PERANCANGAN SISTEM INSTALASI DAYA LISTRIK PABRIK BIOETHANOL DI NGADIREJO-KEDIRI

Hari Purwanto dan Ishak Kasim Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti Jalan Kyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta 11440

Email: haripu96@gmail.com, ishak@trisakti.ac.id

ABSTRACT

PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X) is a government-owned company which is preparing and will build a bioethanol plant with a capacity of 100 KLPD at the Ngadiredjo-Kediri Sugar Factory which will be supplied by a biomass-cogeneration power plant with a capacity of 20 MW and a 3000 kW Turbine Generator. In this case, the factory requires the design of an electrical power installation system to meet the energy requirements of the factory. The purpose of this study is to design the main SLD, as well as analyze and determine the current rating, the cross section of the conductor (cable), and the 3-phase transformer capacity which will be used by the factory. Using Indonesian General Guidelines for Electrical Installation PUIL 2011 and Indonesian National Standard SNI, the current rating is 2.53 - 303.80 A, the conductor cross-section range is 1.5mm² - 185m², and the capacity of 3-phase transformer is 4000 kVA.

Keywords: flow rating, conductor cross section area, single line diagram

ABSTRAK

PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X) merupakan suatu perusahaan milik pemerintah yang sedang mempersiapkan dan akan melaksanakan pembangunan sebuah pabrik Bioethanol kapasitas 100 KLPD (kilo litre per day) di Pabrik Gula Ngadiredjo-Kediri yang akan disuplai dengan Pembangkit Listrik Tenaga Biomass (PLTBm)-Cogeneration dengan kapasitas 20 MW dan generator turbin 3000 kW. Dalam hal ini, pabrik membutuhkan sistem instalasi daya lisrik agar bisa memenuhi kebutuhan energi pabrik. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancangan SLD utama pabrik dan menganalisis serta menentukan besarnya rating arus, luas penghantar (kabel), kapasitas transformator 3-fase, yang akan digunakan oleh pabrik. Dengan mengacu pada peraturan dan ketentuan pada PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2011 dan SNI (Standar Nasional Indonesia), diperoleh rating arus 2,35 - 303,80 A, luas penampang berkisar 1,5mm² - 185mm², dan kapasitas transformator 3-fase yang diperlukan sebesar 4000 kVA.

Kata kunci: rating arus, luas penampang penghantar, single line diagram

1. PENDAHULUAN

Perancangan instalasi daya listrik membutuhkan prosedur dan langkahlangkah yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang maksimum. Mengingat listrik yang kontinu sangat penting dalam penyaluran energi, maka luas penghantar (kabel) dan *rating* arus pengaman yang sesuai akan menentukan kelancaran proses penyaluran energi listrik [1].

PT Perkebunan Nusantara X merupakan suatu perusahaan milik pemerintah yang bergerak dalam bidang industri gula dan tembakau. PTPN X didirikan berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 15 tanggal 14 Februari tahun 1996 tentang pengalihan bentuk Badan Usaha Milik Negara dari PT Perkebunan (Eks. PTP 19, Eks. PTP 21-22 dan Eks. PTP 27) yang dilebur menjadi PT Perkebunan Nusantara X (Persero) [2]. PT Perkebunan Nusantara X sedang mempersiapkan dan akan melaksanakan pembangunan pabrik bioethanol kapasitas 100 KLPD di Pabrik Gula Ngadiredjo-Kediri. Pabrik ini telah disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biomass (PLTBm)-*Cogeneration* dengan kapasitas 20 MW [3]. Oleh karena daya ini tidak mencukupi, maka dibutuhkan suatu rancangan sistem instalasi daya listrik agar pabrik yang akan dibangun dapat memenuhi kebutuhan daya dari pabrik.

Penelitian ini akan membahas tentang perancangan sistem instalasi daya listrik pada PT Perkebunan Nusantara X yang disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biomass (PLTBm)-*Cogeneration* dan generator turbin 3000 kW dengan jenis beban-beban seperti yang terdapat pada Tabel 1. Beban yang terdiri dari tipe *feeder* (F), *direct online* (DOL), dan *star/delta* (S/D) terbagi menjadi 10 *bus. Load duty* dapat bersifat *continuous* (C), *intermitten* (I), dan *standby* (S).

Pada sistem instalasi daya listrik pabrik yang dirancang, spesifikasi komponen-komponen yang digunakan dihitung dan dianalisis berdasarkan data beban (*load list*). Perancangan sistem akan mengacu pada peraturan dan ketentuan berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 dengan standar yang dipakai adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) [4].

LOAD TYPE LOAD DUTY RATED ABSORBED BUS **POWER POWER** F DOL S/D C S (KW) (KW) SWG-001 BUS A 176,00 92,12 3 3 SWG-001 BUS B 2 1 40,00 36,00 MCC-101 BUS A 77 1959,80 1290.19 1 63 84 62 MCC-102 BUS A 17 1030,40 1288,00 -6 18 9 MCC-103 BUS A 10 12 13 313,39 _ 368,60 MCC-104 BUS A 3 27 24 1 7 1110.08 906.25 MCC-105 BUS B 2 12,50 1 2 1 10,63 MCC-106 BUS B 10 31 22 2 17 319,53 271,58 MCC-107 BUS B 1 2 5 237,00 160,00 AUXILLARY 5 2 146,00 6 124,10 **TOTAL** 5657,51 4234,66

Tabel 1 Pembagian Jenis Beban per Bus Pabrik

[Data diolah sendiri]

Keterangan Tabel 1:

F (Feeder), DOL (Direct Online), S/D (Star/Delta),

C (Continuous), I (Intermit) dan S (Standby).

2. KAJIAN PUSTAKA

Sebelum melakukan analisis dan perancangan untuk menentukan *rating* arus pengaman, ukuran penampang kabel penghantar, menentukan kapasitas trafo dan membuat *SLD* instalasi, maka perlu dipahami terlebih dahulu beberapa teori berikut ini.

2.1 Kemampuan Hantar Arus

Untuk menentukan luas penampang penghantar yang diperlukan maka harus ditentukan berdasarkan atas arus yang melewati penghantar tersebut. Arus nominal yang melewati suatu penghantar dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3). Untuk arus searah DC

$$I = \frac{P}{V} A \tag{1}$$

Sedangkan untuk arus bolak balik satu-fase

$$I = \frac{P}{V\cos\varphi} A \tag{2}$$

Untuk arus bolak balik tiga-fase

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} A \tag{3}$$

dengan I adalah arus nominal (A), P adalah daya aktif (W), V adalah tegangan (V), dan $\cos \varphi$ adalah faktor daya.

Kemampuan hantar arus yang dipakai dalam pemilihan penghantar adalah 1,25 kali dari arus nominal yang melewati penghantar tersebut. Apabila kemampuan hantar arus sudah diketahui maka tinggal menyesuaikan dengan tabel untuk mencari luas penampang yang diperlukan [5].

2.2 Susut Tegangan

Susut tegangan antara terminal pelanggan dan sembarang titik dari instalasi tidak boleh melebihi 4% dari tegangan pengenal pada terminal. Adapun pembagian penentuan susut tegangan pada suatu penghantar dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu untuk arus searah, untuk arus bolak balik satu fase, dan untuk arus bolak balik 3-fase. Susut tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan persen (%) dalam tegangan kerjanya seperti dinyatakan dengan Persamaan (4).

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \% \tag{4}$$

Untuk menentukan susut tegangan berdasarkan luas penampang digunakan Persamaan (5), (6), dan (7). Untuk arus searah

$$\Delta V = \frac{2 \times I \times R \times L}{1000} \text{ V} \tag{5}$$

Untuk arus bolak balik satu fase

$$\Delta V = \frac{2 I L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{1000} V$$
 (6)

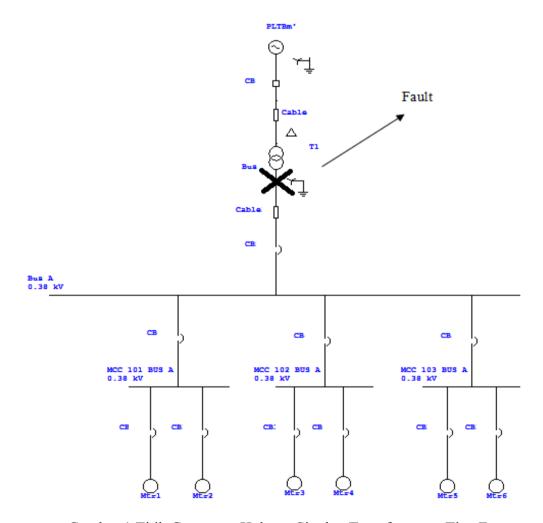
Untuk arus bolak balik tiga fase

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} I L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{1000} V$$
 (7)

dengan ΔV adalah susut tegangan dalam penghantar (V), I adalah kuat arus dalam penghantar (A), dan L adalah jarak dari permulaan kabel sampai ujung (m).

2.3 Transformator

Transformator adalah sebuah mesin statis dan sangat diperlukan dalam banyak sistem konversi energi. Transformator memiliki dua atau lebih sirkuit listrik yang digabungkan oleh sirkuit magnet umum. Analisis transformator melibatkan banyak prinsip dasar untuk memahami mesin listrik. Pada Gambar 1 diperlihatkan arus hubung singkat transformator 3-fase berdasarkan titik gangguan.



Gambar 1 Titik Gangguan Hubung Singkat Transformator Tiga Fase

Arus beban penuh transformator 3-fase

$$I_{FL} = \frac{kVA}{\sqrt{3} V_{LL}} A \tag{8}$$

Arus hubung singkat transformator 3-fase

$$I_{SC} = I_{FL} \times \frac{100\%}{Z(\%)}$$
 A (9)

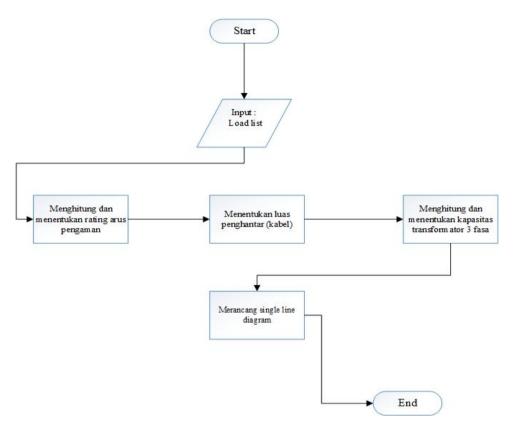
3. METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini, akan dibahas mengenai tahapan kerja dalam perancangan sistem yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

- a) menghitung rating arus pengaman;
- b) menghitung kemampuan hantar arus;
- c) menghitung kapasitas transformator;
- d) membuat rancangan single line diagram berdasarkan standar SNI.

Algoritma pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2, yang secara garis besar dapat dijelaskan dalam uraian sebagai berikut:

- a) analisis dan perhitungan *rating* arus pengaman dilakukan untuk menentukan berapa besar kapasitas *circuit breaker* yang akan digunakan pada beban-beban pabrik;
- b) analisis dan perhitungan luas penampang penghantar dilakukan untuk perhitungan kemampuan hantar arus dalam rangka menentukan berapa besar luas penampang penghantar yang akan digunakan pada beban-beban pabrik;
- c) analisis dan perhitungan kapasitas transformator 3-fase dilakukan berdasarkan data beban puncak pabrik dan menghitung berapa besarnya kapasitas *circuit* breaker yang akan digunakan pada transformator;
- d) pembuatan *single line diagram* pabrik, adalah tahapan terakhir di mana hasil dari keseluruhan analisis dan perhitungan dari *rating* arus pengaman, luas penampang penghantar dan kapasitas transformator 3-fase dirancang menjadi satu untuk menunjukkan bagaimana aliran daya listrik dari sumber (pembangkit tenaga listrik) menuju ke seluruh beban-beban pabrik.



Gambar 2 Alur Perancangan Sistem Instalasi Daya Listrik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan dan analisis data dengan memperhatikan aspek yang berkaitan dengan tujuan perencanaan sesuai dengan SNI dan PUIL 2011, diperoleh *rating* arus pengaman, besar luas penampang penghantar, kapasitas transformator 3-fase yang digunakan dan *single line diagram* utama pabrik.

Contoh perhitungan untuk salah satu beban dari pabrik dimana akan ditentukan nilai dari *rating* arus pengaman, luas penampang penghantar, dan tegangan jatuh untuk beban tersebut terdapat pada perhitungan dibawah ini.

Beban: FERMENTER-MOLASSES DAILY TRANSFER PUMP A Jika diketahui $\cos \varphi = 0.9$, voltage (V) = 380 V, rated power (P) = 9.3 kW, L = 40 m, maka:

1) arus rating

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi}$$
$$= \frac{9.3 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 380 V \times 0.9}$$
$$= 15.70 \text{ A}$$

2) kemampuan hantar arus

$$KHA = 1,25 I$$
= 1,25 × 15,70
= 19,62 A

3) susut tegangan

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} I L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{1000}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 15,70 \times 0,04 ((2,0700 \times 0,9) + (0,034 \times 0,435))}{1000}$$

$$= 2,04 V$$

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$

$$= \frac{2,04 V}{380 V} \times 100\% = 0,54\%$$

Dari perhitungan ini dapat dianalisis:

- a) rating arus pengaman pada beban adalah sebesar 15,70 A sehingga dipilih pengaman MCCB dengan kapasitas 25 A;
- b) kemampuan hantar arus beban ini adalah sebesar 19,62 A sehingga dipilih kabel dengan ukuran penghantar 2,5 mm² dengan jenis NYM.

Dengan cara yang sama, perhitungan untuk semua beban diolah dengan program ETAP dan diperoleh nilai arus *rating* berkisar dari 2,53 A sampai 303,80 A, luas penampang kawat yang digunakan berkisar dari

1,5 mm² sampai 185 mm², dan hasil perhitungan luas penampang penghantar ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Luas Penampang Penghantar

EQUIPMENT DESCRIPTION	Arus Nominal (A)	Kemampuan Hantar Arus (A)	Luas Penampang (mm²)	Jenis Kabel
FERMENTER-MOLASSES				
DAILY TRANSFER PUMP A	15,70	25	2,5	NYM
&B	,		,	
FERMENTER-FERM. WASH				-
CIRCULATION/TRANSFER	50,64	100	16	NYIFY
PUMP FOR T101, T102,T103	20,01	100	10	1,111
FERMENTER-FERM. WASH				
CIRCULATION/TRANSFER	50,64	100	16	NYIFY
PUMP FOR T102-T105	50,01	100	10	111111
FERMENTER CELL MASS				
TRANSFER PUMP A &B	6,42	10	1,5	NYM
FERMENTER-ACTIVATED				
YEAST TRANSFER PUMP A	18,57	25	2,5	NYM
COOLING WATER-	105.70	222.12	0.5	NIIWDIIZW
DESTILLATION COOLING	185,70	232,12	95	NHYRUZYr
WATER PUMP A ,B,C				
COOLING WATER-	50.64	62.21	1.6	NINTERNA
DEHYDRATION COOLING	50,64	63,31	16	NYIFY
WATER PUMP A ,B,C				
COOLING WATER-				
FERMENTATION COOLING	253,22	316,53	150	NYLRZY
WATER PUMP A ,B,C				
COOLING WATER-				
INDEP.EVOPARTION	113,95	142,44	50	NYRUZY
COOLING WATER PUMP A				
INDEP.EVOPARTION-FEED				
PUMP FOR IND.	25,32	31,65	4	NYM
EVAPORATOR A ,B				
INDEP.EVOPARTION-SPENT				
WASH TRANSFER PUMP A	12.66	15 02	1.5	NIVM
AFTER HOLDING TANK	12,66	15,83	1,5	NYM
A,B,C				
INDEP.EVOPARTION-STEAM	6.05	7.01	1.5	212/24
CONDENSATE PUMP A ,B	6,25	7,81	1,5	NYM
INDEP.EVOPARTION-FLASH				
VESSEL BOTTOM TR. PUMP	2,53	3,17	1,5	NYM
A, B	_,,,,	-,-,	- ,~	- · - - · · -
INDEP.EVOPARTION-				
RECIRCULATION PUMP A	113,95	142,44	50	NYRUZY
FOR CALENDRIA 04 & 05	113,73	172,77	50	MINULI
BOILER-BOILER FEED PUMP				
	222,836946	278,5461825	120	NYBUY
<u>A, B</u>				

EQUIPMENT DESCRIPTION	Arus Nominal (A)	Kemampuan Hantar Arus (A)	Luas Penampang (mm²)	Jenis Kabel
BOILER-FORCED DRAFT FAN	126,6119011	158,2648764	50	NYRUZY
BOILER-INDUCED DRAFT FAN	303,8685627	379,8357034	185	NYM
BOILER-SECONDARY AIR FAN	92,8487275	116,0609094	35	NYRAMZ
BOILER-SUPPLY AIR FAN	92,8487275	116,0609094	35	NYRAMZ
BOILER-FUEL TRANSFER FAN	92,8487275	116,0609094	35	NYRAMZ
BOILER-BFW TRANSFER PUMP A,B,C	6,246187123	7,807733904	1,5	NYM
STEAM TURBINE GENERATION-AUXILLARY WATER PUMP	13,50526945	16,8815868	1,5	NYM
STEAM TURBINE GENERATION-MOTOR DRIVEN EMERGENCY LUBE OIL PUMP&PANEL	2,532238023	3,16529753	1,5	NYM
MOLASSES LOADING PUMPS A, B	33,76317364	42,20396705	6	NYM
MOLASSES BULK TRANSFER PUMPS A,B,C	37,139491	46,42436375	10	NYIF
WTP-RAW WATER PUMP A, B, C	37,139491	46,42436375	10	NYIF
WTP-SOFT WATER PUMP A, B	15,69987574	19,62484468	2,5	NYM
UTILITY-SPARE FEEDER 01	33,76317364	42,20396705	6	NYM

4) Transformator

Untuk dapat menentukan kapasitas transformator 3-fase, perlu diketahui total beban puncak pabrik. Beban puncak yang terdapat pada pabrik adalah 3168 kVA. Agar daya listrik dapat disalurkan dengan optimal maka tranformator 3-fase yang diperlukan

$$Trf_{3\emptyset} = \frac{3168 \text{ kVA}}{0.8} = 3960 \text{ kVA}$$

$$\approx 4000 \text{ kVA}$$

Untuk *rating* tranformator 3-fase yang diperlukan adalah transformator 3-fase dengan kapasitas 2×4000 kVA dengan impedansi sebesar 7%. Arus beban penuh transformator 3-fase

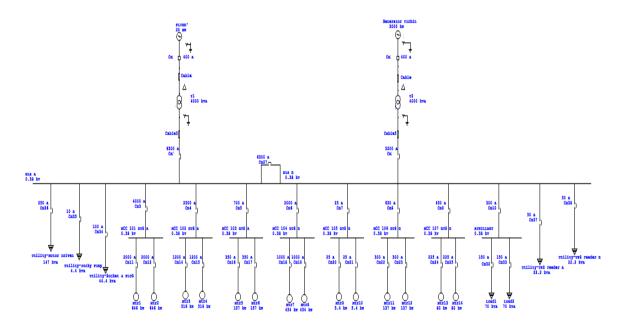
$$I_{FL} = \frac{4000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 6077,371 \text{ A}$$

Arus hubung singkat transformator 3-fase

$$I_{SC} = I_{FL} \times \frac{100\%}{Z(\%)} = 6077,371 \text{ A} \times \frac{100\%}{7\%}$$

$$= 86819,589 A \cong 86,8 kA$$

Berdasarkan perhitungan dan analisis untuk setiap beban maka rancangan SLD utama pabrik diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Single Line Diagram Utama Pabrik

5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan *rating* arus pengaman pada beban-beban pabrik, untuk arus yang melebihi 1500 A, *circuit breaker* yang digunakan adalah ACB (*air*

- *circuit breaker*), dan untuk MCC-101 BUS A, MCC 102 BUS A, MCC 103 BUS A, MCC 104 BUS B, MCC 105 BUS B, MCC 106 BUS B, dan MCC 107 BUS B, *circuit breaker* yang digunakan adalah MCCB (*moulded case circuit breaker*), hasil dari analisis dan perhitungan diperoleh *rating* arus sesuai beban berkisar 2,53 303,80 A.
- 2. Dari analisis dan perhitungan luas penampang penghantar yang mengacu pada tabel KHA (Kemampuan Hantar Arus) berdasarkan PUIL 2011, diperoleh luas penampang yang sesuai beban berkisar 1,5 185 mm².
- 3. Berdasarkan perhitungan *load list* (data beban) pabrik, kapasitas transformator 3-fase yang diperlukan untuk mengefisienkan penyaluran daya listrik adalah sebesar 4000 kVA.
- 4. Berdasarkan analisis dan perhitungan *rating* arus pengaman dan transformator 3-fase, diperoleh *SLD* utama pabrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Waskito, Syahrial. "Perancangan Instalasi Listrik Aplikasi Sistem Pemilihan Kabel dan Pemutus Pada Proses Pengeboran Minyak dan Gas di Daerah X." *Jurnal Reka Elkomika*, 1(1), hlm. 68-75, 2013.
- [2] PTPN X. "Sejarah Perusahaan." Internet: http://www.ptpn10.com/page/profil, [4 Apr. 2017].
- [3] PTPN X. "Pengumuman Pelelangan Proyek PMN Di PTPN X." Internet: http://ptpn10.co.id/blog/pengumuman-pelelangan-proyek-pmn-di-ptpn-x, 27 Apr. 2016 [4 Apr. 2017].
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011* (PUIL 2011), Jakarta: BSN.
- [5] Ismanyah. "Perancangan Instalasi Lisrik Pada Rumah Dengan Listrik Besar." Skripsi. Universitas Indonesia, Jakarta, 2009.