

LAPORAN AKHIR

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRAVO DI
PT. PLN (PERSERO) SUB RAYON DAPALAN



Oleh :

Egan Ponge

NIM : 13021015

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam masa persaingan yang sedemikian ketatnya sekarang ini, menyadari sumber daya manusia merupakan modal utama dalam suatu usaha, maka kualitas tenaga kerja harus dikembangkan dengan baik. Jadi perusahaan atau instansi diharapkan memberikan kesempatan pada mahasiswa/i untuk lebih mengenal dunia kerja dengan cara menerima mahasiswa/i yang ingin mengadakan kegiatan praktek kerja lapangan. Praktek kerja lapangan adalah penerapan seorang mahasiswa/I pada dunia kerja nyata yang sesungguhnya, yang bertujuan untuk mengembangkan keterampilan dan etika kerja, serta untuk mendapatkan kesempatan dalam menerapkan ilmu pengetahuan dan keterampilan yang ada kaitannya dengan kurikulum pendidikan.

Untuk itu sebagaimana dengan kegiatan praktek kerja lapangan penulis selaku mahasiswa dari Politeknik Negeri Manado ditempatkan di PT. PLN (Persero) sub Rayon Dapalan. Dengan adanya praktek kerja lapangan ini penulis mencari tahu masalah yang di hadapi di PT. PLN (Persero) sub Rayon Dapalan dari beberapa masalah yang ada penulis mendapati tentang adanya masalah pada hari-hari tertentu sering terjadi trip di fuse cut out pada jaringan distribusi

Berdasarkan hal di atas penulis mengangkat judul “Analisa ketidakseimbangan. Adapun alasan mengangkat judul tersebut karena penulis tertarik tentang gejala yang mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan beban sampai pembentukan laporan. Hal ini mendorong penulis untuk memilih judul tersebut

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dalam Laporan Akhir ini adalah :

1. Apa yang menyebabkan sering terjadinya trip pada fuse cut out

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam pembahasan dan penulisan Laporan Akhir ini, penulis membatasi permasalahan seputar tentang pengetahuan travo

1.4 TUJUAN PENULISAN

Yang menjadi tujuan dalam penulisan Laporan Akhir ini, yaitu untuk lebih mengetahui tentang system bagaimana cara mengurangi ketidakseimbangan beban pada system penyaluran daya. Secara terperinci tujuan yang hendak dicapai dalam pembahasan ini adalah :

1. Untuk mengetahui penyebab sering terjadinya trip di FCO pada system penyaluran distribusi.

1.5 MANFAAT PENULISAN

Laporan Akhir ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Bagi penulis sendiri untuk menambah pengetahuan dan pengalaman
2. Bahan ajar untuk mahasiswa yang ingin membahas hal yang sama
3. Dapat digunakan sebagai dasar dalam mengambil tindakan untuk melakukan penanganan dalam menghadapi kasus – kasus ketidakseimbangan beban pada system penyaluran di PT PLN (Persero) sub rayon Dapalan
4. Dapat mengidentifikasi gangguan lebih awal, sehingga dapat melakukantindakan pencegahan kerusakan pada alat – alat penyaluran distribusi

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Laporan Akhir ini ditujukan untuk memeparkan hasil pengamatan kerugian daya serta cara penanganannya. Untuk mempermudah pembahasan , maka penulis menyusun laoparan akhir ini dalam beberapa bab, baik masing-masing mempunyai hubungan saling terkait dengan bab lain, Bab yang terkandung dalam bab ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan mengenai Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan, Manfaat, dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan teori singkat dan teori pendukung tentang penyaluran system distribusi yang mendukung penulisan laporan akhir ini khususnya teori tentang trafo dan fungsinya.

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang data gejala terjadinya losis, isolator saluran distribusi, konduktor, Travo

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Dari bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari semua pembahasan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TEORI DASAR

2.1 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 magnetik 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 menurunkannya 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.

2.1.1 Konstruksi Transformator

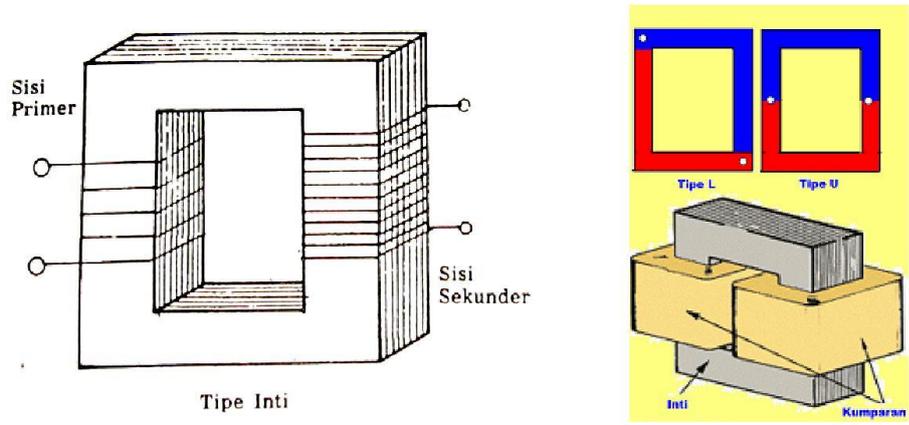
Pada umumnya konstruksi transformator terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut :

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.

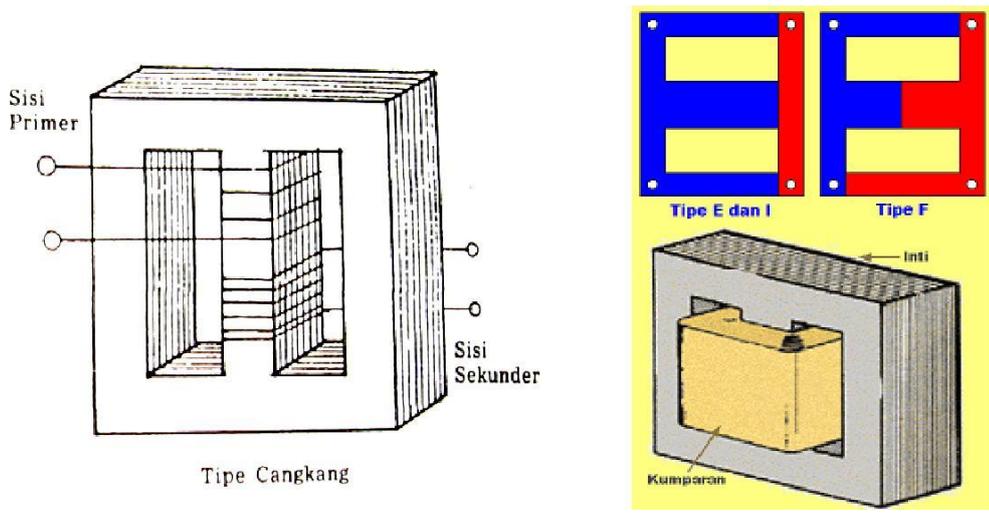


Gambar 2.1

Kontruksi transformator tipe inti.

2. Tipe Cangkang

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



Gambar 2.2

Kontruksi transformator tipe Cangkang

2.1.2 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.

2.1.3 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 gandengan 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 (*mutualinduction*) 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).

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

Dimana :

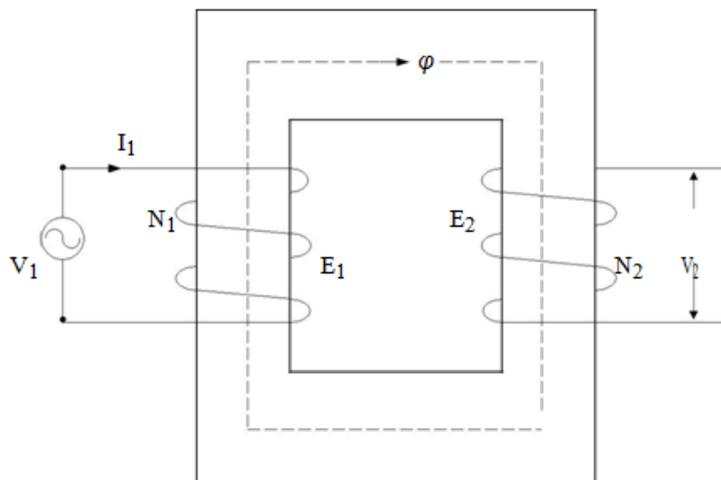
e = gaya gerak listrik (ggl) [volt]

N = jumlah lilitan

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

2.1.4 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 menganggap 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 2.3 dapat dilihat suatu transformator tanpa beban.



Gambar 2.3

Transformator dalam keadaan tanpa beban

$$\Phi = \Phi_{max} \sin \omega t \dots\dots\dots 2.2$$

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

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots 2.3$$

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

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

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

Dimana :

e_1 = Gaya gerak listrik induksi

N_1 = Jumlah belitan pada sisi primer

Φ = Kecepatan sudut putar

ω = Fluks magnet

Harga efektifnya :

$$E_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{max}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots 2.5$$

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

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

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

$$E_1 = 4,44 N_1 f \Phi_{max} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

E_1 = gaya gerak listrik induksi efektif

F = frekuensi

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots 2.7$$

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)

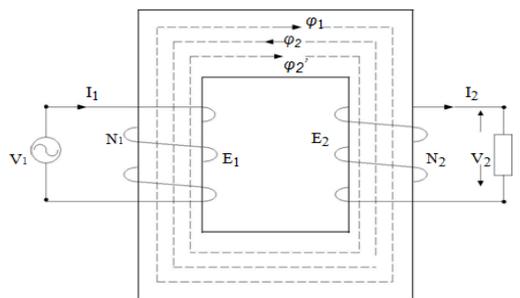
N_1 = jumlah belitan di sisi primer

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 2.4

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 I2, hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots 2.8$$

Bila komponen arus rugi tembaga (Ic) diabaikan, maka Io = Im, sehingga :

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

Dimana:

I1 = arus pada sisi primer (ampere)

Io = arus penguat (ampere)

Im = arus pemagnetan (ampere)

Ic = arus rugi-rugi tembaga (ampere)

2.2 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 $\sqrt{3}$

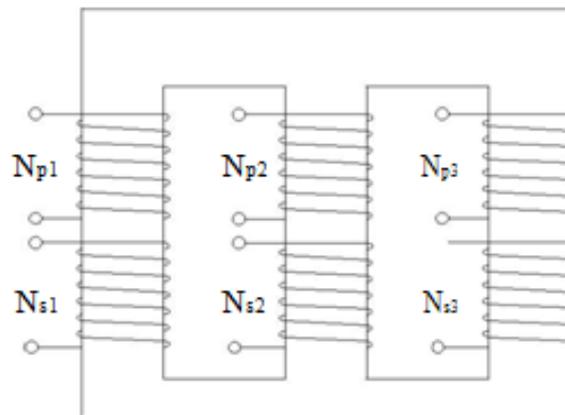
Transformator tiga fasa dikembangkan untuk alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, penerjaannya lebih cepat.

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.

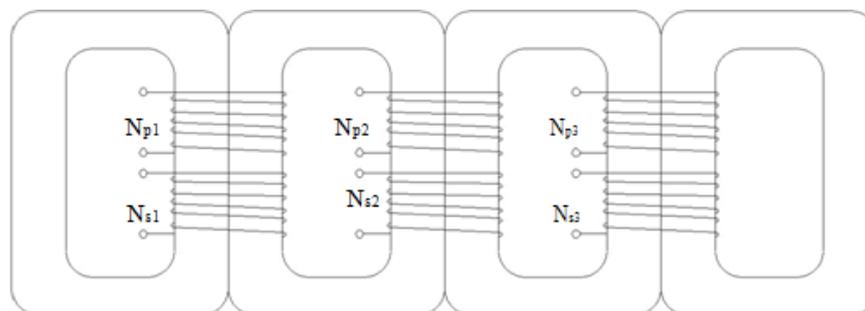
2.2.1 Konstruksi Transformator Tiga Fasa

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 2.5

Transformator tiga fasa tipe inti



Gambar 2.6

Transformator tiga fasa tipe Cangkang

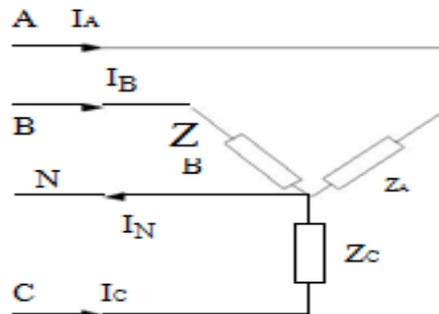
2.2.2 Hubungan Transformator Tiga Fasa

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 2.7

Transformator tiga fasa Hubungan Bintang

Dari gambar 2.7 diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L \quad 2.10$$

$$I_L = I_{ph} \quad 2.11$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \quad 2.12$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \, V_{ph} \quad 2.13$$

Dimana :

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

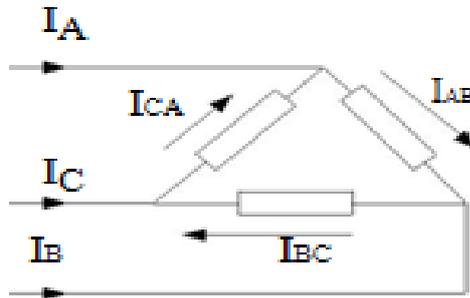
V_{ph} = tegangan phasa (Volt)

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 2.8

Transformator tiga fasa Hubungan Segitiga/Delta

Gambar 2.8 Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar 2.8 diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L \tag{2.14}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \tag{2.15}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \tag{2.16}$$

$$V_{L-L} = V_{ph} \tag{2.17}$$

Dimana :

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

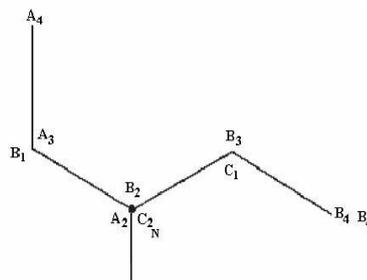
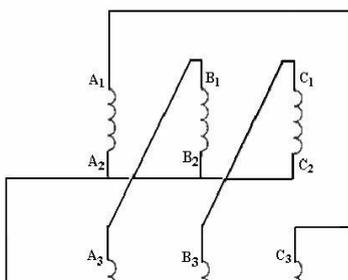
V_{ph} = tegangan phasa (Volt)

I_L = arus line (Ampere)

I_{ph} = arus phasa (Ampere)

3. Hubungan Zigzag

Transformator *zig-zag* merupakan transformator dengantujuan 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 2.9

Transformator tiga fasa Hubungan Zig-Zag

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

$$(I^2R)_Y = (1.0 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.0 \times \frac{LY}{AY} \dots \dots \dots 2.18$$

$$(I^2R)_{ZZ} = (0,577 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.155 \times \frac{LY}{AZZ} \dots \dots \dots 2.19$$

$$(I^2R)_Y = (1.0 \times i_Y)^2 \times \rho \times 1.155 \times \frac{LY}{AZZ} \dots \dots \dots 2.20$$

Dimana :

i_Y = arus pada kumparan yang terhubung Y

ρ = hambatan jenis tembaga

LY = panjang kumparan yang terhubung Y

AY = Luas penampang kumparan yang terhubung Y

A = Luas penampang kumparan yang terh

AZZ = Luas penampang kumparan yang terhubung Zig-zag

2.2.3 Jenis- jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa

Dalam pelaksanaanya, tiga buah lilitan phasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti bintang dan segitiga, dengankombinasi Y-Y, Y-Δ, - Y, - Δ, bahkan untuk kasus tertendihubungkan secara berliku-liku (zig-zag), sehingga diperoleh-Z,danY-Z.Hubungan zig-zag merupakan sambungan bintang istimewa, hubungan

inidigunakan untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban phasanya tidak seimbang. Di bawah ini pembahasan hubungan transformator tiga phasa 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.

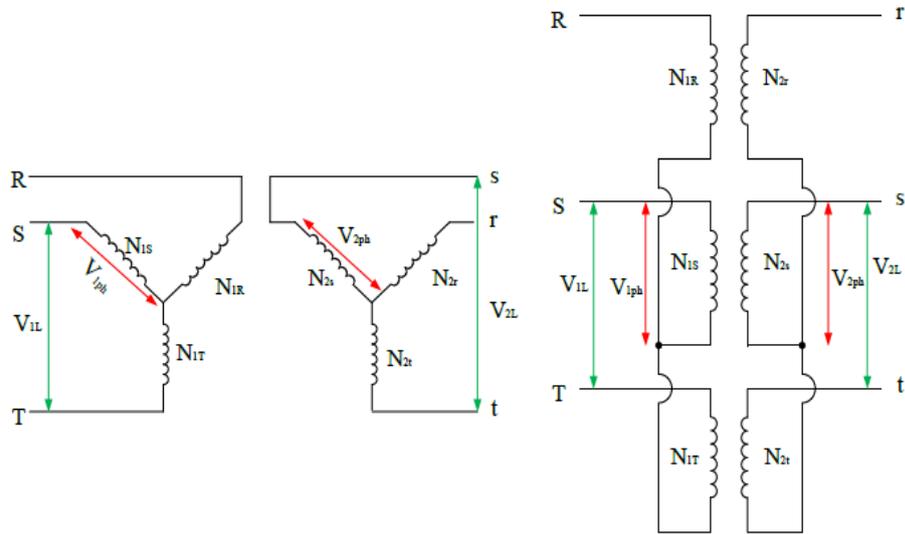
Hubungan bintang-bintang ini akan sangat baik hanya jika pada kondisi beban seimbang. Karena, pada kondisi beban seimbang menyebabkan arus netral (IN) akan sama dengan nol. Dan apabila terjadi kondisi tidak seimbang maka akan ada arus netral yang kemudian dapat menyebabkan timbulnya rugi-rugi.

Hubungan Y-Y pada transformator tiga phasa dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada hubungan Y-Y, tegangan masing-masing primer phasa adalah :

$$V_{phP} = \frac{VLp}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots 2.21$$

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 :

$$\frac{Vlp}{Vls} = \frac{\sqrt{3}VphP}{\sqrt{3}VphS} = a \dots\dots\dots 2.22$$



Gambar 2.10

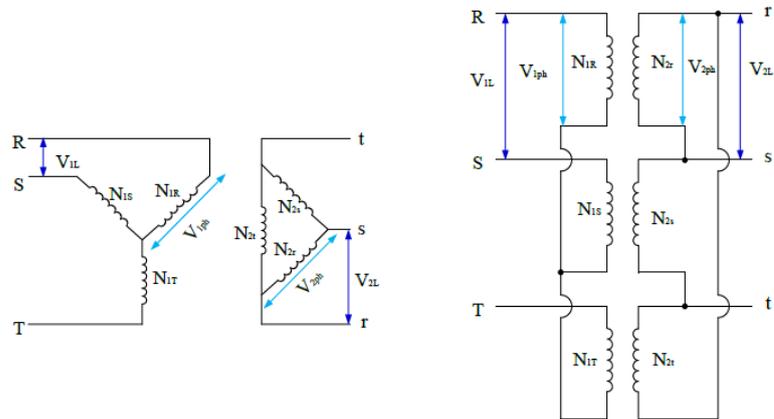
Transformator tiga fasa Hubungan Y-Y

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 2.14. Pada

hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer ($V_{LP} = \sqrt{3} V_{phP}$) sebanding dengan tegangan fasa primer dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan fasa ($V_{LS} = V_{phS}$) sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan Y-Δ adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{phP}}{V_{phS}} = \sqrt{3} a \dots \dots \dots 2.23$$



Gambar 2.11

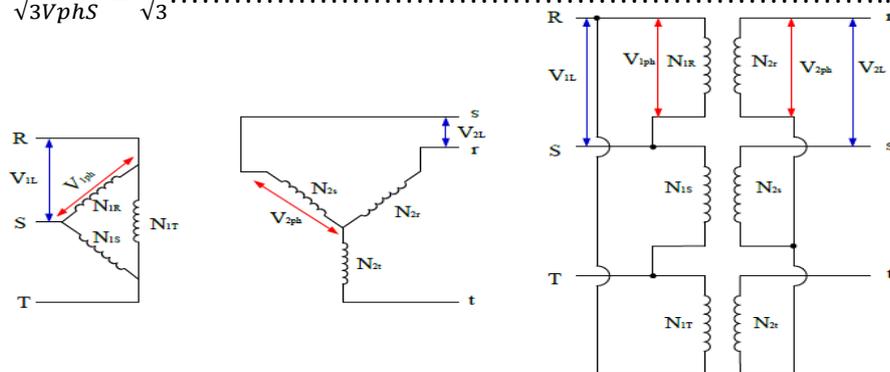
Transformator tiga fasa Hubungan Y- Δ

3. Hubungan Delta-wye Δ-Y

Transformator-Y, digunakan hubungan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Transformator hubungan Δ – Y dapat dilihat pada Gambar 2.15.

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:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.24)$$



Gambar 2.12 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 :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phS}}{V_{phS}} = a \dots \dots \dots (2.25)$$

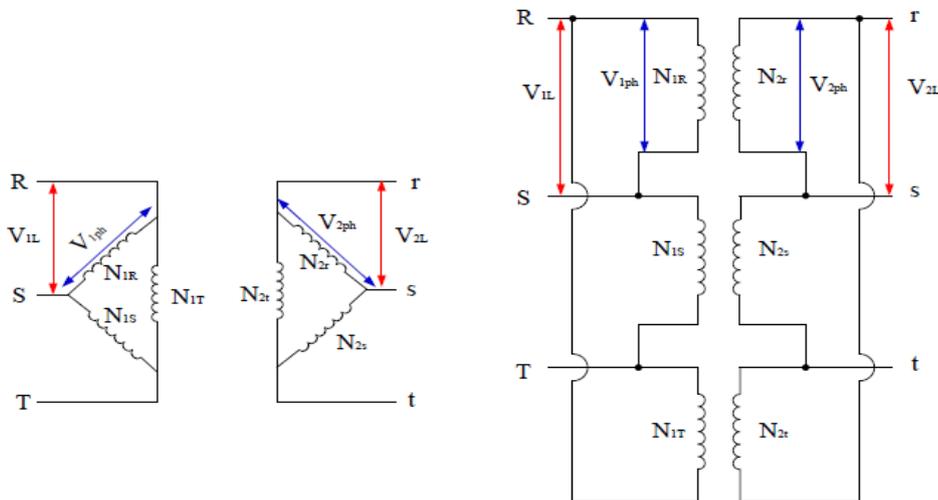
Sedangkan arus pada transformator hubungan Δ - Δ adalah :

$$I_L = \sqrt{3}I_p \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana :

I_L = arus line to line

I_P = arus fasa



Gambar 2.13

Transformator tiga fasa Hubungan Δ - Δ

2.3 Ketidakseimbangan Beban pada Transformator

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

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots \dots \dots (2.27)$$

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 :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots \dots \dots (2.28)$$

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 :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana :

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

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (;

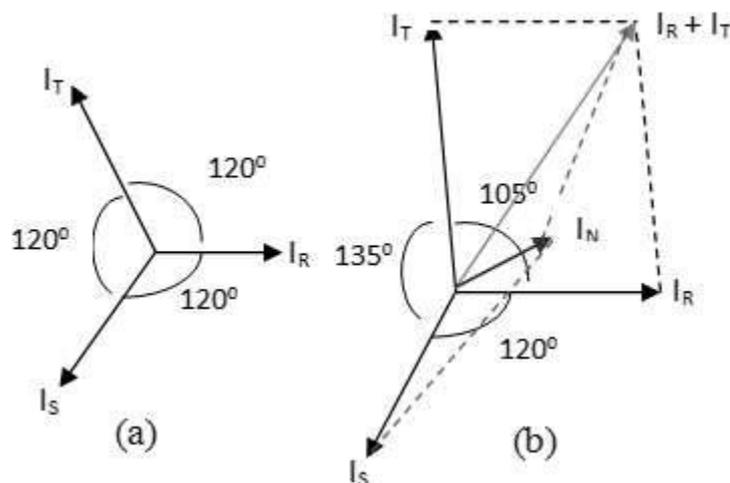
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- 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 2.14

Vektor Diagram Arus

Gambar 2.9(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 2.9(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.

2.3.1 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 $a = b = c = 1$

2.3.2 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 Bendarsebagai berikut. :

Daya : 250 kVA

Tegangan Kerja : 20 kV // 380 V

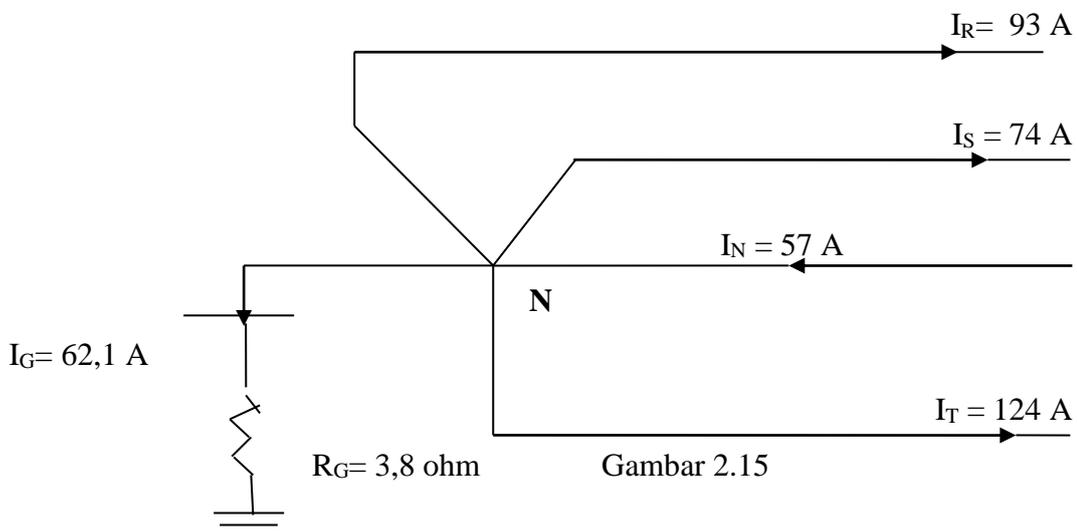
Arus : 7,21 – 380 A

I_N dan R_N : 118,6 A dan 0,6842 Ohm

I_G dan R_G : 62,1 A dan 3,8 Ohm

Impedansi : 4%

Trafo : 1 x 3 phasa



Skema aliran Arus disisi Sekunder trafo distribusi

Sehingga dari data diatas dapat dihitung :

$$S = 50 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa – phasa}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 380} = 1485,00$$

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

Persentase pembebanan trafo adalah :

$$\frac{I_{Rata-rata}}{I_{FL}} = \frac{291}{1485.00} \times 100 = 19,5\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada (WBP = Waktu Beban Puncak) persentase pembebanan yaitu 19,5 %.

2.3.3 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

$$= \frac{(a-1) + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{(0,32 - 1) + |0,25 - 1| + |0,43 - 1|}{3}$$

$$= 14,9\%$$

2.4 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.

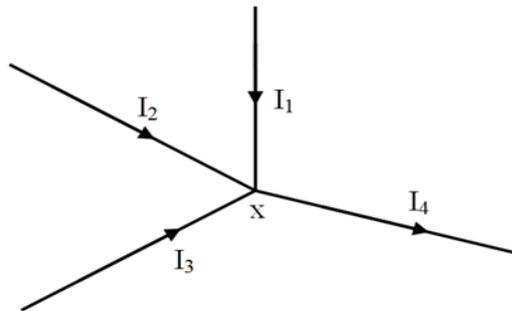
2.4.1 Hukum Kirchoff I

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 :

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

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

2.4.2 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 :

1. 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 (-).
2. 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.