

Analisa Gangguan Pemutus Tenaga Mesin Cane Cutter I

(Studi kasus di Pabrik Gula Pakis Baru, Ds. Pakis-Tayu-Pati-Jawa Tengah)

*Interference Analysis of Cane Cutter I Engine Power Breaker
(Case Study at New Pakis Sugar Factory, Ds Pakis-Tayu-Pati-Central Java)*

Adib Chumaidy

Program Studi Teknik Elektro - FTI, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa – Jakarta Selatan 12640, Telp. : (021) 7270090
e-mail : adib.chumaidy@gmail.com

Abstrak--- Pabrik tua mengalami tuntutan untuk meningkatkan kualitas dan kapasitas produksi. Perbaikan, renovasi, penambahan peralatan listrik dan mesin produksi sebagai pendukung produksi harus dilakukan. Untuk peralatan listrik dan mesin yang berusia di luar batas waktu aman. Salah satunya: pemutus sirkuit tipe ACB-A, pembebanan peralatan listrik yang melebihi batas waktu pada instalasi aman akan berakibat parah, menjadi ledakan api yang menimbulkan kerusakan total produksi. Dibeberatkan mesin Cane Cutter I yang membutuhkan torsi besar karena ada celah sempit yang sangat ekstrim. Dibandingkan energi yang dibutuhkan tenaga besar, dibutuhkan tenaga energi yang besar, sistem kelistrikan dan pemasangan peralatan listrik harus mempertimbangkan regulasi listrik dan PUIL 2000 atau standar Internasional, sehingga kelangsungan energi tenaga listrik aman. Penggunaan motor listrik / Cane Cutter I harus dipertimbangkan lebih dalam sistem listrik, karena untuk memotong tebu, maka torsi beban yang sangat besar terlalu besar dan celah yang ekstrim, dapat menyebabkan Rotor Terkunci. Dengan metode IEC 60 909 pada tahun 2022 untuk menghitung kebisingan arus rotor yang dikunci; penyederhanaan karena perhitungan tidak bergantung pada status operasi arus beban yang sedang berlangsung dan yang akan datang. Dengan serangkaian analisis dan arus hubung singkat menggunakan rumus total arus simetris kesalahan 3-fasa yang diperoleh dengan waktu pemutusan beban terbesar lebih cepat daripada pengaturan waktu. Arus gangguan ACB downstream ini dilindungi dan tidak terlindungi kemudian ACB Hulu yang melakukannya (ACB titik A), arus gangguan ini menyebabkan ledakan / kebakaran di titik ACB A. ACB titik A mungkin telah melampaui batas waktu aman dan berfungsi. peralatan perlindungan ACB titik A adalah Unit Perjalanan Elektronik atau Solid / dapat disesuaikan sepenuhnya, arus gangguan melebihi batas aman (I_{max} overload dan sepenuhnya dapat disesuaikan).

Kata Kunci : Mesin Potong Tebu I, Celah ekstrim, Rotor Terkunci, arus gangguan, ACB titik A, batas beban berlebih dan waktu hidup aman.

Abstract--- Age-old mill still experiencing demands to improve the quality and oroduction capacity. Repair, renovation, addition of electrical equipment and production machines as supporting production should be done. For electrical equipment and machinery are aged beyond safe time limit. One of them : ACB-type circuit breaker point A, imposition of electrical equipment that exceed the time limit on the plant safe will result in severe, be a disturbance explosion-fire resulting in total failure production. Being burdened Cane Cutter machines I which require a large torque because there is a very extreme narrow gap. Than the energy required large power, it takes great energy power, electrical system and installation of electrical equipment must consider regulatory electricity and PUIL 2000 or international standards, so that the continuity of safe electric power energy. The use of electric motor / Cane Cutter I should be considered more in the electrical system, due for chopping sugar cane, then a very large load torque too great and the gap in the extreme, can lead to Locked Rotor. With method IEC 60 909 in 2022 to calculate the locked rotor current noise ; simplification because the calculation does not depend on the operating status of ongoing and future load flows. With a series of analyzes and short-circuit current using the formula of the total of 3-phase symmetrical fault current obtained with the largest load disconnection times faster than the time settings. This fault current Downstream ACB protected and unprotected then the Upstream ACB who do it (ACB point A), this fault current lead to an explosion / fire in the ACB point A. ACB possible point A has exceeded the time limit is safe and functioning of protection equipment ACB point A is Electronic or Solid state Trip Unit / fully adjustable, the fault current exceeds safe limits (I_{max} overload and fully adjustable).

Keywords : Cane Cutter Machines I, Extreme gap, Locked Rotor, fault current, ACB point A, overload limit and safe life time

1. PENDAHULUAN

Pabrik Gula PB merupakan satu dari Pabrik Gula yang tertua di Jawa Tengah, didirikan Belanda sekitar tahun 1870-an. Pabrik Gula PB berlokasi di desa Pakis Kecamatan Tayu dengan Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. Operasi Pabrik Gula ini sempat terhenti karena krisis ekonomi ditahun 1997, beroperasi lagi sekitar tahun 2000 di bawah naungan PT. LPI.

Penambahan alat baru berupa motor ataupun mengganti motor ke spesifikasi lebih besar untuk peningkatan produksi dan kelancaran produksi. Hal ini harus dipertimbangkan ketahanan beban saat bekerja selama 24 jam, 6 (enam) bulan masa giling. Faktor-faktor pertimbangan diantaranya : besar daya motor, diskripsi kerja, kapasitas pengaman motor dan usia instalasi listrik yang melebihi batas waktu maksimal, bisa membahayakan instalasi tenaga listriknya. Pengaturan instalasi beban motor induksi yang berkapasitas besar, untuk menggerakkan mekanik putar. Mekanik gerak sendiri merupakan pergeseran berat ditambah dengan kerja mekanik untuk mencacah tebu, maka dibutuhkan daya sangat besar, sistem pengaman instalasi yang sesuai PUIL 2000 dan dalam kondisi yang sangat baik, layak beroperasi.

Pemasangan *ACB* memiliki peranan yang sangat vital di sistem distribusi dan instalasi distribusi tenaga listrik. Karena pengaman digunakan untuk Pemutus Tenaga dan mengamankan beban dari generator, kerusakan beban/generator itu sendiri, ketika pemasangannya, harus diketahui terlebih dahulu besarnya arus nominal pengaman tersebut. Pengaman itu harus mampu mengamankan kabel saluran hantar listrik ketika terjadi arus lebih yang menyebabkan rusak isolasi kabel atau kerusakan di pengaman itu sendiri. Jadi kapasitas pengaman harus lebih kecil dari KHA kabel dan lebih besar atau sama dengan arus nominal.

Dari observasi pada Pabrik Gula PB, terjadi ledakan, kebakaran pada Pemutus Tenaga *MDP/MVDP*, pendistribusian energi tenaga listrik yang mengalami gangguan karena Pemutus Tenaga yaitu; Pemutus Tenaga tipe *MCCB NF1250-SS 1250 A*, menyalurkan energi listrik ke Panel *Sub-*

Distribution BOSTO BOILER dan Pemutus Tenaga tipe *ACB (AEG) 1600 A* dipasang sekitar tahun 1980, ini menyalurkan energi listrik ke Panel *Sub-Distribution-Panel Electric* di bebani oleh motor induksi 3 phasa (*Cane Cutter I*), bekerja dengan sistem kontrol *Soft Stater*. Pertama-tama *ACB AEG 1600 A* mengalami gangguan meledak/terbakar, sumber energi tenaga listrik dari pusat pembangkitan *STG3/ALT3* terhubung langsung ke *TB2*. Hal ini disebabkan komponen Pemutus Tenaga peralatan-pengaman yang terpasang sudah tidak layak beroperasi.

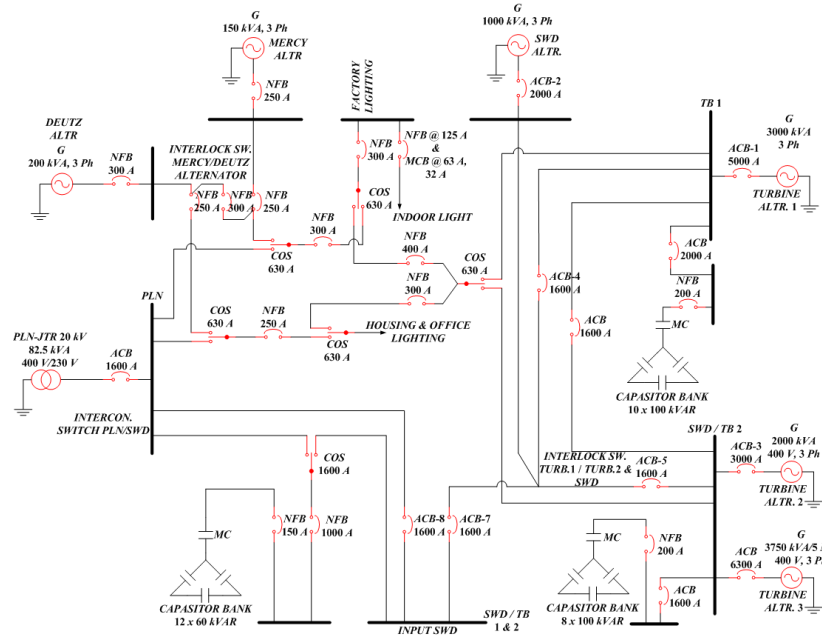
2. SISTEM TENAGA LISTRIK

Industri gula saat proses beroperasi sumber energi listriknya menggunakan limbah ampas tebu digunakan untuk pembakaran *Boiler*, guna menghasilkan uap, dari *Boiler* untuk memutar Turbin kemudian menggerakkan Generator, mengubah gerakan mekanik menjadi energi listrik.

Industri Gula ada 7 pembangkitan yaitu 3 PLTG Ampas Tebu (*TA1, TA2, TA3*/tambahan). 3 PLTD (*PLTD1/SWD, PLTD2/MERCY, penerangan di dalam kantor-pabrik, PLTD3/DEUTZ, pengelasan*). Dan *JTR-PLN* untuk penerangan khusus area kantor saat giling (kondisi tertentu).

Susunan pendistributian berikut ini :

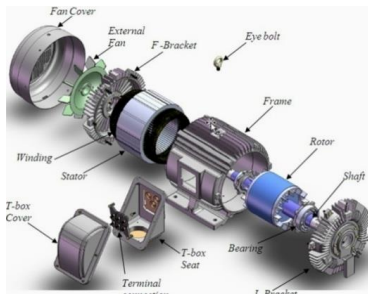
1. Panel *MDP*, pusat pengumpulan sumber-sumber energi listrik, dari sumber pembangkit kelistrikan yaitu *PLN, 3 Turbin Alternator /TA, 3 Diesel Alternator*.
2. *PHB/MDP* sendiri ada 3 kelompok, sebagai berikut :
 - a) *LVMDP, Low Voltage Main Distributi-on Panel*: Panel Utama, sumber energi listrik dari *PLN 20 kV/380-220 Vac* dengan *Cos φ: 0,8-0,9*.
 - b) *MVDP*, Pusat pembagian subenergi tenaga listrik dari sumber.
 - c) energi listrik: beberapa *PLTU Ampas Tebu dan PLTD*.
 - 1) Panel cabang, *SDP*
 - 2) Panel beban, *SSDP*
3. *PHB-TR*, hantaran utamanya merupakan kabel *feeder* menggunakan *NYFGBY*.



Gambar 1. Single line Interlock system ACB-1 to ACB-8

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Bertambahnya beban memperbesar kopel motor, karena memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor bertambah besar. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Untuk mencapai kecepatan konstan performa sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan pengendalian motor induksi.



Gambar 2. Motor induksi 3 fasa

2.2 Prinsip kerja Motor 3 Phasa

Bila sumber tegangan tiga phasa dipasang pada kumparan stator, maka di kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

Medan putar di stator memotong conductor yang terdapat di sisi rotor, akibatnya kumparan di rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) sebesar :

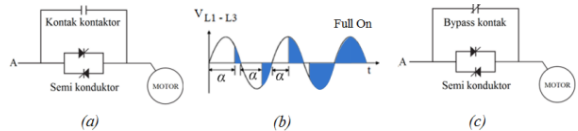
$$e_{2s} = 44,4 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m \dots\dots\dots (2)$$

Perbedaan kecepatan n_r dengan n_s disebut slip (S) yang dinyatakan dalam persamaan :

$$S = n_s - n_r / n_s (100 \%)^{(3)} \dots\dots\dots (3)$$

2.2.1 Soft Starter

Soft Starting, untuk menurunkan tegangan Start motor induksi kemudian menaikkan tegangan bertahap sampai tegangan penuh. Tujuan Soft Starting, start-stop terkendali, terproteksi sehalus mungkin guna untuk kecepatan nominal yang konstan pada aplikasi, dengan torsi awal start rendah.

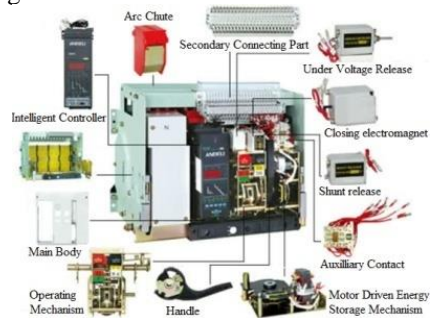


Gambar 3. Sudut penyulutan
a. Tringger soft starter
b. Sudut picu
c. Bypass kontaktor

Instalasi ; CB, Inductor, Filter, Soft Starter (Triac, Kontaktor) kabel, dan motor.

2.2.2 Air Circuit Breaker (ACB)

ACB yaitu circuit breaker sarana pemadam busur api udara, apilkasi di tegangan rendah dan menengah.



Gambar 4. ACB

Kegunaannya menghubungkan, memutus tegangan, arus utama dengan sirkuit atau beban dan berfungsi untuk memutuskan, melindungi beban dari arus berlebihan, atau hubung singkat.

2.3 Gangguan sistem kelistrikan

Sistem kelistrikan, satu sistem yang melibatkan banyak komponen, sangat kompleks. Faktor menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan:

1. Faktor Manusia
2. Faktor Internal
3. Faktor Eksternal

Dari sifatnya, sebagai berikut:

1. Tegangan lebih.
 - a. Kondisi Internal,
 - b. Kondisi Eksternal,
2. Hubung singkat, sebagai berikut :
 - a. *unsymmetrical short-circuit*
 - 1) Satu fasa ke tanah
 - 2) Fasa ke fasa
 - 3) 2 fasa ke tanah
 - 4) Fasa ke fasa, fasa ke 3 ke tanah

b. symmetrical short-circuit

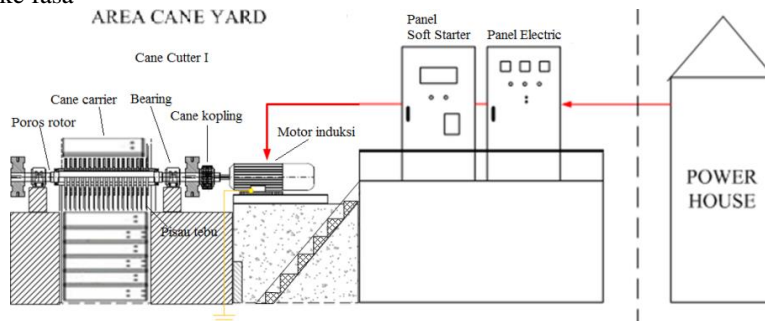
- 1) 3 fasa ke tanah
- 2) Hubung singkat 3 fasa

3. Beban lebih, konsumsi listrik melebihi listrik di pembangkit, arus lebih di beban.

Daya balik, berubah fungsi generator menjadi motor beban di sistem pembangkit tenaga listrik.

3. MESIN CANE CUTTER I

Merupakan bentuk mesin pencacah tebu dengan menggerakkan bagian utama. Beberapa pisau tebu terpasang pada *disk* dengan susunan beralur ulir, agar tebu yang tidak tercacah oleh pisau yang satu dapat tercacah oleh pisau yang lainnya. Celah antara ujung pisau *Cane Cutter I* dan krepyak, *Cane Carrier* sebagai celah masuk, area cacahan tebu dengan jarak sangat *extreme* antara 150-180 mm².



Gambar 5. Skema distribusi listrik dan Desain Mesin *Cane Cutter I*

Mesin *Cane Cutter I* memakai sistem *Inside-Delta* dan dihubungkan dengan *Delta. Inside-Delta*; merangkai *Soft Starter* seperti pada *Y/D starter*, karena mudah menggantikan *starter Y/D. Soft Starter* yang dirangkai *Inside-Delta* akan menerima 70 % ($1/\sqrt{3}$) arus *main line*. Jadi motor 1160 A hanya memerlukan *Soft Starter* 812 A. Sehingga *Cost* lebih rendah dibandingkan *System In-Line*.

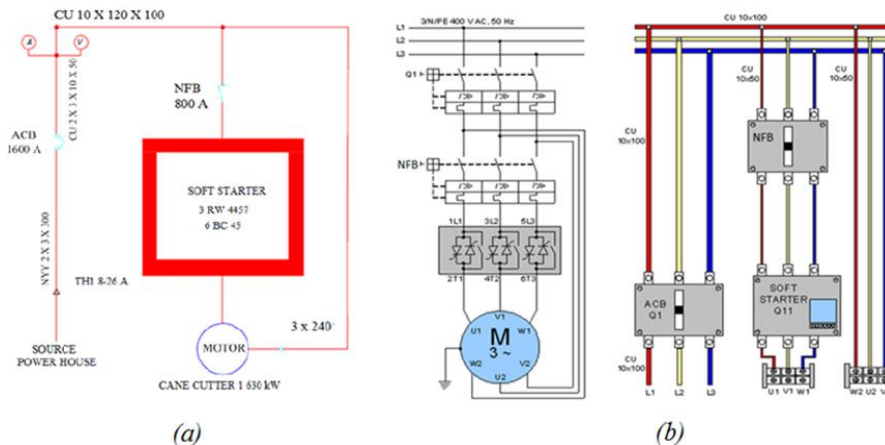
3.1 Beban Motor Pengerak (CCI)

Saat kondisi motor berputar dengan beban normal dan arus rotor sebelum panas motor mempunyai efisiensinya ;

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots \dots \dots (4)$$

Dan daya masuk ke motor induksinya;

$$P_{in} = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{60} \dots \dots \dots (5)$$



Gambar 6. Rangkaian soft stater
 a) Single diagram
 b) Rangkaian pengawatan

Sedangkan daya *output*nya ;

$$P_{out} = \frac{T_r \cdot 2\pi \cdot \omega_n}{60} \dots\dots\dots (6)$$

Kemampuan motor saat jalan berbeban;

$$I_n = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot \cos \varphi} \dots\dots\dots (7)$$

Yang mempunyai daya semunya ;

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (8)$$

Dan arus antara *line to line* adalah :

$$I_{LL} = \frac{S}{V_{LL} \cdot \sqrt{3}} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan :

- P_{in} : Daya *input* (kW)
- P_{out} : Daya *output* (kW)
- T : Torsi maksimal (rpm)
- π : $\phi = 3,14$
- ω_s : putaran stator (rpm)
- I_{LL} : Arus *line to line* (ampere)
- V_{LL} : Tegangan *line to line* (volt)
- S : Rate beban (kVA)
- ω_n : putaran rotor (rpm)

3.2 Pengaman Beban Lebih

Beberapa hal perlu diperhatikan pada peralatan beban lebih :

- a. Perangkat *overload*, hubung singkat, beban lebih.
- b. Perhitungan waktu pemutusan yang diperbolehkan.
- c. Batasan dari panjang jaringan.

Arus hubung singkat harus terputus oleh perangkat proteksi beban lebih sebelum batas suhu untuk jaringan dan kabel dicapai. Perhitungan waktu pemutusan yang diijinkan hingga 5 detik dapat dilakukan pada halaman berikut ini :

$$t_2 = \left(\frac{kA}{I_f} \right)^2 \dots\dots\dots (10)$$

Dengan :

- t_2 : Durasi pada saluran (detik).
- A : Luas penampang (mm^2).
- I_f : Nilai r.m.s I_f (ampere).
- k : Faktor k dari penghantar (CU ; $115 \frac{A\sqrt{s}}{2}$).

Sedangkan arus hubung singkat, beban lebih yang mencapai $12 \times I_n$, maka fungsi waktu dari proteksi *overload*-nya (I_{OL}) adalah (7) :

$$t = \frac{(6 \times I_1)^2 \times t_1}{I_{OL}^2} \dots\dots\dots (11)$$

Sedangkan waktu *cut-off* (t_e) dibawah 15s :

$$t = \frac{I_{OL}^2 \times t_e}{(6 \times I_1)^2} \dots\dots\dots (12)$$

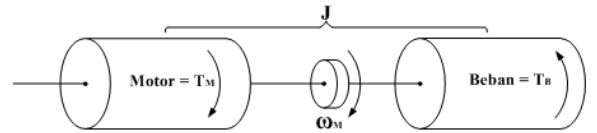
Dengan :

- I_1 : lamanya t arus puncak (kA)
- t_1 : lamanya waktu tunda (detik)

Dimana $(6 \times I_1)^2 \times t_1$ adalah membiarkan energi lewat *pole* spesifik terkait dengan kurva di 3s untuk $I^2 t$ merupakan produk antara *overload* saat *generic kuadrat* dan waktu dibutuhkan proteksi guna untuk membuka rangkaian.

3.3 Gangguan Mesin Pisau Tebu

Prinsip antara Motor induksi dan Mesin *Cane Cutter I* saat beroperasi, merupakan persamaan kopel poros lurus dari motor induksi dan beban mekanik yang tergendeng langsung, penghubung *Cane Kopleng* yang diabaikan, karena pada porosnya mempunyai kecepatan - sama.



Gambar 7. Sistem motor berbeban (8)

Disini J ; jumlah momen *inersia*, kelembanan putaran motor J_M dan dari beban J_B . T_M kopel maju dan kopel mundur T_B harus punya kecepatan yang sama begitu juga dengan kecepatan sudut ω_M .

Kopel total motor (T_t) merupakan penjumlahan kopel maju (T_M) dan kopel mundur (T_B) :

$$T_t = T_M + T_B \dots\dots\dots (13)$$

Dimana kopel maju (T_M) adalah :

$$T_M = T_r = k \times \frac{I_2^2 \cdot R^2}{s_B} \dots\dots\dots (14)$$

Sedangkan kopel mundur (T_B) adalah :

$$T_B = -k \times \frac{I_2^2 \cdot R^2}{(1-s)} \dots\dots\dots (15)$$

Persamaan T_B , slip T_B didapat dari besarnya slip rotor yang di pengaruhi oleh *fluxs* yang berotasi berlawanan arah jarum jam (S_B) dimana :

$$s_B = \frac{N_s - (-N_r)}{N_s} \times 100\% = 1 + \frac{N_r}{N_s} \dots\dots (16)$$

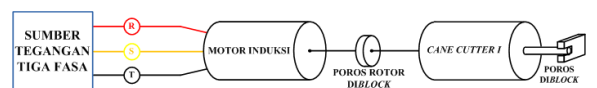
Karena perbandingan slip-nya adalah :

$$\frac{N_r}{N_s} = (1 - s), \text{ maka } s_B = (1 - s) \dots\dots (17)$$

Proses pencacahan tebu berbagai ukuran membuat porsi kerja dititik beratkan pada *Cane Cutter I*. Selain bentuk dan ukuran tebu yang berbeda, celah yang dilewati tebu sangat sempit, sehingga tekanan yang *ekstreme* pada poros pisau yang terhubung rotor motor, apabila putaran poros tiba-tiba terhenti akibat ada gangguan di celah *exstreme* akan mengakibatkan torsi menjadi berat, $n_r = 0$ dan Slip = 1 yang mengakibatkan adanya *overload*, beban lebih.

3.4 Rotor Terkunci

Karena putaran poros pisau tebu macet, poros yang terhubung langsung ke rotor tidak dapat berputar, maka terjadi *blocked rotor*.



Gambar 8. Locked rotor *Cane Cutter I*

Blokir rotor memberikan informasi sehubungan kebocoran impedansi. rotor tidak ber-putar (maka slip = kesatuan), tegangan 3 fasa seimbang di stator,

sedangkan dari *nameplate* motor batas arus maksimal rotor terkunci dapat dicari dengan Tabel 1.

Tabel 1. Code letter motor ⁽³⁾

Nominal Code Letter	Locked rotor kVA/hp	Nominal Code Letter	Locked rotor kVA/hp
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.20
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.10-8.00	V	22.40 and up
K	8.00-9.00		

$$I_{LR} = \frac{P_{out}}{0,746 \times S_{start} \times 10^3} \times \frac{1}{V_{LL} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana (I_{LR}) arus rotor terkunci dalam *kA*, P_{out} sebagai daya *output* motor dalam *kW*, S_{start} daya semu awal *start*, *locked* rotor (*S*) dalam *kVA*.

3.5 Hubung Singkat Tiga Fasa

Metode IEC 60 909 tahun 2000 ; penyederhanaan, karena perhitungan tidak tergantung status pengoperasian yang berlangsung dan masa beban mengalir:

$$I_{f3\phi} = \frac{c \cdot V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot Z_{SC}} \dots\dots\dots (19)$$

Dengan :

- $I_{f3\phi}$: Hubung singkat 3 f (*kA* atau *A*).
- c* : Faktor tegangan.
- V_{LL} : Tegangan kerja (*V*).
- Z_{SC} : Impedansi $I_{f3\phi}$ (*mΩ/meter*).
- R_T : Total tahanan seri (*mΩ/meter*).
- X_T : Total reaktansi seri (*mΩ/meter*).
- $R_{L,Tr,Q}$: Jumlah tahanan kabel, trafo, saluran (*mΩ/meter*).
- $X_{L,Tr,Q}$: Jumlah reaktansi kabel, trafo, saluran (*mΩ/meter*).

Nilai gangguan dalam *kA* berhubungan dengan nilai arus gangguan di terminal *outgoing CB* dan dipakai mendefinisikan *thermal withstand current* (I_{CW}). Untuk arus *Peak Maximum* gangguan dalam *kA* ; $I_{dyn} = 2.5 \times I_{SC}$ untuk 50 Hz.

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

Observasi Pabrik Gula, jadi subjek skripsi yaitu beban motor induksi 3 fasa yang berfungsi sebagai motor penggerak *Cane Cutter I* sebagai pencacah tebu.

Berikut ini hasil perhitungan dengan berbagai kondisi pada *Cane Cutter I* :

a) Perhitungan beban dari 1 x 80 ton, sampai 55 kali (arus gangguan).

Tabel 2. Nilai I_n arus *locked rotor*, *breaking capacity* dari pembebanan

Diskripsi	Perhitungan Beban Lebih = Daya Besar = Torsi Besar (<i>Nm</i>)			
	1x8090	40x8090	45x8090	50x8090
I_n motor (<i>kA</i>)	1,1911	47,6485	53,6045	59,5606

b) Perhitungan *braking capacity CB*.

Tabel 3. Arus gangguan di *ACB*

Bagian	R (<i>mΩ</i>)	X (<i>mΩ</i>)	R_T (<i>mΩ</i>)	X_T (<i>mΩ</i>)	$I_{f3\phi} = \frac{c \cdot V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot Z_{SC}}$
Busbar TB1 / MDP	R_{TB}	$r : 0,023 \frac{m}{m}$	2,645	1,875	71,1 <i>kA</i> Peak Maximum 2,5 x 71,1 <i>kA</i>
ACB titik A	X_{ACB}	$x : 0,15 \cdot 10^{-3} l$		0,15	177,75 <i>kA</i>
Saluran dari MDP	R_{L1}	0,0703	11,4378	13,8005	12,85 <i>kA</i> Peak Maximum 2,5 x 12,85 <i>kA</i>
	X_{L1}	0,0839			32,125 <i>kA</i>
Kondisi lain 3,8133 <i>kA</i>			0,0301	0,148	1,5253 <i>kA</i> Peak Maximum 2,5 x 1,5253 <i>kA</i>

Tabel 4. *Breaking Capacity* saat *short circuit* di *ACB* titik A

Diskripsi	Gangguan dari saluran atas	Gangguan dari saluran bawah
ACB titik A	177,75 <i>kA</i>	32,125 <i>kA</i>

c) Perhitungan arus setelah *output Soft Starter*

Tabel 5. Hitungan *breaking capacity* (dalam %)

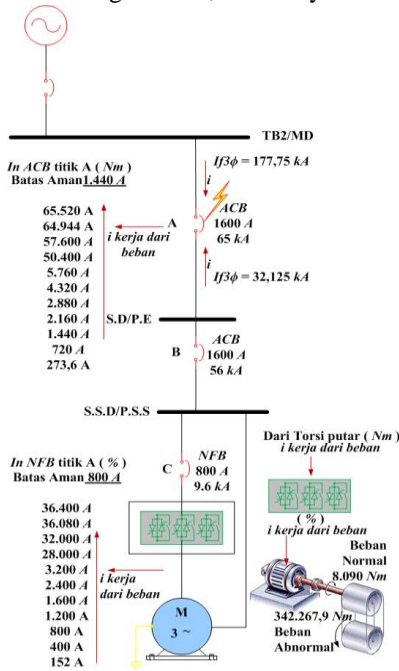
Diskripsi	I_n (<i>A</i>)	x 19 %	x 50 %	x 100 %	x 150 %	x 200 %	x 300 %	x 400 %	x 3500 %	x 4000 %	x 4510 %	x 4550 %
ACB titik A (65 <i>kA</i>)	1440	0,2736	0,72	1,44	2,16	2,88	4,32	5,76	50,40	57,6	64,94	65,52
ACB titik B (59 <i>kA</i>)	1440	0,2736	0,72	1,44	2,16	2,88	4,32	5,76	50,40	57,6	64,94	65,52
NFB titik C (9,6 <i>kA</i>)	800	0,152	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2	28	32	36,08	36,4

d) Kemampuan I_L *Cane Cutter I*

Tabel 6. Nilai arus batas *locked rotor nameplate* motor.

Diskripsi	Perhitungan Arus Gangguan			
	Data Nameplate		Garis besar di D dari Rangkaian Analisa	
	<i>S</i> (<i>kVA</i>)	I_{LR} (<i>kA</i>)	$I_{f3\phi DM}$ (<i>kA</i>)	I_P (<i>kA</i>)
Kapasitas Gangguan	7,605	9,758,79	9,4082	13,3052

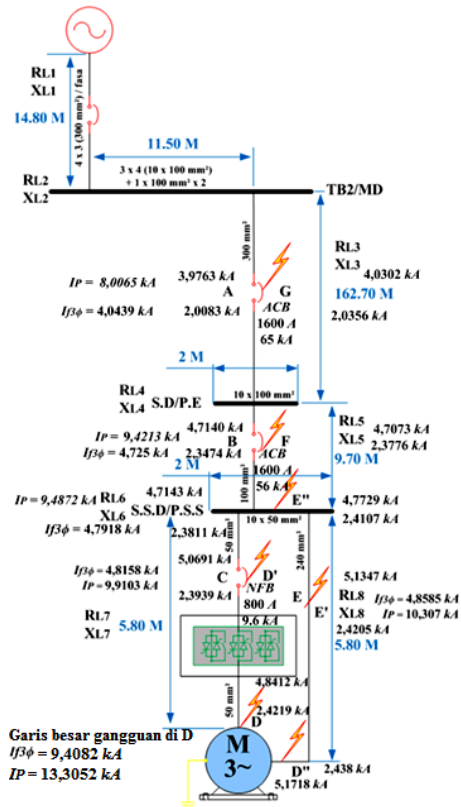
Dan untuk gambar 9, analisisnya berikut ini :



Gambar 9. Rangkaian analisa

e) Perhitungan dari beban

Berikut hubung singkat dari sumber utama gangguan, saluran 3 fasa di motor induksi 3 fasa dengan data motor sesuai dengan rangkaian analisa.



Gambar 10. Rangkaian analisa arus gangguan metode IEC 60 909/2000

f) Analisis ACB

Kemampuan tiap ACB, memproteksi instalasi, peralatan listrik pada *system Cane Cutter I* dari kerusakan (*breaking capacity*).

Didapatkan analisis bahwa :

1. Saat *Locked Rotor* ;

Beban yang sangat besar maka daya dan kopelnya besar, $n_s < n_r$ tegangan akan terinduksi, arus tidak mengalir ke rotor (Rotor sangkar ; terbuat dari besi laminasi mempunyai slot dengan batang aluminium/tembaga yang dihubungkan singkat di ujungnya) ; *Slip* = kesatuan ; arus tinggi terjadi di stator dan berbalik menuju *input* motor; penyerapan arus yang sangat besar dari motor ke I_n ACB. Beban bervariasi besarnya dari 100 % dengan arus sebesar 800 A, 400 % arusnya 3.200 A. gangguan di 4.550 % arusnya 65,52 kA dengan beban torsi sebesar 55×8.090 (torsi normal)/444.950 N_m dan kemampuan I_L motor sebesar : 9.758,79 kA dalam batas aman (mampu).

2. Dari *breaking capacity* didapatkan :

- 1) I_n tertinggi di ACB A : 1.600 A di *breaking capacity* : 65 kA.
- 2) Dengan perhitungan didapatkan *breaking capacity* :
 - a) Pada mesin sebesar 4,0439 kA dan 9,4082 kA (mampu).
 - b) Di ACB A ; *Incoming* sebesar : 177,75 kA (tidak mampu), *Outgoing* sebesar : 32,125 kA , 3,813 kA (cukup, mampu).

3. Untuk I_p , dengan nilai gangguan sebesar 4,043,9 A/31,05 kA masih aman, mampu, karena kemampuan *max* Pemutus Tenaga ACB titik A = 65.000 ampere.

Circuit Breaker sisi *downstream* (C) tidak mengisolasi gangguan tetapi *trip-ping* CB sisi *upstream* (A), sensitifitas lebih cepat.

4. Untuk I_r , nilai arus gangguan adalah 4.043,9kA dan 65,5166kA-177,75kA tidak aman, tidak mampu karena :

- 1) Batas kemampuan ACB dari arus gangguan sebesar : 1.440 ampere dan *max* : 65 kA.
- 2) Kemampuan *Maximal. Electronic/Solid state Trip Unit* ; 800-4000 A / *fully adjustable*.

5. Sistem kerja mekanik ACB tidak bekerja normal dan menjadi rusak saat terjadi gangguan karena nilai arus gangguan tidak aman dan Pemutus Tenaga sudah melebihi batas kemampuan, maksimal waktu aman (*life time*).

Tabel 7. Pemutus Tenaga kondisi abnormal

Diskripsi (380 Vac, 50 Hz)	Perhitungan Arus Gangguan Beban Lebih							
	If3Ø dari Motor ke ACB			In ; IP (kA)				
	Total I _{3φ} (kA)	t Trip (detik)	Total I _p (kA)	Saat Pembebanan			If3Ø di ACB	
				100 %	400 %	4.550 %	Saluran bawah	saluran atas
ACB Titik A	4,0439	3,3	8,0065	1,44	5,76	65,52	32,125	177,75
ACB Titik B	4,725	4,5	9,4213	1,44	5,76	65,52		
NFB Titik C	4,8158	15,1	9,9103	0,8	3,2	36,4		

5. SIMPULAN

Dari analisa pada bab IV diperoleh hasil simpulan sebagai berikut :

1. Terkuncinya rotor di motor induksi karena putaran rotor dibebani beban sangat besar, tidak menimbulkan arus besar di rotor. Arus besar timbul di stator, maka arus pun bisa melebihi batas aman dari I_n Pemutus Tenaga. Menjadi tidak aman/tidak mampu kalau arus gangguan tertahan dalam jangka waktu lama, apabila terjadi *tripping* berulang-ulang, rusak ACB.
2. Arus *breaking capacity* ACB titik A dari saluran *incoming* sebesar : 177,75 kA sedangkan dari saluran *outgoing*-nya sebesar: 32,125 kA, maka arus gangguan *Incoming* tidak aman (CB tidak mampu), sedangkan arus ganggun *Outgoing* masih di batas aman (CB cukup dan mampu) karena batas maksimal kapasitas ACB A sebesar 65 kA. Kerusakan mekanik, ledakan/kebakaran disebabkan dan dipastikan pemakai Pemutus Tenaga melebihi batas waktu aman (*overlife time*).

DAFTAR PUSTAKA

1. Ir. Hasan Basri, 1997, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta Selatan, ISTN.
2. Panitia Revisi PUIL, Desember 2000, *PUIL 2000 3.24.2.1*, Jakarta, BSN.
3. J. Lewis Blackburn-Thomas J. Domin, 2006, *Protective Relaying Principles and Applications Third Edition*, New York, Taylor & Francis Group, LLC.
4. Dr. Ismail Kasikci, 2004, *Analysis And Design Of Low Voltage Power Systems*, Weinheim-Jerman, Wiley-VCH Verlag-GmbH&Co. KGaA.
5. ABB, Juni 2009, *Low voltage circuit breakers-Working with trip characteristic curves*, 1206 Hatton Road-USA, ABB Inc.
6. Djuhana Djoekardi, 2000, *Penggunaan Mesin-Mesin Listrik* cet. 1, Jakarta Selatan, ISTN.

7. Kalandi Pradhan, 2016, *lecture 1424084684, Electrical Drives and Traction*, Department of Electrical Engineering, Veer Surendra Sai University of Technology, Odisha, Burla, India.
8. E. Fitzgerald-Charles Kingsley, Jr- Stephen D. Umans, *Electric Machinery Sixth Edition*, New York-Americas, The McGraw-Hill Companies, Inc.
9. Metz-Noblat-Dumas-Poulain, September 2005, *Cahier Technique Schneider Electric No. 158*, Perancis, Schneider Electric.
10. Nexan Olex, 2012, *Power Cable Catalogue Full Version 2012*, New Zealand.
11. Schneider Electric, 2015, *The Electrical Installation Guide 2015, France*, Schneider Electric Industries SAS.