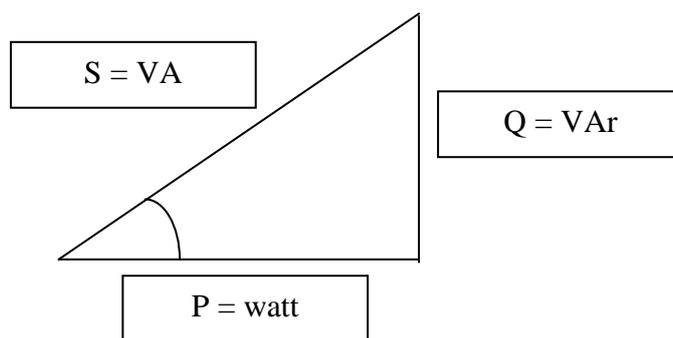


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam teori listrik dikenal adanya besaran dan satuan listrik yaitu: tegangan listrik (beda potensial antara dua penghantar yang bermuatan listrik dalam volt), arus listrik (muatan listrik yang mengalir pada suatu penghantar dari yang berpotensi tinggi ke rendah dalam ampere), frekuensi (banyaknya siklus atau periode gelombang berjalan arus listrik bolak-balik selama satu detik dalam hertz), hambatan/tahanan (hal-hal yang dapat menghambat proses mengalirnya arus listrik dalam ohm). daya listrik (daya semu dalam VA, daya nyata/aktif dalam watt, daya reaktif dalam VAr), beban listrik (beban resistif contoh lampu pijar, beban induktif contoh transformator, motor listrik, beban kapasitif contoh kapasitor). Dari ketiga daya tersebut terdapat suatu hubungan yang dapat ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut [2]:



Gambar 2.1. Segitiga daya

Perbandingan antara besar daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ($\cos \theta$), θ adalah sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu.



Faktor daya ini terjadi karena adanya pergeseran fasa yang disebabkan oleh adanya beban induktif/kumparan atau beban kapasitif. Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut θ merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar daya semu (S), dan semakin besar pula daya reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ($\cos \theta$) semakin kecil. Daya reaktif adalah daya yang hilang, atau rugi-rugi daya sehingga semakin besar sudutnya atau semakin kecil faktor dayanya maka rugi-ruginya semakin besar [5].

$$fp(\cos\theta) = \frac{P(\text{watt})}{S(\text{VA})} \quad (2.1)$$

2.1. Sistem Distribusi Daya Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen listrik seperti: generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban-beban listrik atau pelanggan. Pendistribusian tenaga listrik adalah bagian dari proses sistem tenaga listrik yang secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu:

1. Proses produksi di pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (PLTA, PLTU, PLTG).
2. Proses penyaluran daya/transmisi dengan tegangan tinggi (30, 70, 150, 500 kV) dari pusat-pusat pembangkit ke gardu-gardu induk.



3. Proses pendistribusian tenaga listrik dengan tegangan menengah melalui jaringan distribusi primer (misal 11 atau 20 kV) dan tegangan rendah/jaringan distribusi sekunder (110, 220, 380V).

Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu-gardu induk. Sedangkan komponen-komponen jaringan distribusi adalah jaringan distribusi primer (suatu jaringan dengan sistem 20 kV), gardu distribusi (suatu sistem dengan peralatan utama trafo untuk menurunkan tegangan), jaringan distribusi sekunder (suatu jaringan dengan sistem tegangan 110V, 220V, 380V). Klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya dibedakan atas [1]:

1. Struktur jaringan radial
2. Struktur jaringan loop
3. Struktur jaringan spindel

2.2. Sistem Regulasi Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan. Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus, pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dinyatakan dengan rumus [3]:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (2.2)$$



V_s = tegangan ujung pengiriman (volt)

V_r = tegangan ujung penerimaan (volt)

Saluran daya umumnya melayani beban yang memiliki faktor daya tertinggal. Faktor-faktor yang mendasari bervariasinya tegangan sistem distribusi adalah:

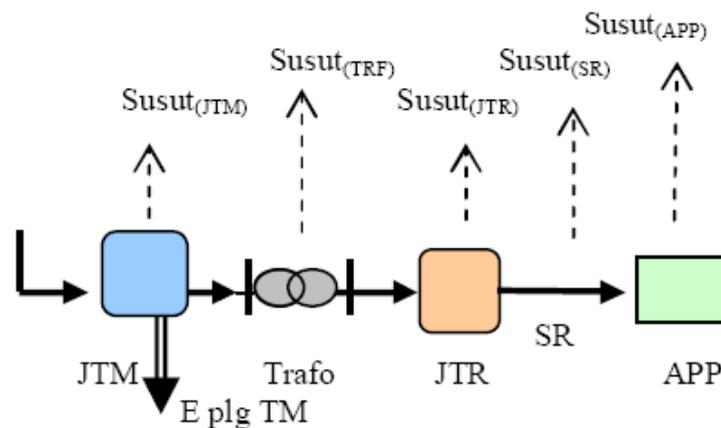
- a. Konsumen pada umumnya memakai peralatan yang memerlukan tegangan tertentu
- b. Letak konsumen tersebar, sehingga jarak tiap konsumen dengan titik pelayanan tidak sama
- c. Pusat pelayanan tidak dapat diletakkan merata atau tersebar
- d. Terjadi jatuh tegangan

Faktor b, c dan d menyebabkan tegangan yang diterima konsumen tidak selalu sama. Konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Metoda-metoda yang digunakan untuk memperbaiki regulasi tegangan saluran distribusi antara lain:

1. Penerapan regulator tegangan otomatis dalam gardu induk distribusi
2. Pemasangan kapasitor dalam gardu induk
3. Penerapan regulator tegangan otomatis dalam saluran distribusi primer
4. Pemasangan kapasitor paralel dan kapasitor seri dalam saluran distribusi primer
5. Pemakaian transformator berpeubah sadapan (*tap changing transformer*).

2.3. Metode Perhitungan Susut Teknis

Dalam perhitungan susut teknis jaringan distribusi, sistem dimodelkan dengan pendekatan sesuai ketersediaan data-datanya. Apabila data bisa lebih rinci lagi maka model bisa dikembangkan secara fleksibel. Pemodelan aliran energi sistem distribusi seperti gambar 2.2 berikut ini [4]:



Gambar 2.2. Pemodelan Aliran Energi Sistem Distribusi

Aliran energinya sebagai berikut:

$E_{\text{-masuk TM}} = \text{Energi masuk ke JTM}$

$E_{\text{-masuk Trafo}} = E_{\text{-masuk JTM}} - \text{Susut}_{\text{(JTM)}} - E_{\text{-pelanggan TM}}$

$E_{\text{-masuk JTR}} = E_{\text{-masuk Trafo}} - \text{Susut}_{\text{(TRF)}}$

$E_{\text{-masuk SR}} = E_{\text{-masuk JTR}} - \text{Susut}_{\text{(JTR)}}$

$E_{\text{-masuk APP}} = E_{\text{-masuk SR}} - \text{Susut}_{\text{(SR)}}$

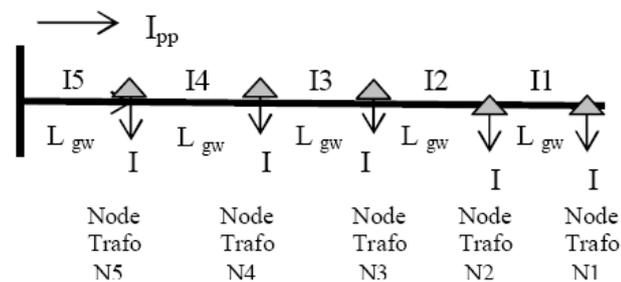
Sedangkan secara total perhitungan susut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Losses (\%)} = \frac{\text{Total energi hilang (losses)}}{\text{Total energi produksi}} \times 100\% \quad (2.3)$$

2.4. Perhitungan Susut JTM (S_{JTM})[6]

JTM dimodelkan menjadi suatu penyulang utama (*main feeder*) dimana titik bebannya (*node*) adalah trafo distribusi yang terdapat pada penyulang utama tersebut. Dengan asumsi faktor kepadatan beban (LDF) dengan satuan Amp/kms adalah sama di sepanjang penyulang, maka perhitungannya dapat didekati dengan asumsi jarak antara 2 titik beban adalah panjang penyulang dibagi jumlah trafo.

Model JTM



Gambar 2.3. Single line penyulang utama dengan beberapa titik beban

Selanjutnya susut teknis **JTM 3 fasa** dapat dihitung sebagai berikut [1]:

$$\begin{aligned}
 S(\text{watt}) &= I^2 \cdot R_{gw} + (2I)^2 \cdot R_{gw} + (3I)^2 \cdot R_{gw} + (4I)^2 \cdot R_{gw} + (5I)^2 \cdot R_{gw} \\
 &= 55 \cdot I^2 \cdot R_{gw}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

$$S_{(\text{kWh}) \text{ 3 fasa}} = 3 \times \sum_1^n n^2 \times I_{gw}^2 \times R_{gw} \times L_{sF} \times t \times F_{kor} \times 10^{-3} \text{ kWh} \tag{2.5}$$

Dimana:

I_{pp} = Arus puncak (peak) pangkal penyulang

n = Jumlah 'titik beban' (diberi tanda petik, karena mungkin bukan titik beban yang sesungguhnya) karena diasumsikan jarak antar titik beban adalah L_{gw}

L_{gw} = Jarak gawang antar titik beban = $L_{\text{total penyulang}}/n$ (km)

R_{total} = Resistan total pht = $R_{\text{konduktor ohm/km}} \times L$



R_{gw} = Resistan pht antar titik beban = R_{total}/n

I_{gw} = Faktor kepadatan beban = I_{pp}/n (Amp/km)

LsF = Faktor susut (Loss Factor)

t = Kurun waktu, bila sebulan = 720 jam

F_{kor} = Faktor koreksi, akibat ketidakseimbangan, ketidakmerataan beban, faktor resistansi, temperatur, dll

$\sum_1^n n^2$ = Tabel sigma

PF = Cos ϕ = faktor daya

V_{pp} = Tegangan fasa-fasa

Sedangkan energi yang masuk ke penyulang dapat dinyatakan dengan rumus :^[1]

$$E \text{ (kWh)} = V \cdot I_{pp} \cdot \sqrt{3} \cdot PF \cdot LsF \cdot t \text{ (kWh)} \quad (2.6)$$

Apabila energi masuk penyulang utama dalam satu bulan kita ketahui

maka arus puncak I_{pp} dapat kita cari dengan :

$$I_{pp} = \frac{E \text{ (kWh)}}{\sqrt{3} \cdot V_{pp} \cdot PF \cdot LsF \cdot 720} \text{ (kWh)} \quad (2.7)$$

Untuk JTM 1 Fasa

Susut JTM 1 fasa dihitung [1]:

$$S_{\text{(kWh)-1fasa}} = 2 \times \sum_1^n n^2 \times I_{gw}^2 \times R_{gw} \times LsF \times t \times F_{kor} \times 10^{-3} \text{ kWh} \quad (2.8)$$

Sehingga susut total menjadi :

$$S_{\text{JTM-Total}} = S_{\text{(kWh)-3-fasa}} + S_{\text{(kWh)-1-fasa}} \quad (2.9)$$

$$S \text{ (\%)} = \frac{S_{\text{(kWh) JTM-Total}}}{E_{\text{(kWh) JTM}}} \times 100\% \quad (2.10)$$



Data aset yang perlu disiapkan adalah :

- a. Resistans penyulang TM per km.
- b. Tentukan faktor beban (LF) komposit masing-masing penyulang, bisa dengan cara mengukur arus dipangkal penyulang (di Gardu Induk) setiap jamnya kemudian dinormalisasikan menjadi faktor beban. Faktor beban komposit digeneralisasi dari kurva beban harian selama 1 minggu. Dengan asumsi hal tersebut sudah bisa menggambarkan faktor beban yang sebenarnya.
- c. Faktor susut dalam hal ini menggunakan pendekatan yaitu : $LsF = 0,3 LF + 0,7 LF^2$ [2]
- d. Faktor koreksi (F_{kor}) = faktor-faktor koreksi akibat ketidakseimbangan beban, ketidakmerataan beban, faktor resistansi, faktor temperatur, dll (0,689-1,870) [1]

2.5. ETAP Power Station [7]

ETAP Power Station dibuat dan dikembangkan oleh Operasi Technology Inc. (OTI) yang merupakan perusahaan analisa spektrum yang fokus dalam desain, perencanaan, analisa, pelatihan, pengoperasian dan simulasi komputer pada sistem tenaga listrik. OTI adalah perusahaan paling komprehensif dengan lebih dari 50.000 lisensi di lebih dari 100 negara, ETAP melayani kebutuhan sistem tenaga listrik dari pembangkit sampai ke beban. Tim dari OTI melakukan penelitian dan pengembangan yang didukung oleh insinyur dan ilmuwan yang memiliki pengetahuan gabungan lebih dari 500 tahun pengalaman.



2.5.1 Perkembangan ETAP Power Station

Didirikan pada tahun 1986, OTI merilis versi pertama dari *Electrical Transient Analyser Program (ETAP)*, *Power system analysis*. Saat ini, OTI diakui sebagai pemimpin pasar global dalam menyediakan solusi untuk analisa sistem daya, desain, simulasi, operasi, kontrol, optimasi dan otomatisasi.

Kantor OTI terletak di Irvine, California yang meliputi seluruh tim penelitian dan pengembangan divisi teknik dan staf pendukung. OTI memperluas jangkauan global dengan kantor-kantor penjualan dan dukungan di lebih dari 80 negara. Pada saat itu ETAP:

- ETAP adalah satu-satunya perangkat lunak yang disetujui untuk digunakan dalam nuklir/fasilitas yang mempunyai resiko tinggi.
- OTI merilis 32-bit program untuk analisa sistem kelistrikan pertama berbasis Windows.
- Real-Time ETAP diluncurkan untuk memenuhi tuntutan yang berkembang, untuk memantau sistem secara online, simulasi, kontrol dan otomatisasi.
- OTI telah berkembang menjadi perusahaan pembuat *software* sistem analisa terbesar di dunia.
- OTI terus berusaha memenuhi kebutuhan klien dengan mengembangkan teknologi perangkat lunak untuk sistem tenaga listrik.



Tabel 2.1 Perkembangan ETAP *Power Station*

Perkembangan ETAP <i>Power Station</i>				
Year	Development			
1983	Development of ETAP			
1986	Operation Technology, Inc Establish	First Release of ETAP DOS 1.0		
1991	Nuclear Certification	First Installation of ETAP Real Time		
1992	ETAP DOS 6.5	ETAP DOS 7.1		
1995	ETAP DOS 7.3	ISO 9001 Certification		
1996	ETAP 1.0	First Power Analysis Program for Windows 32 bit		
1998	ETAP 2.0	Power System Monitoring and Simulation (PSMS)		
2000	ETAP 3.0	Harmonic Analysis DS System Generator Starts-Up Optimal Power Flow	First Annual ETAP Nuclear Conference	
2001	ETAP 4.0	Reability Analysis Ground Grid Design Panel System UDM	ETAP Data X	OTI Far-East Office
2002	ETAP 4.7	Etap Learning Center		
2004	ETAP 5.0	Control Circuit Diagram Unbalance Load Flow Line Sag & Tension Arc Flash Analysis	ETAP GIS	ETAP Device Coordination
2005	Energy Management System EMS	Intelligent Load Shedding (ILS)	ETAP ARTTS Relay Testing Hardware	
2006	ETAP 5.5	Chinese Version	Japan Version	Intelligent Substation (i-Sub)
2007	ETAP 5.6	ETAP Solution Provider Program	Automatic Generation Control (AGC)	
2008	ETAP 6.0	Renewable Energy	BS7671 Cable Sizing, Data Comparator, Report Analyser	CSE Product of The Year Award
2009	ETAP 7.0	Smart Grid Solution	Single Phase Arc Flash	Switching Sequence Management Load Analyser
2010	ETAP 7.1	Cable Ampacity-IEC Custom Arc Flash Label		
2011	ETAP 7.5	Multi Language support English, Spanish, Chinese, Japanese, Portuguese, German		
2013	ETAP 8.6	Multi Language support		
2014	ETAP 11.0	Multi Language support		
2015	ETAP 12.6	Multi Language support English, Spanish, Russian, Korean, Chinese, Japanese, Portuguese, German, Italian, Turkish	Expanded to Deliver Unsurpassed Performance, Intelligence and Reliability	



2.5.2 Fitur-fitur pada ETAP Power Station

Fitur-fitur yang dimiliki *ETAP Power Station 12.6* adalah sebagai berikut (Etap,2007):

”One-Line Diagrams, Time-Current Device Coordination/Selectivity Plots (ETAP STAR), Ground Grid, Underground Raceway Systems, Cable Pulling, Transformer Sizing, Transformer Tap Optimization, Motor Parameter Estimation, ODBC (Open Database Connectivity), 3D-Database, Convert to EMF, WMF and DXF Files, Printing/Plotting of One-Line Diagram, OLE Client, Active Error Viewer, Alert View, Application Message Logging, Crystal Reports, Output Report Manager, Schedule Report Manager, Annotation Display Options, AC Elements, One-Line Diagram, Instrumentation Elements, One-Line Diagram, Nested Sub-Systems, One-Line Diagram, DC Elements, Control Circuit Diagram, AC-DC Elements, One-Line Diagram, Elements, Underground Raceway System, Elements, Ground Grid System Elements, Cable Pulling System, Libraries, Transformer Typical Data, Base Package, Load Flow Analysis, Panel and Single-Phase Systems, Short-Circuit Analysis, Time-Current Device Coordination/Selectivity (Star), Arc Flash IEEE 1584, Motor Acceleration Analysis, Harmonic Analysis, Transient Stability Analysis, User-Defined Dynamic Modelling, Generator Start-Up Analysis, Cable Derating Analysis, Ground Grid Systems, Optimal Power Flow, DC Load Flow and DC Short-Circuit Analysis, DC Battery Sizing and Discharge Analysis, Control System Diagram, Reliability Analysis, Unbalanced Load



Flow, Transmission Line – Sag, Tension, and Ampacity, High Voltage DC Systems, Optimal Capacitor Placement, GIS Interface (ESRI ArcGIS), Electrical Data Processing Program (e-DPP), ETAP – e-DPP Interface, SmartPlant Electrical Interface (Intergraph SPEL), Real-Time Advanced Monitoring, Real-Time Event Playback, Real-Time Energy Management System (EMS), Real-Time Intelligent Load Shedding dan Wind Turbine Generator (WTG)”).