



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁶

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.

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.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan tersebut 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.

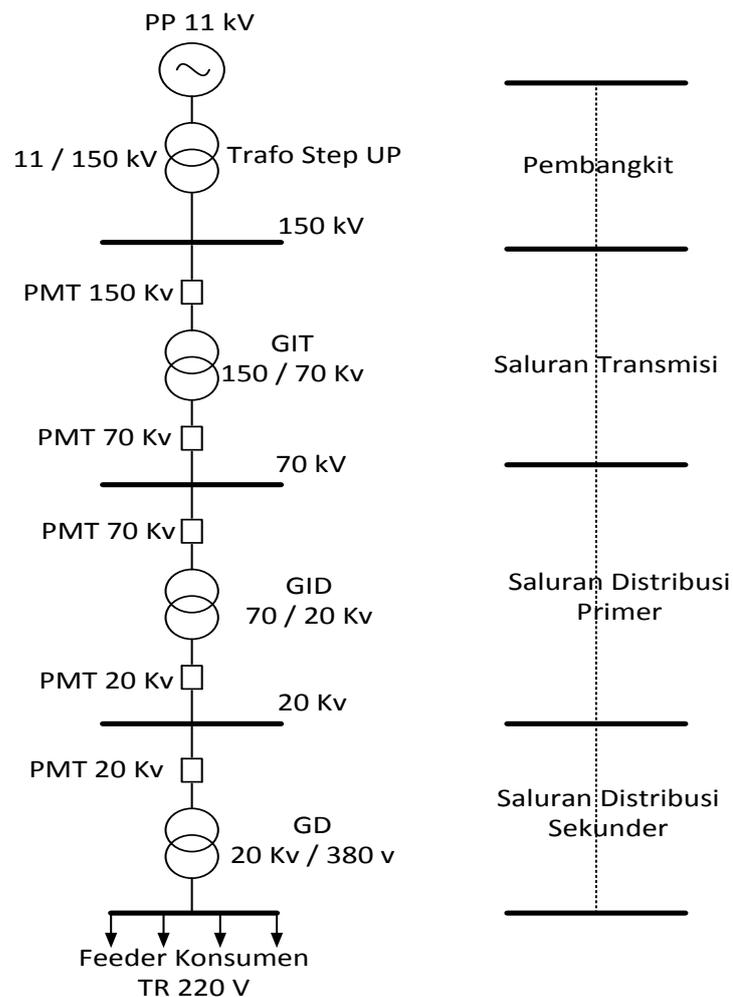
Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/ 380 Volt . selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem 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-perlengkapannya,

⁶ Suhadi.dkk,*Teknik Distribusi Tenaga listrik jilid 1*, 2008.Hal 11



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. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik²

Keterangan:

TR = Tegangan Rendah

PP = Power Plan

GIT = Gardu Induk Transmisi

GID = Gardu Induk Distribusi

GD = Gardu Distribusi

² Kadir, Abdul. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. 2000. Hal 5



Pada gambar 2.1, digambarkan bagian-bagian dari sistem jaringan distribusi tenaga listrik secara umum. Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian besar yaitu :

- a. Jaringan Distribusi Primer, yaitu jaringan tenaga subtransmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah (20 kV).
- b. Jaringan Distribusi Sekunder, yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke beban/konsumen. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan rendah (220 V/380V).

Setelah saluran transmisi yang sebelumnya memiliki tegangan sebesar 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang merupakan suatu daerah industri atau kota, tegangan melalui gardu induk (GI) diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20 kV. Setiap gardu induk (GI) merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu. Bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik selalu berubah. Perubahan daya yang terjadi di pusat pembangkit ini bertujuan untuk mempertahankan tenaga listrik tetap pada frekuensi 50 Hz . Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban (P3B).

Tegangan yang diterima di titik-titik beban pada jaringan distribusi lebih kecil dari tegangan yang disalurkan. Hal ini disebabkan adanya rugi tegangan di sepanjang jaringan listrik yang diakibatkan oleh pemakaian beban listrik, panjang saluran, luas penampang saluran, impedansi saluran dan nilai faktor kerja yang buruk. Akibat dari rugi tegangan ini ialah menimbulkan rugi-rugi daya dan mempengaruhi efisiensi penyaluran ke konsumen.

Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari beberapa faktor, diantaranya⁶:

- a) Kontinuitas pelayanan
- b) Fleksibilitas
- c) Kualitas daya
- d) Pertimbangan ekonomis

⁶ Suhadi.dkk.op.cit.Hal 25



e) Kondisi dan situasi lingkungan

Suatu sistem distribusi tenaga listrik biasanya harus memenuhi beberapa syarat diantaranya :

- a) Regulasi tegangan tidak terlampau besar.
- b) Gangguan terhadap pelayanan tidak boleh terlalu lama serta daerah yang mengalami gangguan dibatasi.
- c) Gangguan terhadap pelayanan (*interruption*) tidak boleh terlalu sering.
- d) Biaya sistem harus serendah mungkin.
- e) Sedapat mungkin sistem harus fleksibel (mudah menyesuaikan diri dengan perubahan-perubahan beban atau perubahan-perubahan pada sistem) agar tidak menelan biaya terlalu tinggi.

2.2 Klasifikasi Saluran Distribusi Sistem Tenaga Listrik⁶

Secara umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

2.2.1 Menurut Jenis/Tipe Konduktornya

- a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan tiang dan perlengkapannya yang dibedakan atas :
 - Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- b. Saluran bawah tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
- c. Saluran bawah laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*).

2.2.2. Menurut Susunan Rangkaiannya

Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi dibedakan menjadi dua yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

⁶ Ibid.,Hal 14



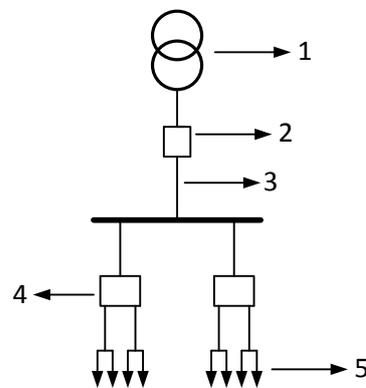
a. Jaringan Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV.

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplay tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum.

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Transformator daya | 4. Gardu Hubung |
| 2. Pemutus Tegangan | 5. Gardu Distribusi |
| 3. Penghantar | |



Gambar 2.2 Bagian – bagian Sistem Distribusi Primer⁶

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya

⁶ Ibid.,Hal 26



4. Gardu hubung, berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan
5. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.

b. Jaringan Distribusi Sekunder⁶

Jaringan distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2.1).

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut :

- 1) Papan pembagi pada trafo distribusi.
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP) ke konsumen/pemakai.
- 4) Alat Pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

2.3 Parameter Saluran Distribusi

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat-sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis

⁶ Ibid.,Hal 26



material, luas penampang dan panjang saluran. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisis sistem tenaga.

2.3.1 Resistansi Saluran⁹

Nilai tahanan saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor, suhu, dan efek kulit (*skin effect*). Tahanan merupakan sebab utama timbulnya susut tegangan pada saluran transmisi. Dikenal dua macam tahanan, yaitu tahanan arus searah dan tahanan arus bolak-balik. Tahanan arus searah ditentukan oleh nilai resistivitas material konduktor:

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

R_{dc} = Tahanan arus searah (Ω)

ρ = Tahanan jenis penghantar / resistivitas ($\Omega \text{ m}$)

l = Panjang saluran/konduktor (m)

A = Luas penampang penghantar (m^2)

Sehingga didapatkan tahanan arus bolak-balik (AC),

$$R_{ac} = R_{dc} + (1 + Y_s + Y_p) \dots\dots\dots(2.2)^3$$

Dimana :

Y_s = *skin effect*

Y_p = *proximity effect*

Apabila arus AC mengalir pada suatu penghantar, distribusi arus tidak seragam pada penampang penghantar dan kepadatan arus (*density*) paling besar pada permukaan penghantar. Ini menyebabkan resistansi AC terjadi sedikit lebih besar daripada resistansi DC. Kelakuan ini dikenal sebagai efek kulit (*skin effect*).

⁹ Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Hal 155

³ Pabla, AS, *Sitem Distribusi Daya Listrik*, 1991, Hal 204



Sementara itu suatu penghantar pilin (*stranded*) yang dispiralkan, tiap pilin lebih panjang dari penghantar akhir. Ini menghasilkan suatu resistansi sedikit lebih besar dari harga perhitungan persamaan (2.1).

2.3.2 Reaktansi Saluran

Dalam hal arus bolak-balik, medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan berkaitan dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi.

Untuk besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak-balik yaitu :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (2.3)^7$$

dimana,

X_L = reaktansi kawat penghantar (Ω)

f = frekuensi arus bolak balik (Hz)

L = Induktansi kawat penghantar (Henry)

2.3.3 Induktansi Saluran

Menurut Saadat (1999) suatu penghantar yang membawa arus menghasilkan suatu medan magnetik di sekeliling penghantar. Fluks magnetik saluran merupakan lingkaran konsentris tertutup dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan. Dengan penunjukan ibu jari sebagai arah arus, jari tangan kanan yang melingkari titik kawat sebagai arah medan magnetik. Apabila arus berubah, fluks berubah dan suatu tegangan diinduksikan dalam rangkaian.

Dengan mendefenisikan material magnetik, induktansi L merupakan rasio lingkup fluks (*flux linkage*) magnetik total terhadap arus,

$$L = \frac{\lambda}{i} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana λ merupakan lingkup fluks dalam weber lilit (*weber turn*).

⁷ Theraja.B.L, Worked Examples in Electrical Technology,



$$\lambda = \frac{1}{2\pi} \mu_o \cdot \mu_r \ln \frac{D-r}{r} \text{ weber}$$

$$L = \frac{\mu_o \cdot \mu_r}{8\pi} + \frac{\mu_o \cdot \mu_r}{2\pi} \ln \frac{D-r}{r} \text{ Hendry}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{8\pi} \left\{ 1 + 4 \ln \frac{D-r}{r} \right\} \text{ H/meter}$$

$$= 10^{-7} \left\{ 0,5 + 2 \ln \frac{D-r}{r} \right\} \text{ H/meter}$$

$$= \left\{ 0,5 + 4,6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/meter}$$

dimana, μ_r = permeabilitas bahan konduktor

μ_o = permeabilitas pada udara bebas ($4\pi \times 10^{-7}$)

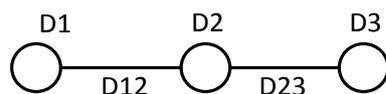
Pada saluran transmisi 3 phasa, nilai induktansi/phasa adalah sama dengan nilai induktansi per konduktor, yaitu :

$$L = \left\{ 0,5 + 4,6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\text{Atau } L = \left\{ 0,05 + 0,46 \log_{10} \frac{D}{r} \right\} \times 10^{-3} \text{ H/m} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris (gambar 2.9), maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$



Gambar 2.3 Konfigurasi saluran

Induktansi dihitung dengan konsep Geometric Means Radius (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar.

Induktansi (L) per inti kabel 3-core atau tiga kabel single core terdiri dari dua bagian, induktansi diri dari konduktor dan induktansi bersama dengan core lain. Hal ini diberikan oleh :



$$L = K + 0,2 \log_e \frac{2s}{d} \text{ mH/km} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

K = konstanta yang berkaitan dengan pembentukan konduktor (tabel 2.1)

S = jarak aksial antara konduktor dalam kabel (ram), atau

= Jarak aksial antara konduktor dari kelompok trefoil kabel single core (mm), atau

= 1,26 x jarak fase untuk pembentukan fiat dari tiga kabel inti tunggal (mm)

d = diameter konduktor atau untuk desain berbentuk diameter yang setara konduktor melingkar (mm)

Untuk 2-core, 3-core dan kabel 4-core, induktansi yang diperoleh dari rumus harus dikalikan dengan 1,02 jika konduktor melingkar atau sector berbentuk, dan sebesar 0,97 untuk konduktor oval 3-core.

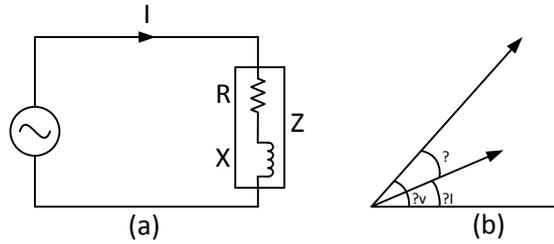
Tabel 2.1 Nilai umum untuk K konstan untuk konduktor pilin yang berbeda (pada 50 Hz)

Jumlah Kawat di Konduktor	K
3	0,0778
7	0,0642
9	0,0554
37	0,0528
61 dan lebih	0,0514
1 (solid)	0,0500
Konduktor inti berongga, 12 mm saluran	0,0383

2.4 Daya Listrik⁵

Apabila suatu sumber listrik atau arus bolak-balik (AC) diterapkan pada komponen impedansi kompleks $Z = R + jx$ dimana $X = 2\pi fL$ seperti ditampilkan pada gambar 2.4 (a), menghasilkan fasor tegangan $V = |v|\angle\theta$ dan fasor arus $I = |I|\angle\theta$, dalam nilai efektif (rms) seperti digambarkan pada gambar 2.4 (b).

⁵ Rumiasih.2005.*Efisiensi Penyaluran Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi*.Hal 6



Gambar 2.4 Tegangan AC yang diterapkan pada beban dan diagram fasor

A. Rangkaian R dan X

B. Diagram vektor I dan V

Ungkapan daya pada rangkaian diatas adalah perkalian tegangan dan VI^* arus yang menghasilkan,

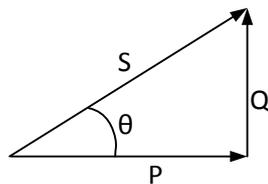
$$VI^* = |V||I| \angle \theta_v - \theta_i$$

$$VI^* = |V||I| \angle \theta$$

$$VI^* = |V||I| \cos \theta + j|V||I| \sin \theta \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan diatas menentukan kuantitas daya kompleks dimana bagian realnya merupakan daya nyata P dan bagian imajinernya merupakan daya reaktif Q sedangkan θ merupakan sudut daya.

Menurut Smith (1992) konsep daya kompleks memberikan pendekatan lain untuk pemecahan persoalan rangkaian arus AC. Perhitungan yang mengikuti kaidah aljabar kompleks, teknik vektor dan metode grafik dapat diterapkan seperti ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.5 Segitiga daya kompleks

Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui

$$S = VI^* \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.9)$$

Magnitud dari S,

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.10)$$



$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Persamaan diatas merupakan daya terlihat (*apparent power*), satuannya dalam volt-ampere dan satuan besarnya dalam kVA atau MVA. Daya terlihat memberikan indikasi langsung dari energi listrik dan digunakan sebagai suatu rating satuan perangkat daya. Dari uraian diatas maka daya listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yakni daya semu, daya aktif (nyata) dan daya reaktif.

2.4.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun distribusi atau hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini umumnya tertera di kWh meter. Dimana daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

$$\text{Untuk } 1 \phi : S = V_{\phi} \times I_{\phi} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Untuk } 3 \phi : S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots(2.13)$$

2.4.2 Daya Aktif

Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam seperti : gerakan motor listrik atau mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk } 1 \phi : P = V_{\phi} \times I_{\phi} \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Untuk } 3 \phi : P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana, P = daya aktif (watt)

V = tegangan yang ada (KV)

I = besar arus yang mengalir (A)

$\cos \varphi$ = faktor kerja (standard PLN 0,85)

2.4.3 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak terpakai dalam suatu sistem tenaga listrik. Adanya daya reaktif juga sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik.

$$\text{Untuk } 1 \phi : Q = V_{\phi} \times I_{\phi} \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.16)$$



$$\text{Untuk } 3\phi : Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana, Q = daya reaktif (VAR)

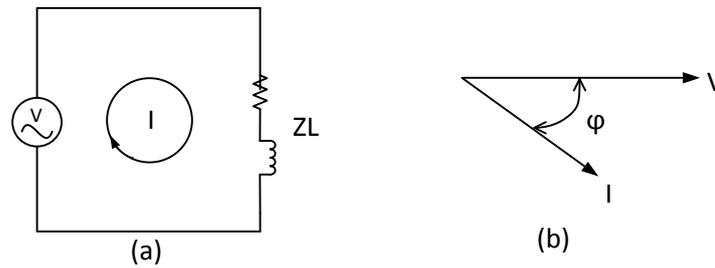
$\sin \varphi$ = faktor kerja (tergantung besarnya φ)

2.4.4 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dalam satuan watt dan daya reaktif dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR) dari daya yang disalurkan oleh pusat-pusat pembangkit ke beban. Nilai faktor daya ini mempengaruhi jumlah arus yang mengalir pada saluran untuk suatu beban yang sama.

Faktor daya salah satunya disebabkan oleh penggunaan peralatan pada pelanggan yang menyimpang dari syarat-syarat penyambungan yang telah ditetapkan dan dapat mengakibatkan pengaruh balik terhadap saluran, antara lain faktor daya yang rendah dan ketidakseimbangan beban. Rendahnya faktor daya disebabkan karena melebarinya sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya yang terlalu rendah mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran. Pergeseran sudut fasa antara arus dan tegangan ditentukan oleh sifat impedansi beban (resistif, induktif, kapasitif) yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik tersebut. Apabila beban mempunyai impedansi yang bersifat resistif, maka arus dan tegangan sefasa atau besarnya pergeseran sudut fasa sama dengan nol. Dengan demikian faktor daya sama dengan satu (*unity power factor*).

Impedansi beban bersifat induktif, vektor arus (I) terbelakang dari vector tegangan (V), kondisi tersebut disebut faktor daya tertinggal (*lagging power factor*), seperti ditunjukkan dalam Gambar (2.6) Sedangkan untuk impedansi beban yang bersifat kapasitif, vektor arus (I) mendahului vektor tegangan (V), keadaan tersebut dinamakan faktor daya mendahului (*leading power factor*), seperti ditunjukkan dalam Gambar (2.7).



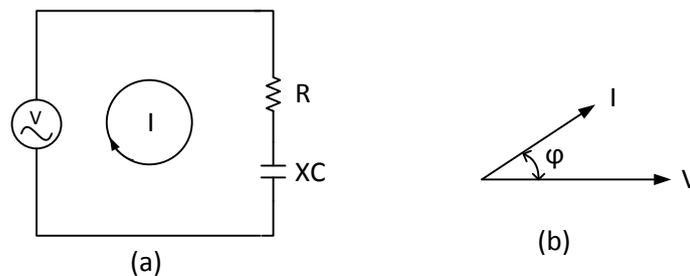
Gambar 2.6 Faktor daya tertinggal

A. Rangkaian R dan L

B. Diagram vektor I dan *lagging* terhadap V

Rumus Faktor daya tertinggal yaitu :

$$\text{Faktor daya (power factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V.I.\sin\theta}{V.I} = \sin\theta \dots\dots\dots(2.18)^4$$



Gambar 2.7 Faktor daya mendahului

A. Rangkain R dan C

B. Diagram vektor I *leading* terhadap V

$$\text{Faktor daya (power factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V.I.\sin\theta}{V.I} = \sin\theta \dots\dots\dots(2.19)$$

2.5 Model Saluran Distribusi⁵

Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekivaien dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis per fasa. Tegangan terminal digambarkan dari satu saluran ke netral, arus dari satu fasa saluran sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi ekivalen sistem distribusi fasa tunggal.

Menurut Stevenson (1995) model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran.

⁴ Smith.J.Ralph, Rangkaian Piranti dan Sistem,Erlangga,Jakarta,1990,Hal 170

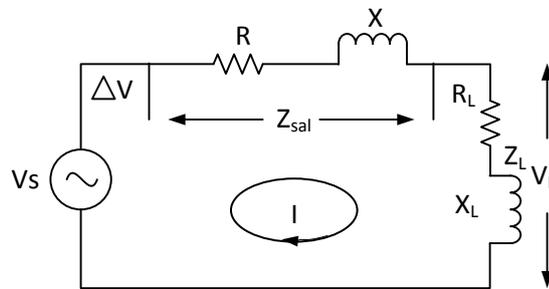


Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalikan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.

$$Z = (r + j\omega L)l \dots\dots\dots(2.20)$$

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana r dan L merupakan resistansi dan induktansi perfasa per-satuan panjang, dan l merupakan panjang saluran. Model saluran distribusi pada suatu basis perfasa ditunjukkan pada gambar (2.8). V_s dan I_s merupakan tegangan dan arus pada ujung kirim saluran, V_R dan I_R merupakan tegangan dan arus pada ujung penerima saluran.



Gambar 2.8 Model Saluran Distribusi

Keterangan :

V_s = tegangan sumber (Volt)

V_R = tegangan pada sisi penerima (Volt)

Z_{sal} = impedansi saluran (Ω)

R_L = resistansi beban (Ω)

X_L = reaktansi beban (Ω)

Z_L = impedansi beban (Ω)

ΔV = susut tegangan (Volt)

Jika daya terlihat (apparent power) tiga fasa didistribusikan ke beban pada sisi penerima, arus ujung pengirim diperoleh melalui,

$$I_a = \frac{S_{(3\phi)}}{3V_{S\phi}} \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana,

$S_{S(3\phi)}$ = daya terlihat tiga fasa pada sisi pengirim (MVA)

V_S = tegangan sisi pengirim (KV)



Oleh karena arus rangkaian saluran distribusi merupakan hubungan seri dimana kapasitansi shunt saluran diabaikan maka arus ujung pengirim dan ujung penerima adalah sama,

$$I_S = I_R \dots\dots\dots(2.23)$$

2.6 Rugi Tegangan Saluran¹

Rugi tegangan (*drop voltage*) adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria rugi tegangan yang dapat diijinkan tidak boleh lebih dari 5% dan minimum -10% ($\Delta V \geq 5\%$). Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Adapun penyebab jatuh tegangan (*drop tegangan*) adalah :

1. Jauhnya jaringan, jauhnya transformator dari gardu induk.
2. Rendahnya tegangan yang diberikan GI atau rendahnya tegangan transformator distribusi.
3. Sambungan penghantar yang tidak baik, penjumlahan saluran distribusi tidak tepat sehingga bermasalah di sisi TM dan TR.
4. Jenis penghantar dan konektor yang digunakan.
5. Arus yang dihasilkan terlalu besar.

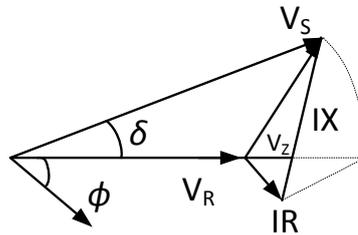
Dari rangkaian yang ditunjukkan pada gambar (2.8) diperoleh :

$$I = \frac{V_S}{(Z_{sal} + Z_L)} \text{ atau } V_S = I Z_{sal} + I Z_L \dots\dots\dots(2.24)$$

$V_R = I Z_L$ adalah susut tegangan sepanjang Z_L atau tegangan beban dan $I Z_{sal}$ adalah susut tegangan sepanjang Z_{sal} atau V_Z

Berdasarkan rangkaian ekuivalen saluran pada gambar (2.8) dan uraian dari persamaan (2.18) sampai (2.22) dapat digambarkan diagram fasor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (lagging) seperti ditunjukkan pada gambar (2.9).

¹ Cahyanto Dwi Restu, Studi Perbaikan Kualitas Tegangan dan Rugi-Rugi daya Listrik, Skripsi, 2001



Gambar 2.9 Diagram fasor saluran distribusi

Untuk mendapatkan susut tegangan distribusi primer dengan sistem pendekatan seperti pada diagram phasor diatas yaitu dengan mengamsusikan bahwa V_S dan V_R berhimpitan maka didapat,

Pada gambar (2.9) dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vector tersebut adalah :

$$V_Z = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.25)$$

Untuk sistem 3 phasa dan panjang saluran maka persamaan menjadi,

$$V_Z = \frac{l}{V} \times \frac{P}{\cos \varphi} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\text{Karena, } I = \frac{P_{3\varphi}}{\sqrt{3}.V.\cos \varphi}$$

$$\text{Dimana, } S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

$$\text{Maka, } V_Z = \frac{S \times l}{V} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

P = daya nyata (W)

V_Z = drop tegangan (V)

l = panjang saluran (m)

Persentase rugi tegangan saluran distribusi dapat ditentukan berdasarkan rasio tegangan jatuh saluran terhadap tegangan sisi pengirim, maka didapat persamaan,

$$V_Z = \frac{S \times l}{V^2} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times 100 \%$$

Atau dapat ditulis,



$$V_Z = \frac{P \times l}{V^2} (R + Tg \varphi) \times 100 \%$$

Rugi tegangan saluran merupakan tegangan jatuh (*drop voltage*) sepanjang saluran dapat ditentukan,

$$\text{Atau } V_Z = I_S \times Z_L \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana Z_L = impedansi saluran

Tegangan sisi penerima atau tegangan sampai ke beban merupakan tegangan sisi pengirim dikurangi tegangan jatuh saluran,

$$V_R = V_S - V_Z \dots\dots\dots(2.29)$$

Besar persentase susut tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\%V_{\text{rugi}} = \frac{V_Z}{V_S} \times 100\% \dots\dots\dots(2.30)$$

2.7 Rugi Daya Saluran

Berdasarkan gambar (2.9), rugi daya saluran timbul oleh karena adanya komponen resistansi dan reaktansi saluran dalam bentuk rugi daya aktif dan reaktif. Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distribusi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Sedangkan rugi daya reaktif akan dikembalikan ke sistem dalam bentuk medan magnetik dan atau medan listrik. Arus yang mengalir pada saluran akan menghasilkan rugi daya terlihat saluran,

$$S_{Z(3\phi)} = 3 \cdot V_Z I_S \dots\dots\dots(2.31)$$

Rugi daya terlihat yang dihasilkan pada saluran terdiri dari rugi daya aktif dan rugi daya reaktif yang ditulis dalam bentuk bilangan kompleks dimana rugi daya aktif sebagai bilangan real dan rugi daya reaktif sebagai bilangan imajiner,

$$S_{Z(3\phi)} = P_{Z(3\phi)} + jS_{Z(3\phi)} \dots\dots\dots(2.32)$$

Berdasarkan diagram fasor pada gambar (2.9), rugi daya aktif perfasa dapat ditentukan dari variable arus, tegangan dan sudut perbedaan fasa jatuh tegangan dan arus saluran,

$$P_R = P_S - P_Z \dots\dots\dots(2.33)$$



Sudut perbedaan fasa antara jatuh tegangan dan arus saluran, $\cos \emptyset$ disebut juga sebagai sudut daya saluran atau faktor daya.

2.8 Efisiensi Penyaluran⁹

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan antara daya nyata yang diterima dengan daya nyata yang disalurkan atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini berguna untuk mengetahui seberapa persenkah energi listrik tersebut diterima setelah didalam penyalurannya terdapat rugi-rugi. Adapun untuk mendapatkan nilai efisiensi itu adalah sebagai berikut :

Setelah tegangan jatuh saluran dihitung dari persamaan (2.26), rugi daya terlihat total saluran dapat diperoleh melalui persamaan (2.29)

daya terlihat pada sisi penerima dapat ditentukan,

$$S_{R(3\emptyset)} = S_{S(3\emptyset)} - S_{Z(3\emptyset)} \dots\dots\dots(2.34)$$

dimana daya terlihat merupakan resultan vector dari daya nyata dan daya reaktif, sehingga dapat dituliskan,

$$S_{R(3\emptyset)} = P_{R(3\emptyset)} - jQ_{R(3\emptyset)} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$S_{S(3\emptyset)} = P_{S(3\emptyset)} - jQ_{S(3\emptyset)} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dan efisiensi saluran dapat diperoleh,

$$\eta = \frac{P_{R(3\emptyset)}}{P_{S(3\emptyset)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.37)$$

dimana,

P_r = daya yang diterima (MW)

P_s = daya yang disalurkan (KW)

2.9 Matlab⁸

Matlab merupakan suatu program komputer yang bisa membantu memecahkan berbagai masalah matematis yang kerap ditemui dalam bidang teknis. pengguna bisa memanfaatkan kemampuan matlab untuk menemukan solusi dari berbagai masalah numeric secara cepat, mulai hal yang paling dasar, misalkan sistem 2 persamaan dengan 2 variabel:

$$x - 2y = 32$$

⁹ Zuhail, op.cit.hal 162

⁸ Widiarsono, Teguh, Tutorial Praktis Belajar Matlab, 2005 Hal 2



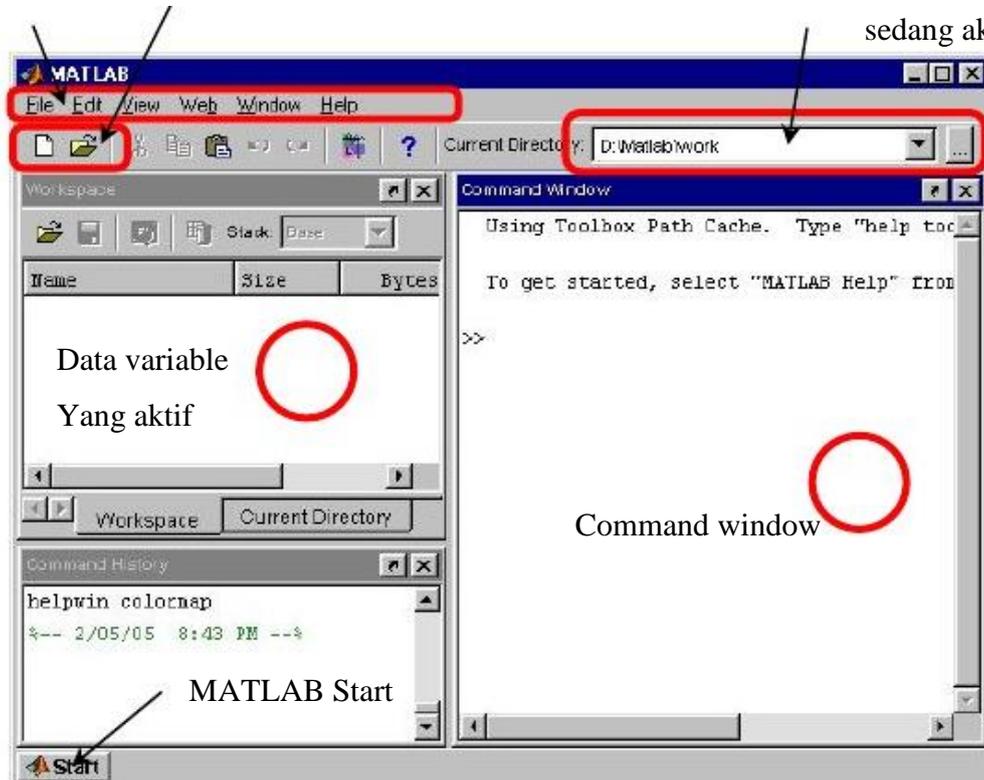
$$12x + 5y = 12$$

hingga yang kompleks, seperti mencari akar-akar polinomial, interpolasi dari sejumlah data, perhitungan dengan matriks, pengolahan sinyal, dan metoda numerik.

2.9.1 Memulai Matlab⁸

Untuk memulai MATLAB yaitu dengan mengeksekusi ikon MATLAB di layar komputer ataupun melalui tombol Start di Windows. Setelah proses loading program, jendela utama MATLAB akan muncul seperti berikut ini.

Menu Memulai/membuka M-file Direktori yang sedang aktif



Gambar 2.10 Jendela utama MATLAB.

Setelah proses loading usai, akan muncul command prompt di dalam command window:

>>

⁸ Teguh Widiarsono, loc.cit.



Prompt inilah yang bisa digunakan untuk mengetikkan berbagai command matlab, seperti halnya command prompt di dalam DOS. Sebagai permulaan, cobalah ketikkan command date :

```
>> date
```

setelah menekan Enter, akan muncul

```
ans =
```

```
05-Feb-2005
```

date adalah command Matlab untuk menampilkan tanggal hari ini. Berikutnya cobalah command clc untuk membersihkan command window:

```
>> clc
```

Ketika selesai dengan sesi Matlab dan ingin keluar, gunakan command exit atau quit.

```
>> exit
```

Atau...

```
>> quit
```

Atau bisa juga dengan menggunakan menu: File Exit Matlab.

2.9.2 Mendapatkan Help di Matlab⁸

Matlab memiliki sistem “help” yang ekstensif, memuat dokumentasi detail dan informasi “help” meliputi semua command dan fungsi di Matlab. Sistem ini akan sangat membantu pengguna, baik yang pemula maupun ahli, untuk memahami fungsionalitas Matlab yang belum pernah digunakan sebelumnya. Untuk mendapatkan help, terdapat 2 cara: melalui command window, dan melalui help browser.

A. Mendapatkan Help dari Command Window

Dari command window, pengguna bisa gunakan: help, helpwin, dan doc.

Misalkan ingin mengetahui deskripsi dari command plot.

```
>> help plot
```

PLOT Linear plot.

⁸ Teguh widiarsono, op.cit,hal 9



PLOT(X,Y) plots vector Y versus vector X. If X or Y is a matrix, then the vector is plotted versus the rows or columns of the matrix, whichever line up. If X is a scalar and Y is a vector, length(Y) disconnected points are plotted.

....

....

See also SEMILOGX, SEMILOGY, LOGLOG, PLOTYY, GRID, CLF, CLC, TITLE, XLABEL, YLABEL, AXIS, AXES, HOLD, COLORDEF, LEGEND, SUBPLOT, STEM.

Output dari help juga merujuk ke command lain yang berhubungan. Dalam contoh ini: semilogx, semilogy, loglog, dan seterusnya. Untuk melihat deskripsinya bisa pengguna ketikkan help semilogx, help loglog, dan sebagainya.

Dari command window Anda juga bisa menggunakan helpwin.

```
>> helpwin plot
```

Akan muncul window yang berisi deskripsi tentang fungsi atau command yang dimaksud.

- Terlihat bahwa help ataupun helpwin menampilkan informasi yang sama, namun demikian terdapat kelebihan helpwin:
- Teks ditampilkan di window yang terpisah dengan command window
- pengguna bisa langsung mengklik fungsi di “See also” untuk referensi, jadi tidak usah mengetik lagi lewat command window.
- Terdapat link Default Topics yang berisi daftar semua kategori fungsi Matlab, sehingga pengguna bisa mengetahui semua fungsi yang terdapat dalam suatu kategori. Misalkan pengguna ingin mengetahui fungsi apa saja untuk plot grafik 2- dimensi, maka pilihlah link matlab\graph2d.

Cara yang lain untuk mendapatkan dokumentasi yang lengkap ialah menggunakan doc.

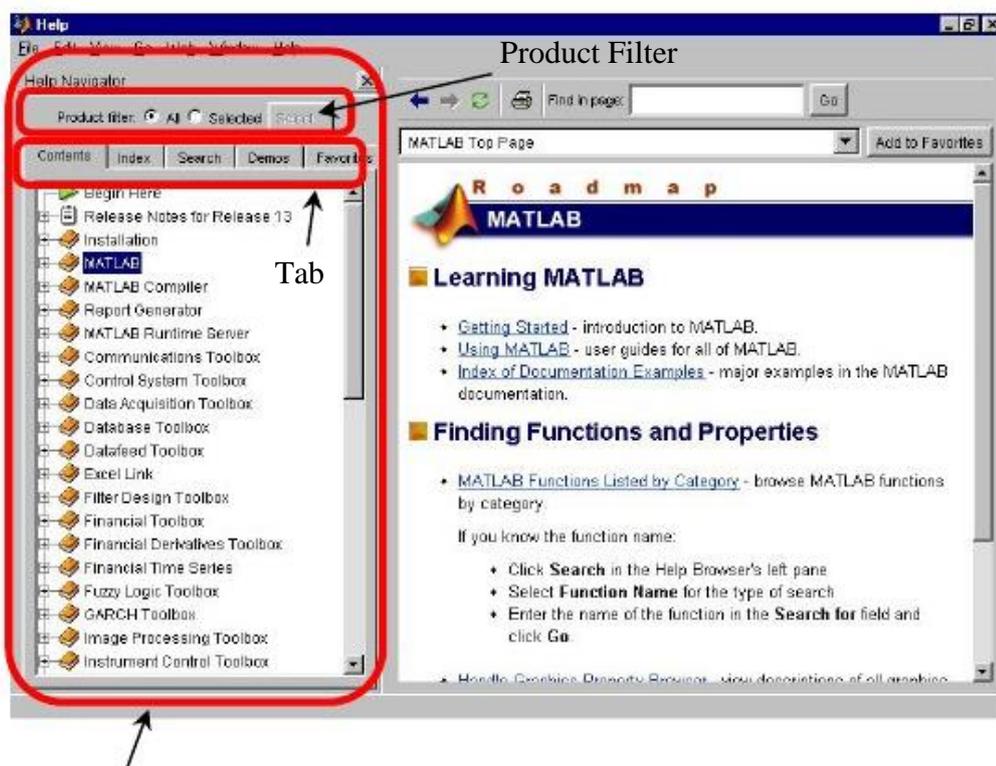
```
>> doc plot
```



Keluaran command doc inilah yang paling lengkap, bahkan menyediakan contoh lengkap yang bisa dipelajari dan dieksekusi. Sekarang cobalah Anda lihat help untuk command lainnya: plot3, polyfit, dan trapz.

B. Mendapatkan Help dari Help Browser⁸

Sumber help lainnya ialah help browser. Anda bisa menyetikkan helpbrowser di command window, atau dari menu Help →MATLAB Help.



Help navigator

Gambar 2.11 Jendela help browser

Help browser memiliki dua bagian utama: Help Navigator, dan layar tampilan di sisi kanan. Cara penggunaan help browser mirip dengan Windows Explorer; apa yang dipilih di daftar navigator akan ditampilkan di layar sisi kanan. Help Navigator ini memiliki sejumlah komponen:

⁸ Teguh Widiarsono,op.cit,Hal 11



Product filter : mengaktifkan filter untuk memperlihatkan dokumentasi hanya pada produk yang Anda inginkan

- Tab Contents : melihat judul dan daftar isi dokumentasi
- Tab Index : mencari entri indeks tertentu (dengan kata kunci) di dalam dokumentasi
- Tab Demos : melihat dan menjalankan demo
- Tab Search : untuk mencari dokumentasi yang mengandung kata / potongan kata tertentu. Untuk mendapatkan help dari suatu fungsi tertentu, pilihlah Search type: Function Name
- Tab Favorites : melihat daftar link ke dokumen yang telah ditandai sebagai favorit.

Di antara tab tersebut, yang paling sering digunakan ialah Contents dan Search. Sebagai latihan, cobalah mencari dokumen mengenai “sound” dengan help browser. Pilih tab Search, Search type: Full Text, Search for: sound.

Penggunaan kaca kunci untuk pencarian mirip dengan mesin pencari di internet (google, yahoo, altavista, dll). Misalkan Anda ingin mencari “filter digital”, maka ketikkan dalam Search for: filter AND digital.