

Jurnal Skripsi

DESAIN SISTEM PROTEKSI PADA MODIFIKASI INTEGRASI PLTS ON-GRID KAMPUS II ITN MALANG YANG BEROPERASI PADA KONDISI PEMADAMAN LISTRIK PLN

¹Wulan Hidayati Latifah, ²Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT., ³Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹w.latifah21@gmail.com, ²widodo_pm@lecturer.itn.ac.id, ³kmsomawirata@yahoo.com

Abstrak — Sistem proteksi tenaga listrik merupakan suatu sistem pengamanan terhadap suatu sistem tenaga listrik yang terpasang pada suatu sistem distribusi tenaga listrik. Sistem proteksi berfungsi melindungi peralatan dan jaringan tenaga listrik dari kerusakan akibat gangguan dan akan bertindak cepat untuk membatasi kerusakan. Pada modifikasi PLTS On Grid 500 KWP di Kampus II ITN Malang dibutuhkan penambahan sistem proteksi agar mampu beroperasi pada saat terjadi pemadaman jaringan listrik PLN. Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan teknis dari sistem grid dan sistem PLTS. Penelitian ini dilakukan analisis *short circuit* untuk melihat apakah kapasitas MCCB mampu menahan arus hubung singkat atau tidak dengan menggunakan software ETAP versi 12.6.0 menggunakan data yang telah diperoleh. Dari simulasi yang telah dilakukan, sistem proteksi modifikasi integrasi On Grid Kampus II ITN Malang menggunakan MCCB Motorized Schneider NSX630-N Micrologic 2.3 M (NSX) yang sesuai karena dapat memastikan perlindungan yang optimal serta pengoperasian yang aman pada rangkaian listrik sesuai simulasi yang telah dilakukan pada ETAP 12.6.0.

Kata Kunci—*PLTS On Grid, Proteksi MCCB, ETAP*

I. PENDAHULUAN

Energi yang dihasilkan oleh proses alam yang ramah lingkungan termasuk tenaga surya, tenaga angin, arus air, dan lain-lain disebut sebagai energi baru terbarukan. Tenaga surya akan dibahas sebagai sumber energi baru dan terbarukan dalam penelitian ini. Sel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dimanfaatkan untuk memanfaatkan energi ini. Area panel surya yang digunakan menentukan berapa banyak energi matahari yang dapat diubah.

Selain jaringan listrik dari PLN, PLTS On Grid dapat membantu menyuplai listrik ke gedung kampus 2 ITN Malang pada siang hari maupun malam hari. Meskipun PLTS ini membantu menyuplai listrik, PLTS tetap akan padam saat jaringan dari PLN dipadamkan. Secara ideal, pembangkit listrik seharusnya dapat meningkatkan keandalan dengan menyediakan pasokan listrik ke beban saat terjadi gangguan pada jaringan distribusi. Gangguan ini biasanya terjadi Ketika peralatan proteksi mengoperasikan pemutusan aliran listrik untuk mengatasi masalah. Namun, hingga saat ini

Upaya untuk meningkatkan keandalan ini belum sepenuhnya berhasil, karena pengoperasian pembangkit saat jaringan distribusi terganggu masih menghadapi beberapa masalah yang belum terselesaikan [1]. Agar pembangkit listrik tidak beroperasi ketika jaringan terputus, langkah yang diambil adalah melepaskan pembangkit dari jaringan distribusi saat terjadi pemadaman. Di Indonesia, tindakan ini diatur dalam kebijakan Direksi PLN mengenai Panduan Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi, yang menegaskan bahwa pembangkit harus diputuskan dari jaringan dalam waktu 2 detik setelah terputusnya jaringan. [2].

Ketika jaringan listrik dari PLN dipadamkan dimana PLTS juga tidak beroperasi, sarana satu satunya untuk menghidupkan kembali listrik pada gedung kampus adalah dengan menggunakan genset. Genset menggunakan bahan bakar diesel yang mana diperlukan 40 hingga 50 liter per jam untuk menghidupkan listrik pada gedung kampus. Pengeluaran yang perlu dikeluarkan kampus sangat besar untuk harga bahan bakar diesel yang digunakan per 50 liter. Untuk meminimalisir pengeluaran biaya dan pengoptimalan PLTS On Grid yang dimiliki, perlu adanya sebuah alat untuk modifikasi pada sistem PLTS On Grid agar tetap beroperasi saat terjadi pemadaman jaringan listrik PLN. Dengan penambahan sistem proteksi pada modifikasi sistem PLTS On Grid agar mampu beroperasi pada saat terjadi pemadaman jaringan listrik PLN, harus memenuhi persyaratan teknis dari sistem grid dan sistem PLTS[10].

Rumusan Masalah pada penelitian ini yaitu pemilihan sistem proteksi apa yang sesuai digunakan untuk modifikasi PLTS *On Grid* dan bagaimana sistem proteksi bekerja pada modifikasi PLTS On Grid di kampus II ITN Malang saat terjadi pemadaman listrik PLN.

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini antara lain merancang dan menganalisa sistem proteksi pada modifikasi pembangkit listrik PLTS On Grid agar mampu beroperasi pada saat pemadaman jaringan listrik PLN. Dan juga menganalisis apakah kapasitas MCCB mampu menahan arus hubung singkat yang terjadi pada beberapa bus.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Salah satu komponen utama dari sistem PLTS adalah Photovoltaic [3]. Penggunaan PLTS sebagai sumber energi terbarukan juga memiliki peran yang signifikan dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan bakar dalam pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang lama akan menghabiskan sumber daya minyak bumi, gas, dan batu bara yang semakin terbatas, dan ini dapat menyebabkan polusi lingkungan [4]. Modul fotovoltaik (PV), yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, merupakan komponen kunci dalam PLTS. Modul surya (PV) dapat mengalami variasi dalam jumlah energi listrik yang dihasilkannya karena perkembangan teknologi. PLTS dirancang untuk beroperasi dalam jangka waktu yang panjang dan memerlukan investasi keuangan yang besar, oleh karena itu, langkah-langkah pencegahan bergantung pada sistem pemantauan yang diterapkan.[5].

- *PLTS On Grid*

PLTS On Grid adalah suatu sistem pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik. Sistem ini dirancang untuk terhubung dengan jaringan PLN (Perusahaan Listrik Negara) dengan tujuan mengoptimalkan penggunaan energi matahari melalui modul surya atau fotovoltaik untuk menghasilkan listrik seefisien mungkin [4].

- *PLTS Off Grid*

Pada saat menggunakan PLTS Off Grid, pelanggan tidak diwajibkan terhubung dengan jaringan listrik PLN. Maka PLTS Off Grid bisa ditemukan di tempat-tempat tanpa akses listrik PLN. Hal ini disebabkan kurangnya konektivitas jaringan listrik PLN di wilayah tersebut serta fakta bahwa PLTS Off Grid membutuhkan cadangan baterai sebagai tempat penyimpanan ketika PLTS tidak menerima sinar matahari.

B. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem keamanan untuk sistem tenaga listrik yang dipasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, transformator daya, dan generator listrik untuk menjaga terhadap kerusakan interferensi pada peralatan dan jaringan tenaga listrik dan akan bertindak cepat untuk membatasi kerusakan yang disebabkan oleh gangguan atau kondisi abnormal. Tindakan cepat dapat diambil untuk mencegah kerusakan, mengurangi gangguan catu daya, menjaga keamanan dan keandalan sistem, dan

menjaga sistem kelistrikan tetap berjalan sehingga arus dapat dikirim ke beban[6]. Sebelum arus gangguan meningkat dan menjadi berbahaya bagi peralatan, perlindungan harus dapat menghentikannya. Pemutus sirkuit dan sekering keduanya dapat digunakan untuk perlindungan. Selain itu, interferensi harus dihilangkan dengan perlindungan tanpa menyebabkan kerusakan pada sistem perlindungan yang sebenarnya. Oleh karena itu, kapasitas arus hubung singkat harus dipertimbangkan saat memilih perangkat keselamatan [7].

C. MCCB

MCCB melindungi sistem distribusi dari bahaya lebih lanjut. Oleh karena itu, MCCB harus dipilih dengan cara yang sesuai dan standar. Berdasarkan standar IEC/EN 6047-2, pengujian arus dan tegangan MCCB dapat dilakukan untuk menentukan kualitas MCCB dan apakah sesuai atau tidak. Schneider bermotor tipe NS800 N MCCB digunakan dalam penelitian ini[8].

Ketika sirkuit terputus, misalnya MCCB dapat dibuka atau ditutup secara manual (menggunakan tuas) atau otomatis (menggunakan perangkat bermotor). Sistem bermotor yang dioperasikan secara manual adalah sistem yang memiliki tombol tekan[9].



Gambar 2.1 MCCB Motorized

D. Kapasitas MCCB

Kapasitas MCCB adalah jumlah arus maksimum yang dapat mengalir dengan bebas melalui MCCB. Persamaan untuk kapasitas arus maksimum MCCB yaitu :

$$I_{kMCCB} = I_{bT} + I_{RJ} \dots\dots (1)$$

Sementara kemampuan arus hubung singkat MCCB harus lebih besar daripada arus gangguan hubung singkat jaringan potensial, khususnya:

$$I_{fMCCB} > I_{fTJ} \dots\dots (2)$$

Keterangan :

I_{kMCCB} = Kapasitas arus minimum MCCB (A)

I_{bT} = Arus Beban total (A)

I_{RJ} = kerugian yang disebabkan oleh hilangnya daya jaringan (A). Rugi daya dianggap 10%

I_{fMCCB} = MCCB memiliki kapasitas arus hubung singkat (A)

I_{fTJ} = Arus hubung singkat ke jaringan (A)

E. Analisis Aliran Daya (Load Flow Analysis)

Analisis aliran daya merupakan proses untuk menghitung dan menganalisis distribusi tegangan,

daya dan arus dalam sebuah sistem tenaga listrik. Analisis ini digunakan untuk menentukan kondisi operasi yang stabil dan memastikan bahwa sistem tenaga listrik beroperasi dengan baik. Untuk melakukan penyelesaian perhitungan aliran daya, dapat menggunakan 3 metode yaitu :

- *Accelerated Gauss-Seidel Method*
Meskipun metode ini hanya membutuhkan sedikit nilai input, metode ini memiliki kecepatan perhitungan yang panjang.
 $[P + jQ] = [V^T | Y_{BUS}^* | V^*] \dots\dots\dots (3)$

- *Newton Raphson Method*
Perhitungan dilakukan dengan cepat dengan metode ini, tetapi membutuhkan banyak nilai dan parameter. Untuk mempercepat perhitungan maka digunakan *First Order Derivative*.
 $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$

- *Fast Decoupled Method*
Besaran tegangan dan persamaan iterasi sudut tegangan digunakan dalam dua set dalam metode ini. Pendekatan ini bekerja dengan baik untuk sistem radial dan sistem dengan rute yang luas namun cepat dalam perhitungan. [10].
 $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$

F. Analisa Hubung Singkat (Short Circuit Analysis)

Proses analisis hubung singkat digunakan untuk memeriksa aliran arus menyimpang yang terjadi ketika dua atau lebih konduktor yang seharusnya tidak dihubungkan secara langsung saling berhubungan. Ada dua jenis gangguan pada sistem tenaga listrik: gangguan asimetris dan gangguan tak simetris. Gangguan asimetris memiliki arus gangguan seimbang, sedangkan gangguan tak simetris memiliki arus gangguan tak seimbang [10].

G. Jenis Gangguan Arus Hubung Singkat

- *Gangguan 3 Phasa (Three Phase Fault)*
Jika dibandingkan dengan gangguan arus hubung singkat lainnya, gangguan 3 phasa adalah jenis gangguan yang paling serius. Gangguan ini termasuk dalam kategori gangguan simetris, yang terjadi saat tegangan dan arus pada setiap fase tetap seimbang. Oleh karena itu, gangguan ini dapat dianalisis hanya dengan mempertimbangkan komponen urutan positif. Namun, perlu diperhatikan bahwa gangguan ini jarang terjadi.

- *Gangguan 1 Phasa ke Tanah (Line to Ground Fault)*

Efek dari gangguan fase tunggal di tanah adalah peningkatan arus listrik dalam fase dengan gangguan dan penurunan tegangan ke nol. Akibatnya, peristiwa tersebut dapat mengakibatkan peningkatan tegangan dari fase lain dan arus yang mencapai nol pada fase lain.

- *Gangguan 2 Phasa (Line to Line Fault)*

Ketika kawat penghantar fase terputus di pusat distribusi dan transmisi dengan konfigurasi berorientasi vertikal, kegagalan hubung singkat 2 fase sering terjadi. Faktor-faktor lain yang berkontribusi terhadap terjadinya gangguan ini termasuk degradasi isolator, resistansi kaki tiang tinggi yang disebabkan oleh sambaran petir, dan flashover hitam antara dua fasa melakukan kabel dan tiang secara bersamaan[11].

- *Gangguan 2 Phasa ke Tanah (Line-Line to Ground Fault)*

Seringkali, gangguan dua phasa ke tanah terjadi karena dua phasa atau dua kawat terhubung ke tanah atau ke netral saat pentanahan tiga phasa.

H. Perhitungan Gangguan Arus Hubung Singkat

Perhitungan gangguan arus hubung singkat menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 mencakup perhitungan arus gangguan pada 3 fase, gangguan 1 fase terhadap tanah, gangguan 2 fase, dan gangguan 2 fase terhadap tanah. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan metode impedansi simetris pada urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.[12].

Rumus untuk perhitungan masing-masing arus adalah sebagai berikut:

1. *3 – Phase Fault*
 $I_f = \frac{V_{L-N}}{Z_1} \dots\dots\dots (6)$

2. *L – G Fault*
 $I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (7)$

3. *L – L Fault*
 $I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (8)$

4. *L – L – G Fault*
 $I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + (Z_2 // Z_0)} \dots\dots\dots (9)$

Keterangan :

I_f = Arus gangguan hubung singkat (A)

V_f = Tegangan di titik gangguan (V)

Z_1 = Impedansi ekuivalen urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi ekuivalen urutan negatif (ohm)

Z_0 = Impedansi ekuivalen urutan nol (ohm)

I. ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) 12.6.0

Perangkat lunak yang disebut ETAP digunakan untuk menilai sistem kelistrikan secara menyeluruh, dari listrik hingga jaringan. Untuk pemodelan daya listrik, perangkat lunak ETAP dapat beroperasi secara offline, dan dapat beroperasi secara online untuk manajemen data real-time atau kontrol sistem real-time.

Software ETAP mempunyai 2 standar frekuensi yaitu IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan ANSI (*American National Standards Institute*) yang mana IEC menggunakan nilai frekuensi 50 Hz dan ANSI menggunakan nilai frekuensi 60 Hz[13].

ETAP memiliki dua jenis norma yang digunakan untuk melakukan analisis listrik, yaitu ANSI dan IEC. Perbedaan antara kedua standar ini terletak pada frekuensi yang digunakan, yang mengakibatkan penggunaan peralatan yang berbeda untuk sesuai dengan frekuensi tersebut. Selain itu, perbedaan lainnya juga dapat ditemukan dalam simbol elemen listrik yang digunakan dalam ETAP [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- Studi Literatur
penulis membaca, menganalisis, mengevaluasi informasi relevan yang berkaitan dengan penelitian penulis dari berbagai sumber literatur seperti jurnal ilmiah, buku, artikel dan dokumen terkait lainnya.
- Pengumpulan Data
Penelitian ini mengumpulkan data tentang spesifikasi sistem PLTS On Grid dan Off Grid, beban listrik kampus II ITN Malang, dan beban lain.
- Pendekatan Bimbingan
Penulis melakukan penelitian dengan arahan dan bimbingan langsung dari dosen pembimbing.

B. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis melakukan simulasi analisis gangguan arus hubung singkat dengan memanfaatkan perangkat lunak ETAP 12.6.0.

- Simulasi ETAP 12.6.0
Simulasi dalam penelitian ini menggunakan frekuensi 50 Hz dengan memanfaatkan perangkat lunak ETAP 12.6.0 standar IEC. Pada bagian studi kasus Analisis Hubung Singkat di ETAP 12.6.0, analisis hubung singkat dipelajari dan disimulasikan dengan mengintegrasikan interferensi pada setiap bus untuk mengestimasi arus hubung singkat. Selanjutnya, perhitungan manual dilakukan untuk memeriksa apakah nilai arus hubung singkat tersebut konsisten atau berbeda setelah nilai tersebut dihasilkan.

C. Spesifikasi Sistem

- PLN Grid
Untuk memenuhi kebutuhan operasional listrik di kampus II ITN Malang, sumber energy listrik yang diperlukan dari sumber PLN sebesar 20 kV yang diturunkan menjadi 400 V menggunakan Transformator Step Down. Dan jika emergency terjadi maka di supply dari Genset Caterpillar 200 kW[14].

Tabel 3. 1 Spesifikasi Sollar Cell PLTS On Grid

Solar Cell PLTS On Grid (JA Solar)	
TYPE	JAM72S20-450/MR
Peak Power (Pmax)	450 W
Open Circuit Voltage (Voc)	49.70 V
Max. Power Voltage (Vmp)	41.52 V
Short Circuit Current (Isc)	11.36 A
Max. Power Current (Imp)	10.84 A
Power Selection	0→5 W

Tabel 3. 2 Spesifikasi Inverter PLTS On-Grid

Inverter PLTS On Grid (Huawei)	
TYPE	SUN2000-100KTL-M1
DC Max. Input Voltage	1000 Vd.c
DC Max. Input Current	10x26 A
Short Cicuit Current (Isc)	10x40 A
DC MPP Range	200-1000 Vd.c
DC Output Nominal Voltage	380/400 Va.c.;3(N) ~+ GND 480 Va.c.;3 ~+ GND
AC Nominal Operating Frequency	50/60 Hz
AC Output Rated Power	110 Kw
AC Output Max.Apparent Power	110 kVa
AC Output Max. Current	168.8 A; 380 Va.c. 160.4 A;400 Va.c. 133.7 A;480 Va.c.
Power Factor	0.8(lagging)-0.8(leading)
Operating Temperature Range	-25 ~+ 60°C
Inverter Topology Non-Isolation	Non-Isolation
Enclouser	IP66
Protection Class	I
Overvoltage Category	II (DC)/(AC)
Pollution Degree	III
Altitude	4000 m
Communication	RS485

Tabel 3. 3 Spesifikasi MCCB Motorized

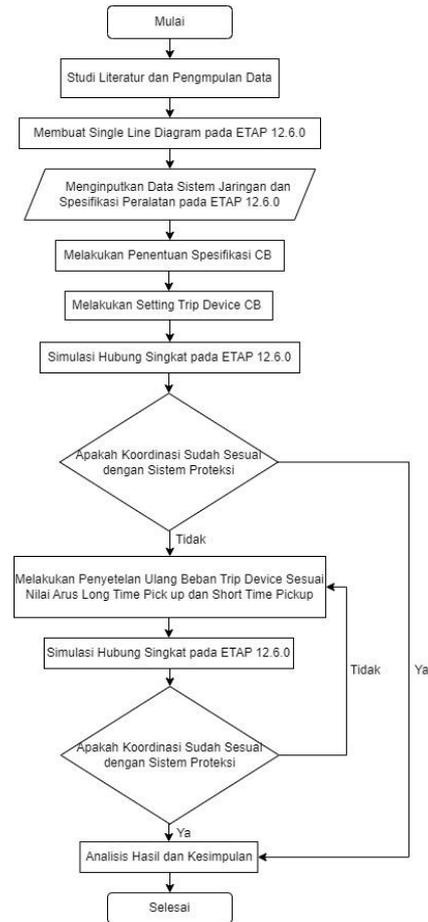
MCCB Motorized (Zelio)	
TYPE	SR2 B121BD
Range	ComPact
Product Name	ComPact NS
Range of Product	ComPact NS630b...1600
Device Short Name	Compact NS800N
Product or Component Type	Circuit Breaker
Device Application	Distribution
Number of Poles	3P
Protected Poles Description	3D
(In) Rated Current up to 65 °C	800 A at 50 °C
[Ue] Rated Operational Voltage	690 V AC 50/60 Hz
Network Type	AC
Network Frequency	50/60 Hz
Suitability for Isolation	Yes conforming to EN/IEC 60947-2
Utilisation Category	Category B
[Icu] Rated Ultimate Short-Circuit	30 kA Icu at 660/690 V AC 50/60
Breaking Capacity	Hz conforming to IEC 60947-2 50 kA Icu at 380/415 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 50 kA Icu at 440 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 85 kA Icu at 220/240 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 40 kA Icu at 500/525 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
Performance Level	N 50 kA 415 V AC
Trip Unit Name	Micrologic 2.0
Trip Unit Technology	Electronic
Trip Unit Protection Functions	LI
Control Type	Rotary handle Toggle
Circuit Breaker Mounting Mode	Fixed

Tabel 3. 4 Data Pengukuran beban kampus II ITN Malang.

Arus RMS (A)	Kampus 2 ITN Malang (Rabu 24 Maret 2021, Jam: 09.30)				
	Utama	Line A	Line B	Line C	Tegangan
R	4,875	0	0	0	236
S	2,76	0	0	0	239
T	2,25	0	0	0	235
N	0	0	0	0	-

Analisa Beban					Beban (S x CosPhi)	Rating Trafo (KVA)
Delta Arus Phasa RMS	Arus Netral Dibanding Arus Phasa	Beban Arus Phasa	% Beban	% Beban		
76,63	Normal	Normal	1	Normal	2497,515	E0406

D. Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

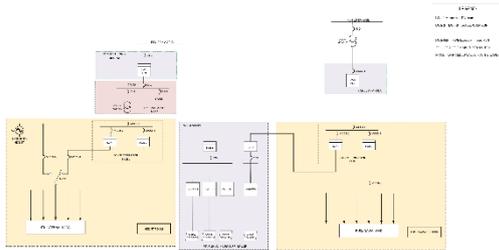
A. Menentukan Spesifikasi MCCB

Penentuan spesifikasi MCCB dilakukan berdasarkan kebutuhan dan fungsi dengan mempertimbangkan koordinasi proteksi sesuai yang telah direncanakan. Pada saat menentukan spesifikasi dan setting circuit breaker, disarankan untuk terlebih dahulu memilih circuit breaker yang sesuai dengan beban-beban yang ada.

B. Single Line Diagram Kampus II ITN Malang

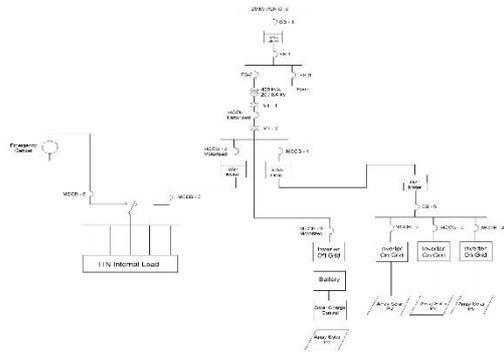
Gambar 4.10 menunjukkan single line diagram untuk sistem kelistrikan di Kampus II ITN Malang. Sistem ini memiliki kapasitas PLN 20 KV, dengan dua transformator berkapasitas 400 kVA dan 160 kVA yang di step down dari 20 kV menjadi 0.4 kV.

- Single Line Diagram Sebelum Modifikasi



Gambar 4. 1 SLD PLTS On-Grid 500 kWp Sebelum di Modifikasi

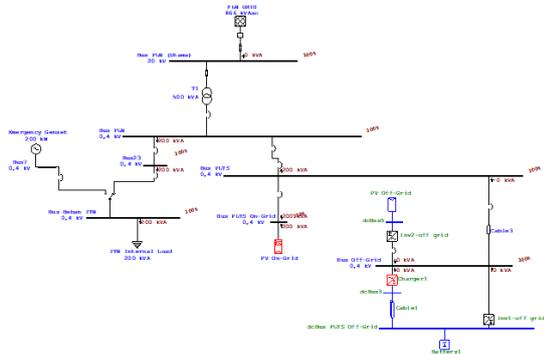
- Single Line Diagram Sesudah Modifikasi



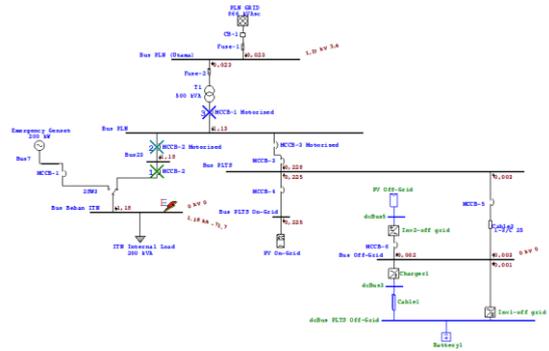
Gambar 4. 2 SLD PLTS On-Grid 500 kWp Setelah di Modifikasi

C. Simulasi Hubung Singkat Kondisi PLN Terhubung

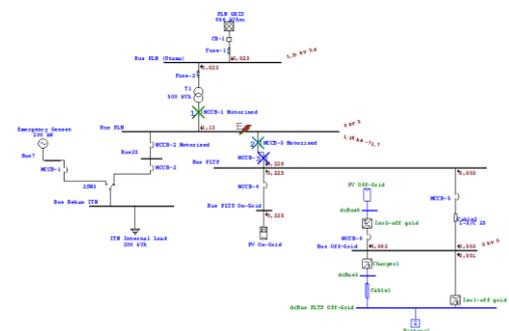
Gagasan hubung singkat ini dimulai pada sistem jaringan distribusi dengan empat bus, yaitu bus beban kampus II ITN Malang, bus PLN, bus PLN (Utama), dan bus PLTS. Tindakan ini dilakukan untuk mengidentifikasi lokasi gangguan dengan cara memilih bus yang menghubungkan sistem listrik dengan beban yang berdekatan paling dekat.



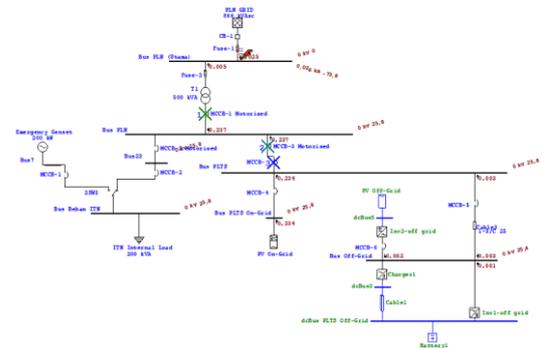
Gambar 4. 3 Single line diagram PLTS 500 kWp di kampus II ITN Malang pada ETAP



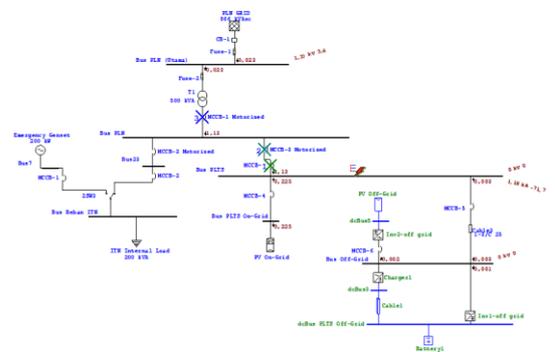
Gambar 4. 4 Hubung singkat bus beban kampus II ITN Malang pada ETAP



Gambar 4.5 Hubung Singkat bus PLN pada ETAP



Gambar 4.6 Gangguan arus hubung singkat pada bus utama PLN dalam aplikasi ETAP.



Gambar 4. 7 Hubung singkat bus PLTS pada ETAP

D. Hasil Simulasi Hubung Singkat Kondisi PLN Terhubung

- Gangguan arus hubung singkat pada bus beban kampus II ITN Malang

Tabel 4. 1 Gangguan arus hubung singkat pada bus beban kampus II ITN Malang

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	$I^{\prime}k$	ip	Ib	I_k
Bus beban ITN	0,400	3-Phase Fault	1,182	2,709	-	1,182
		L-G Fault	1,722	3,948	1,722	1,722
		L-L Fault	1,024	2,346	1,024	1,024
		L-L-G Fault	1,912	4,383	1,912	1,912

- Gangguan arus hubung singkat pada bus PLN

Tabel 4. 2 Gangguan arus hubung singkat pada bus PLN

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	$I^{\prime}k$	ip	Ib	I_k
Bus PLN	0,400	3-Phase Fault	1,182	2,709	-	1,182
		L-G Fault	1,722	3,948	1,722	1,722
		L-L Fault	1,024	2,346	1,024	1,024
		L-L-G Fault	1,912	4,383	1,912	1,912

- Gangguan arus hubung singkat pada bus PLN (Utama)

Tabel 4. 3 Gangguan arus hubung singkat pada bus PLN (Utama)

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	$I^{\prime}k$	ip	Ib	I_k
Bus PLN	20	3-Phase Fault	0,026	0,026	-	0,026
		L-G Fault	0,026	0,061	0,026	0,026
		L-L Fault	0,022	0,053	0,022	0,022
		L-L-G Fault	0,027	0,064	0,027	0,027

- Gangguan arus hubung singkat pada bus PLTS

Tabel 4. 4 Gangguan arus hubung singkat pada bus PLTS

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	$I^{\prime}k$	ip	Ib	I_k
Bus PLTS	0,400	3-Phase Fault	1,182	2,709	-	1,182
		L-G Fault	1,722	3,948	1,722	1,722
		L-L Fault	1,024	2,346	1,024	1,024
		L-L-G Fault	1,912	4,383	1,912	1,912

- Penghitungan Manual Berdasarkan Hasil Simulasi dan Perbandingan dengan Kondisi Terhubungnya PLN

Diketahui arus gangguan hubung singkat :

$$V_{L-N} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,2309 \text{ kV}$$

➤ 3-Phase Fault

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{V_{L-N}}{Z_1} = \frac{0,2309 < 0^\circ}{0,01182 < 90^\circ} = 1,95347 \text{ A}$$

➤ L-G Fault

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3 \times 0,2309 < 0^\circ}{0,01182 < 90^\circ + 0,2 < 90^\circ + 0,2 < 90^\circ} = 1,68205 \text{ A}$$

➤ L-L Fault

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,2309 < 0^\circ}{0,01182 < 90^\circ + 0^\circ} = 1,88807 \text{ A}$$

➤ L-L-G Fault

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + (Z_2 // Z_0)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,2309 < 0^\circ}{0,01182 < 90^\circ + (0,2 < 90^\circ // 0,2 < 90^\circ)} = 0,395259 \text{ A}$$

Hasil dari analisis perhitungan manual arus hubung singkat pada bus beban kampus II ITN Malang, bus PLN, dan bus PLTS, ketika dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6.0, akan menghasilkan nilai perbandingan sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Perbandingan antara hasil simulasi dengan ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual.

Jenis Gangguan	Nilai Arus Hubung Singkat (kA)		
	Simulasi	Perhitungan	Selisih
3-Phase Fault	1,182	1,953	0,771
L-G Fault	1,722	1,682	0,04
L-L Fault	1,024	1,888	0,864
L-L-G Fault	1,912	0,395	1,517

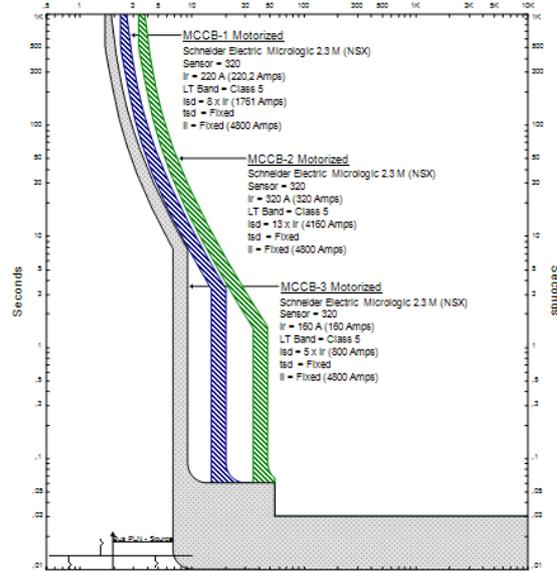
- Urutan Koordinasi Kerja MCCB

Tabel 4. 6 Urutan Koordinasi Pada Setiap Posisi Gangguan

Posisi Gangguan	If (kA) Arus Gangguan	Urutan Trip MCCB	T (ms)
Bus Beban ITN	1,182	MCCB-2	61,9
Bus PLN	1,132	MCCB-1 Motorized	5220
Bus PLN (Utama)	0,237	MCCB-1 Motorized	225943
Bus PLTS	1,131	MCCB-3	69,9

- Grafik Koordinasi Peralatan Proteksi

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan baik jika koordinasi antar peralatan proteksinya sistem tersebut juga baik. Gambar 4. Dibawah menunjukkan garfik koordinasi pada simulasi di ETAP 12.6.0[15].



Pada gambar 4.17 Diatas dapat dilihat bahwa koordinasi ketiga MCCB sudah sesuai dan tidak terjadi *overlap*. Grafik MCCB-1 Motorized dan MCCB-2 Motorized tidak saling berhimpit, serta grafik MCCB-2 Motorized berada di kanan MCCB-1 Motorized yang berarti waktu kerja kedua MCCB tidak saling mendahului.

V. KESIMPULAN

- a) Pada sistem proteksi modifikasi integrasi On Grid Kampus II ITN Malang diperlukan pemilihan pengaman yang tepat, maka pada penelitian ini menggunakan MCCB Motorized Schneider NSX630-N Micrologic 2.3 M (NSX) yang sesuai karena dapat memastikan perlindungan yang optimal serta pengoperasian yang aman pada rangkaian listrik sesuai simulasi yang telah dilakukan pada ETAP 12.6.0.
- b) Sistem proteksi bekerja yaitu dengan cara MCCB akan trip jika terjadi suatu gangguan atau terjadinya short circuit pada salah satu bus. MCCB akan trip secara berurutan jika pemilihan kapasitas MCCB sesuai pengisian nilai data dan setting nilai trip device yang tepat. Contoh apakah pemilihan MCCB telah sesuai atau tidak yaitu jika terjadi gangguan pada Bus PLTS maka MCCB yang akan trip pertama yaitu MCCB-2, trip kedua MCCB-3 Motorized, dan trip ketiga MCCB-1 Motorized seperti pada hasil simulasi pada gambar 4.13.
- c) Dilakukannya simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0 dapat membantu dalam merancang maupun menguji sistem proteksi untuk mengidentifikasi potensi jika terjadi masalah atau gangguan sistem proteksi suatu rangkaian listrik.

VI. REFERENSI

- [1] A. M. Massoud, K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Harmonic distortion-based island detection technique for inverter-based distributed generation," *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, pp. 493–507, 2009.
- [2] N. Magdadi, "PEDOMAN PENYAMBUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN KE SISTEM DISTRIBUSI PLN."
- [3] H. B. Tambunan, *Sistem pembangkit listrik tenaga surya*. Jakarta: Deepublish, 2020. Accessed: May 14, 2023. [Online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/166211/slug/sistem-pembangkit-listrik-tenaga-surya.html>
- [4] R. Rezky Ramadhana, M. M. Iqbal, A. Hafid, and J. Teknik Elektro, "ANALISIS PLTS ON GRID," vol. 14, no. 1, 2022.
- [5] B. D. , S. B. E. , W. D. I. , & R. M. Wasistha, "Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Jakarta," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro PNJ*, pp. 77–78, 2021.
- [6] J. Pendidikan and D. Konseling, "Perencanaan Sistem Proteksi Pada Distribusi Tenaga Listrik Pada Proyek Kyo Apartment di PT. Alkonusa Teknik Interkon," vol. 5.
- [7] F. Rohman Syah and T. Elektro, "Analisis Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina Ep Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0 ANALISIS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PERTAMINA EP ASSET 4 FIELD CEPU DISTRIK LEDOK MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0 Subuh Isnur Haryudo, Unit Three Kartini, Nur Kholis."
- [8] F. Bahari Dwi Nurhakim, T. Listrik Bandar Udara, and P. I. Penerbangan Surabaya Jl Jemur Andayani, "RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN MONITORING PROTEKSI MCCB MOTORIZED BERBASIS SUPERVISOR CONTROL AND DATA ACQUISTION (SCADA)".
- [9] M. Saleh and A. Amin, "STUDI KEMAMPUAN PANEL LVMDP TERHADAP PEMBEBANAN," vol. 3, no. 1, 2018.
- [10] "BAB III."
- [11] D. F. J. Tasiyam and M. Pd, "PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK," 2017.
- [12] A. Triyanto, "ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK PENENTUAN BREAKING CAPACITY CIRCUIT BREAKER PADA SISTEM DISTRIBUSI PLTD DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI CEPU".
- [13] L. Multa, M. Eng, and R. P. Aridani, "JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI UNIVERSITAS GADJAH MADA YOGYAKARTA 2013 Disusun Oleh."
- [14] A. Jaksu, I. M. Wartana, and W. P. Muljanto, "EVALUASI SYSTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK KAMPUS-II ITN MALANG AKIBAT

- PENETRASI PLTS ON-GRID 500KWP,”
2022.
- [15] M. Ilham and D. Yayan Sukma,
“PENENTUAN BATAS MINIMUM
CIRCUIT BREAKER DI SISTEM
KELISTRIKAN RIAU 150 KV.”

VII. BIODATA PENULIS



Wulan Hidayati Latifah adalah seorang mahasiswa di Institut Teknologi Nasional Malang, jurusan Teknik Elektro tingkat sarjana, dengan spesialisasi dalam Teknik Energi Listrik. Sebelum penulis melanjutkan ke bangku perkuliahan, penulis menempuh Pendidikan SMA di SMAN 1 Serui. Penulis lahir di Madiun tanggal 31 Oktober 2001. E-Mail penulis : w.latifah21@gmail.com