

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai perhitungan perangkat proteksi berdasarkan perhitungan. Parameter yang digunakan untuk menentukan perangkat proteksi adalah berdasarkan arus *Short Circuit* dalam sistem. Setelah melakukan perhitungan hasil dari perhitungan akan dibandingkan dengan data teknis dipangan.

4.1. Menghitung Isc dalam Sistem

Dalam melakukan pemilihan perangkat proteksi, hal yang paling penting adalah menghitung arus short circuit (Isc) dalam sistem karena Isc merupakan dasar untuk menentukan perangkat proteksi yang akan digunakan. Untuk menghitung besar arus short circuit menggunakan persamaan (2.8) namun sebelumnya harus mengetahui impedansi dasar serta impedansi saluran terlebih dahulu. Besar impedansi dasar dapat menggunakan persamaan (2.9) dan impedansi saluran dengan persamaan (2.10). Untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$\text{Tegangan} = 240 \text{ V}$$

$$\text{Daya} = 5 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,8$$

$$\text{In} = 15 \text{ A}$$

$$\text{Daya semu} = \frac{5000}{0,8} = 6250 \text{ vA}$$

Impedansi sumber

$$Z = \frac{E^2}{S}$$

$$Z = \frac{240^2}{6250} = 9,216 \text{ } \Omega$$

Impedansi saluran

$$Z = 27,58 \times 10^{-3} \Omega$$

Nilai impedansi saluran ini diperoleh dari data nilai resistansi dan induktansi kabel jenis NYYHY dengan panjang 5 meter.

$$Z_{\text{ekivalen}} = (\text{Impedansi dasar} + \text{Impedansi saluran})$$

$$Z_{\text{ekivalen}} = (9,216 + (27,58 \times 10^{-3}))$$

$$= 9,24 \Omega$$

Menghitung arus short circuit

$$I_{SC} = \frac{E_{\text{phasa}}}{Z_{\text{ekivalen}}}$$

$$I_{SC} = \frac{240 \text{ V}}{9,24 \Omega}$$

$$= 25,97 \text{ A}$$

4.2. Menghitung kapasitas Fuse

Untuk menghitung kapasitas *fuse* yang diperhatikan adalah besar arus yang mengalir dalam sistem. Safety faktor yang direkomendasikan untuk pemilihan kapasitas *fuse* adalah 56%. Pemilihan kapasitas *fuse* untuk proteksi pembangkit listrik harus sesuai standar IEC 60.269-6. Dalam standar IEC 60.269-6. Maka perhitungan untuk menentukan kapasitas *fuse* menggunakan persamaan (2.16) adalah sebagai berikut :

Menentukan fuse 1 panel combiner PLTB

$$\text{Grup unit 2-6} \quad P_{\text{Unit 2}} = 1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Unit 3}} = 1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Unit 4}} = 1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Unit 5}} = 1 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Unit 6}} = 1 \text{ kW}$$

$$V = 240 \text{ V}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$I_{Unit\ 2} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 3} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 4} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 5} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 6} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$\text{Total arus nominal} = 3\text{ A} \times 5\text{ unit}$$

$$= 15\text{ A}$$

$$\text{Fuse current rating} = I_n \times 1,56$$

$$= 15 \times 1,56$$

$$= 23,4\text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan, didapat nilai *fuse current rating* sebesar 23,4 ampere namun pemasangan yang ada di lapangan senilai 20 ampere, mengapa demikian? Karena nilai *fuse* yang ada di pasaran yang mendekati nilai berdasarkan perhitungan adalah sebesar 20 ampere dan 25 ampere. Sehingga dipasang dengan kapasitas 20 ampere, kenapa tidak yang 25 ampere? Karena jika dipasang *fuse* 25 ampere ketika terjadi gangguan pada sistem akan merusak perangkat, karena arus yang lewat melebihi nilai *fuse current rating* senilai 23,4 ampere.

Menentukan fuse 2 panel combiner PLTB

Grup unit 7-11 $P_{Unit\ 7} = 1\text{ kW}$

$$P_{Unit\ 8} = 1\text{ kW}$$

$$P_{Unit\ 9} = 1\text{ kW}$$

$$P_{Unit\ 10} = 1\text{ kW}$$

$$P_{Unit\ 11} = 1\text{ kW}$$

$$V = 240\text{ V}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,8$$

$$I_{Unit\ 7} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 8} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 9} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 10} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

$$I_{Unit\ 11} = \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3\text{ A}$$

Total arus nominal $= 3\text{ A} \times 5\text{ unit}$

$$= 15\text{ A}$$

Fuse current rating $= I_n \times 1,56$

$$= 15 \times 1,56$$

$$= 23,4\text{ A}$$

Menentukan fuse 3 panel combiner PLTB

$$\begin{aligned}
 \text{Grup unit 12-16 } P_{\text{Unit 12-16}} &= 5 \text{ kW} \\
 V &= 240 \text{ V} \\
 \text{Cos } \varphi &= 0,8 \\
 I_{\text{Unit 12-16}} &= \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}} \\
 &= 15 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fuse current rating} &= I_n \times 1,56 \\
 &= 15 \times 1,56 \\
 &= 23,4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Menentukan fuse 4 panel combiner PLTB

$$\begin{aligned}
 \text{Grup unit 12-16 } P_{\text{Unit 12-16}} &= 5 \text{ kW} \\
 V &= 240 \text{ V} \\
 \text{Cos } \varphi &= 0,8 \\
 I_{\text{Unit 12-16}} &= \frac{1000}{240 \times 0,8 \times \sqrt{3}} \\
 &= 15 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fuse current rating} &= I_n \times 1,56 \\
 &= 15 \times 1,56 \\
 &= 23,4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Menentukan fuse panel baterai PLTB

$$\begin{aligned}
 \text{Wind Charge Controller 1} \quad \text{Rated Wind Turbine Power} &= 5\text{kW} \\
 \text{Rated Batteries Voltage} &= 240\text{V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Load supply}} &= \frac{5000}{240} \\
 &= 20,83 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Wind Charge Controller 2} \quad \text{Rated Wind Turbine Power} &= 5\text{kW} \\
 \text{Rated Batteries Voltage} &= 240\text{V}
 \end{aligned}$$

$$I_{Load\ supply} = \frac{5000}{240}$$

$$= 20,83\text{ A}$$

<i>Wind Charge Controller 3</i>	<i>Rated Wind Turbine Power</i>	= 5kW
	<i>Rated Batteries Voltage</i>	= 240V

$$I_{Load\ supply} = \frac{5000}{240}$$

$$= 20,83\text{ A}$$

<i>Wind Charge Controller 4</i>	<i>Rated Wind Turbine Power</i>	= 5kW
	<i>Rated Batteries Voltage</i>	= 240V

$$I_{Load\ supply} = \frac{5000}{240}$$

$$= 20,83\text{ A}$$

$$I_{Fullload\ supply} = I_{WCC\ 1} + I_{WCC\ 2} + I_{WCC\ 3} + I_{WCC\ 4}$$

$$= 20,83\text{ A} + 20,83\text{ A} + 20,83\text{ A} + 20,83\text{ A}$$

$$= 83,33\text{ A}$$

$$Fuse\ Current\ Rating = 1,56 \times I_{Fullload\ supply}$$

$$= 1,56 \times 83,33$$

$$= 130\text{ A}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui *Rating fuse* yang direkomendasikan pada panel combiner PLTB *fuse* 1 sebesar 23,4 A dan pada *fuse* 2, 3, & 4 sebesar 23,4 Ampere. Sedangkan untuk *Rating fuse* yang direkomendasikan pada panel baterai PLTB adalah sebesar 130 Ampere.

4.3. Perhitungan kapasitas MCB

Dalam perhitungan kapasitas MCB tidak jauh berbeda dengan perangkat proteksi lain, ukuran MCB yang digunakan harus lebih besar dari arus listrik yang dilaluinya, sehingga jika rangkaian beroperasi dalam keadaan normal maka MCB tidak akan bekerja memutuskan rangkaian. Perhitungan berdasarkan persamaan (2.15) sebagai berikut :

- a. Menentukan MCB 1 panel combiner PLTB

$$I_{sc} = 25,97 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum MCB} &= I_{sc} \times \text{Safety factor} \\ &= 25,97 \times 1,56 \\ &= 40,51 \text{ A} \end{aligned}$$

- b. Menentukan MCB 2 panel combiner PLTB

$$I_{sc} = 25,97 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum MCB} &= I_{sc} \times \text{Safety factor} \\ &= 25,97 \times 1,56 \\ &= 40,51 \text{ A} \end{aligned}$$

- c. Menentukan MCB 3 panel combiner PLTB

$$I_{sc} = 25,97 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum MCB} &= I_{sc} \times \text{Safety factor} \\ &= 25,97 \times 1,56 \\ &= 40,51 \text{ A} \end{aligned}$$

d. Menentukan MCB 4 panel combiner PLTB

$$I_{sc} = 25,97 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\text{Minimum MCB} = I_{sc} \times \text{Safety factor}$$

$$= 25,97 \times 1,56$$

$$= 40,51 \text{ A}$$

e. Menentukan MCB 1 panel baterai PLTB

$$I_{scWCC1} = 25,97 \text{ A}$$

$$I_{scWCC2} = 25,97 \text{ A}$$

$$I_{scWCC3} = 25,97 \text{ A}$$

$$I_{scWCC4} = 25,97 \text{ A}$$

$$I_{sc_{total}} = I_{scWCC1} + I_{scWCC2} + I_{scWCC3} + I_{scWCC4}$$

$$= 25,97 \text{ A} + 25,97 \text{ A} + 25,97 \text{ A} + 25,97 \text{ A}$$

$$= 103,88 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\text{Minimum MCB} = I_{sc_{total}} \times \text{Safety factor}$$

$$= 103,88 \times 1,56$$

$$= 162 \text{ A}$$

f. Menentukan MCB 2 panel baterai PLTB

$$I_{sc_{total}} = 103,88 \text{ A}$$

$$\text{Safety factor} = 156\%$$

$$\text{Minimum MCB} = I_{sc_{total}} \times \text{Safety factor}$$

$$= 103,88 \times 1,56$$

$$= 162 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa kapasitas minimum MCB yang dibutuhkan pada MCB 1, 2, 3, maupun 4 pada panel combiner PLTB sama besar yaitu sebesar 40,51 Ampere. Sedangkan untuk MCB 1 & 2 pada panel baterai PLTB adalah sebesar 162 Ampere, karena MCB tidak tersedia dalam ampere besar maka pada panel baterai PLTB tidak menggunakan MCB melainkan menggunakan MCCB.

4.4. Hasil Perhitungan Kabel

Pemilihan kabel merupakan hal yang sangat penting agar sistem tersebut aman, kabel yang digunakan harus akurat dan tidak mengurangi kinerja salah satu komponen dalam sistem.

4.4.1. Sizing kabel dari output turbin ke panel combiner PLTB

Jalur keluaran turbin ke panel *combiner* PLTB terdapat empat jalur, masing-masing disuplai oleh 5 unit turbine angin daya 5kW tegangan 240 Volt arus 15 Ampere dengan panjang jalur 200 meter. Ukuran kabel minimum untuk ke-empat jalur tersebut berdasarkan persamaan (2.17) adalah :

$$y = 56 \text{ (tembaga)}$$

$$L = 200 \text{ meter}$$

$$I = 15 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} V_d &= 5\% \times V \\ &= 0,05 \times 240 \\ &= 12 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{2}{y \cdot V} (I \cdot L) \\ &= \frac{2}{56 \times 12} (15 \times 200) \\ &= 8,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.4.2. *Sizing kabel panel combiner PLTB ke wind charge controller*

Parameter jalur kabel dari masing-masing panel *combiner* ke *wind charge controller* adalah sama yaitu dengan arus masing-masing jalur sebesar 15 Ampere dan panjang kabel 10 meter sehingga total panjang kabel sepanjang 210 meter maka luas penampang kabel yang digunakan dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$y = 56 \text{ (tembaga)}$$

$$\begin{aligned} L &= 200 + 10 \\ &= 210 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$I = 15 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} V_d &= 5\% \times V \\ &= 0,05 \times 240 \\ &= 12 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{2}{y \cdot V} (I \cdot L) \\ &= \frac{2}{56 \times 12} (15 \times 210) \\ &= 9,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.4.3. *Sizing kabel wind charge controller ke panel baterai PLTB*

Parameter jalur kabel dari masing-masing *wind charge controller* ke panel baterai adalah sama yaitu dengan arus masing-masing WCC sebesar 20,83 Ampere dan panjang kabel 10 meter sehingga total panjang kabel sepanjang 220 meter maka luas penampang kabel yang digunakan dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$y = 56 \text{ (tembaga)}$$

$$\begin{aligned} L &= 200 + 10 + 10 \\ &= 220 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I &= 20,83 \text{ A} \\
 V_d &= 5\% \times V \\
 &= 0,05 \times 240 \\
 &= 12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2}{y \cdot V} (I \cdot L) \\
 &= \frac{2}{56 \times 12} (20,83 \times 220) \\
 &= 13,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.4.4. Sizing kabel panel baterai PLTB ke inverter

Jalur kabel dari panel baterai ke inverter memiliki panjang kabel 30 meter dengan besar arus sebesar 83,33 ampere maka luas penampang kabel yang digunakan dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 y &= 56 \text{ (tembaga)} \\
 L_1 &= 220 \text{ meter} \\
 L_2 &= 30 \text{ meter} \\
 I_1 &= 20,83 \text{ A} \\
 I_2 &= 83,33 \text{ A} \\
 V_d &= 5\% \times V \\
 &= 0,05 \times 240 \\
 &= 12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2}{y \cdot V} ((I_1 \cdot L_1) + (I_2 \cdot L_2)) \\
 &= \frac{2}{56 \times 12} ((20,83 \times 220) + (83,33 \times 30)) \\
 &= 21,07 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.4.5. Sizing kabel panel baterai PLTB ke Baterai

Jalur kabel dari panel baterai ke baterai memiliki panjang kabel 30 meter dengan besar arus sebesar 200 ampere dari output baterai maka luas penampang kabel yang digunakan dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$y = 56 \text{ (tembaga)}$$

$$L_1 = 220 \text{ meter}$$

$$L_2 = 30 \text{ meter}$$

$$I_1 = 20,83 \text{ A}$$

$$I_2 = 200 \text{ A}$$

$$V_d = 5\% \times V$$

$$= 0,05 \times 240$$

$$= 12 \text{ V}$$

$$A = \frac{2}{y \cdot V} ((I_1 \cdot L_1) + (I_2 \cdot L_2))$$

$$= \frac{2}{56 \times 12} ((20,83 \times 220) + (200 \times 30))$$

$$= 31,49 \text{ mm}^2$$

4.5. Rekapitulasi Perangkat Proteksi PLTH Bayu Baru

Perbandingan kapasitas *fuse* berdasarkan perhitungan dan data teknis dilapangan memiliki selisih yang tidak terlalu signifikan seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.1 perbandingan kapasitas *fuse*

No.	Posisi	Kapasitas <i>Fuse</i> sesuai perhitungan	Kapasitas <i>Fuse</i> sesuai data teknis
1	<i>Fuse 1 panel combiner</i>	23,4	20
2	<i>Fuse 2 panel combiner</i>	23,4	20

No.	Posisi	Kapasitas <i>Fuse</i> sesuai perhitungan	Kapasitas <i>Fuse</i> sesuai data teknis
3	<i>Fuse 4</i> panel <i>combiner</i>	23,4	20
4	<i>Fuse 1</i> panel baterai	130	200

Dari data diatas diketahui selisih penggunaan *Fuse* pada panel *combiner* antara hasil perhitungan dengan aplikasi dilapangan tidak jauh berbeda. Namun pada *Fuse* panel baterai memiliki selisih hasil yang cukup signifikan yaitu sebesar 35%.

Tabel 4.2 perbandingan kapasitas MCB

No.	Posisi	Kapasitas MCB sesuai perhitungan	Kapasitas MCB sesuai data teknis	Selisih
1	MCB 1 panel <i>combiner</i>	40,51 A	40 A	0,51
2	MCB 2 panel <i>combiner</i>	40,51 A	40 A	0,51
3	MCB 3 panel <i>combiner</i>	40,51 A	40 A	0,51
4	MCB 4 panel <i>combiner</i>	40,51 A	40 A	0,51
5	MCB 1 panel baterai	162 A	160 A	2
6	MCB 2 panel baterai	162 A	160 A	2

Dari tabel 4.2 selisih penggunaan kapasitas MCB pada panel *combiner* memiliki selisih yang tidak terlalu banyak begitu pula dengan MCB pada panel baterai. Pada tabel di atas, selisih MCB panel *combiner* sebesar 0,51 ampere sedangkan selisih MCB pada panel baterai sebesar 2 ampere.

Tabel 4.3 perbandingan kapasitas kabel

No	jalur	panjang (m)	Jenis kabel	I_{\max} sistem	luas penampang kabel sesuai perhitungan (A)	luas penampang kabel sesuai data teknis (A)	Kuat Hantar Arus (A)
1	<i>Turbine ke panel combiner</i>	200	NYHY	25,97	8,92	6	33
2	<i>Panel combiner ke wind charge controller</i>	10	NYAF	25,97	9,37	16	98
3	<i>Wind charge controller 1&2 ke panel baterai</i>	10	NYAF	25,97	13,63	16	98
4	<i>Wind charge controller 3&4 ke panel baterai</i>	10	NYAF	25,97	13,63	25	128
5	<i>Panel baterai ke Inverter</i>	30	NYAF	103,88	21,07	25	128
6	<i>Panel baterai ke baterai</i>	30	NYAF	103,88	31,49	35	158

Beberapa penerapan kabel terpaut cukup jauh antara hasil perhitungan dengan pengaplikasian dilapangan. Pengaplikasian dinilai lebih besar dari yang diperlukan sehingga drop tegangan yang ditimbulkan lebih besar dan dari segi biaya kurang ekonomis. Di jalur nomor 2 penggunaan kabel dilapangan lebih besar dari hasil perhitungan. Dari hasil perhitungan, kebutuhan luas penampang kabel di jalur ini sebesar $9,37 \text{ mm}^2$ namun dilapangan terpasang kabel dengan ukuran 16 mm^2 . Di jalur 4 selisih penggunaan kabel berdasarkan perhitungan dan aplikasi juga terpaut jauh. Kabel yang terpasang dilapangan memiliki luas penampang 25 mm^2 sedangkan dari hasil perhitungan, kebutuhan luas penampang kabel hanya sebesar $13,63 \text{ mm}^2$.