan seefisien mungkin. Untuk mencapai hal tersebut maka segala hal yang dapat menimbulkan kerugian harus diminimalisir, baik berupa teknis dan non-teknis.

Sistem tenaga listrik kita mengenal adanya sistem tiga fasa, dimana kondisi sistem tiga fasa ini seharusnya seimbang. Namun, dilapangan kondisi tiga fasa yang seimbang ini sulit untuk dicapai karena tingkat kebutuhan tenaga listrik berbeda-beda dan umumnya penggunaan beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Karena terjadi ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa sehingga menyebabkan terjadinya rugi-rugi pada transformator distribusi yang dampaknya dapat merugikan PT.PLN. Agar terjadi penyuplaian tenaga listrik yang seimbang, meskipun hal tersebut tidak mudah dilakukan, tetapi demi kestabilan dan kontinuitas penyuplaian tenaga listrik ke konsumen, hal tersebut harus dapat diatasi.

Analisa ketidakseimbangan beban di PT.PLN Area Tahuna hanya dibatasi pada gardu yang berlokasi di sawang Bendar dengan Daya Trafo 250 kVA; Tegangan Kerja=20 kV/380 V; $I_n=118,6$ A; dan laporan pengukuran beban malam pada bulan Januari sampai Juni 2014 untuk pengukuran triwulan I dan II dengan data induk rata-rata pada phasa R=363,5 A ; phasa S=293 A ; phasa T=317 A ; N=113 A, pada bulan Juli sampai September 2014 untuk pengukuran triwulan III dengan data induk rata-rata pada phasa R=343,7 A ; phasa S=334,1 A ; phasa T=318 A ; N=124,9 A, dan pada bulan Oktober sampai Desember 2014 untuk pengukuran triwulan IV dengan data induk rata-rata pada phasa R=303,1 A ; phasa S=263,5 A ; phasa T=230,6 A ; N=199,3 A.

Dari data-data tersebut menjadi inspirasi bagi penulis untuk membuat terobosan lewat alat monitoring arus netral pada saluran distribusi, penelitian dilakukan di Lab Sistem Tenaga Listrik Politeknik Negeri Manado menggunakan tegangan 220/380 Volt di sisi sekunder trafo distribusi dengan bermacam-macam beban berupa lampu hemat energy, lampu pijar, lampu neon. Oleh karena itu, dalam Tugas Akhir ini diajukan judul penelitian ***“Pendeteksi Arus Netral pada Trafo Distribusi Berbasis Mikrokontroler”***.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penulisan ini adalah, sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui arus netral tinggi ?
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban pada arus netral ?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penulisan ini adalah, sebagai berikut:

1. Membuat alat pendeteksi arus netral akibat ketidakseimbangan beban.
2. Memberi informasi ke operator berupa sms jika arus pada kawat netral melebihi ketentuan SPLN 20% dari arus nominal trafo distribusi.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat yang bisa diperoleh melalui penulisan ini adalah, sebagai berikut:

1. Dapat mengurangi kerugian pada PT.PLN dengan meminimalkan kerusakan pada trafo distribusi.
2. Dapat membantu petugas lapangan dalam melakukan pengukuran pada arus netral.

1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi masalah yang diangkat agar tidak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka penulis menekankan masalah penulisan yang dibahas adalah terbatas pada :

1. Penulisan ini hanya dibatasi pada tegangan rendah yaitu 220/380 Volt.
2. Implementasi ketidakseimbangan beban menggunakan beban bervariasi dari lampu pijar, lampu neon dan lampu hemat energy dilab Sistem Tenaga Politeknik Negeri Manado.
3. Penulisan ini hanya dibatasi sampai pada monitoring serta memberikan informasi data arus netral, tidak sampai pada pemerataan beban fasa R, S dan T.
4. Pengujian Arus Netral dilab Sistem Tenaga Politeknik Negeri Manado pada arus netral lebih dari 1 Ampere alat akan mengirimkan sms ke operator mendeteksi bahwa arus sudah melebihi arus normal.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini ditulis mengikuti sistematika sebagai berikut ini:

- BAB I Berisi pendahuluan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.
- BAB II Berisi tinjauan pustaka yang membahas tentang ketidakseimbangan sistem tenaga listrik 3 fasa, meninjau referensi-referensi buku atau karya ilmiah terdahulu.
- BAB III Berisi metode penelitian membahas tentang jenis penelitian, metode penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, diagram penelitian serta menggunakan metode validasi.
- BAB IV Berisi perancangan alat memuat informasi mengenai uraian perancangan alat yang dibuat meliputi perancangan hardware dan software.
- BAB V Berisi hasil pembahasan tentang hasil dari pengujian alat.
- BAB VI Berisi penutup tugas akhir yang memuat kesimpulan dan saran dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam system tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down.

2.2 Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edison Electric Institut, (2) NEMA (National Electrical Manufactures Association). Pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem distribusi DC, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat dioperasikan secara optimal. Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapa macam tipe, dan cara pengawatan ini bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu:

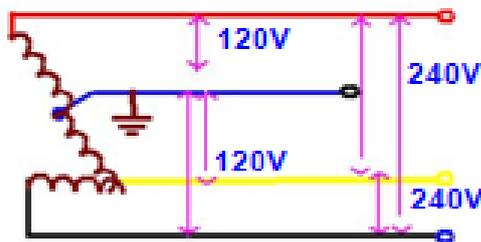
1. Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt
2. Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
3. Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt
4. Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt
5. Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
6. Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
7. Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 Volt
8. Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 Volt
9. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Sedang pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem diatas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (generator set) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) di suplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota, IEC (International Electrotechnical Comission), Indonesia telah mulai menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt. (*IEC Standard Voltage* pada Publikasi nomor 38 tahun 1967 halaman 7 seri 1 tabel 1).

Diagram rangkaian sisi sekunder trafo distribusi untuk masing-masing sistem tegangan tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini:

2.2.1 Sistem Distribusi tiga Fasa empat Kawat tegangan 120/240 Volt

Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas sedang dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan pedesaan dan perdagangan ringan, dimana terdapat dengan beban 3 fasa.



Gambar 2.1

Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt

2.2.2 Sistem Distribusi tiga Fasa empat Kawat tegangan 120/208 Volt

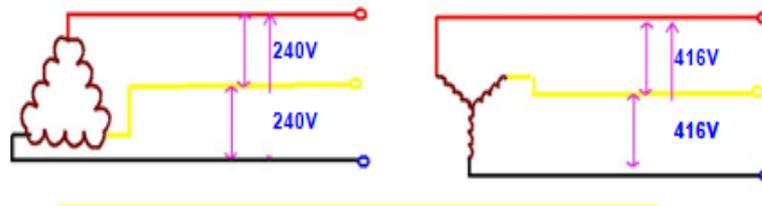


Gambar 2.2

Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt

Untuk rangkaian seperti diatas terdapat pula sistem tegangan 240/416 Volt dan atau tegangan 265/460 Volt.

2.2.3 Sistem Distribusi tiga Fasa dengan tiga kawat

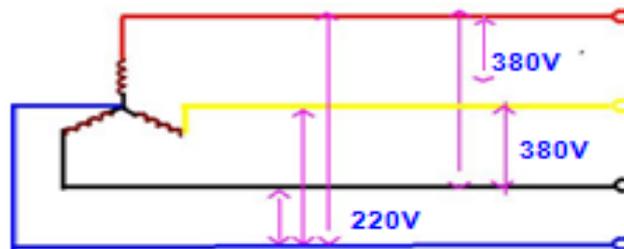


Gambar 2.3

Sistem Distribusi tiga fasa tiga kawat

Tipe ini banyak dikembangkan secara ekstensif. Dalam hal ini rangkaian tiga fasa sisi sekunder trafo dapat diperoleh dalam bentuk rangkaian delta (segitiga) ataupun rangkaian wye (star/bintang). Diperoleh dua alternatif besar tegangan, yang dalam pelaksanaannya perlu diperhatikan adanya pembagian seimbang antara ketiga fasanya. Untuk rangkaian delta tegangannya bervariasi yaitu 240 Volt, dan 480 Volt. Tipe ini dipakai untuk melayani beban-beban industri atau perdagangan.

2.2.4 Sistem Distribusi tiga Fasa dengan empat kawat



Gambar 2.4

Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Pada tipe ini, sisi sekunder (output) trafo distribusi terhubung star, dimana saluran netral diambil dari titik bintangnya. Seperti halnya pada sistem tiga fasa yang lain, di sini perlu diperhatikan keseimbangan beban antara ketiga fasanya, dan disini terdapat dua alternatif besar tegangan.

2.3 Transformator

Transformator atau trafo adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan energi listrik atau memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain melalui kinerja satu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan ini tidak terhubung secara langsung. Satu-satunya hubungan antara kedua kumparan adalah fluks magnetic bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kedua kumparan transformator tadi dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik dan kumparan kedua (serta ketiga jika ada) akan mensuplai daya ke beban. Kumparan transformator yang terhubung ke sumber daya dinamakan kumparan primer sedangkan yang terhubung ke beban dinamakan kumparan sekunder, jika terdapat kumparan ketiga dinamakan kumparan tersier.

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian sebesar I^2R watt, kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian saluran-saluran tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi.

Tegangan yang paling tinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6-20 kv pada awal saluran transmisi, dan menurukannya pada ujung saluran itu ketegangan yang lebih rendah, dilakukan dengan transformator. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga.

Disamping itu, ada jenis – jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai dirumah tangga, yang dipakai pada lampu TL, pesawat radio, televisi dan berbagai alat elektronika lainnya.

2.3.1 Konstruksi Transformator

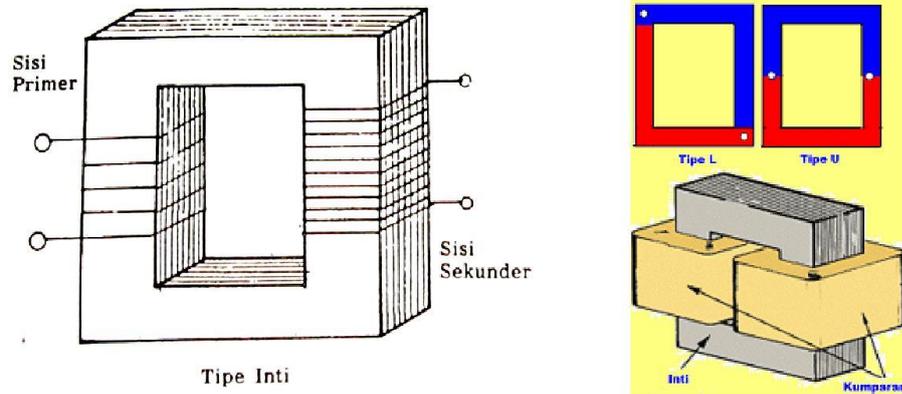
Pada umumnya konstruksi transformator terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut :

1. Inti (*core*) yang dilaminasi.
2. Dua buah kumparan, kumparan primer dan sekunder.
3. Tangki.
4. Sistem pendingin.
5. Terminal.
6. Bushing.

Secara umum transformator dapat dibedakan dua jenis menurut konstruksinya, yaitu :

1. Tipe Inti

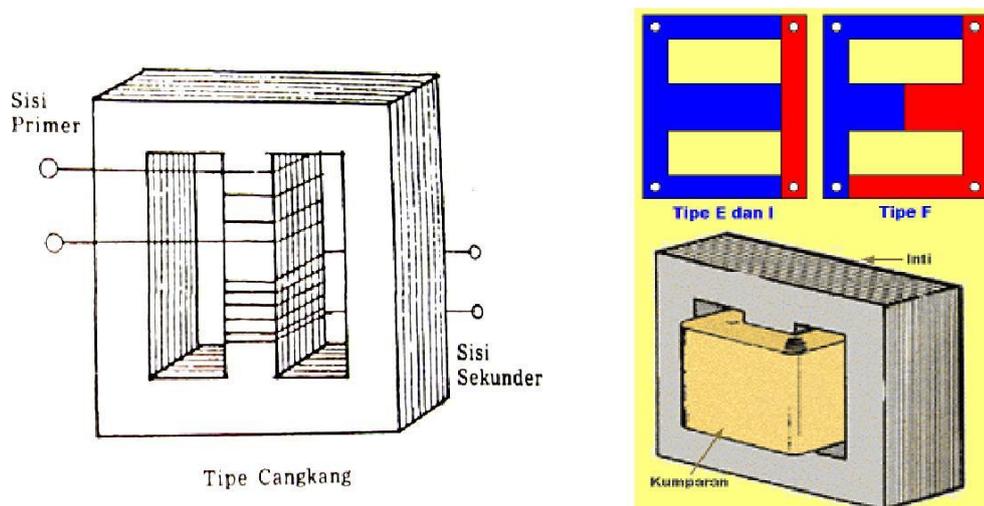
Pada transformator tipe inti, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U.



Gambar 2.5
Kontruksi transformator tipe inti.

2. Tipe Cangkang

Pada transformator tipe cangkang, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti dan konstruksi intinya berbentuk huruf E, huruf I, dan huruf F.



Gambar 2.6
Kontruksi transformator tipe Cangkang

2.3.2 Klasifikasi Transformator

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya (> 500 kVA). [2]
- b. Transformator distribusi (3-500 kVA). [2]
- c. Transformator *instrument*, digunakan untuk pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.

Berdasarkan jumlah fasanya transformator dibagi atas 2 yaitu :

1. Transformator satu fasa.
2. Transformator tiga fasa.

2.3.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah dan menyalurkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Transformator di gunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena

pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

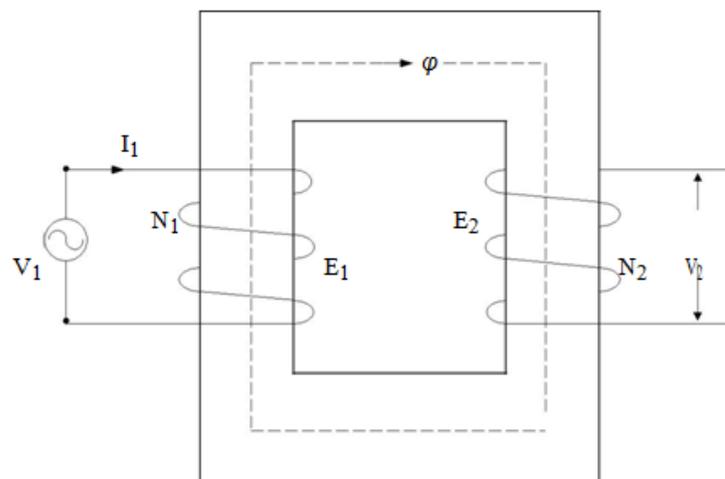
Dimana : e = gaya gerak listrik (ggl) [volt]

N = jumlah lilitan

$\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan fluks magnet

2.3.4 Keadaan Transformator Beban Nol

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan mengangap belitan N_1 reaktif murni. I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid. Pada Gambar 2.7 dapat dilihat suatu transformator tanpa beban.



Gambar 2.7
Transformator dalam keadaan tanpa beban

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \quad (2.2)$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan. Induksi e_1 (Hukum Faraday):

$$e_1 = - N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.3)$$

$$e_1 = - N_1 \frac{d\Phi_{\max} \sin \omega t}{dt}$$

$$e_1 = - N_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t \quad (\text{tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

$$e_1 = - N_1 \omega \Phi_{\max} \sin (\omega t - 90^\circ) \quad (2.4)$$

Dimana :

e_1 = gaya gerak listrik induksi

N_1 = jumlah belitan di sisi primer

ω = kecepatan sudut putar

Φ = fluks magnetik

Harga efektifnya :

$$E_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{N_1 2 \times 3,14 f \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{6,28 N_1 \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4,44 N_1 f \Phi_{max} \quad (2.6)$$

Dimana :

E_1 = gaya gerak listrik induksi efektif

f = frekuensi

Bila rugi tahanan dan adanya fluksi adanya fluksi bocor di abaikan akan terdapat hubungan :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.7)$$

Apabila, $a < 1$, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up*)

$a > 1$, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (*step down*)

Dimana :

E_1 = ggl induksi di sisi primer (Volt)

E_2 = ggl induksi di sisi sekunder (Volt)

V_1 = tegangan terminal di sisi primer (Volt)

V_2 = tegangan terminal di sisi sekunder (Volt)

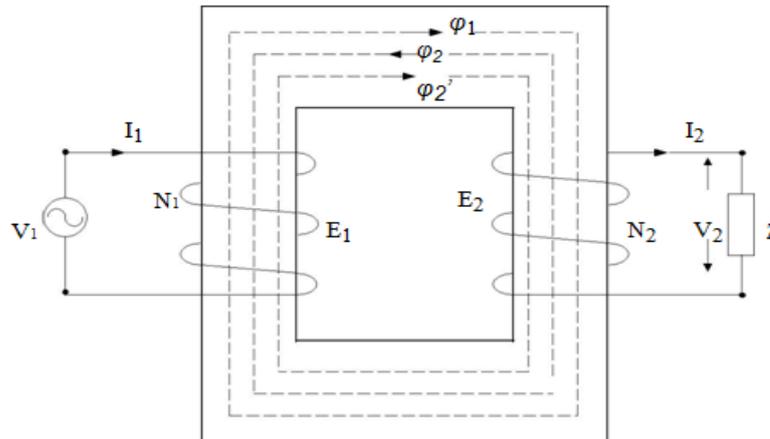
N_1 = jumlah belitan di sisi primer

N_2 = jumlah belitan di sisi sekunder

a = faktor transformasi

2.3.5 Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder di hubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = V_2 / Z_L$ dengan θ kerja beban, seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8
Transformator dalam keadaan Berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \quad (2.8)$$

Bila komponen arus rugi tembaga (I_c) diabaikan, maka $I_0 = I_m$, sehingga :

$$I_1 = I_m + I_2' \quad (2.9)$$

Dimana:

I_1 = arus pada sisi primer (ampere)

I_0 = arus penguat (ampere)

I_m = arus pemagnetan (ampere)

I_c = arus rugi-rugi tembaga (ampere)

2.4 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah pada transformator tiga fasa mengenal adanya hubungan bintang, segitiga dan hubungan zig-zag, dan juga system bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa. Untuk menganalisa transformator tiga fasa dilakukan dengan cara menganggap bahwa transformator tiga fasa sebagai transformator satu fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan, dan daya) transformator tiga fasa dikalikan dengan nilai $\sqrt{3}$

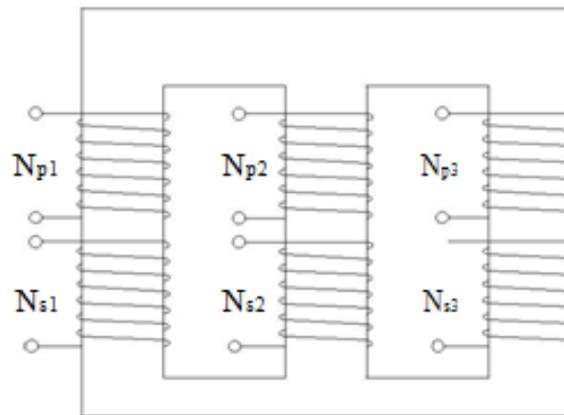
Transformator tiga fasa dikembangkan untuk alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, penerjaannya lebih cepat.

Transformator tiga fasa adalah trafo yang sering dipakai hal ini dikarenakan :

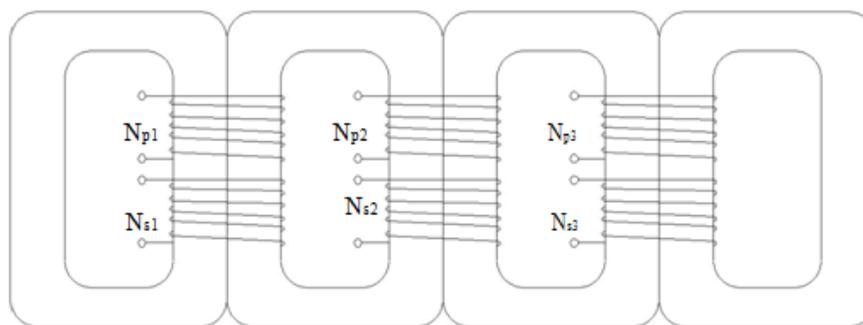
- a. Untuk daya yang sama tidak memerlukan ruang yang besar.
- b. Mempunyai nilai ekonomis.
- c. Pemeliharaan persatuan barang lebih murah dan lebih mudah.

2.4.1 Konstruksi Transformator Tiga Fasa

Untuk mengurangi rugi-rugi yang disebabkan oleh arus pusar di dalam inti, rangkaian magnetik biasanya terdiri dari setumpuk laminasi tipis. Dua jenis konstruksi yang biasa digunakan pada transformator tiga fasa seperti pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



Gambar 2.9
Transformator tiga fasa tipe inti



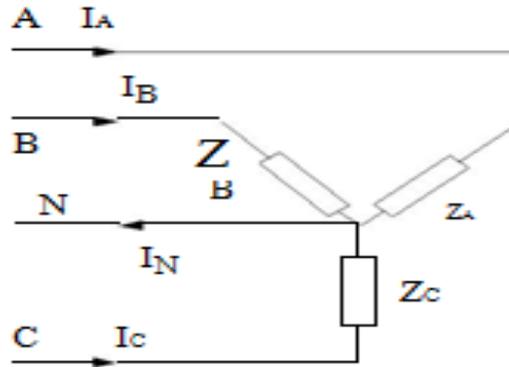
Gambar 2.10
Transformator tiga fasa tipe Cangkang

2.4.2 Hubungan Transformator Tiga Fasa

Secara umum ada 3 macam jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu :

1. Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu; I_A , I_B , I_C masing-masing berbeda 120° .



Gambar 2.11
Transformator tiga fasa Hubungan Bintang

Dari gambar 2.11 diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L \quad (2.25)$$

$$I_L = I_{ph} \quad (2.26)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \quad (2.27)$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3} V_{ph} \quad (2.28)$$

Dimana :

V_{L-L} = tegangan line to line (Volt)

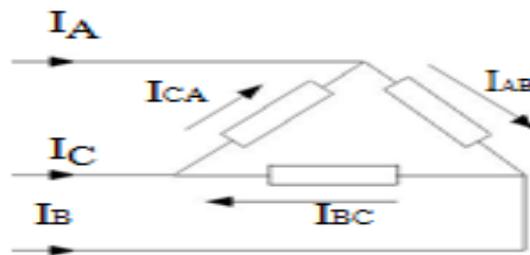
V_{ph} = tegangan phasa (Volt)

I_L = arus line (Ampere)

I_{ph} = arus phasa (Ampere)

2. Hubungan Segitiga/ Delta (Δ)

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga phasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu; V_A , V_B , V_C masing-masing berbeda 120° .



Gambar 2.12
Transformator tiga fasa Hubungan Segitiga/Delta

Gambar 2.12 Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar 2.17 diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L \quad (2.29)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \quad (2.30)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \quad (2.31)$$

$$V_{L-L} = V_{ph} \quad (2.32)$$

Dimana :

V_{L-L} = tegangan line to line (Volt)

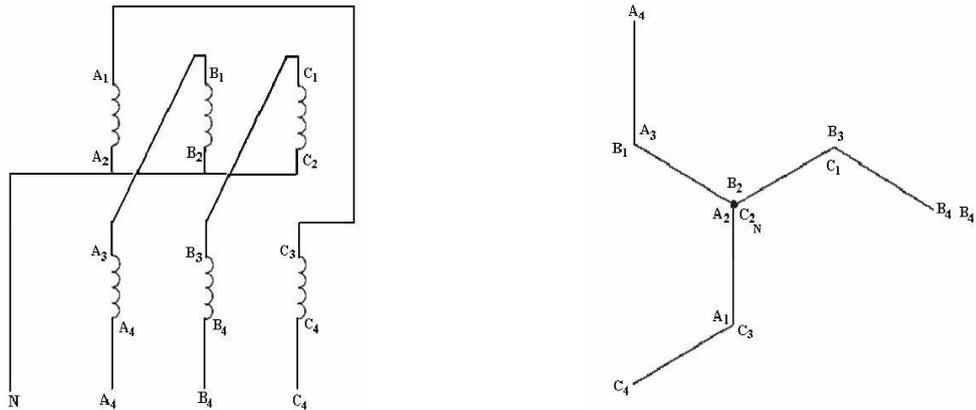
V_{ph} = tegangan phasa (Volt)

I_L = arus line (Ampere)

I_{ph} = arus phasa (Ampere)

3. Hubungan Zigzag

Transformator *zig-zag* merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral untuk sistem listrik yang tidak memiliki titik netral. Pada transformator *zig-zag* masing-masing lilitan tiga fasa dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.



Gambar 2.13
Transformator tiga fasa Hubungan Zig-Zag

Perbandingan Rugi-rugi untuk tiap kumparan yang terhubung-zag adalah Y, Δ,

$$(I^2R)_Y = (1.0 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.0 \times \frac{L_Y}{A_Y} \quad (2.33)$$

$$(I^2R)_\Delta = (0.577 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.732 \times \frac{L_Y}{A_\Delta} \quad (2.34)$$

$$(I^2R)_{ZZ} = (1.0 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.155 \times \frac{L_Y}{A_{ZZ}} \quad (2.35)$$

Dimana :

i_Y = arus pada kumparan yang terhubung Y

ρ = hambatan jenis tembaga

L_Y = panjang kumparan yang terhubung Y

A_Y = Luas penampang kumparan yang terhubung Y

A = Luas penampang kumparan yang terh

A_{ZZ} = Luas penampang kumparan yang terhubung Zig-zag

2.4.3 Jenis- jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa

Dalam pelaksanaannya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti bintang dan segitiga, dengan kombinasi Y-Y, Y- Δ , - Y, - Δ , bahkan untuk kasus tertentu dihubungkan secara berliku-liku (zig-zag), sehingga diperoleh-Z,danY-Z. Hubungan zig-zag merupakan sambungan bintang istimewa, hubungan ini digunakan untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban phasanya tidak seimbang. Di bawah ini pembahasan hubungan transformator tiga fasa secara umum :

1. Hubungan Wye-wye (Y-Y)

Pada hubungan bintang-bintang, rasio tegangan fasa-fasa (L-L) pada primer dan sekunder adalah sama dengan rasio setiap trafo. Sehingga, terjadi pergeseran fasa sebesar 30° antara tegangan fasa-netral (L-N) dan tegangan fasa-fasa (L-L) pada sisi primer dan sekundernya.

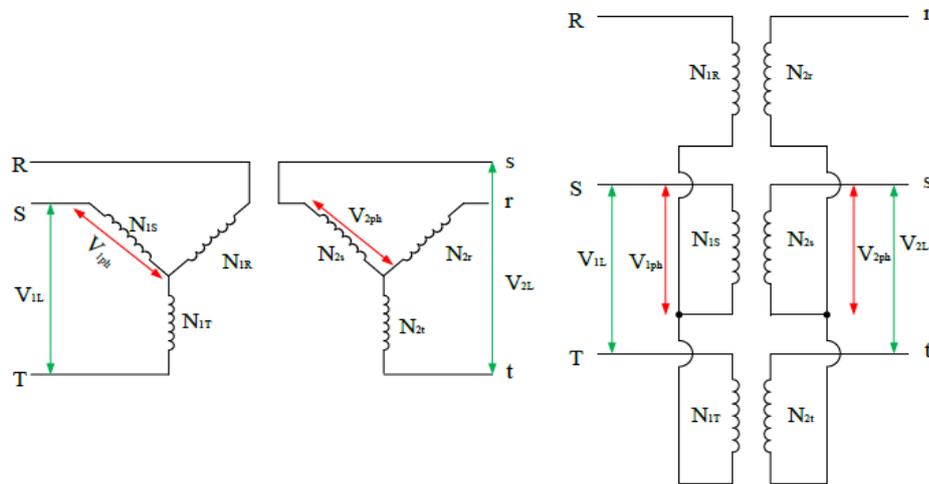
Hubungan bintang-bintang ini akan sangat baik hanya jika pada kondisi beban seimbang. Karena, pada kondisi beban seimbang menyebabkan arus netral (In) akan sama dengan nol. Dan apabila terjadi kondisi tidak seimbang maka akan ada arus netral yang kemudian dapat menyebabkan timbulnya rugi-rugi.

Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 2.20. Pada hubungan Y-Y, tegangan masing-masing primer fasa adalah :

$$V_{phP} = \frac{V_{LP}}{\sqrt{3}} \quad (2.36)$$

Tegangan phasa primer sebanding dengan tegangan phasa sekunder dan perbandingan belitan transformator maka, perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder pada transformator hubungan Y-Y adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = a \quad (2.37)$$

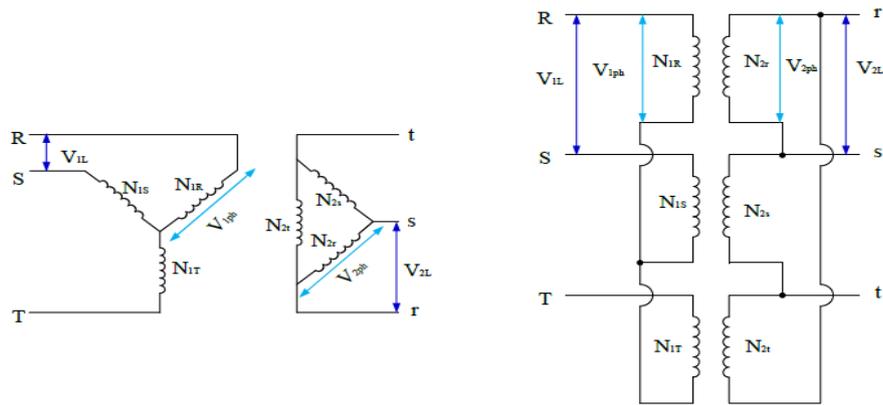


Gambar 2.14
Transformator tiga fasa Hubungan Y-Y

2. Hubungan Wye-delta (Y-Δ)

Transformator hubungan Y-Δ, digunakan pada saluran transmisi sebagai penaik tegangan. Rasio antara sekunder dan primer tegangan fasa-fasa adalah $1/\sqrt{3}$ kali rasio setiap trafo. Terjadi sudut 30° antara tegangan fasa-fasa antara primer dan sekunder yang berarti bahwa trafo Y-Δ tidak bisa diparalelkan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ-Δ. Hubungan transformator Y-Δ dapat dilihat pada Gambar 2.15. Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan phasa primer ($V_{LP} = \sqrt{3} V_{phP}$), dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan phasa ($V_{LS} = V_{phS}$), sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan Y-Δ adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{phP}}{V_{phS}} = \sqrt{3} a \quad (2.38)$$



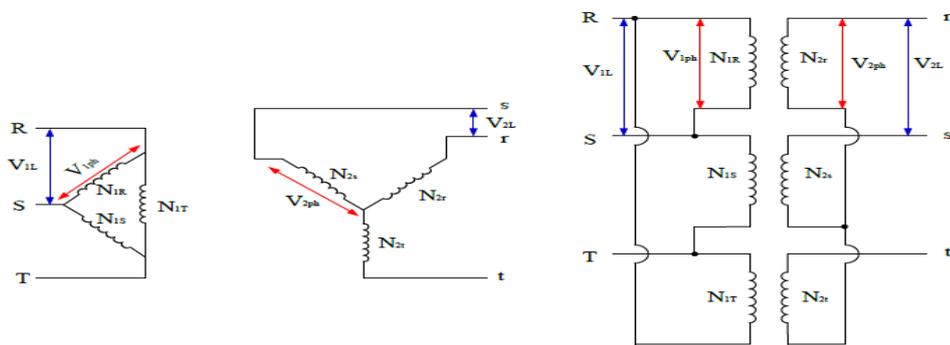
Gambar 2.15
Transformator tiga fasa Hubungan Y- Δ

3. Hubungan Delta-wye Δ-Y

Transformator-Y, digunakan hubungan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Transformator hubungan Δ –Y dapat hubungan dilihat pada Gambar 2.16.

Pada hubungan-Y, tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = V_{phP}$), dan tegangan sisi sekundernya ($V_{LS} = \sqrt{3}V_{phS}$), maka perbandingan tegangan pada hubungan Δ –Y adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = \frac{\alpha}{\sqrt{3}} \quad (2.39)$$



Gambar 2.16
Transformator tiga fasa Hubungan Δ-Y

4. Hubungan Delta - delta (Δ - Δ)

Pada transformator hubungan Δ - Δ , tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder transformator ($V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_{LN}$), maka perbandingan tegangannya adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{V_{phS}} = \alpha \quad (2.40)$$

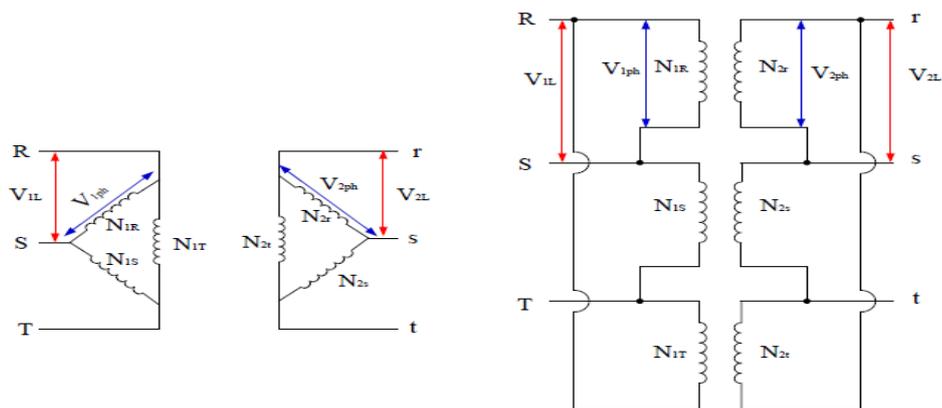
Sedangkan arus pada transformator hubungan Δ - Δ adalah :

$$I_L = \sqrt{3}I_P \quad (2.41)$$

Dimana :

I_L = arus line to line

I_P = arus fasa



Gambar 2.17
Transformator tiga fasa Hubungan Δ - Δ

2.5 Ketidakseimbangan Beban pada Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ dimana :}$$

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer trafo (kV)

I : arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(2.42)$$

dimana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder trafo (kV)

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \text{ dimana :}$$

P_N : losses penghantar netral trafo (watt) I_N : arus pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (;)

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \text{ dimana :}$$

P_G : losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)(2.43)

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (;)

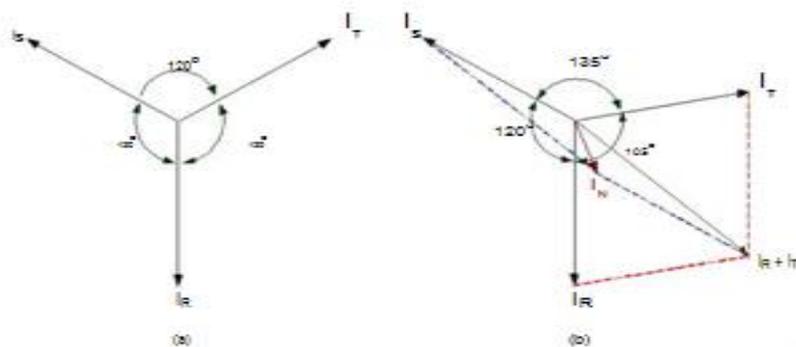
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.18
Vektor Diagram Arus

Gambar 2.18(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2.18(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.5.1 Daya pada Saluran Distribusi

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$$

dimana :

P : daya pada ujung kirim

V : tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$: faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut :

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I]$$

dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$$

Apabila persamaan $P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ dan persamaan $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

2.5.2 Perhitungan beban Trafo

Di ambil sebagai contoh perhitungan Data dari pengukuran beban triwulan I dijurusan pertokoan pada tahun 2014 Misalkan data dari sebuah trafo distribusi yang berlokasi disawang Bendar sebagai berikut. :

Daya : 250 kVA

Tegangan Kerja : 20 kV // 380 V

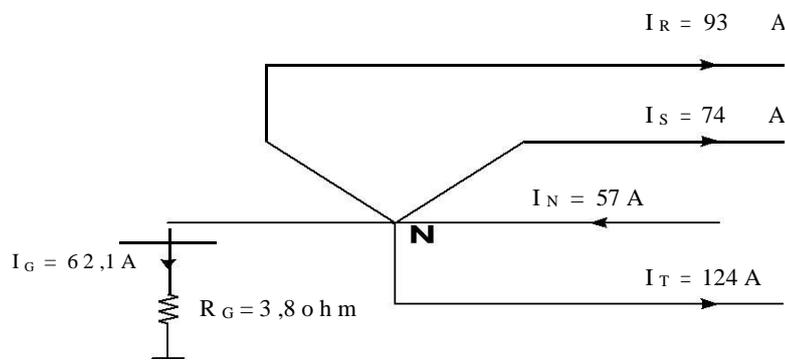
Arus : 7,21 – 380 A

In dan Rn : 118,6 A dan 0,6842 Ohm

IG dan RG : 62,1 A dan 3,8 Ohm

Impedansi : 4%

Trafo : 1 x 3 phasa



Gambar 2.19

Skema aliran Arus disisi Sekunder trafo distribusi

Sehingga dari data diatas dapat dihitung :

$$S = 250 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa - phasa}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{250000}{\sqrt{3} \times 380} = 379,84 \text{ Ampere}$$

$$I_{rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{93 + 74 + 124}{3} = 291 \text{ Ampere}$$

Persentase pembebanan trafo adalah :

$$\frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{291}{379,84} \times 100 = 76,61\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada (WBP = Waktu Beban Puncak) persentase pembebanan yaitu 76,61 %.

2.5.3 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

Dengan menggunakan persamaan, koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (Irata).

$$I_R = a \cdot I \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{93}{291} = 0,32$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{74}{291} = 0,25$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{124}{291} = 0,43$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{(|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|)}{3} \times 100\% \\ &= \frac{(|0,32 - 1| + |0,25 - 1| + |0,43 - 1|)}{3} \times 100\% \\ &= 14,9\% \end{aligned}$$

2.6 Hukum Kirchoff

Hukum Kirchoff merupakan salah satu dari banyak rumus yang juga paling sering digunakan dalam menyelesaikan masalah dan melakukan rekayasa dalam rangkaian listrik. Dikemukakan oleh seorang ilmuwan bernama **Gustav Robert Kirchoff**. Dalam teorinya terdapat dua hukum yaitu Hukum Kirchoff I dan II. Hukum Kirchoff I merupakan aturan yang berkaitan dengan arus sedangkan Hukum Kirchoff II merupakan aturan yang berkaitan dengan tegangan.

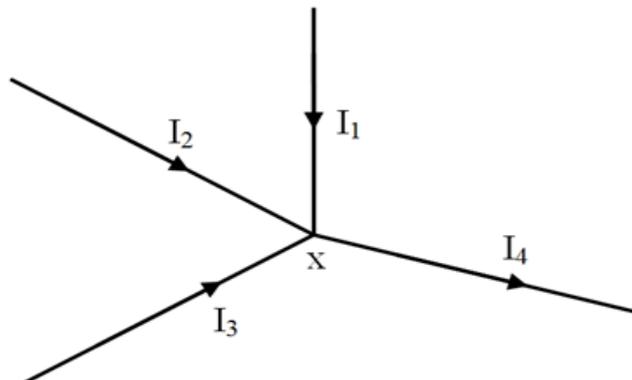
2.6.1 Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I lebih dikenal dengan Hukum Kirchoff Arus atau *Kirchoff Current Law (KCL)* yang berbunyi : “Jumlah arus yang masuk menuju node (titik) percabangan dalam suatu rangkaian listrik adalah sama dengan jumlah arus yang keluar dari node (titik) percabangan tersebut”.

1. RUMUS HUKUM KIRCHOFF I

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

Contoh :



Pada gambar diatas diketahui bahwa terdapat 4 arus percabangan. Dimana 3 diantaranya menuju node x dan sisanya keluar dari node x.

$$I_1 = 4 \text{ A}$$

$$I_2 = 2 \text{ A}$$

$$I_3 = 1.5 \text{ A}$$

Ditanyakan : $I_4 = ?$

Penyelesaian :

Arus yang masuk adalah I_1 , I_2 dan I_3 Arus yang keluar adalah I_4 maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 \text{ atau } I_4 = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\text{Maka } I_4 = 4 + 2 + 1.5 = 7.5 \text{ A}$$

2.6.2 Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff I lebih dikenal dengan Hukum Kirchoff Tegangan atau Kirchoff Voltage Law (KVL) yang berbunyi : “Jumlah tegangan pada suatu rangkaian listrik tertutup adalah sama dengan nol”.

1. RUMUS HUKUM KIRCHOFF II

$$\sum \varepsilon r \times \sum IR = 0$$

Dimana :

ε = gaya gerak listrik ; volt (V)

I = arus ; ampere (A)

r = hambatan dalam sumber ; ohm (Ω) *kadang diabaikan

R = hambatan rangkaian; ohm (Ω)

Hukum Kirchoff II pada umumnya digunakan dalam perhitungan dengan metode Loop sehingga dalam perhitungannya Hukum Kirchoff II memiliki beberapa tahap dan aturan sebagai berikut :

- Asumsikan arah loop pada rangkaian, referensi arah loop dapat dilihat berdasarkan arus pada rangkaian yang pada umumnya mengalir dari kutub positif (+) menuju kutub negatif (-). Arah loop juga dapat diasumsikan berlawanan dengan arah arus sebenarnya. Ketika arah loop berlawanan dengan arah arus sebenarnya, maka arus pada perhitungan akan bernilai negatif (-).
- Setelah menentukan asumsi arah loop, maka dapat ditentukan ε bernilai positif atau negatif. Ketika loop pada awalnya bertemu dengan kutub positif (+) maka ε akan bernilai negatif, dan sebaliknya apabila loop pada awalnya bertemu dengan kutub negatif (-) maka ε akan bernilai positif.

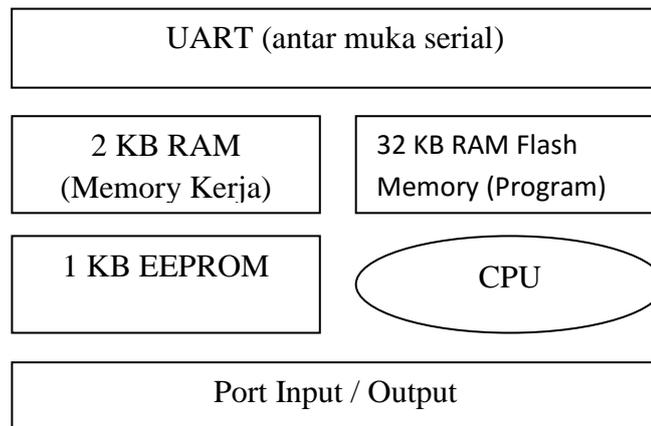
2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah adalah sebuah system komputerter fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output. Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari sistem computer.

2.7.1 Arduino

Arduino adalah sebuah nama produk desain sistem minimum mikrokontroler yang di buka secara bebas. Kelebihan dari arduino adalah Arduino mempunyai bahasa pemrograman sendiri, pemrograman yang digunakan adalah bahasa C yang telah dipermudah dengan fungsi-fungsi yang sederhana sehingga pemula pun bisa mempelajarinya dengan cukup mudah. Arduino juga memiliki program yang namanya *boot loader* yang sudah di tanam pada mikrokontrolernya, *boot loader* ini sendiri berfungsi untuk menjembatani antara *software compiler* arduino dengan mikrokontrolernya yang berfungsi untuk mengontrol dalam bentuk yang kecil. Di sini mikrokontroler memiliki memori sendiri, serta prosesproses yang dapat berdiri sendiri, sehingga ketika dihubungkan dengan input dan output yang lain, pengguna juga dapat mengontrol alat tersebut. Arduino UNO adalah sebuah papan mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin data *input /output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack* , sebuah ICSP header dan sebuah tombol reset. Arduino UNO mudah sangat mudah untuk dihubungkan ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.

Arduino UNO adalah sebuah seri terakhir dari board Arduino USB dan model referensi untuk papan Arduino Arduino UNO R3 merupakan board mikrokontroler yang didasarkan pada mikrokontroler jenis ATmega328. Konfigurasi bagian utama mikrokontroler dari Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 2.20.

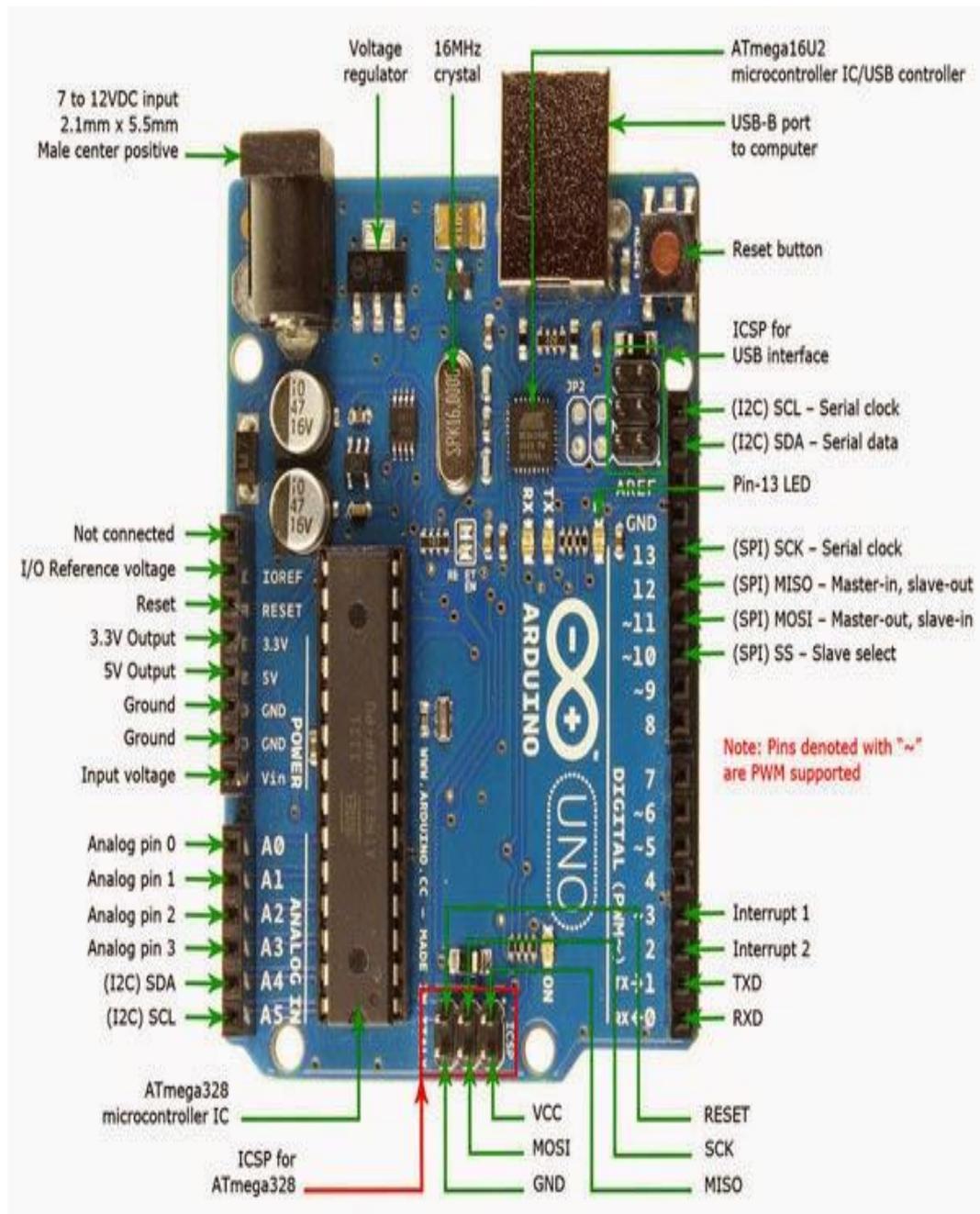


Gambar 2.20

Konfigurasi Arduino Uno

- a. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- b. 2KB RAM pada memory kerja bersifat volatile (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- c. 32KB RAM flash memory bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, flash memory juga menyimpan bootloader. Bootloader adalah program inisialisasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah boot loader selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.
- d. 1KB EEPROM bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan Arduino.
- e. *Central Processing Unit (CPU)*, bagian dari *mikrokontroler* untuk menjalankan setiap instruksi dari program.
- f. Port input/output, pin-pin untuk menerima data (input) digital atau analog, dan mengeluarkan data (output) digital atau analog.

Setelah mengenal bagian-bagian utama dari mikrokontroler ATmega sebagai komponen utama, selanjutnya kita akan mengenal bagian-bagian dari papan Arduino seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21
Papan Arduino Uno

Arduino Uno berbeda dari semua board Arduino yang telah dibuat sebelumnya, Arduino UNO tidak menggunakan chip driver FTDI USB-*to*-serial. Sebaliknya, fitur-fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai ke versi R2) diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi 2 dari board Arduino Uno mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke ground, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam DFU mode. Tabel 2.1 menyajikan fitur-fitur baru dari revisi 3 dari board Arduino UNO.

Tabel 2.1
Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan input yang disarankan	7-12V
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0.5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Pemrograman merupakan bagian yang tidak dapat terlepas dari sebuah mikrokontroler. Seperti pada umumnya Arduino juga memerlukan program untuk dapat digunakan. Arduino memiliki software yang berbeda dengan jenis yang sudah ada, walaupun Arduino juga menggunakan bahasa C sebagai pemrogramannya. Pemrograman yang mudah merupakan salah satu pilihan yang di tawarkan oleh Arduino untuk memberikan kemudahan bagi penggunanya. Arduino menggunakan software bernama IDE, yang memang disediakan secara gratis kepada para penggunanya. Menengok lebih dalam pada software ini terdapat beberapa fasilitas yang ada :

1. *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
2. *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah *mikrokontroler*

tidak akan bisa memahami bahasa *Processing*. Yang bisa dipahami oleh *mikrokontroler* adalah kode biner. Itulah sebabnya *compiler* diperlukan dalam hal ini.

3. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memory di dalam papan Arduino.

2.8 Sensor Arus

Pengukuran atau pendeteksian arus listrik merupakan salah satu dari parameter utama yang diperlukan dalam kelistrikan. Misalkan untuk pengukuran arus yang besar, pengukuran daya dan sebagai parameter proteksi. *Current Transformer* atau CT adalah salah satu tipe trafo instrumentasi yang menghasilkan arus di sekunder dimana besarnya sesuai dengan ratio dan arus primernya. Ada 2 standart yang paling banyak diikuti pada CT yaitu : IEC 60044-1 (BSEN 60044-1) & IEEE C57.13 (ANSI), meskipun ada juga standart Australia dan Canada.

CT umumnya terdiri dari sebuah inti besi yang dililiti oleh konduktor beberapa ratus kali. Output dari skunder biasanya adalah 1 atau 5 Ampere, ini ditunjukkan dengan ratio yang dimiliki oleh CT tersebut. Misal 100:1, berarti sekunder CT akan mengeluarkan output 1 Ampere jika sisi primer dilalui arus 100 Ampere. Jika 400:5, berarti sekunder CT akan mengeluarkan output 5 Ampere jika sisi primer dilalui arus 400 Ampere. Dari kedua macam output tersebut yang paling banyak ditemui, dipergunakan dan lebih murah adalah yang 5 Ampere.

Transformer arus (CT) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus AC. Dapat digunakan untuk mengukur seluruh arus listrik di sebuah bangunan. Sensor ini bentuknya *non-invasive* sehingga dapat digunakan tanpa perlu mengubah *wiring existing* terlebih dahulu. Cara kerjanya yaitu koil induksi yang mendeteksi perubahan medan magnet yang terjadi di sekeliling konduktor pembawa arus. Dengan mengukur jumlah arus yang dibangkitkan oleh koil kita dapat menghitung jumlah arus yang melewati konduktor tersebut, berikut pada gambar 2.22.



Gambar 2.22
Sensor Arus

Berikut ini merupakan spesifikasi dari sensor arus (*Current Transformer Non-Invasive*) :

- Model : SCT-013-000
- Bahan inti : ferrit
- Bahan eksternal : plastic
- Panjang kabel : 1.5 m
- Input Current : 0 ~ 100A AC
- Output Mode : 0 ~ 50mA
- Non-linearitas : $\pm 3\%$
- Putar Ratio : 100A: 0.05A
- Temperatur Kerja : $-25^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$
- Kekuatan Dielektrik (antara shell dan output) : 1000V AC / 1min 5mA
- Terbuka Ukuran : 13mm x 13mm

2.9 Bahasa Pemrograman C

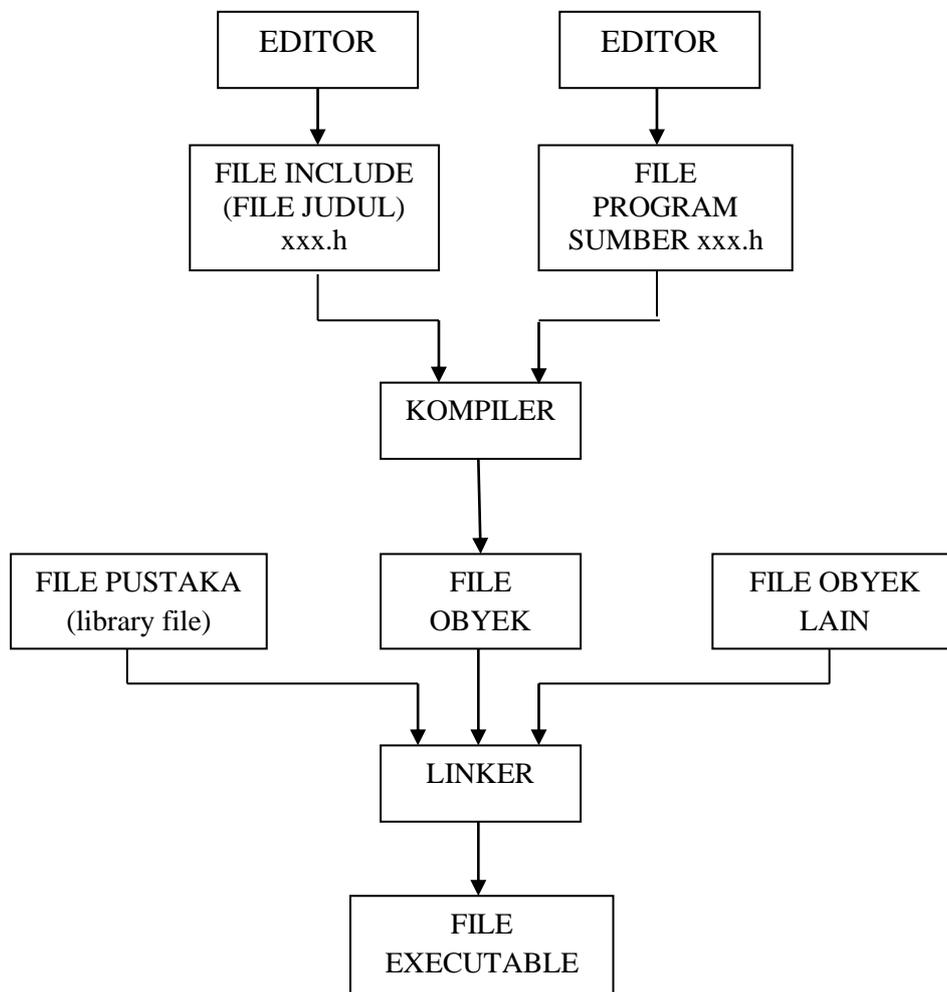
Akar dari bahasa C adalah bahasa BCPL yang dikembangkan oleh Martin Richards pada tahun 1967. Bahasa ini memberikan ide kepada Ken Thompson yang kemudian mengembangkan bahasa yang disebut dengan B pada tahun 1970. Perkembangan selanjutnya dari bahasa B adalah bahasa C oleh Dennis Ritchie sekitar tahun 1970-an di Bell Telephone Laboratories Inc. (Sekarang adalah AT&T Bell Laboratories). Bahasa C pertama kali digunakan pada komputer digital Equipment Corporation PDP-11 yang menggunakan sistem operasi UNIX.

Standar bahasa C yang asli adalah standar dari UNIX. Sistem operasi, kompiler C dan seluruh program aplikasi UNIX yang esensial ditulis dalam bahasa C. Kepopuleran bahasa C membuat versi-versi dari bahasa ini banyak dibuat untuk komputer mikro. Untuk membuat versi-versi tersebut menjadi standar, ANSI (American National standards institute) membentuk suatu komite

(ANSI committee X3J11) pada tahun 1983 yang kemudian menetapkan standar ANSI untuk bahasa C. Standar ANSI ini didasarkan kepada standar UNIX yang diperluas.

2.9.1 Proses Kompilasi dan Linking Program C

Proses dari bentuk source program, yaitu program yang ditulis dalam bahasa C hingga menjadi program yang executable ditunjukkan pada gambar 2.23 dibawah ini.



Gambar 2.23

Proses Kompilasi-Linking dari program C

2.9.2 Struktur Penulisan Program C

Program C pada hakekatnya tersusun atas sejumlah blok fungsi. Sebuah program minimal mengandung sebuah fungsi. Fungsi pertama yang harus ada dalam program C dan sudah ditentukan namanya adalah `main()`. Setiap fungsi terdiri atas satu atau beberapa pernyataan, yang secara keseluruhan dimaksudkan untuk melaksanakan tugas khusus. Bagian pernyataan fungsi (sering disebut tubuh fungsi) diawali dengan tanda kurung kurawal buka (`{`) dan diakhiri dengan tanda kurung kurawal tertutup (`}`). Di antara kurung kurawal itu dapat dituliskan statemen-statemen program C. Namun pada kenyataannya, suatu fungsi bisa saja tidak mengandung pernyataan sama sekali. Walaupun fungsi tidak memiliki pernyataan, kurung kurawal haruslah tetap ada. Sebab kurung kurawal mengisyaratkan awal dan akhir definisi fungsi. Berikut ini adalah struktur dari program C :

```
main
{
    Statemen-statemen;
}
fungsi utama

Fungsi_fungsi_lain()
{
    Statemen-statemen;
}
fungsi-fungsi lain yang ditulis oleh pemrograman
```

Bahasa C dikatakan sebagai bahasa pemrograman terstruktur karena strukturnya menggunakan fungsi-fungsi sebagai program-program bagiannya (subroutine). Fungsi-fungsi yang ada selain fungsi utama (`main()`) merupakan program-program bagian. Fungsi-fungsi ini dapat ditulis sebagai fungsi utama atau diletakkan di file pustaka (library). Jika fungsi-fungsi diletakkan di file pustaka dan akan dipakai di suatu program, maka nama file judulnya (header file) harus dilibatkan dalam program yang menggunakannya dengan preprocessor directive berupa `#include`.

2.9.3 Pengenalan fungsi-fungsi Dasar

a. Fungsi *main()*

Fungsi *main()* harus ada program, sebab fungsi inilah yang menjadi titik awal dan titik akhir eksekusi program. Tanda { di awal fungsi menyatakan awal tubuh fungsi dan sekaligus awal eksekusi program, sedangkan tanda } di akhir fungsi merupakan akhir tubuh fungsi sekaligus adalah akhir eksekusi program. Jika program terdiri atas lebih dari satu fungsi, fungsi *main()* biasa ditempatkan pada posisi yang paling atas dalam pendefinisian fungsi. Hal ini hanya merupakan kebiasaan. Tujuannya untuk memudahkan pencarian terhadap program utama bagi pemrogram. Jadi, bukanlah merupakan suatu keharusan.

b. Fungsi *printf()*

Fungsi *printf()* merupakan fungsi yang umum dipakai untuk menampilkan suatu keluaran pada layar peraga. Untuk menampilkan tulisan

Selamat belajar bahasa C

Misalnya, pernyataan yang diperlukan berupa :

Printf ("selamat belajar bahasa C") ;

pernyataan di atas berupa pemanggilan fungsi *printf()* dengan argumen atau parameter berupa string. Dalam C suatu konstanta string ditulis dengan diawali dan diakhiri tanda titik koma (;). Tanda titik koma dipakai sebagai tanda pemberhentian sebuah tanda \ pada string yang dilewatkan sebagai argumen *printf()* mempunyai makna yang khusus. Tanda ini bisa digunakan untuk menyatakan karakter *backslash* (miring kiri). Jadi karakter seperti \ n sebenarnya menyatakan sebuah karakter. Contoh karakter yang ditulis dengan diawali tanda \ adalah :

\” menyatakan karakter petik-ganda

\\ menyatakan karakter backslash

\t menyatakan karakter tab

Dalam bentuk yang lebih umum, format *printf()*

Printf (“string kontrol”, daftar argumen) ;

Dengan string kontrol dapat berupa satu atau sejumlah karakter yang akan ditampilkan ataupun berupa penentu format yang akan mengatur penampilan dari argumen yang terletak pada daftar argumen. Mengenai penentu format di antaranya berupa :

%d	untuk menampilkan bilangan bulat (integer)
%f	untuk menampilkan bilangan titik-mengambang (pecahan)
%c	untuk menampilkan sebuah karakter
%s	untuk menampilkan sebuah string

Contoh :

```
#include <stdio.h>
Main ()
{
Printf (“No : %d\n”, 10) ;
Printf (“Nama : %s\n”, “Ali”) ;
Printf (“Nilai : %f\n”, 80.5) ;
Printf (“Huruf : %c\n”, ‘A’) ;
}
```

2.9.4 Pengenalan Praprosesor #include

#include merupakan salah satu jenis pengarah praprosesor (preprocessor directive). Pengarah praprosesor ini dipakai untuk membaca file di antaranya berisi deklarasi fungsi dan definisi konstanta. Beberapa file judul disediakan dalam C. File-file ini mempunyai ciri yaitu namanya di akhiri dengan ekstensi **.h**. misalnya pada program #include <stdio.h> menyatakan pada kompiler agar membaca file bernama stdio.h saat pelaksanaan kompilasi.

Bentuk umum #include :

#include "namafile"

Bentuk pertama (#include <namafile>) mengisyaratkan bahwa pencarian file dilakukan pada direktori khusus, yaitu direktori file include. Sedangkan bentuk kedua direktori aktif tempat program sumber dan seandainya tidak ditemukan pencarian akan dilanjutkan pada direktori lainnya yang sesuai dengan perintah pada sistem operasi.

Kebanyakan program melibatkan file **stdio.h** (file-judul I/O standard, yang disediakan dalam C). Program yang melibatkan file ini yaitu program yang menggunakan pustaka I/O (input-output) standar seperti *printf()*.

2.9.5 Komentar dalam Program

Untuk keperluan dokumentasi dengan maksud agar program mudah dipahami disuatu saat lain, biasanya pada program disertakan komentar atau keterangan mengenai program. Dalam C, suatu komentar ditulis dengan diawali dengan tanda /* dan di akhiri dengan tanda */.

Contoh :

```
/*
```

```
    Tanda ini adalah komentar
```

```
    Untuk multiple lines
```

```
*/
```

```
#include <stdio.h>
```

```
Main()
```

```
{
```

```
    Printf("coba\n"); //ini komentar satu baris
```

```
}
```