

STUDI ANALISIS ALIRAN BEBAN (*LOAD FLOW*) SISTEM TENAGA LISTRIK IMPLEMENTASI PADA JARINGAN KELISTRIKAN DI UNNES

Said Sunardiyo

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Gedung E6 Lt.2 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang Telp. (024) 8508104

Abstraksi : Studi analisis aliran beban dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya atau tegangan pada suatu jaringan sistem tenaga listrik. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga. Permasalahan aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. Manfaat studi aliran daya ini yaitu, untuk mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada pada sistem, untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk meyalurkan daya yang diinginkan, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Studi analisis aliran beban ini mengambil contoh pada implementasi sistem tenaga listrik di lembaga pendidikan Universitas Negeri Semarang, dengan karakteristik beban terpusat (*lumped load*), jaringan sistem distribusi tenaga listrik berupa jaringan radial dan sumber tegangan berasal dari saluran menengah PLN 20 kV. Analisis aliran daya diawali menghitung tegangan pada setiap simpul (*bus*) terpasang, pembebanan pada transformator, pembebanan pada saluran atau penghantar, nilai rugi daya, jatuh tegangan sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik terpasang. Dari hasil perhitungan aliran daya berbantuan program ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dapat diambil kesimpulan bahwa sistem jaringan listrik terpasang di Universitas Negeri Semarang adalah layak, karena memiliki nilai tegangan pada beban yang memenuhi persyaratan IEEE, yaitu tegangan maksimum mempunyai prosentase lebih kurang 10 % dari tegangan nominal dan memenuhi batas tegangan minimum yaitu 10 % dari tegangan nominal beban. Harga *losses* sebesar 38.1 kW untuk daya aktif dan 31.5 kVar untuk daya reaktif. .

Kata kunci : *analisis, beban, tenaga listrik*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aliran daya merupakan hal yang sangat penting yang perlu dicermati pada sistem kelistrikan tiga fasa, dimana dengan analisis dan perhitungan yang cermat terhadap aliran daya sistem tersebut, dapat diketahui besar tegangan pada setiap simpul saluran, dan untuk menentukan peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan terhadap sistem tersebut demi terwujudnya keandalan sistem kelistrikan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati, menemukan, dan

menganalisa aliran beban (*load flow*) sistem tenaga listrik implementasi pada jaringan kelistrikan di Unnes.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada dalam sistem.
2. mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. memperoleh kondisi awal pada perencanaan sistem tenaga listrik.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan :

1. *Studi literatur*, studi ini bermanfaat untuk mendapatkan berbagai teori

- yang berhubungan dengan permasalahan dalam penelitian ini.
2. *Survei lapangan*, digunakan dalam rangka mengumpulkan variable - variabel obyek yang diteliti.

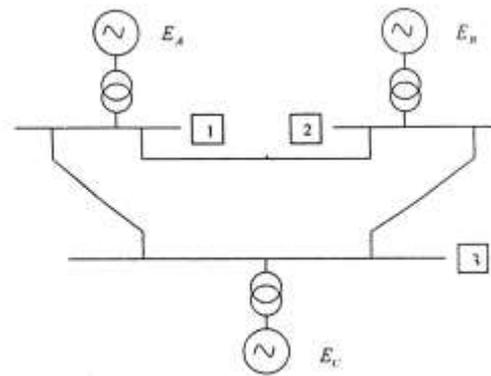
TINJAUAN PUSTAKA

Analisis beban listrik adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini dipergunakan mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. Keterangan utama yang diperoleh dari suatu studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap rel dan dayanyata dan daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran.

Data dan informasi tersebut diperlukan untuk menganalisis keadaan sekarang dari sistem guna perencanaan perluasan sistem selanjutnya yang akan datang.

1. Persamaan Unjuk Kerja Jaringan

Misalkan contoh suatu jaringan sistem tenaga listrik yang terdiri dari sumber pembangkitan beban ditunjukkan gambar berikut :

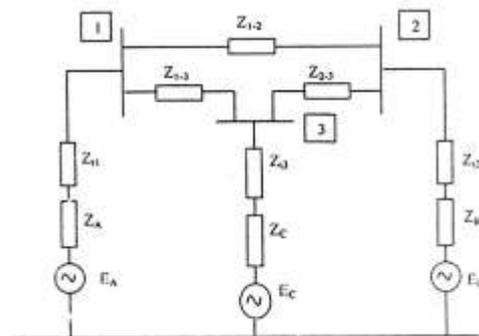


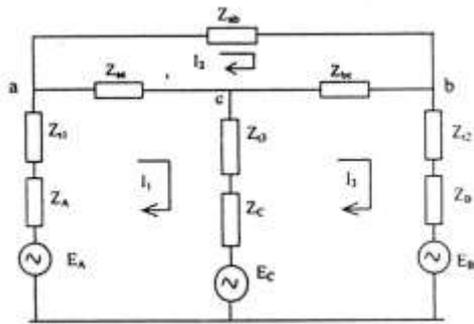
Gambar 1.

Jaringan sistem tenaga listrik.

Jika resistansi komponen pada sistem jaringan tersebut tidak diabaikan, maka:

- ZA = impedansi generator A
 - ZB = impedansi generator B
 - ZC = impedansi generator C
 - Zt1 = impedansi transformator 1
 - Zt2 = impedansi transformator 2
 - Zt3 = impedansi transformator 3
 - Zab = impedansi saluran antara rel 1 dan rel 2
 - Zac = impedansi saluran antara rel 1 dan rel 3
 - Zbc = impedansi saluran antara rel 2 dan rel 3
- Rangkaian impedansi jaringan ditunjukkan pada gambar 2





Gambar 2. Penyederhanaan jaringan

Dari gambar 2 diperoleh persamaan-persamaan berikut :

$$I_1 (Z_{t1} + Z_A) + (I_1 - I_2)Z_{ac} + (I_1 - I_3) (Z_{t3} - Z_C) = E_A - E_C \dots\dots (2.1)$$

$$I_2 Z_{ab} + (I_2 - I_3)Z_{bc} + (I_2 - I_1)Z_{ac} = 0 \dots\dots(2.2)$$

$$(I_3 - I_1) (Z_{t3} + Z_C) + (I_3 - I_1)Z_{bc} + I_3(Z_{t2} + Z_B) = E_C - E_B \dots\dots(2.3)$$

Persamaan (2.1), (2.2), (2.3) dapat disederhanakan menjadi :

$$I_1 (Z_{t1} + Z_A + Z_{ac} + Z_{t2} + Z_C) - I_2 Z_{ac} - I_3 (Z_{t2} + Z_C) = E_A - E_C \dots\dots(2.4)$$

$$- I_1 Z_{ac} + I_2 (Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac}) - I_3 Z_{bc} = 0 \dots\dots(2.5)$$

$$- I_1 (Z_{t3} + Z_C) - I_2 Z_{bc} + I_3 (Z_{t3} + Z_C + Z_{t2} + Z_B + Z_{bc}) = E_C - E_B \dots\dots(2.6)$$

Bila dimisalkan : $Z_{t1} + Z_A + Z_{ac} + Z_{t2} + Z_C = Z_{11}$
 $Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac} = Z_{22}$
 $Z_{t3} + Z_C + Z_{t2} + Z_B + Z_{bc} = Z_{33}$
 $Z_{ac} = Z_{12} = Z_{21}$
 $Z_{bc} = Z_{23} = Z_{32}$
 $(Z_{t3} + Z_C) = Z_{13} = Z_{31}$

V_1 adalah jumlah tegangan pada persamaan (2.1) V_2 adalah jumlah tegangan pada persamaan (2.2) V_3 adalah jumlah tegangan pada persamaan (2.3)

Maka persamaan menjadi :

$$I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} + I_3 Z_{13} = V_1 \dots\dots(2.7)$$

$$I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22} + I_3 Z_{23} = V_2 \dots\dots(2.8)$$

$$I_1 Z_{31} + I_2 Z_{32} + I_3 Z_{33} = V_3 \dots\dots(2.9)$$

Persamaan-persamaan di atas juga dapat dinyatakan dalam bentuk umum

$$\text{menjadi : } I_k Z_{kn} = V_k \dots\dots(2.10)$$

2. Persamaan Aliran Daya

Daya listrik selalu akan mengalir menuju beban (*load*). Beban dapat digolongkan menjadi dua yaitu beban statis dan beban berputar (dinamis). Beban-beban ini dapat direpresentasikan sebagai impedan tetap (*Z*), sebagai daya yang tetap (*S*), tegangan (*V*) atau arus (*I*) yang tetap. Tetapi yang biasa dipilih sebagai pembebanan yaitu menggunakan tegangan konstan. Besarnya aliran daya di setiap saluran beserta rugi-ruginya dapat diketahui dengan menghitung lebih dahulu besaran (*magnitude*) tegangan dan sudut fasornya semua simpul pada sistem.

Pada setiap simpul (bus) sistem terdapat 4 parameter yaitu : (1). Daya nyata (*real power*), simbol *P* satuan megawatt (MW). (2). Daya semu (*reactive power*), simbol *Q*, satuan megavoltampere reactive (MVAR). (3). Tegangan, simbol *V*, satuan kilovolt (KV). (4). Sudut fasa tegangan, satuan radian (rad).

Dari 4 parameter tersebut, untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya listrik pada setiap simpul

perlu diketahui nilai 2 buah parameter-nya, tergantung pada parameter-parameter yang diketahui, maka pada setiap simpul di sistem diklasifikasikan dalam 3 kategori, yaitu :

(1). Simpul beban (*load bus or PQ buses*).

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter-parameter yang tidak diketahui adalah V dan δ

(2) Simpul kendali (*voltage - controlled bus or P - V buses*).

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan V, dimana pada simpul ini mempunyai kendala untuk daya semu (Q) yang melalui simpul. Bila kendala ini didalam perhitungan integrasinya tidak dipenuhi, maka simpul ini diganti menjadi simpul beban. Sebaliknya, bila daya memenuhi kendala akan dihitung sebagai simpul kendali kembali. Parameter-parameter yang tidak diketahui adalah δ dan Q.

(3). Simpul ayun (*swing bus or slack bus*).

Parameter-parameter yang diketahui adalah V dan δ (biasanya $\delta = 0$), dengan V dan selama perhitungan aliran daya akan tetap tidak berubah. Fungsi dari simpul ini ditentukan dalam perhitungan yaitu untuk memenuhi kekurangan daya (rugi-rugi dan beban) seluruhnya, karena kerugian jaringan tidak dapat diketahui

sebelum perhitungan selesai dilakukan.

Saluran transmisi digambarkan dengan model ekuivalen yang mana impedan-impedannya telah diubah menjadi admitan-admitan per unit dengan satuan MVA.

Aplikasi hukum Kirchoff pada bus ini diberikan dalam :

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \quad (2.23)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i

$$\text{adalah : } P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (Hadi Sadat, 2004) \quad (2.24)$$

3. Persamaan Pembebanan

Besarnya daya pada setiap simpul atau bus dapat dinyatakan oleh persamaan : $S_k = S_{gk} - S_{LK} - S_{Tk}$ (Sulasno, 2001) (2.25)

dengan :

S_{gk} = sumber daya yang masuk ke bus k

S_{LK} = beban daya yang keluar dari bus k

S_{Tk} = aliran daya yang keluar dari bus k

Dalam bentuk daya kompleks, persamaan (2.26) dinyatakan oleh persamaan :

$$P_k + jQ_k = (P_{Gk} + jQ_{Gk}) - (P_{Lk} + jQ_{Lk}) - (P_{Tk} + jQ_{Tk}) = (P_{Gk} - P_{Lk} - P_{Tk}) + j(Q_{Gk} - Q_{Lk} - Q_{Tk}) \quad (2.27)$$

dengan :

P = daya aktif

Q = daya reaktif

4. Metode Perhitungan Aliran Daya

Prosedur penyelesaian perhitungan aliran daya ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 3.

Flow chart perhitungan aliran daya

Terdapat 3 metode perhitungan aliran yang digunakan untuk perhitungan aliran daya, yaitu :

a. Metode Gauss - Seidel

Perhitungan aliran daya dengan metode Gauss–Seidel mempunyai kelebihan sebagai berikut :

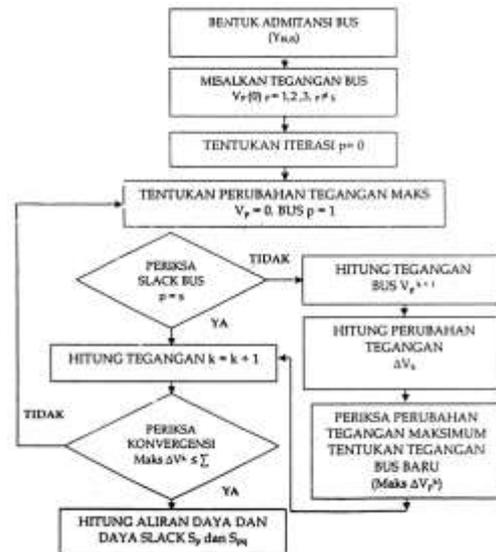
- a. Pemrograman dan perhitungan relatif lebih mudah.
- b. Waktu tiap iterasi singkat.
- c. Sesuai untuk sistem jaringan sedikit.

Sedangkan kelemahannya yaitu :

- a. Pencapaian konvergen lambat.
- b. Makin banyak simpul, makin banyak pula diperlukan iterasi, dan jumlah iterasi juga akan

berubah bila bus referensi diganti oleh bus yang lain.

- c. Untuk sistem radial tidak dapat mencapai konvergen.
- d. Untuk perhitungan pada sistem jaringan yang banyak tidak sesuai.



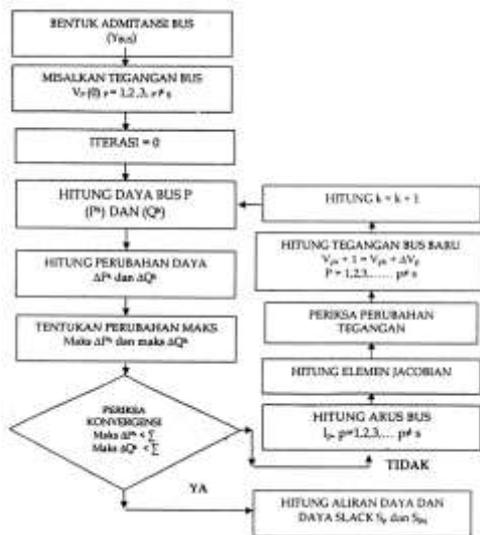
Gambar 4

Diagram alir proses perhitungan daya metode Gauss – Seidel dengan bus admitansi

b. Metode Newton – Raphson

Metode Newton–Raphson pada dasarnya merupakan metode Gauss – Seidel (G-S) yang diperluas dan disempurnakan. Perhitungan aliran daya dengan metode Newton-Raphson (N-R) dianggap efektif dan menguntungkan untuk sistem jaringan yang besar (luas). Metode N-R dapat mengatasi kelemahan pada metode G-S antara lain ketelitian dan jumlah iterasi, karena mempunyai waktu hitung

konvergensi yang cepat atau membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit.



Gambar 5.

Diagram alir proses perhitungan aliran daya metode Newton Raphson

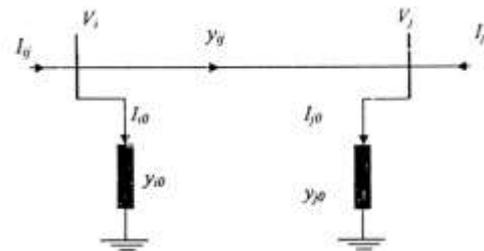
c. Metode Fast – Decouple

Pemecahan aliran daya dengan metode Fast – Decouple menghendaki iterasi yang lebih banyak daripada

metode Newton–Raphson, tetapi dalam tiap iterasi membutuhkan sedikit waktu dan pemecahan aliran daya diperoleh dengan cepat.

5. Persamaan Rugi Daya pada Saluran

Setelah penentuan dari bus tegangan, langkah berikutnya adalah perhitungan aliran daya dengan metode tersebut dan besar rugi-rugi daya pada aluran. Misalkan saluran dihubungkan dengan dua bus i dan j (pada Gambar 6)



Gambar 2.8

Model saluran untuk perhitungan rugi daya

Arus saluran I_{ij} dihitung pada bus i yang ditandai positif. Rugi-rugi daya pada saluran $i - j$ bisa dipecahkan dengan persamaan :

$$SL = S_{ij} + S_{ji} \text{ (Cekmascekin, 2005) (2.28) dengan, } S_{ij} = \text{aliran daya dari bus } i \text{ ke bus } j. S_{ji} = \text{beban daya dari bus } j \text{ ke bus } i.$$

Dengan bentuk bilangan kompleks, persamaan menjadi :

$$PL + jQL = (P_{ij} + jQ_{ij}) + (P_{ji} + jQ_{ji}) \text{ (2.29) dimana, } P = \text{daya aktif (kW)} \\ Q = \text{daya reaktif (kVar)}$$

METODE

Objek penelitian : Sistem kelistrikan di UNNES

Sistem kelistrikan di UNNES disuplai PLN tegangan menengah 20 kV pada gardu distribusi primer dengan kapasitas daya 240 kVA. Di gardu distribusi sekunder diturunkan menjadi tegangan rendah 380 V / 220 V. Sesuai beban yang terpasang, sistem pendistribusian tenaga listrik di UNNES dibagi menjadi : sistem 3 fasa yaitu (a). menggunakan sistem 3 fasa 4 kawat (yaitu R – S – T dan netral).(b).

sistem 3 fasa ini digunakan untuk beban motor-motor dan laboratorium. *Sistem 1 fasa* yaitu (a). memakai sistem 1 fasa 3 kawat (fasa –netral–ground). (b). sistem 1 fasa ini dipakai untuk instalasi penerangan, AC, peralatan kantor.

Konfigurasi Kelistrikan di Kampus Unnes

Jaringan sistem distribusi di Kampus UNNES merupakan jaringan dengan pola radial. Bagian-bagian dari sistem terpasang :

a. Trafo

Pada gardu distribusi primer (terletak di Fakultas MIPA) terdapat trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan yang disuplai oleh PLN sebesar 20 kV menjadi 380 V / 220 V dan trafo-trafo yang lain terdapat pada setiap gardu distribusi sekunder.

b. Penghantar kabel

Penghantar berfungsi menghubungkan jaringan terpasang dari PLN ke gardu distribusi dan dari gardu distribusi ke beban. Jenis penghantar yang digunakan yaitu :

(1). Penghantar dari jaringan 20 kV ke gardu distribusi sekunder tiap fakultas menggunakan kawat pilin udara berpenghantar aluminium berisolasi XLPE : NFA2X – T3 x 50 mm² + 35 mm² 0,6 / 1 kV SPLN.

(2) penghantar dari gardu distribusi sekunder tiap fakultas ke gedung–gedung menggunakan kawat pilin udara berpenghantar aluminium

berisolasi XLPE : NFA2X – T3 x 50 mm² + 35 mm² 0,6 / 1 kV SPLN dan XLPE : NFA2X – T3 x 25 mm² + 25 mm² 0,6 / 1 kV SPLN.

c. Gardu distribusi sekunder (sub station).

Terdapat 5 gardu distribusi sekunder pada jaringan kelistrikan di kampus UNNES dimana setiap gardu distribusi sekunder terdiri dari sebuah trafo penurun tegangan. Gardu distribusi sekunder masing-masing terletak di :

- c.1. FMIPA dan FIP dengan kapasitas transformator 250 kVA.
- c.2. FBS dengan kapasitas transformator 100 kVA.
- c.3. FIS dengan kapasitas transformator 160 kVA.
- c.4. FIK dengan kapasitas transformator 100 kVA.
- c.5. FT dengan kapasitas transformator 100 kVA.

d. Beban

Beban yang ada di kampus dikelompokkan menjadi dua, yaitu beban mesin-mesin atau motor-motor (terutama yang terdapat di Fakultas Teknik) yang disuplai dengan tegangan 380 V dan beban untuk penerangan dan peralatan kantor yang disuplai dengan tegangan 220 V.

ANALISIS ALIRAN DAYA

Analisis Aliran Daya dengan ETAP

Kemampuan Program

Program ETAP (*Electrical Transient Analisis Program*) merupakan perangkat lunak yang mempunyai fungsi untuk melakukan analisis perhitungan studi kasus

mengenai aliran daya, arus hubung singkat, stabilitas transien dan analisis perhitungan tenaga listrik lainnya. Perhitungan berdasarkan data-data masukan dan diagram segaris (*single line diagram*). Selain tampilan yang komunikatif, program ETAP juga dapat melakukan perhitungan dengan jumlah bus yang banyak dan kompleks. Dengan hasil dari analisis perhitungan program aliran daya pada khususnya, dapat dijadikan pedoman atau sebagai data awal untuk perbaikan faktor daya, dan dapat digunakan untuk menghitung perencanaan suatu sistem tenaga listrik baru. Alasan penggunaan program ETAP. ETAP merupakan program aplikasi dan salah satu fungsinya untuk penyelesaian perhitungan aliran daya yang mempunyai perhitungan lebih teliti dan akurat karena dengan pendekatan iterasi-iterasi metode perhitungan untuk bentuk simultan jaringan, daripada dengan perhitungan matematis biasa, walaupun dasar perhitungan dari kedua perhitungan sama yaitu berdasarkan hukum Kirchoff. Diagram segaris sistem tenaga listrik merupakan data awal sebagai masukan. Selain diagram segaris untuk perhitungan aliran daya, juga diperlukan data-data masukan berupa karakteristik komponen-komponen tenaga listrik seperti trafo, pemutus tegangan (*circuit breaker*), beban dan jenis penghantar.

Pada program ETAP juga dilengkapi dengan perpustakaan (*library*) untuk melengkapi data-data masukan.

Hasil perhitungan program ETAP berupa laporan teks (*text report*) dari data masukan dan analisis perhitungan yang diinginkan.

Analisis Aliran Daya Sistem

Distribusi Listrik UNNES

1. Model jaringan

Jaringan sistem tenaga listrik pada Universitas Negeri Semarang adalah jaringan radial, dimana untuk sumber tenaga listrik dari tegangan menengah PLN sebesar 20 kV. Sistem terpasang terdiri dari 86 simpul (*bus*), 1 bus referensi (*swing bus*), 85 bus beban (*load bus*), 5 buah transformator daya dan 84 titik beban. Beban pada sistem terpasang dapat diklasifikasikan 80 % sebagai beban motor (*motor load*) dan 20 % sebagai beban statis (*static load*).

2. Konfigurasi Jaringan

Pada sistem jaringan distribusi listrik terpasang UNNES terdapat 84 titik beban yang mempunyai kapasitas terukur, dimana data kapasitas setiap beban terpasang diperoleh dari pengamatan dan pencatatan pada panel penyuplai tegangan tinggi (*high tension feeder panel*) yang terdapat pada gardu induk primer kampus.

3. Pemodelan Beban

Menjelaskan tentang nilai beban pada setiap bus, perbandingan antara pembebanan dan kapasitas transformator, pembebanan pada

penghantar. Hasil perhitungan program berupa nilai tegangan operasi yang mengalir pada setiap bus dalam bentuk prosentase, dan aliran daya terpasang(S) dalam satuan kVA, daya aktif (P) dalam satuan kW, dan daya reaktif (Q) dalam satuan kVar.

Perbedaan nilai pembebanan pada nilai masukan dan keluaran pada transformator masih berkisar 2 %.

Dapat dijelaskan, transformator pada FMIPA + FIP, FBS dan FIS beban operasionalnya masih di bawah nilai kapasitas daya maksimal dari transformator walaupun nilainya sudah sangat kritis. Pada transformator FIK dengan kapasitas daya 100 kVA, nilai beban masukan dan keluarannya di bawah 70 %. Ini mengindikasikan banyaknya daya yang terbuang, dimana pada jaringan listrik bolak balik (AC) daya listrik tidak dapat disimpan. Maka dari itu konfigurasi dan spesifikasi transformator hendaknya disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan transformator dan memperhitungkan besar beban terpasang. Sedangkan pada transformator FT, beban operasionalnya melebihi kapasitas transformator sehingga transformator mengalami *over load* karena beban pada FT sangatlah banyak meliputi mesin-mesin 3 fasa yang membutuhkan daya yang besar. Untuk mengatasi hal tersebut, hendaknya kapasitas transformator FT disesuaikan dengan kebutuhan beban terpasang.

4. *Pembebanan Penghantar Jaringan Terpasang*

Pembebanan kabel masih relative aman karena nilai arus yang mengalir pada kabel penghantar besarnya masih di bawah nilai arus maksimum yang diperbolehkan.

5. *Pembebanan Simpul (bus) T-r-pasang*

Nilai terbesar pada pembebanan bus adalah pada bus 62 dengan dengan prosentase pembebanan 18,7 %, dan nilai terendah pembebanan bus terpasang adalah pada bus 98 dan bus 99 dengan prosentase pembebanan sebesar 2,4 %. Simpul (*bus*) pada system jaringan terpasang mempunyai kapabilitas yang bagus, dengan nilai faktor daya yang relative stabil diatas 80 %, sehingga upaya perbaikan factor daya tidak perlu dilakukan. Sistem jaringan distribusi UNNES mempunyai daya terpasang keseluruhan sebesar 695 kVA, daya aktif 621 kW, daya reaktif 314 kVar, dan nilai factor daya 89,3 %.

6. *Nilai rugi daya (losses) pada jaringan terpasang*

Perhitungan prosentase rugi daya untuk daya aktif sebesar 1,3 % dan rugi daya reaktif sebesar 2,27 %. Untuk jatuh tegangan pada system jaringan mempunyai nilai yang relative kecil, yaitu masih dibawah 10 % dari tegangan nominal. Nilai tersebut masih jauh dibawah persyaratan yang ditetapkan, yaitu tegangan maksimum mempunyai prosentase lebih kurang

10 % dari tegangan nominal, dan memenuhi batas tegangan minimum yaitu 5 % dari tegangan nominal beban. Besar jatuh tegangan merupakan akumulasi jatuh tegangan relatif terhadap bus referensi (*swing bus*) menuju masing-masing bus beban (*load bus*). Hasil akumulasi jatuh tegangan pada masing-masing bus mempunyai prosentase penurunan tegangan berkisar 1 % dari tegangan nominal pada bus utama.

7. *Pembebanan Pada Saat Jam-jam Perkuliahan*

Pembebanan pada saat jam-jam perkuliahan berlangsung yang efektif yaitu antara pukul 09.00 hingga pukul 13.00. pembebanan pada perhitungan aliran daya berikut diasumsikan bahwa besar tegangan nominal sumber daya listrik PLN mempunyai nilai 100 %, dapat diartikan tegangan sebesar 20 kV.

Dengan tegangan nominal 100 % dari sumber daya listrik, maka besar tegangan operasi pada simpul (*bus*) 1 sebagai simpul ayun (*swing bus*) mempunyai nilai yang sama dengan tegangan nominal pada sumber daya (*power grid*), dan pada simpul ayun berapapun prosentase dari tegangan operasi, maka tegangan operasi tersebut sebagai acuan dari nilai tegangan mula (*initial voltage*) pada simpul (*bus*) 1, yaitu dinilai dengan prosentase 100 %. Pembebanan simpul (*bus*) saat jam perkuliahan efektif Pada keadaan kampus efektif melakukan

perkuliahan, pembebanan pada transformator, kabel penghantar tidak mengalami kelebihan beban (*overload*) maupun (*underload*). Hanya pada nilai tegangan pada setiap simpul perlu dibahas lebih lanjut. Beban puncak juga berpengaruh pada

nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada setiap saluran terpasang. Dari perhitungan prosentase rugi daya saat beban puncak untuk daya aktif sebesar 0,55 % dan rugi daya reaktif pada sistem terpasang sebesar 0,66 %. Untuk jatuh tegangan pada sistem jaringan mempunyai nilai yang relatif kecil, yaitu masih dibawah 10 % dari tegangan nominal. Nilai tersebut masih jauh dibawah persyaratan yang ditetapkan, yaitu tegangan maksimum mempunyai prosentase lebih kurang 10 % dari tegangan nominal, dan memenuhi batas tegangan minimum yaitu 10 % dari tegangan nominal beban.

SIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sistem jaringan listrik terpasang di UNNES, untuk hasil aliran daya listrik sudah layak, karena rugi daya aktif nilainya 38,1 kW atau sebesar 1,3 % dari total daya aktif, dan nilai tegangan yang mengalir telah memenuhi persyaratan dari IEEE, yaitu

- tegangan maksimum memiliki prosentase lebih kurang 5 % dari tegangan nominal dan memenuhi batas tegangan minimum yaitu 10 % dari tegangan nominal beban.
2. Pembebanan pada saat jam-jam perkuliahan berlangsung masih memenuhi batas toleransi pada beban dan kapasitas transformator, yaitu diatas batas minimum aliran daya sebesar 95 % dan masih dibawah batas maksimum aliran daya sebesar 110 %.
 3. Besar rugi daya pada beban terpasang sebesar 38,1 kW untuk daya aktif dan pada beban saat jam perkuliahan berlangsung sebesar 5,4 kW untuk daya aktif.

2. Saran

Perlu adanya penelitian lanjut, misalnya tentang faktor daya dan proteksi sistem tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, *ETAP Power Station Version 4.0.0 Help and Library Center*, 1995-2000
- Djiteng Marsudi. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. ISTN.2000
- Hadi Saadat, *Power System Analysis*, Mc Graw Hill Companies ; 2004
- Pudensia Tears, *Analisis Aliran Beban pada Universitas Negeri Semarang*, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang. 2007

Sulasno, Ir., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi kedua, Badan Penerbit Univ. Diponegoro, Semarang ; 2001

Stevenson, Jr., Wiliiam D., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, edisi terjemahan keempat, Erlangga, Jakarta ; 1993

