

PERHITUNGAN DAN ANALISIS SISTEM CATU DAYA LISTRIK UNTUK PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE)

Suyamto

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir

Djasiman

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Yogyakarta

ABSTRAK

PERHITUNGAN DAN ANALISIS SISTEM CATU DAYA LISTRIK UNTUK PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE). Telah dilakukan perhitungan dan analisis sistem catu daya listrik untuk keperluan pengolahan gas buang PLTU batubara menggunakan mesin berkas electron (MBE). Tujuannya adalah untuk mempersiapkan kebutuhan catu daya listrik seluruh sistem agar dalam pengoperasiannya tidak terjadi gangguan yang diakibatkan oleh gagalnya sistem catu daya. Analisis meliputi perhitungan daya, pengaman dan penghantar untuk seluruh sistem yang terdiri dari komponen utama seperti Blower, Spray Cooler, Mesin Berkas Elektron (MBE), Electrostatic Precipitator (ESP) dan sistem pendukungnya, yaitu Unit Utilitas, Silo, Ruang Staf dan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK). Untuk pendistribusian daya listrik dari gardu ke tiap peralatan digunakan kabel jenis NYY, sedangkan untuk pengaman hubung singkat digunakan sekering jenis NTF. Dari perhitungan diketahui bahwa daya maksimum yang diperlukan untuk pengoperasian seluruh sistem adalah 405,6 kW atau 507 KVA dengan $\cos \phi$ sama dengan 0,8 yang dicatu dari transformator 690 KVA, 20 KV/380 V, 50 Hz. Sedangkan dengan memperhatikan faktor serempak pembebanan (demand factor), diketahui besarnya faktor pembebanan (load factor) dari transformator adalah 61,98 % dan besarnya daya cadangan adalah 38,02 % atau 262,37 KVA.*

ABSTRACT

THE CALCULATION AND ANALYSIS OF ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM FOR FLUE GAS TREATMENT OF COAL ELECTRIC POWER STATION USING ELECTRON BEAM MACHINE (EBM). The calculation and analysis of electric power supply for flue gas treatment of coal electric power station using electron beam machine (EBM) has been carried out. The purpose of analysis is to prepare the electrical energy which will be used for all system in order to the failure caused by the the power supply problem is not occur. The analysis includes of power calculation, safety device and the conductor which will be used for all system, which consists of main component of Blower, Spray Cooler, Electron Beam Machine (EBM), Electrostatic Precipitator (ESP) and its auxiliary system like Utilities unit, Silo, Staff Room and Instrumentation and Control System. The power distribution line from power building to each device is used NYY type cable, while short circuit protection system is used NTF type. From the analysis it is known that the maximum power for all system is 405,6 KW or 507n KVA at $\cos \phi$ 0,8, and the capacity of transformer is 690 KVA, 20 KV/380 V, 50 Hz. While by implementation of demand factor, it is known that the transformer's load factor is 61,98 % and the power reserve is 38,02 % which is equal to 262,37 KVA.

PENDAHULUAN

Kualitas udara buang dari industri pada saat ini masih terus menjadi perhatian, khususnya bagi negara industri. Demikian juga halnya gas buang yang dikeluarkan oleh PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara, adalah merupakan hal yang sangat penting untuk dibahas, diteliti dan diolah. Hal ini karena di samping gas tersebut menimbulkan polusi sehingga melampaui nilai Batas Mutu Emisi (BME) yang telah

ditentukan untuk SO_2 dan NO_x , juga masih dapat dimanfaatkan misalnya untuk penyediaan bahan dasar pupuk organik seperti $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$ ^[1].

Salah satu teknik untuk pengolahan gas buang dari PLTU batu bara adalah dengan menggunakan berkas elektron (*Electron Beam for Flue Gas Treatment*). Plant tersebut terdiri dari peralatan utama yang terdiri dari Blower, *Spray Cooler*, Mesin Berkas Elektron (MBE) dan

Electrostatic Precipitator (ESP). Di samping peralatan utama juga terdapat peralatan penunjang yang terdiri dari Unit Utilitas, Silo, dan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK). Besarnya kebutuhan daya dari masing-masing peralatan telah dihitung atau ditentukan dan terdapat dalam dokumen “Desain Teknis Sistem Pengolahan Gas Buang PLTU Suralaya Menggunakan Mesin Berkas Elektron^[3]. Untuk pencatutan daya ke masing-masing peralatan dilakukan perhitungan dan analisis dengan tujuan antara lain untuk :

1. Menentukan besar pengaman dan kabel penghantar yang akan dipakai
2. Menentukan kebutuhan daya dari pencatu daya
3. Menghitung besarnya daya cadangan dalam rangka mengantisipasi adanya perkembangan beban (*load forecasting*)

Jadi tujuan akhir dari perhitungan dan analisis sistem catu daya listrik ini adalah untuk menjamin ketersediaan daya seluruh peralatan agar kegagalan operasi yang mungkin terjadi yang diakibatkan sistem catu daya listrik dapat dihindari.

DASAR TEORI

Pada setiap perancangan sistem catu daya selalu diperhitungkan penyediaan daya dan penyalurannya ke beban serta pemasangan dari peralatan pengaman untuk menjamin ketersediaan daya listrik yang cukup, aman dan efisien. Catu daya yang terlalu besar akan berdampak pada biaya yang besar, sedangkan pemakaian peralatan pengaman yang terlalu besar akan mengakibatkan responnya lambat.

Untuk menjamin agar penyaluran energi listrik dari sumber ke beban dapat berlangsung secara aman maka di dalamnya dipakai penghantar dan beberapa. pengaman yang sesuai. Penghantar harus dipilih sesuai dengan jenis peruntukannya misalnya dari jenis NYY, NYM dan NYFGbY. Sedangkan pengaman terdiri dari pengaman terhadap beban lebih berupa *over load* (O/L), pengaman terhadap arus berlebihan atau arus hubung singkat berupa sekering atau MCB (*Magnetic/Miniature Circuit Breaker*) dan pengaman untuk perawatan berupa saklar. Berdasarkan dayanya, instalasi listrik dibagi 2 (dua) yaitu instalasi penerangan dan instalasi tenaga.

Faktor-faktor yang menentukan besarnya ukuran penghantar dan pengaman yang akan dipakai pada ke dua instalasi tersebut didasarkan pada hal-hal berikut.

1. Kuat arus yang dibutuhkan oleh beban yang mengalir pada penghantar, yang dinyatakan sebagai arus nominal I_n .
2. Tergantung dari jenisnya, kemampuan hantar arus (*Current Carrying Capacity*) dari penghantar diperhitungkan terhadap arus nominal dari beban.
3. Pengaman lebur atau sekering dan saklar yang digunakan diperhitungkan terhadap besarnya nominal untuk instalasi penerangan dan terhadap arus *start* atau asut untuk instalasi tenaga.

Besarnya arus nominal I_n untuk beban penerangan adalah

$$I_n = \frac{P}{V \cos \varphi} \quad \text{untuk sistem 1 fasa}$$

$$I_n = \frac{P}{V(\sqrt{3}) \cos \varphi} \quad \text{untuk sistem 3 fasa} \quad (1)$$

Besarnya arus nominal untuk beban motor pada instalasi tenaga adalah

$$I_n = \frac{P}{\eta V \cos \varphi} \quad \text{untuk sistem 1 fasa}$$

$$I_n = \frac{P}{\eta V(\sqrt{3}) \cos \varphi} \quad \text{untuk sistem 3 fasa} \quad (2)$$

dimana, P : daya beban (watt)
 V : tegangan sumber (volt)
 $\cos \varphi$: faktor daya beban
 η : efisiensi beban

Rating atau ukuran dari pengaman pada instalasi penerangan ditentukan berdasarkan besarnya arus nominal sebagai berikut^[4,5].

$$I_s \text{ dan } I_{sk} \geq I_n$$

Sedangkan rating arus sekering dan saklar untuk beban kelompok adalah

$$I_s \text{ dan } I_{sk} \geq K \times I_n$$

dimana, I_s : arus sekering

I_{sk} : Arus saklar

$K \leq 1$: faktor serempak (*demand factor*)

Rating atau ukuran dari pengaman pada instalasi tenaga didasarkan pada besarnya arus asut dan arus nominal dari motor dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut^[4,5].

1. Saklar

Saklar yang akan dipakai harus mempunyai tegangan minimum sama dengan tegangan dari sistem, sedangkan arusnya

$$I_{sk} = 1,15 I_n \quad (\text{untuk saklar manual})$$

$$I_{sk} = 1,25 I_n \quad (\text{untuk saklar magnetik})$$

2. Sekering

Selain syarat-syarat mekanik yaitu kuat dan tertutup rapat, sekering yang dipakai juga dibedakan berdasarkan jenis kerja dari motor.

$$I_s \geq I_a/2,5 \quad \text{untuk motor yang bekerja secara kontinyu}$$

$$I_s \geq I_a/1,5 \quad \text{untuk motor yang bekerja tidak kontinyu}$$

Besarnya arus asut dari motor listrik tergantung dari jenis alat asutnya. Untuk yang tanpa alat asut maka arus I_a diambil $6 \times I_n$. Sedangkan untuk motor yang diasut dengan unit asut Wey-Delta (Y- Δ) I_a sama dengan $1,7 \times I_n$.

3. Penghantar

Penghantar yang dipakai harus memenuhi beberapa persyaratan umum yaitu murah, mempunyai kekuatan mekanik yang baik, mempunyai konduktivitas atau daya hantar listrik yang besar dan mempunyai daya hantar panas yang baik. Sedangkan syarat khususnya bagi penghantar yang akan dipakai adalah harus mempunyai *Current Carrying Capacity* (CCC) yang cukup. Besarnya CCC suatu penghantar tersebut dinyatakan dalam bentuk luas penampang penghantar yang besarnya adalah

$$A = \frac{L I_n \rho \sqrt{3}}{V} \quad (3)$$

dengan :

A : adalah luas penampang dari penghantar (mm^2)

L : panjang saluran penghantar (m)

I_n : arus nominal yang melewati penghantar (ampere)

ρ : tahanan jenis dari penghantar ($\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$)

V : tegangan di ujung kabel (volt)

Untuk menentukan ukuran kabel penghantar yang akan dipakai, biasanya digunakan tabel kemampuan hantar arus dari masing-masing penghantar karena lebih praktis.^[3,4]

Besarnya kapasitas catu daya yang harus disediakan merupakan jumlahan daya dari seluruh peralatan dikalikan dengan faktor serempak

pembebanan (*demand factor*). Di dalam sistem arus bolak-balik kebutuhan daya dinyatakan dalam Volt-Amper (VA) atau Kilo Volt Amper (KVA). Jadi besarnya daya yang harus disediakan oleh sebuah catu daya adalah^[3,4],

$$S = \frac{\sum (P \times DF)}{\cos \varphi} \quad (4)$$

dengan :

S : besarnya daya yang harus disediakan oleh catu daya (KVA)

P : besar daya dari tiap peralatan (KW)

DF : *Demand Factor*

$\cos \varphi$: faktor daya

RANCANGAN DAN PERHITUNGAN

Pada umumnya suatu rancangan didasarkan pada kebutuhan dasar atau *basic requirement*. Perencanaan sistem catu daya ini didasarkan pada *power requirement* dari peralatan-peralatan utama yang terdapat dalam sistem pengolahan gas buang dengan menggunakan MBE. Disamping itu karena ketersediaan lahan yang sangat terbatas yaitu 20 x 25 m maka perancangan dan perhitungannya juga harus memperhatikan hal tersebut. Dalam pengoperasian sistem pengolahan gas buang ini direncanakan memakai sistem 3 fase 50 Hz, 380/220 VAC. Daya listrik diperoleh dari suatu transformator daya 3 fase, 20KV/380V, 50 Hz, yang didistribusikan melalui suatu panel distribusi. Transformator daya dan panel distribusi tersebut dipasang di dalam suatu gedung tersendiri dan pengoperasiannya dilakukan melalui suatu pintu yang disediakan. Daya dari panel distribusi diteruskan ke masing-masing beban atau peralatan melalui saluran (*duck*) di bawah tanah dengan diberi tutup. Untuk sistem tenaga digunakan kabel tanah termoplastik tanpa perisai NYY sedangkan untuk sistem penerangan digunakan kabel jenis NYM. Pemilihan ini didasarkan pada 3 (dua) keadaan yaitu :^[4]

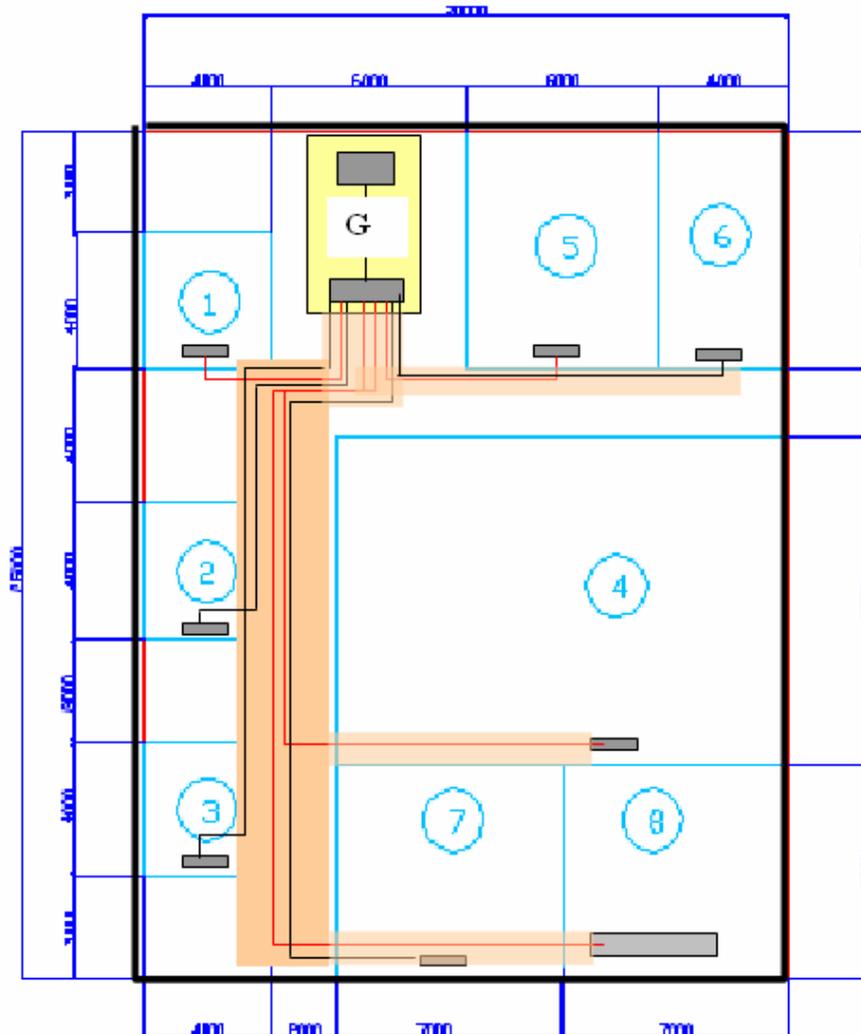
1. Saluran distribusi dirancang terletak di bawah tanah, tapi tidak mengalami beban mekanik.
2. Dari sisi ekonomi, bila dipakai kabel NYFGbY harganya sangat mahal.
3. Kabel jenis NYY mempunyai daya isolasi yang lebih baik dari pada jenis NYM.

Beban dan peralatan listrik yang harus dicatu terdiri dari :

1. Blower (*Induced draught fan*)
2. *Spray Cooler*
3. Utilitas
4. Mesin Berkas Elektron (MBE)
5. *Electrostatic precipitator* (ESP)
6. Silo
7. Ruang Staf
8. Ruang Instrumentasi dan Kendali (SIK)

Penyaluran daya listrik ke titik-titik beban diatur melalui komponen-komponen hubung antara

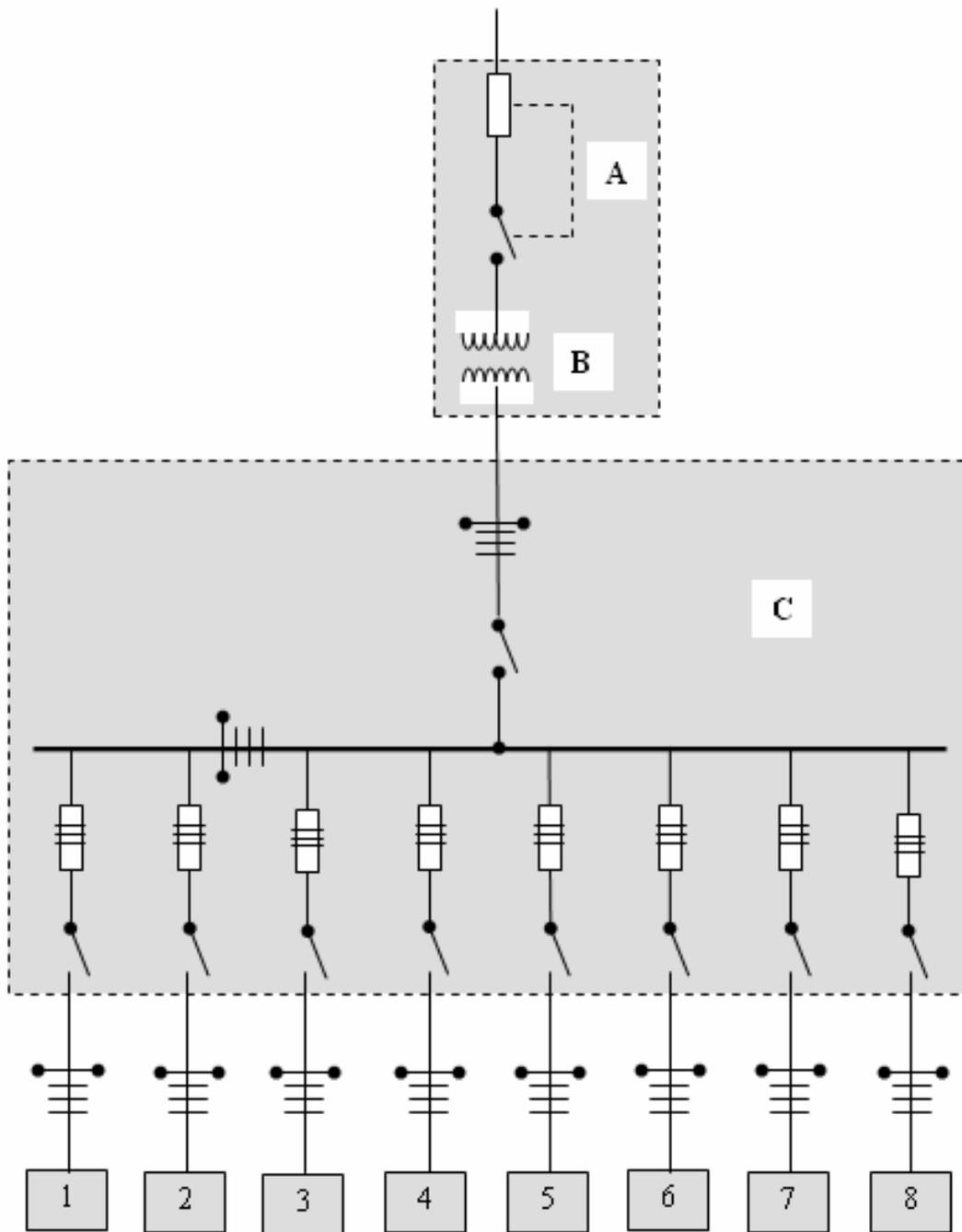
lain: saklar, sekering pengaman, kontaktor magnet, pengaman arus lebih, relai dan sebagainya. Panel distribusi dipasang di dalam ruang kontrol FGT yang merupakan partisi ruang di gedung MBE. Khusus panel listrik pada sistem utilitas yang berada di Gedung 3, direncanakan untuk melayani beberapa beban antar lain *Gas Handling System (GHS)*, penerangan, sistem isnjeksi amoniak, suplai air dan untuk cadangan yang dapat dipakai menurut kebutuhan. Perencanaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Rencana pendistribusian daya listrik ke tiap peralatan atau Gedung.

Keterangan :

- | | | |
|------------------------|--|------------------|
| G. Gardu Listrik | 3. Utilitas | 6. Silo |
| 1. <i>Blower</i> | 4. MBE | 7. Ruang Staf |
| 2. <i>Spray Cooler</i> | 5. <i>Electrostatic Precipitator</i> (ESP) | 8. Ruang Kendali |



Gambar 2. Distribusi listrik ke tiap peralatan utama.

Keterangan :

- | | | |
|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| A. Breaker | 1. Blower | 5. Electrostatic Precipitator (ESP) |
| B. Transformator | 2. Spray Cooler | 6. Silo |
| C. Bus Bar | 3. Utilitas | 7. Ruang Staf |
| | 4. MBE | 8. Ruang Kendali |

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan daya atau beban listrik tiap peralatan dalam sistem FGT serta pemilihan pengaman dan penghantar ditentukan dari besarnya arus nominal I_n . Arus nominal tersebut dihitung dari rumus 2 baik untuk beban 1 fase maupun 3 fase. Tegangan fase –netral adalah 220 V, sedangkan tegangan antar fase adalah 380 V. Semua peralatan diasumsikan mempunyai efisiensi yang sama yaitu 0,8 dan faktor daya $\cos \varphi$ 0,75. Perhitungan arus untuk pengaman dan penghantar dari masing-masing beban adalah sebagai berikut.

Blower

Beban listrik pada sistem *ducting* adalah 108 kW dipakai untuk motor penggerak blower atau *Induced Drought Fan*. Blower tersebut dapat terdiri dari 2 buah dengan daya masing-masing 54 kW yang diletakkan di bagian ujung depan *ducting* di dekat boiler dan di ujung belakang *ducting*, dekat *stack* atau cerobong.

a. Arus nominal I_n

$$I_n = P / (\eta \times 380 \times 3 \times \cos \varphi) = 108.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 273,49 \text{ A}$$

b. Arus asut I_a

Bila blower terdiri dari 2 unit, maka, arus nominal per unit adalah $273/2 = 136,74 \text{ A}$. Karena arus nominalnya besar maka arus *start*-nya juga akan besar sehingga pengoperasiannya harus menggunakan unit starter *Wey-Delta* (Y- Δ), sehingga arus asut adalah

$$I_a = 1,7 I_n = 1,7 (136,74) = 232,47 \text{ A.}$$

c. Arus sekering I_s

Kalau untuk motor blower ditentukan dari jenis motor induksi sangkar tupai (*Squirrel Cage Induction Motor*) dengan jenis kerja kontinyu, maka besarnya arus sekering adalah

$$I_s = I_a / 2,5 = 232,47 / 2,5 = 92,99 \text{ A.}$$

d. Arus saklar I_{sk}

Saklar jenis manual sebagai penghubung dan pemutus yang dipakai harus mempunyai kapasitas $1,15 I_n$, maka

$$I_{sk} = 1,15 \times 136,74 = 157,25 \text{ A.}$$

e. Penghantar

Jenis dan besarnya penghantar yang dipakai didasarkan pada peletakkannya dan besarnya arus nominal. Dengan arus nominal sebesar 136,74 A dan penghantar diletakkan di dalam duck bawah tanah maka dipakai kabel penghantar NYY 4 x 70 mm².

Spray Cooler

Beban listrik dalam sistem *Spray Cooler* adalah 4 kW yang terdiri dari pompa air 2 kW, 2 buah. Dengan beban yang cukup kecil tersebut, maka untuk pengoperasiannya tidak diperlukan unit starter *Wey-Delta* (Y- Δ). Perhitungan arus untuk pengaman dan penghantar sama seperti perhitungan blower yaitu sebagai berikut.

a. Arus nominal I_n

$$I_n = P / (\eta \times 380 \times 3 \times \cos \varphi) = 4.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 10,13 \text{ A}$$

b. Arus asut I_a

Karena arus nominalnya kecil maka motor pompa dihidupkan langsung menggunakan magnetik kontaktor. Besarnya arus asut untuk motor induksi yang dioperasikan tanpa alat asut adalah $I_a = 6 \times I_n$, sehingga

$$I_a = 6 \times 10,13 = 60,78 \text{ A}$$

c. Arus sekering I_s

$$I_s = I_a / 2,5 = 60,78 / 2,5 = 24,31 \text{ A.}$$

d. Arus saklar I_{sk}

$$I_{sk} = 1,15 \times 10,13 = 11,65 \text{ A.}$$

e. Penghantar

Jenis dan besarnya penghantar yang dipakai sama dengan yang dipakai untuk motor blower yaitu NYY 4 x 2,5 mm².

Utilitas

Beban listrik dalam sistem Utilitas direncanakan terdiri dari 3 komponen yaitu Kompresor untuk Pneumatik dan *Gas Hadling System* 3 kW, Pompa Air Sumur 2 kW dan Pencahayaan 3 kW, sehingga total daya untuk sistem utilitas adalah 8 kW. Karena sistem utilitas merupakan sistem yang paling banyak mengalami penambahan peralatan bantu maka untuk sistem utilitas direncanakan disediakan daya sebesar 10 kW. Perhitungan arus pengaman dan penghantar untuk saluran utama dari Gardu ke panel utilitas di ruang 3 pada Gambar 1 dan distribusinya pada Gambar 2 dilakukan seperti motor. Hasilnya sebagai berikut.

a. Arus nominal $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 10.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 25,32 \text{ A}$

b. Arus asut $I_a = (I_n \times 6) = 25,32 \times 6 = 151,92 \text{ A}$

c. Arus sekering $I_s = I_a / 2,5 = 151,92 / 2,5 = 60,77 \text{ A.}$

- d. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 25,32 = 29,12$ A
 e. Kabel: NYY 4×6 mm²

Mesin Berkas Elektron

Beban listrik total untuk sistem MBE 177 kW terdiri atas Akselerator 150 kW, Blower pendingin *window* 7 kW, Chiller 15 kW dan Crane 5 kW. Karena beban pada saluran ini terlalu besar maka untuk akselerator dibuat tersendiri, sedangkan untuk blower, *chiller* dan *crane* dijadikan satu yaitu sebesar 27 kW. Sehingga perhitungan arus pengaman dan penghantar dari Gardu ke panel MBE di ruang 4 pada Gambar 1 dan distribusinya pada Gambar 2 adalah sebagai berikut.

Untuk akselerator: 150 kW, 3 fase, 380V, 50 Hz.

- a. Arus nominal $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 150.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 356$ A
 b. Arus sekering $I_s \geq I_n \geq 356$ A
 c. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 356 = 409,4$ A
 d. Kabel penghantar NYY 4×185 mm²

Untuk kelompok Blower, Chiller dan Crane 27 kW, 3 fase, 380V, 50 Hz, dihitung seperti perhitungan blower utama dan hasilnya adalah

- a. Arus nom. $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 27.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,8) = 68,37$ A
 b. Arus asut $I_a = (I_n \times 6) = (68,37) (6) = 410,22$ A
 c. Arus sekering $I_s = I_a / 2,5 = 410,22 / 2,5 = 164,09$ A
 d. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 68,37 = 78,63$ A
 e. Kabel penghantar NYY 4×16 mm²

Electrostatic Precipitator (ESP)

Beban listrik dalam sistem *Electrostatic Precipitator* sebesar 35,6 kW terdiri dari sumber tegangan tinggi DC 33,6 kW dan motor penggerak mekanik 2 kW. Perhitungan dilakukan seperti perhitungan untuk motor dan hasilnya adalah sebagai berikut.

- a. Arus nom. $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 35.600 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 96,57$ A
 b. Arus asut $I_a = (6 \times I_n) = 6 \times 96,57 = 579,43$ A
 c. Arus sekering $I_s = I_a / 2,5 = 579,43 / 2,5 = 231,77$ A
 d. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 96,57 = 111,06$ A
 e. Kabel penghantar NYY 4×25 mm²

Silo

Silo adalah tempat untuk penyimpanan hasil produksi sehingga di dalamnya hanya diperlukan satu daya cadangan. Besarnya adalah 5 kW, 3 fase, 380 V, 50 Hz, sehingga perhitungan untuk pengaman dan penghantarnya seperti perhitungan untuk pencahayaan. Hasilnya sebagai berikut

- a. Arus nom. $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 5.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 12,66$ A
 b. Arus sekering: $I_s \geq I_n \geq 12,66$ A
 c. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 12,66 = 14,56$ A
 d. Kabel penghantar NYY $4 \times 2,5$ mm²

Ruang Staf

Beban listrik dalam sistem VAC adalah 57 kW terdiri atas Air Conditioning 4 buah masing-masing 10 kW, blower saluran udara Ventilasi 15 kW, AC-Window 2 kW. Perhitungan arus pengaman dan penghantarnya sama dengan perhitungan untuk motor. Sehingga perhitungan arus pengaman dan penghantar untuk saluran utama dari Gardu ke panel di ruang staf atau ruang 7 pada Gambar 1 dan distribusinya pada Gambar 2 adalah sebagai berikut.

- a. Arus nominal $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 57.000 / (0,8 \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,75) = 144,34$ A
 b. Arus asut $I_a = (I_n \times 6) = 144,34 \times 6 = 866,04$ A
 c. Arus sekering $I_s = I_a / 2,5 = 866,04 / 2,5 = 346,42$ A
 d. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 144,34 = 165,99$ A
 e. Kabel: NYY 4×35 mm²

Ruang Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK)

Beban listrik dalam Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) adalah beban 1 fase sebesar 4 kW, terdiri atas Transformator control 2 kW dan Komputer 2 kW. Perhitungan untuk pengaman dan penghantarnya sama seperti perhitungan untuk pencahayaan. Hasilnya sebagai berikut

- a. Arus nom. $I_n = P / (\eta \times 380 \times \sqrt{3} \times \cos \varphi) = 4.000 / (220 \times 0,75) = 24,24$ A
 b. Arus sekering: $I_s \geq I_n \geq 24,24$ A
 c. Arus saklar $I_{sk} = 1,15 I_n = 1,15 \times 24,24 = 27,88$ A
 d. Kabel penghantar NYY $2 \times 2,5$ mm²

Catatan : Untuk mengantisipasi pemakaian peralatan dan perkembangan beban, dalam ruang SIK disediakan catu daya 3 fase.

HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA

Seperti telah diterangkan bahwa selain syarat-syarat mekanik yaitu kuat dan tertutup rapat, sekering yang dipakai juga dibedakan berdasarkan jenis kerja dari motor, sedangkan tegangannya minimal harus sama dengan tegangan sumber. Untuk itu maka sekering yang dipakai adalah jenis NT fuse dengan tegangan 380 VAC.

Dalam penentuan ukuran penghantar, tidak diperhitungkan besarnya faktor koreksi terhadap suhu lingkungan dan penempatannya karena besarnya faktor koreksi tersebut kecil. Dalam hal ini ukuran penghantar harus lebih besar dari ketentuan minimum yang diperkenankan menurut PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) tahun 1977. Di samping itu untuk penghantar pada *feeder* atau kelompok pengisi, luas penampang minimum adalah 4 mm² dan untuk beban yang dayanya lebih besar dari 250 VA dipakai penghantar dengan luas penampang minimum 2,5 mm.

Dari ketentuan-ketentuan tersebut di atas maka besarnya penghantar dan pengamanan untuk

masing-masing peralatan ditunjukkan pada Tabel 1, dimana untuk sistem 1 (satu) fase dipakai penghantar berurat 2 (dua) dan untuk sistem 3 fase dipakai kabel berurat 4 (empat).

Dari perhitungan dan rekapitulasi daya pada Tabel 1 dapat ditentukan kapasitas transformator yang harus disediakan dan tersedia di pasaran yaitu 690 KVA, 20 kV/380V. Bila diasumsikan bahwa untuk jenis beban tertentu besarnya faktor serempak (*demand factor*) adalah 50 % (Tabel 2) dan *power factor* transformator 0,8, maka dapat dihitung besarnya sisa daya dan faktor pembebanan (*load factor*) dari pencatu daya transformator sebagai berikut.

1. Besarnya daya yang harus disediakan oleh catu daya $S = [342,1/0,8] = 427,63$ KVA.
2. Besarnya faktor pembebanan transformator = $427,63/609 = 61,98$ %.
3. Sisa daya tersisa sebagai daya cadangan adalah 38,02 % atau 262,37 KVA.

Hasil perhitungan tersebut dapat diyakini kebenarannya dengan asumsi bahwa kebutuhan daya tiap peralatan pada Tabel 1 benar. Di samping itu asumsi besarnya *demand factor* sebesar 50 % dilakukan hanya untuk mempermudah dalam perencanaan, sedangkan kenyataannya adalah sangat variatif dan tergantung pada jenis peralatan

Tabel 1. Daftar kabel penghantar dan pengamanan yang dipakai pada distribusi listrik tiap peralatan.

URAIAN BEBAN	P (kW)	I_n (A)	Sekering		Saklar		Kabel (mm ²)
			I_s (A)	Jenis	I_{sk}	Jenis	
1. BLOWER	108						
Induced Drought Fan (2 buah)	2 x 54	136,74	92,99	NTF 125	157,25	SK 200	NY 4 x 70
2. SPRAY COOLER	4	10,13	24,31	NTF 25	11,65	SK 25	NY 4 x 2,5
3. UTILITAS	10	25,32	60,77	NTF 100	29,12	SK 35A	NY 4 x 6
4. MBE	177						
a. Akselerator	150	356	500	NTF 500	409,4	SK 500	NY 4 x 185
b. Blower, Chiller dan Crane	27	68,37	164,09	NTF 200	78,63	SK 100	4 x 16
5. ESP	35,6	231,77	250	NTF 250	111,06	SK 150	NY 4 x 25
6. SILO	5	12,66	12,66	NTF 25	14,56	SK 25	NY 4 x 2,5
7. RUANG STAF	57	144,34	346,42	NTF 500	165,99	SK 200	NY 4 x 35
8. RUANG INSTR & KENDALI	4	24,24	24,24	NTF 35	27,88	SK 35A	NY 4 x 4
JUMLAH	405,6						

Catatan : sekering dan saklar harus mempunyai spesifikasi tegangan 380/220V

Tabel 2. Besarnya daya beban S dengan *demand factor* (DF)

Beban	P (kW)	DF (%)	P x DF (kW)	Keterangan
1. BLOWER	108	100	108	Pemakaian serempak
2. SPRAY COOLER	4	50	2	Pemakaian tidak serempak
3. UTILITAS	10	50	5	Pemakaian tidak serempak
4. MBE				
a. Akselerator	150	100	150	Pemakaian serempak
b. Blower, Chiller dan Crane	27	50	13,5	Pemakaian tidak serempak
5. ESP	35,6	100	35,6	Pemakaian serempak
6. SILO	5	50	2,5	Pemakaian tidak serempak
7. RUANG STAF	57	50	23,5	Pemakaian tidak serempak
8. RUANG INSTR & KENDALI	4	50	2	Pemakaian tidak serempak
JUMLAH	405,6		342,1	

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Untuk pencatutan daya yang diperlukan pada sistem pengolahan gas buang dengan kapasitas sebesar 20.000 Nm³/jam, diperlukan daya listrik yang cukup besar yaitu sebesar 405,6 kW atau 507 KVA yang harus dilayani oleh transformator 3 fase, 690 KVA, 20 kV/380V, 50 Hz.
- Dengan memperhatikan besarnya faktor serempak dari beban maka besarnya faktor beban dari transformator adalah 61,98 %, sehingga daya cadangan yang tersedia dari transformator adalah 38,02 % atau 262,37 KVA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BUMSOO HAN, *Proposal for Electron Beam Flue Gas Treatment System*, Daejeon, Korea, 2005.
- [2] P. van. HARTEN, Ir. E. SETIAWAN, *Instalasi Listrik Arus Kuat 3*, cetakan ke 1 dan 3, 1992, Binacipta Bandung.
- [3] *Desain Teknis Sistem Pengolahan Gas Buang PLTU Suralaya 20.000 Nm³/Jam Menggunakan Mesin Berkas Elektron*, Badan Tenaga Nuklir Nasional Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Juli 2005.

- [4] Ir. A. RIDA ISMU W, IR. SOEPARTONO; *Instalasi Cahaya dan Tenaga I*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, edisi pertama 1979.
- [5] A. J. WATKINS, R. K. PARTON; *Perhitungan Instalasi Listrik*, Volume 3, Penerbit Erlangga, 2004.
- [6] GUSWANTO, *Listrik Arus Kuat*, Panduan Praktikum, Akademi Perindustrian Yogyakarta. 1984.

TANYA JAWAB

Tri Mardji A.

- Mengapa harus ada perhitungan dan analisa catu daya, tinggal masukan ke 220 saja kan sudah "beres", apabila kita boleh mengambil arus listrik yang tidak terbatas.
- Sebaiknya ditindak lanjuti dengan pembuatan rangkaian stabilizer agar tidak terjadi kerusakan peralatan. Apa mungkin?
- Bagaimana pengaruh fluktuasi frekuensi terhadap keamanan peralatan (blower, spray cooler, dll.).

Suyamto

- Untuk daya yang besar harus ada perhitungan yang akurat, disamping itu juga harus menyangkut masalah ekonomi/biaya.

- Tidak perlu, karena pembahasan hanya untuk catu daya pada panel listrik.
- Untuk fluktuasi frekuensi tidak dibicarakan, karena yang dibahas adalah catu daya PLN 50 Hz.

Utaja

- Mengapa faktor daya untuk spray cooler diambil 50%?

Suyamto

- Ya, karena spray cooler 4 kW tersebut sebetulnya terdiri dari 2 buah @ 2 kW, sehingga sekali operasi hanya diperlukan 1 buah 2 kW atau 50%.

Rill Isaris

- Penjabaran kebutuhan catu daya ke pemakai pada unit-unit alat memang harus memperhitungkan pengadaan "Power Conditioning" yang memuat stabilizer dan drop out relay.

- Pada jenis komponen yang dicantumkan tidak menunjuk pabrik pembuat tapi cukup spec atau jenis komponen saja.

Suyamto

- Ya, yang dibahas dalam makalah ini adalah catu daya pada panel, bukan tiap peralatan.
- Ya, terima kasih.

Nada Marnada

- Bagaimana menurut pendapat Bapak jika spare-parts yang digunakan buka dari produk yang Bapak rekomendasikan (misalnya sekering dan saklar) tetapi dari produk lain namun memiliki label SNI.

Suyamto

- Boleh, tapi yang ditampilkan adalah spare-part yang sudah teruji keandalannya.