

PEMANFAATAN ENERGI BARU & TERBARUKAN

Mikrohidro di Rumah Sumbul





KATA PENGANTAR

Judul : **Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan
(Mikrohidro di Rumah Sumbul)**

Penulis

Rimbawati

Editor :

Dr Mohd Yusri, MSi

Desain Sampul

Rizki Yunida Br Panggabean

Cetakan Pertama ; Februari 2021

viii ; 128 hlm; 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-623-6888-42-1

E-ISBN : 978-623-6888-43-8 (PDF)

Penerbit



Redaksi

Jalan Kapten Muktar Basri No 3 Medan, 20238

Telepon, 061-6626296, Fax. 061-6638296

Email; umsupress@umsu.ac.id

Website; <http://umsupress.umsu.ac.id/>

Anggota IKAPI Sumut, No : 38/ Anggota Luar Biasa/SUT/2020

Anggota APPTI (Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia)

Anggota APPTIMA (Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi

Muhammadiyah Aisyiyah)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian dari sebagian isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam dan dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penulis

Dengan kerendahan hati penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT karena atas hidayah, ridha serta segala limpahan rahmat dan karuniaNya penulis telah selesai menulis buku yang berjudul *Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan; Mikrohidro di Rumah Sumbul* yang dapat digunakan oleh semua kalangan baik akademisi, praktisi maupun masyarakat umum.

Buku ini membahas secara detail dari perencanaan sampai penerapan terkait teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul, yang sampai saat ini belum dialiri oleh listrik negara karena berada pada wilayah yang cukup ekstrim dan terpencil.

Terimakasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan buku ini, khususnya Zulfadly Pelawi, Imam Riki Hamdanu, Ridho Ananda, Eko Saputro, Wira Laksmiana, Muhammad Aslam Ridho, Heri Setiadi dan Dwi Arimbi Setia Ningrum. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada penerbit UMSU Press Medan.

Penulis berharap buku bermanfaat bagi pembaca. Akhirnya, agar lebih sempurna buku isi buku ini dalam edisi – edisi mendatang, segala saran dan masukan dari pembaca sangat penulis harapkan.

Medan, Februari 2021

Rimbawati

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR _____	iii	
DAFTAR ISI _____	iv	
ABSTRAK _____	vii	
BAB I PENDAHULUAN _____	1	
1.1. Letak Geografis _____	1	
1.2. Potensi Energi Baru dan Terbarukan _____	3	
BAB II DESKRIPSI LOKASI DAN _____	7	
SURVEY LAPANGAN _____	7	
2.1. Lokasi PLTMH _____	7	
2.2. Lapangan _____	9	
BAB III PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BINTANG ASIH _	17	
3.1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air __	17	
3.2. Komponen Bangunan Sipil _____	19	
3.3. Komponen Mekanikal _____	27	
3.4. Komponen Elektrikal _____	30	
3.5. Perancangan Mekanik dan Elektrik pada PLTMH Bintang Asih _____	30	
BAB IV SISTEM KONTROL OTOMATIS _____	35	
BERBASIS SMART RELAY _____	35	
4.1. Komponen-komponen Sistem Kontrol Penstabil Tegangan _____	37	
4.1.1 Programmable Logic Controller (PLC) __	37	
4.1.2 PLC M odicon TM221ME16R _____	42	
4.1.3 Modul Ekspansi _____	44	
4.1.4 Ekspansi TM3DQ16R/G _____	45	
4.1.5 Relay _____	46	
4.1.6 Current Transducer (CT) _____	47	
4.1.7 Dioda Bridge _____	48	
4.1.8 Lampu Pijar _____	48	
4.1.9 Heater _____	49	
4.1.10 Miniatur Circuit Breaker (MCB)_____	50	
4.1.11 Pilot Lamp _____	50	
4.1.12 Battery Charger _____	50	
4.2. Perangkat Lunak _____	51	
4.2.1 SoMachine Basic _____	51	
4.3. Perancangan Sistem Comparasi PLC TM221ME16R _____	54	
4.4. Beban Komplemen _____	54	
4.5. Keuntungan Penggunaan PLC TM221ME16R Pada PLTMH _____	56	
4.6. Perancangan Sistem Kontrol Beban Pada PLTMH Bintang Asih _____	57	
4.6.1 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan _____	58	
4.6.2 Langkah-langkah Perakitan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan _____	59	
4.6.3 Rangkaian Automatic Battery Charger __	60	
4.6.4 Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan Pada PLC _____	61	
5.1. Komponen Sistem Proteksi _____	64	
5.1.1 Selector Switch _____	64	
5.1.2 Volt Meter _____	66	
5.1.3 Amperemeter _____	67	
5.1.4 MCB (<i>Miniature Circuit Breaker</i>) _____	68	

5.1.5 Deep Sea Elektronik 3110 _____	70
5.1.6 Relay _____	74
5.1.7 <i>Battery dan Automatic Battery Charger</i> _____	77
5.1.8 Lampu Indikator _____	79
5.1.9 <i>Buzzer</i> _____	80
5.2 Perancangan Sistem Proteksi di PLTMH Bintang Asih _____	81
5.3 Prosedur Pengujian Sistem Proteksi _____	87
5.4. Peranan Deep Sea Elektronik 3110 Sebagai Alat Proteksi _____	89
BAB VI SISTEM DISTRIBUSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH _____	91
6.1 Jaringan Distribusi Sistem Tenaga Listrik _____	93
6.2 Permasalahan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah _____	102
6.2.1 Susut Energi Listrik _____	102
6.2.2 Drop Tegangan _____	108
6.2.3 Rugi-rugi pada penghantar _____	110
6.2.4 Karakteristik Jaringan Distribusi _____	111
6.3 Sistem Distribusi Pada PLTMH Bintang Asih _____	114
BAB VII ASPEK SOSIAL DAN EKONOMI PEDESAAN _____	117
7.1 Aspek Pendidikan _____	117
7.2 Aspek Manajemen Listrik Pedesaan _____	118
DAFTAR PUSTAKA _____	121
TENTANG PENULIS _____	123
GLOSARIUM _____	125
INDEKS _____	127

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, dengan cara memutar turbin untuk menggerakkan generator guna menghasilkan daya listrik. Penerapan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di desa-desa pada umumnya masih belum banyak didukung dengan sistem perancangan yang baik. Buku ini memberikan gambaran teknis terkait penerapan PLTMH, dimulai dari perencanaan dalam studi kelayakan dengan mempertimbangkan potensi sumber daya alam dan sumber daya air yang tersedia di Desa Rumah Sumbul. Dalam pengoperasian sebuah pembangkit tentu tidak terlepas dari instrumen pendukung guna menjaga kestabilan sistem serta kontinuitas pelayanan, oleh karena itu dibutuhkan sistem pengontrolan tegangan dan frekuensi, sistem pengontrolan beban, sistem proteksi serta sistem pendistribusian energi listrik sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Listrik. Di samping itu peran serta masyarakat juga sangat penting dalam pengoperasian PLTMH sebagai ujung tombak pemanfaatan. Semangat gotong royong untuk keluar dari permasalahan penyediaan energi terus disosialisasikan agar dampak positif dapat dirasakan oleh warga masyarakat. Keberadaan PLTMH Bintang Asih UMSU diharapkan membawa manfaat bagi 150 jiwa warga Rumah Sumbul.

Keyword; *PLTH, Pengontrolan, Proteksi, Distribusi, Rumah Sumbul*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Letak Geografis

Kabupaten Deli Serdang merupakan salah satu kabupaten di Sumatera Utara yang memiliki letak geografis cukup ekstrim dari pesisir pantai Selat Malaka sampai ke puncak Bukit Barisan. Wilayah ini terdiri dari 22 kecamatan, 14 kelurahan, dan 380 desa dengan luas wilayah mencapai 2.241,68 km² dan jumlah penduduk sekitar 1.791.677 jiwa (2017) dengan kepadatan penduduk 800 jiwa/km².¹ Kondisi tersebut menyebabkan pembangunan infrastruktur tidak dapat dinikmati oleh seluruh wilayah yang ada terutama desa-desa yang berada di perbukitan, salah satu desa yang memiliki wilayah cukup ekstrim adalah Desa Rumah Sumbul.²

Letak geografis Desa Rumah Sumbul berada pada 3°16'22.8" Lintang Utara serta 98°44'53,6" Bujur Timur.

¹ Data BPS 2017

² Rumah Sumbul berasal dari bahasa Karo, yang terdiri dari dua kata, yaitu Rumah yang berarti tempat tinggal sebuah keluarga, dan Sumbul yang berarti mata air.

Desa ini memiliki luas berkisar 2.100 ha, dengan lahan berbukit 450 ha, dataran tinggi 350 ha, dan dataran rendah 1.300 ha dengan ketinggian dari permukaan laut kira kira 350 meter s/d 600 meter.³ Adapun batas-batas Desa Rumah Sumbul adalah sebagai berikut:

Sebelah Utara : Desa Gunung Manupak A dan Desa Durian IV Belang
Sebelah Timur : Kecamatan Bangun Purba
Sebelah Selatan : Desa Tanah Gara Hulu
Sebelah Barat : Desa Tiga Juhar

Desa ini memiliki 8 dusun, di mana etnik mayoritas yang mendiami desa ini adalah Suku Karo dan Suku Simalungun. Selain itu terdapat juga beberapa suku seperti: Suku Jawa dan Suku Batak Toba. Dari 8 dusun yang ada, Dusun Surbakti dan Bintang Asih merupakan dusun yang berada di perbukitan sehingga akses menuju ke wilayah tersebut cukup sulit.

Sulitnya akses jalan menuju Bintang Asih menyebabkan penduduk yang berhuni di dusun tersebut jauh dari jangkauan teknologi. Dusun yang berjarak 7 km dari ibukota Kecamatan STM Hulu serta 5 km dari kantor desa ini, jika malam hari hanya ditemani oleh lampu-lampu minyak tanah di setiap sudut rumah. Hal ini disebabkan penyedia daya listrik sampai saat ini belum menambah jaringannya menuju ke lokasi tersebut. Berbagai upaya sudah dilakukan, akan tetap belum membuahkan hasil seperti yang diharapkan.

³ Wawancara dengan Kepala Desa Rumah Sumbul Mei 2017

Tidak hanya itu, masyarakat Dusun Bintang Asih juga kesulitan dalam penyediaan air bersih, karena topologi wilayah⁴ yang terletak di lembah dan pemukiman terletak di bukit.

1.2. Potensi Energi Baru dan Terbarukan

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia memiliki Potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sangat fantastis jika dikembangkan secara optimal, seperti potensi mikrohidro 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW.⁵

Untuk mengembangkan potensi tersebut maka pemerintah mengeluarkan Perpres No. 5 tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional, pemerintah menyebutkan bahwa kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi bahan bakar nabati sebesar 5%, panas bumi 5%, biomasa, nuklir, air, surya, dan angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Pemerintah menambah kapasitas terpasang pembangkit listrik mikrohidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, biomasa sebesar 180 MW pada tahun 2020, angin sebesar 0,97 GW pada tahun 2025, surya 0,87 GW pada tahun 2024, dan nuklir 4,2 GW pada tahun 2024 [1].

⁴ Topologi wilayah adalah bentuk permukaan bumi yang berkaitan erat dengan letak, luas dan bentuk, serta batas wilayah yang berpengaruh pada unsur – unsur biotik

⁵ Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2005

Dari data Distamben 2013 Provsu,⁶ diketahui bahwa Sumatera Utara sangat berpotensi untuk mengembangkan EBT di masa yang akan datang. Hal tersebut didukung oleh topologi wilayah dari pesisir pantai Selat Malaka sampai ke dataran tinggi kaki Bukit Barisan dengan ketinggian 0 - 1400 m dpl. Kondisi ini mengakibatkan banyak daerah terpencil yang terisolasi serta tidak mungkin terjangkau oleh pasokan pembangkit listrik *on grid*⁷.

Pada tahun 2019, Pemerintah Provinsi Sumatera Utara melalui Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral telah melakukan penyusunan Rencana Umum Daerah Provinsi Sumatera Utara dengan target bauran energi baru dan terbarukan dengan draf awal rancangan sebesar 33 % pada tahun 2025. Tetapi pada saat melakukan koordinasi dan sinkronisasi dengan Dewan Energi Nasional besaran bauran energi baru terbarukan di Sumatera Utara (Sumut) dapat ditingkatkan menjadi 45% pada Tahun 2025. Hal ini disebabkan Sumut memiliki potensi untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan yang besar melalui air dan panas bumi.“ Sumut memiliki daerah-daerah yang terletak dirangkaian pegunungan Bukit Barisan berpotensi

⁶ Pemda Sumut Kembangkan Energi Terbarukan Rabu, 12 Juni 2013 <https://investor.id/energy/pemda-sumut-kembangkan-energi-terbarukan> diakses 1 Januari 2021

⁷ Listrik on grid adalah: jaringan distribusi tenaga listrik yang terhubung dengan pembangkit milik penyedia daya (PT.PLN)

dikembangkan sebagai sumber Pembangkit Listrik Tenaga Air dan panas bumi.⁸

Dalam mengelola sumber daya alam tersebut tentunya tidak dapat dilakukan oleh pemerintah saja, melainkan dibutuhkan kerja sama dan sinergitas dengan berbagai pihak guna mempercepat tercapainya target bauran energi pada tahun 2025 di Sumatera Utara. Sejalan dengan hal tersebut, perguruan tinggi di Sumut pun terus berupaya memberikan kontribusi dalam menciptakan teknologi-teknologi tepat guna yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat secara langsung dalam memenuhi kebutuhan energi listrik.

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) sebagai perguruan tinggi swasta terbesar di Sumatera Utara melalui Fakultas Teknik yang dimiliki, terus berinovasi guna melahirkan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sesuai dengan kondisi debit air⁹ yang tersedia di wilayah perbukitan. Inovasi ini dimaksudkan untuk mengembangkan potensi energi baru dan terbarukan yang ada di Sumatera Utara.

⁸ Gubsu : Sumut Berpotensi Kembangkan Energi Terbarukan, 04 Feb2019 <https://diskominfo.sumutprov.go.id/artikel-1055-gubsu--sumut-berpotensi-kembangkan-energi-terbarukan-.html> diakses 1 Januari 2021

⁹ Menurut KBBI debit air adalah jumlah air yang dipindahkan dalam suatu satuan waktu pada titik tertentu di sungai, terusan, saluran air.

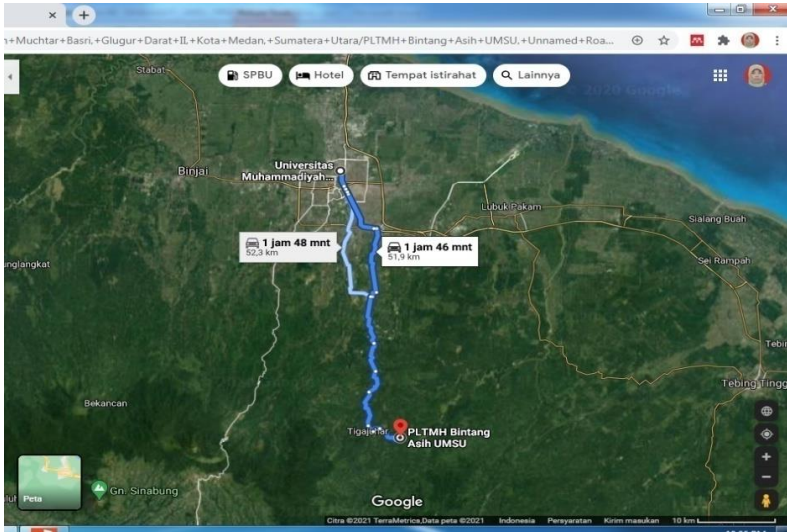


BAB II

DESKRIPSI LOKASI DAN SURVEY LAPANGAN

2.1. Lokasi PLTMH

Lokasi pembangunan PLTMH Bintang Asih berjarak 52 km dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang berada di pusat Kota Medan. Untuk menuju ke lokasi tersebut dapat ditempuh dengan kendaraan roda dua dan roda empat, setelah sampai di kantor Desa Rumah Sumbul, kita harus menggunakan roda dua atau berjalan kaki. Kemudian harus memperhatikan jenis kendaraan yang dipakai dan cuaca pada saat perjalanan, karena kondisi jalan masih berupa jalan tanah yang tidak dapat dilalui oleh kendaraan jika hujan.



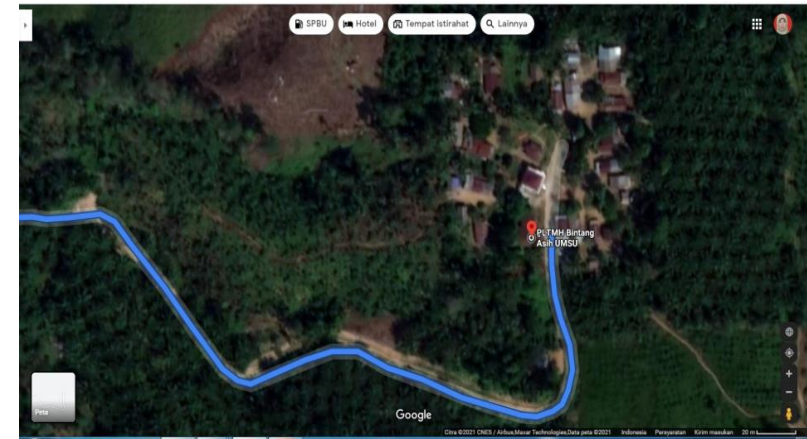
Gambar 2. 1 Jarak Lokasi PLTMH Bintang Asih

Dalam membangun sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) diperlukan data topologi wilayah dan catatan hidrologi. Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul Kecamatan STM Hulu Kabupaten Deli Serdang merupakan wilayah dengan ketinggian 400 dpl dengan topologi perbukitan menyebabkan wilayah ini sulit untuk di jangkau sehingga membuat pelayanan listrik negara tidak dapat menerangi dusun tersebut.

Dusun yang dihuni oleh 32 KK, 153 jiwa ini, masyarakatnya cukup homogen, ada etnis Jawa, Batak Karo, Melayu dan Banjar¹⁰. Aktivitas masyarakat setiap hari adalah bertani dan buruh pada kebun karet dan kebun kelapa sawit milik toke di kecamatan.¹¹

¹⁰ Wawancara dengan Kepala Desa Rumah Sumbul Maret 2018

¹¹ Menurut KBBi Toke/tauke adalah: majikan (yang mempunyai perusahaan dan sebagainya)



Gambar 2. 2 Lokasi PLTMH dari Google Maps diakses 1 Januari 2021

2.2. Lapangan

Sebelum melakukan survey terlebih dahulu melakukan sosialisasi dengan seluruh warga agar saat pelaksanaan kegiatan dan pembangunan mendapat dukungan penuh dan bergotong royong bersama seluruh elemen baik pemerintah kecamatan, pemerintah desa, tokoh masyarakat maupun warga setempat. Tim yang terdiri dari beberapa bidang keahlian menyampaikan hal-hal yang harus dilakukan baik bidang hidrologi, elektrikal, mekamikal dan distribusi tegangan rendah agar warga masyarakat memahami serta merawat aset yang akan menjadi milik mereka.



Gambar 2. 3 Sosialisasi Kepada Warga Bersama Pemerintah Setempat

Selanjutnya melakukan survey dengan menelusuri sungai Sumbul yang merupakan aliran Danau Linting dengan didampingi oleh masyarakat setempat. Antusias masyarakat sangat tinggi dengan harapan prasarana listrik dapat dibangun di kampung mereka. Perjuangan yang dilakukan oleh tim Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM) UMSU untuk melakukan survey cukup melelahkan karena belum menguasai medan terjal yang ada di sepanjang sungai. Kegiatan ini dilakukan untuk membuat desain, menentukan kapasitas pembangkit serta menentukan letak *power house*.

Bebapa hal yang harus dipersiapkan dalam melakukan survey adalah sebagai berikut:

a. Pengambilan Data Potensi Sumber Daya Air.

1. Melakukan kajian dan identifikasi terhadap daerah aliran sungai berdasarkan potensi data yang tersedia ditinjau dari konstruksi sipilnya.
2. Menyiapkan desain studi yang terstruktur dan sistematis sebagai kerangka acuan mengumpulkan data dan informasi di lapangan.
3. Melakukan *Site Investigation* berupa pengambilan data potensi sumber daya air, data

demografi dan kewilayahan, data sosial ekonomi dan elektrifikasi.

4. Melakukan *cross check* pengambilan data dari instansi terkait yang berhubungan dengan debit yang didesain yang telah ada serta data curah hujan yang ada.

b. Metode Pengukuran

1. Pengukuran harus dibuat pada tempat dimana poros dari aliran adalah lurus dan bagian melintang dari sungai hampir seragam.
2. Jarak pengaliran pelampung harus lebih dari lebar sungai.
3. Penempatan garis melintang pada bagian atas dan bagian bawah tegak lurus ke poros dari aliran. Jarak aliran (garis aliran atas dan garis aliran bawah) = L.
4. Pengukuran bagian area melintang pada garis melintang atas dan bawah untuk membuat nilai rata-rata dari bagian area melintang dari aliran (A_{mean}).
5. Pengukuran tambahan harus dibuat pada bagian tengah dari dua garis jika bagian melintang dari sungai tidak seragam.
6. Pelampung dilepaskan pada bagian atas dari garis melintang melintang atas ke garis melintang bawah di ukur.
7. Pengukuran harus dibuat beberapa kali pada pada blok yang berbeda, dibagi pada sungai di arah garis melintang. (lebih dari tiga blok) perhitungan aliran arus

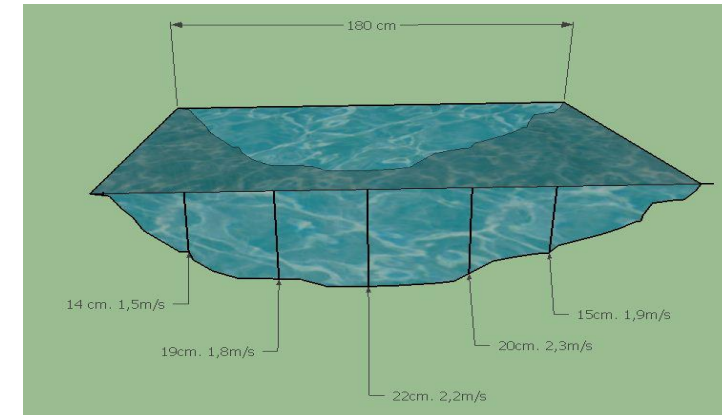


Gambar 2. 4 Bendungan yang di manfaatkan sebagai PLTMH



Gambar 2. 5 Pengukuran Debit dan Kecepatan Air Sungai Sumbul

Selanjutnya menyiapkan desain studi yang terstruktur dan sistematis sebagai kerangka acuan mengumpulkan data dan informasi lapangan. Melakukan *Site Investigation* berupa pengambilan data potensi sumber daya air, data demografi dan kewilayahan, data sosial ekonomi dan elektrifikasi dengan model. Sebelum menghitung debit air, maka langkah awal yang perlu dilakukan adalah menghitung kecepatan air dan menghitung penampang basah nya. Cara pengukurannya bisa dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 6 Penampang Sungai

Luas penampang basah adalah jumlah luas dari lima kotak, dengan kedalaman dengan kedalamannya seperti yang dapat diukur di titik D_1 , D_2 , D_3 , D_4 dan D_5 . Lebarnya tiap kotak adalah seperlima dari lebar saluran/sungai. Untuk mengukur penampang basah sungai maka dapat dihitung dengan persamaan :

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \times L \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika kedalaman air dititik:

- $D_1 = 0,14\text{m}$
- $D_2 = 0,19\text{m}$
- $D_3 = 0,22\text{m}$
- $D_4 = 0,2\text{m}$
- $D_5 = 0,19\text{m}$
- $L = 1,8\text{m}$

Maka penampang basahya adalah:

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_n}{n} \times L$$

$$A = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \times L$$

$$A = \frac{0,14 + 0,19 + 0,22 + 0,2 + 0,19}{5} \times 1,8$$

$$A = 0,188 \times 1,8$$

$$A = 0,3384 \text{ m}^2$$

Setelah penampang basahya diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari rata - rata dari kecepatan airnya. Jika kecepatan air dititik:

- $V_1 = 1,5 \text{ m/s}$
- $V_2 = 1,8 \text{ m/s}$
- $V_3 = 2,2 \text{ m/s}$
- $V_4 = 2,3 \text{ m/s}$
- $V_5 = 1,9 \text{ m/s}$

Maka rata - rata kecepatan airnya adalah:

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_n}{n}$$

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5}$$

$$v = \frac{1,5 + 1,8 + 2,2 + 2,3 + 1,9}{5}$$

$$v = 1,9 \text{ m/s}$$

Setelah diperoleh penampang basah dan kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh sungai, maka selanjutnya adalah mencari debit aliran airnya. Untuk mencari debit aliran air, maka dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q = 0,3384 \text{ m}^2 \times 1,9 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,642 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit aliran tersebut yang akan dijadikan sebagai dasar perancangan PLTMH Bintang Asih.



BAB III

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BINTANG ASIH

3.1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Istilah Mikrohidro berasal dari dua kata, mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam penggunaannya, istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun dapat dibayangkan bahwa mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Adapun yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan oleh keduanya[2].

Mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*power house*). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik berupa berputarnya poros turbin.

Putaran poros turbin ini akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik.

Dalam melakukan perancangan suatu pembangkit tenaga air, harus diketahui terlebih dahulu beberapa parameter penting terkait karakteristik tipe pembangkit listrik. Selain itu juga untuk menentukan sistem distribusi energi listrik, apakah listrik disalurkan secara terpusat atau grid terisolasi.

Klasifikasi pembangkit listrik dapat ditentukan dari beberapa faktor (Penche, 2004) dalam [3] yakni:

- a) Berdasarkan tinggi jatuh (head)
 - Rendah (< 50 m)
 - Menengah (antara 50 m dan 250 m)
 - Tinggi (> 250 m)
- b) Berdasarkan tipe eksploitasi
 - Tengah regulasi aliran air (tipe waduk)
 - Tanpa regulasi aliran air (tipe run off river)
- c) Berdasarkan sistem pembawa air
 - Sistem bertekanan (pipa tekan)
 - Sirkuit campuran (pipa tekan dan saluran)
- d) Berdasarkan penempatan rumah pembangkit
 - Rumah pembangkit pada bendungan
 - Rumah pembangkit pada skema pengalihan
- e) Berdasarkan metode konversi energi
 - Pemakaian turbin
 - Pemompaan dan pemakaian turbin terbalik
- f) Berdasarkan tipe turbin
 - Impulse
 - Reaksi
 - Reversible

- g) Berdasarkan kapasitas terpasang
 - Mikro (< 100 kW)
 - Mini (antara 100 kW dan 500 Kw)
 - Kecil (antara 500 kW dan 10 MW)
- h) Berdasarkan debit desain tiap turbin
 - Mikro ($Q < 0,4$ m³/dt)
 - Mini ($0,4$ m³/dt $< Q < 12,8$ m³/dt)
 - Kecil ($Q > 12,8$ m³/dt)

Dalam merancang sebuah PLTMH diperlukan beberapa komponen utama antara lain; bangunan sipil, mekanikal dan elektrikal yang di sesuaikan dengan topologi masing-masing wilayah.

3.2 Komponen Bangunan Sipil

Adapun komponen – komponen terpenting bangunan sipil adalah sebagai berikut:

- 1) *Diversion Weiran* dan *Intake*, berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai. Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ('Intake' pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*).

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam memilih lokasi bendungan (*weir*) dan *intake*, antara lain :

- Jalur daerah aliran sungai
- Lokasi bendungan (*weir*) dan *intake* dipilih pada daerah aliran sungai dimana terjamin keter-

sediaan airnya, alirannya stabil, terhindar banjir dan pengikisan air sungai.

- Stabilitas lereng yang curam
Oleh karena pemilihan lokasi PLTMH sangat mempertimbangkan *head*, sudah tentu pada lokasi lereng atau bukit yang curam. Dalam mempertimbangkan lokasi bangunan bendung (*weir*) dan *intake* hendaknya mempertimbangkan stabilitas sedimen atau struktur tanahnya yang stabil.
- Memanfaatkan fasilitas saluran irigasi yang tersedia di pedesaan.
Pemanfaatan ini dapat dipertimbangkan untuk efisiensi biaya konstruksi, karena sudah banyak sungai di pedesaan telah dibangun konstruksi sipil untuk saluran irigasi.
- Memanfaatkan topografi alami seperti kolam dan lain-lain
Penggunaan kealamian kolam untuk *intake* air dapat memberikan keefektifan yang cukup tinggi untuk mengurangi biaya, di samping itu juga membantu menjaga kelestarian alam tata ruang sungai dan ekosistem sungai. Yang perlu diperhatikan adalah keberlanjutan kolam dan pergerakan sedimen.

- Level volume yang diambil (tinggi dam) dan level banjir
Karena pembangunan bendung/dam *intake* pada bagian yang sempit dekat sungai, maka level banjir pada daerah itu lebih tinggi sehingga diperlukan daerah bagian melintang dam yang diperbesar untuk kestabilan.
 - Peletakan *intake* selalu pada sisi terluar dari lengkungan sungai
Pertimbangan ini dilakukan untuk memperkecil sedimen di dalam saluran pembawa. Dam sering kali dibuat pintu air *intake* untuk melakukan pembilasan sedimen yang terendap dari *intake*.
- 2) *Settling Basin* (bak pengendap), bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.
 - 3) *Head Tank* (bak penenang), fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah *penstock* dan *headrace*, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.
 - 4) *Penstock* (pipa pesat), *penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air. Parameter desain yang direncanakan pada pipa pesat adalah:

a) Diameter pipa pesat. diameter ekonomis pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan:

Sarkaria formula:

$$D = 3,55 \cdot \left(\frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot H} \right)^{0,25} \dots\dots\dots(3.1)$$

Formula ESHA :

$$D = \left(\frac{10,3n^2 Q^2}{hf} \right)^{0,1875} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana, D = diameter pipa (m)

N = koefisien kekasaran pipa

Q = debit pada pipa (m³/det)

hf= kehilangan tinggi tekan toal pada pipa (m)

H = tinggi jatuh (m)

Namun dalam penentuan diameter pipa pesat perlu diperhitungkan besarnya kehilangan tinggi dikarenakan hal ini akan memperngaruhi besarnya daya yang akan dihasilkan dan juga perlu diperhatikan keaman terhadap gejala vortex

b) Tebal pipa pesat

Tebal pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan:

ASME (Mosonyi, 1963)¹² :

$$t = 2,5D + 1,2 \dots\dots\dots(3.3)$$

USBR (Varshney, 1971)¹³:

$$t = \left(\frac{d+500}{400} \right) \dots\dots\dots(3.4)$$

ESHA (Penche, 2004)¹⁴:

$$e = \frac{PD}{2\sigma kf + es} \dots\dots\dots(3.5)$$

Barlow's Formula (Varshney, 1971):

$$H = \frac{(0,002 + \sigma xt)}{(D + 0,002t)} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana:

H : Tinggi tekan maksimum (m)

: tekanan statis + tinggi tekan akibat pukulan air

σ : tegangan baja yang digunakan (ton/m²)

D : diameter pipa pesat (m)

t : tebal pipa pesat (m)

P : tekan hidrostatis pipa (kN/mm²)

kf : efisiensi ketahanan

es : tebal jagaan untuk sifat korosif (mm)

c) Kebutuhan akan tangki gelombang, pipa pesat membutuhkan tangki gelombang jika L > 4 H

¹²Mosonyi, Emil. 1963. Water Power Development Volume Two High Head Power Plant. Budapest : Akademiai Kiado

¹³ Arshney,R.S. 1977. Hydro-Power Structure. India : N.C Jain at the Roorkee Press.

¹⁴ Penche, Celso. 2004. Guidebook onHow to Develop a Small Hydro Site. Belgia : ESHA (European Small Hydropower Association).

d) Kedalaman minimum pipa pesat, kedalaman minimum akan pada gejala vortex, kedalaman minimum dapat dihitung berdasarkan persamaan (Penche, 2004) dalam [3] :

$$H_t > s$$

$$s = c V \sqrt{D} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana :

- c : 0,7245 untuk inlet asimetris
- 0,5434 untuk inlet simetris
- V : kecepatan masuk aliran (m/ dt)
- D : diameter inlet pipa pesat (m)

e) Sistem pengambilan melalui pipa pesat (*inlet*)

Sistem pengambilan air dari mulut pipa pesat perlu diperhitungkan dengan tujuan untuk mengatur sistem regulasi debit air yang masuk ke dalam turbin baik saat kondisi operasional maupun kondisi perawatan. Biasanya intake pipa pesat didesain dengan menggunakan sistem katup (*valve*). Adapun tipe katup yang selalu digunakan adalah:

1. Gate valve
2. Butterfly valve
3. Needle valve

5) Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air pada bangunan pengambilan atau waduk (EMAW) dengan tail water level (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Ramos, 2000)¹⁵. Persamaan tinggi jatuh efektif adalah:

$$H = \text{EMAW} - \text{TWL} - h_l$$

$$\dots\dots\dots(3.8)$$

dimana:

- H_{eff} : tinggi jatuh efektif (m)
- EMAW: elevasi muka air waduk atau hulu bangunan pengambilan (m)
- TWL : tail water level (m)
- h_l : total kehilangan tinggi tekan (m)

Kehilangan tinggi tekan digolongkan menjadi 2 jenis yaitu kehilangan pada saluran terbuka dan kehilangan pada saluran tertutup. Kehilangan tinggi tekan pada saluran terbuka biasanya terjadi pada intake pengambilan, saluran transisi dan penyaring.

Kehilangan tinggi pada saluran tertutup dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu kehilangan tinggi mayor (gesekan) dan kehilangan tinggi minor.

¹⁵ Ramos, Helena. 2000. Guidelines For Design Small Hydropower Plants. Irlandia : WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic Development).

Kehilangan tinggi mayor dihitung dengan persamaan *Darcy wisbach* (Spellman, 2011)¹⁶ :

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(3.9)$$

sedang kehilangan minor dapat dihitung dengan persamaan (Ramos,2000):

$$hf = \xi \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana:

- hf = kehilangan tinggi tekan
- V = kecepatan masuk (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/dt²)
- L = panjang saluran tertutup (m)
- D = diameter pipa (m)
- f = koefisien kekerasan (moody diagram)
- ξ = koefisien berdasarkan jenis kontraksi

6) Bangunan Pembuang

Tujuan adanya saluran pembuang adalah sebagai saluran pembuang aliran air yang masuk ke dalam rumah pembangkit dan menggerakkan turbin. Saluran ini biasanya bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai. Ada beberapa hal yang harus di pertimbangkan dalam merancang rute saluran pembuang antara lain:

- a. Perkiraan tinggi genangan air pada rumah pembangkit (*power house*) ketika terjadi banjir besar.

- b. Menghindari penggenangan bantaran sungai dan permukaan *tanah* di sekitar rumah pembangkit.
- c. Fluktuasi dasar sungai pada daerah saluran pembuang.
- d. Saluran pembuang harus diarahkan sesuai arah aliran sungai.

3.3 Komponen Mekanikal

Turbin merupakan bagian penting dari sistem mikrohidro yang menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik). Turbin air berfungsi untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Kemudian putaran poros turbin tersebut akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok:

- a. Turbin impuls (*cross-flow*, pelton & turgo) untuk jenis ini, tekanan pada setiap sisi sudu gerakannya lrunnernya - bagian turbin yang berputar - sama.
- b. Turbin reaksi (francis, kaplan propeller)

Dalam merencanakan sebuah turbin harus memenuhi 2 parameter dasar yaitu kecepatan spesifik turbin (Ns) dan kecepatan putar/sinkron (n) dimana kedua parameter tersebut dihitung dengan persamaan (USBR,1976);

¹⁶ Spellman F, The Science f Renewable Energy, Taylor & Francis Group, CRC Press. 2011

$$N_s = n \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$n = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana:

N_s : Kecepatan spesifik turbin (mkW)

n : kecepatan putaran/sinkron (rpm)

P : daya (kW)

F : frekuensi generator (Hz)

H : tinggi jatuh efektif (m)

p : jumlah kutub generator

nilai n bisa diperoleh dengan melakukan *try and error* menggunakan persamaan :

untuk turbin Prancis:

$$n' = \frac{2334}{\sqrt{H}} \text{ atau } n' = \frac{1553}{\sqrt{H}}$$

Untuk turbin propeller :

$$n' = \frac{2088}{\sqrt{H}} \text{ atau } n' = \frac{2702}{\sqrt{H}}$$

Setelah diperoleh nilai parameter tersebut maka dapat ditentukan parameter lainnya, seperti:

1. Titik pusat dan kavitas¹⁷ pada turbin
Titik pusat perlu diletakkan pada titik yang aman sehingga terhindar dari bahaya kavitas. Kavitas akan terjadi apabila nilai $\sigma_{\text{aktual}} < \sigma_{\text{kritis}}$, dimana nilai σ dapat dihitung dengan persamaan (USBR, 1976):

¹⁷ **Kavitas** yaitu proses terbentuknya gelembung-gelembung air pada turbin karena tekanan air pada turbin turun menjadi tekanan uap jenuh yang menyebabkan getaran, pengikisan, dan penurunan efisiensi.

$$\sigma_c = \frac{N_s^{1.64}}{50327} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$H_s = H_a - H_v - H.\sigma$$

Sedang titik pusat turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z = twl + H_s + b \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana:

N_s : Kecepatan spesifik turbin (mkW)

σ_c : koefisien thoma kritis

σ : koefisien thoma

H_a : tekanan absolute atmosfer (Pa/go)

H_v : tekanan uap jenuh air (Pw/go)

H : tinggi jatuh efektif (m)

H_s : tinggi hisap turbin (m)

Z : titik pusat turbin

twl : elevasi *tail water level*

b : jarak pusat turbin dengan runner (m)

2. Dimensi turbin
Dimensi turbin reaksi meliputi: dimensi *runner* turbin, dimensi *wicket gate*, dimensi *spiral case* serta dimensi *draft tube*.
3. Efisiensi Turbin
Efisiensi turbin akan tergantung pada debit actual dalam turbin dengan debit desain turbin (Q/Q_d).

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu:

1. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka turbin *Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin francis atau *cros-flow*.
3. *Head* yang tinggi yakni diatas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin *inpuls* jenis *pelton*.

3.4 Komponen Elektrikal

Pada sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro, komponen elektrikal berfungsi sebagai pengontrol kelistrikan setelah dilakukan proses pembangkitan energi listrik. Adapun peralatan dalam sistem elektrikal adalah:

- a) Generator
- b) Transformato
- c) Governor
- d) *Switchgear*
- e) *Speed increaser*
- f) *Auxiliary equipment*.

3.5 Perancangan Mekanik dan Elektrik pada PLTMH Bintang Asih

PLTMH merupakan salah satu alternatif solusi yang dapat menembus keterbatasan akses transportasi, teknologi, hingga biaya. Sumber energi yang dihasilkan oleh PLTMH ini merupakan sebuah alternatif yang bisa menggunakan teknologi sederhana maupun otomatis. Teknologi PLTMH andal dan kokoh hingga mampu

beroperasi lebih dari 15 tahun, biaya pengoperasian dan pemeliharannya murah, dan sistemnya sangat sederhana. Pada pembangkit Mikrohidro Desa Bintang Asih jenis turbin yang digunakan adalah turbin *propeller* dikarenakan *Head* yang rendah namun memiliki debit air yang cukup besar.

A. Analisa Debit

Berdasarkan persamaan 2.1 diperoleh nilai penampang basah sebesar $A = 0,3384 \text{ m}^2$. Setelah penampang basah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari rata-rata dari kecepatan airnya. Dari hasil survei diketahui nilai kecepatan air sungai Sumbul adalah $v = 1,9 \text{ m/s}$

Setelah diperoleh penampang basah dan kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh sungai, maka selanjutnya adalah mencari debit aliran air nya. Untuk mencari debit aliran air, maka dapat dihitung dengan persamaan 2.2, sehingga

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0,3384 \text{ m}^2 \times 1,9 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,642 \text{ m}^3/\text{s}$$

B. Analisa Pembangkitan Energi

Produksi energi tahunan dihitung berdasarkan tenaga andalan. Tenaga andalan dihitung berdasarkan debit andalan yang tersedia untuk pembangkitan energi listrik berupa debit outflow dengan periode n harian. (Arismunandar, 2005)

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta_g \times \eta_t \times 24 \times n$$

.....(3.15)

Dimana:

- E : Energi tiap satu periode (kWh)
- H : Tinggi jatuh efektif (m)
- Q : Debit outflow (m³/dtk)
- η_g : efisiensi generator
- η_t : efisiensi turbin
- n : jumlah hari dalam satu periode.

Dari hasil analisis debit dan *head* maka daya listrik yang dapat dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan 2.2 dan Besarnya daya yang dibangkitkan berdasarkan data dilapangan dan penggunaan persamaan maka besarnya adalah:

$$P = g \times Q \times H_n \times \eta$$

.....(3.16)

$$P = 9,8 \times 0,642 \times 6 \times 75\%$$

$$P = 18,9 \text{ kW}$$

Maka besar uraian yang diperoleh secara mendetail ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Debit Air Dan Jumlah Tegangan Yang Dihasilkan

Uraian	Bilangan	Satuan
G = (Gravitasi)	9,8	m/s
Q = (Debit Air)	0,642	m ³ /s
Hn = (Tinggi Terjun)	4	meter
η_t = (Efisiensi Turbin)	75%	
P = (Daya)	18.9	kW

Pada pembangkit Mikrohidro Desa Bintang Asih Generator yang digunakan adalah generator AC Sinkron dengan kapasitas sebesar 10 kW.

C. Penentuan Lokasi Dan Jaringan

Sebelum membangun sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan sebelum membangun sebuah PLTMH terutama dalam menentukan lokasi PLTMH yang akan dibangun. Kriteria dalam penentuan lokasi PLTMH sebagai berikut:

- a. Mempunyai ketersediaan debit air yang cukup.
- b. Mempunyai tinggi terjun air yang besar
- c. Kondisi topografi yang memungkinkan untuk penempatan fasilitas bangunan.
- d. Berada tidak jauh dari daerah pelayanan
- e. Tidak mempengaruhi sistim pengairan yang sudah ada

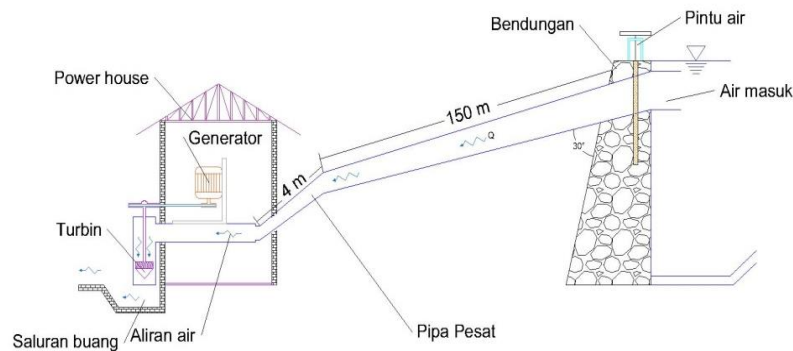
Untuk penempatan lokasi yang akan dijadikan bangunan termasuk komponen dari PLTMH ini sebagai berikut:

- a. *Intake* disesuaikan dengan hasil *survey*.
- b. Dari *intake* air dialirkan melalui pengahantar berupa saluran terbuka ataupun saluran pembawa (*headrace*) yang sudah direncanakan sesuai saluran air yang sudah ada.
- c. Letak pipa pesat (*penstock*) direncanakan sekitar 150 meter disebelah hilir.

SISTEM KONTROL OTOMATIS BERBASIS SMART RELAY

- d. *Power house* ditempatkan didepan bagian bawah *penstock* dengan tinggi jatuh lebih kurang 4 meter. Debit air keluaran dari turbin dialirkan kembali ke sungai agar ekosistem sekitar tidak akan terganggu.

Perencanaan sistem kelistrikan PLTMH di Desa Rumah Sumbul ini akan optimal bila berdasarkan pada pertimbangan investasi awal yang rendah dengan keandalan yang cukup baik. Energi listrik yang dihasilkan akan disalurkan melalui sistem hantaran udara tegangan rendah (HUTR) 220 volt. Hantaran udara tegangan rendah ini dibangun sepanjang jalan menuju desa.



Gambar 3. 1 Desain PLTMH Bintang Asih

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, perubahan beban akan berakibat langsung pada generator. Jika torsi turbin tidak diubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan berubah dan dapat mengakibatkan kerusakan baik pada generator maupun di sisi beban yang akan mempengaruhi kualitas daya listrik [4].

Kualitas energi listrik dalam aplikasinya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fluktuasi frekuensi, fluktuasi tegangan, *flicker*¹⁸, harmonisa dan kontinuitas jaringan distribusi. Dari semua parameter tersebut kestabilan tegangan memiliki peranan yang sangat penting. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem secara keseluruhan, terutama untuk kualitas daya dari pembangkit ke konsumen [5].

¹⁸ Flicker adalah fenomena kedip dalam sistem tenaga listrik akibat fluktuasi tegangan yang terjadi secara berulang-ulang dengan periode/waktu tertentu.

Frekuensi merupakan indikator dari keseimbangan energi. Pasokan energi dengan frekuensi yang berkualitas baik akan menghindarkan peralatan konsumen dari kerusakan. Alat penstabil tegangan sistem governor jika digunakan membutuhkan biaya yang mahal dan perawatan yang berat, membuat penggunaannya di pembangkit tenaga mikrohidro tidak ekonomis [6].

Alat penstabil tegangan yang digunakan secara manual tidak efektif untuk dipakai maka dipasanglah sebuah peralatan penstabil tegangan secara otomatis. Kestabilan tegangan ditentukan oleh pengaturan penggunaan beban komplemen yang terintegrasi dalam suatu sistem yang terhubung paralel dengan beban konsumen [7].

Sistem otomasi yang canggih semakin mengembangkan kemampuannya terutama pada bidang sistem pengontrolan. Sistem otomasi tersebut memungkinkan pengguna untuk melakukan pekerjaan sehari-hari dengan mudah, yang sebelumnya tidak mampu dilakukan sendiri tanpa bantuan orang lain [8].

Pada umumnya pengendalian PLTMH menggunakan *electric load controller* (ELC), yang memiliki beberapa kekurangan antara lain kestabilan yang masih kurang dan harus dilakukan pemantauan secara berkala. Adapun sistem pengendalian berbasis *programmable logic controller* (PLC), lebih memiliki keuntungan daripada menggunakan sistem elektronik lainnya karena PLC mudah untuk diprogram dan diimplementasikan. PLC beroperasi pada frekuensi tinggi untuk meminimalkan kerugian yang terjadi akibat arus

harmonik¹⁹. Harmonik dapat merusak peralatan listrik dan kualitas daya [9].

4.1 Komponen-komponen Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Sistem kontrol penstabil tegangan terdiri dari beberapa komponen yang membantu agar sistem kontrol tersebut bekerja secara maksimal.

4.1.1 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC merupakan komputer elektronik yang mudah digunakan dan memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. PLC juga dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian *relay sequensial* dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, PLC dapat dikendalikan, dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus.

Bahasa pemrograman yang digunakan mudah dipahami dan dapat dioperasikan menggunakan *software* yang sesuai dengan jenis PLC. Alat ini bekerja berdasarkan input yang diberikan dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu untuk selanjutnya kemudian akan meng-ON atau meng-OFF kan *output-output*. Angka 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan terpenuhi sedangkan angka 0 berarti keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC

¹⁹ Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan.

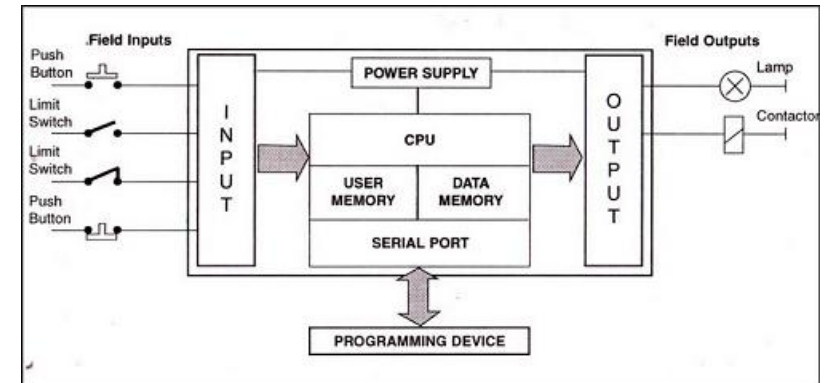
dapat dibagi secara umum dan secara khusus. Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. *Sekuensial Control*. PLC memproses *input* sinyal biner menjadi *output* yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (*sekuensial*), disini PLC menjaga agar semua *step* atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. *Monitoring Plant*. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

Prinsip Kerja PLC

Prinsip kerja sebuah PLC adalah dengan menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

PLC memiliki dua bagian dasar, yaitu: *Input/Output interface system* dan *Central Processing unit*.

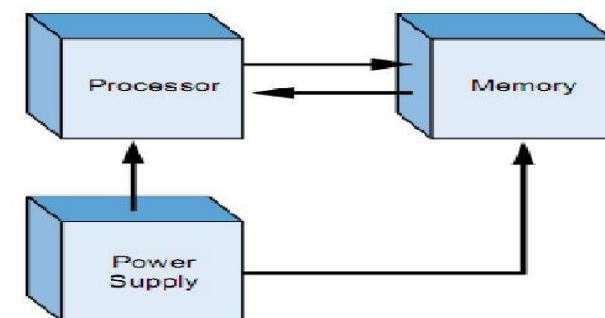


Gambar 4.1 Prinsip kerja PLC

1. Input

Input yang akan masuk ke dalam CPU berupa *signal* dari sensor atau transduser. *Signal* sensor ini terdapat dua jenis, yaitu: *discrete signal* dan *analog signal*. *Discrete signal* berupa saklar biner dimana hanya sebuah *ON* atau *OFF signal* (1 atau 0, Benar atau salah), Contohnya: *push button*, *limit switch* dan *level sensor*. Sedangkan *analog signal* menggunakan prinsip rentang suatu nilai antara nol hingga skala penuh.

2. Central Processing Unit

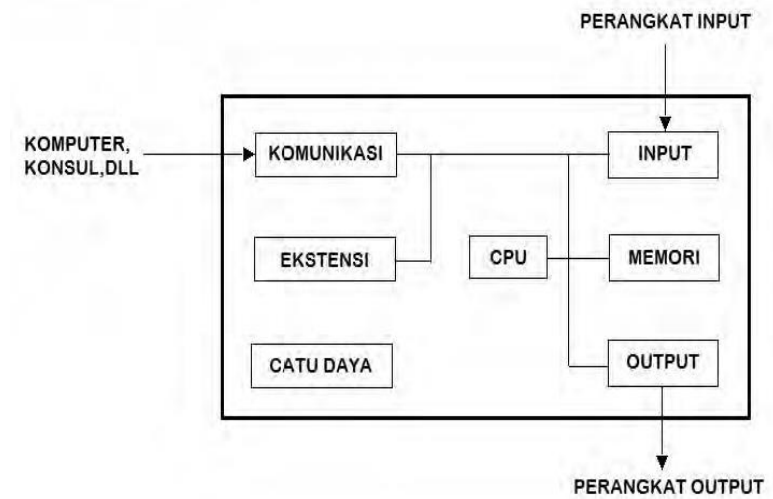


Gambar 4.2 Sistem Kerja CPU

Semua aktivitas atau pemrosesan data yang diambil dari sensor (data *input*) terjadi pada *Central Processing Unit* (CPU). CPU ini memiliki tiga bagian utama, yaitu: *Processor*, *Memory System*, dan *System Power Supply*. *Processor* akan memproses *signal input* secara aritmatik dan *logic*, yaitu melakukan operasi logika, *sequential*, *timer*, *counter* dan mengolah fungsi-fungsi yang diinginkan berdasarkan program yang telah ditentukan. Selain itu, *processor* juga mengolah program yang ada di dalam memori, serta mengatur komunikasi antara *input-output*, memori dengan *processor* itu sendiri.

3. Output

Hasil pemrosesan data yang diolah pada CPU berupa *signal* keluaran digital yang dikirim ke modul *output* untuk menjalankan aktuator. Aktuator ini dapat berupa motor listrik, solenoid, *heater*, *led display*, *injector*, *heater*, pompa, dan lain-lain.



Gambar 4.3 Komponen penyusun PLC

Berikut ini adalah penjelasan dari komponen-komponen yang menyusun PLC:

- a. CPU (*central processing unit*), merupakan otak dari sebuah PLC yang dapat menjalankan program, menyimpan dan mengambil data dari memori, membaca nilai input serta mengatur nilai *output*, memeriksa adanya kerusakan (*self-diagnosis*), serta dapat melakukan komunikasi dengan perangkat pembantu.
- b. Masukan atau *input*, merupakan masukan sinyal yang akan diolah oleh CPU. Perangkat *input* dapat berupa sensor atau, *push button* dan *switch*.
- c. Keluaran atau *output*, merupakan sinyal keluaran yang telah diolah oleh CPU. Perangkat *output* dapat berupa aktuator seperti lampu, *valve*, *blower*, motor dan lain-lain.
- d. Memori, merupakan tempat untuk menyimpan program dan data yang akan dijalankan dan diolah

oleh CPU. Dalam PLC memori terdiri atas memori program untuk menyimpan program yang akan dieksekusi, memori data untuk menyimpan nilai-nilai hasil operasi CPU, nilai *timer* dan *counter*, serta memori yang menyimpan nilai kondisi *input* dan *output*. Biasanya PLC memiliki satuan memori dalam *word* (16 bit).

- e. Fasilitas komunikasi, yang membantu CPU dalam melakukan pertukaran informasi atau data dengan perangkat lain, termasuk juga berkomunikasi dengan komputer untuk melakukan pemrograman dan pemantauan.
- f. Fasilitas ekspansi, untuk menghubungkan modul PLC dengan modul pengembangan *input/output* sehingga jumlah terminal I/O dapat ditingkatkan.
- g. Catu daya, untuk memberikan sumber tegangan kepada semua komponen dalam PLC. Biasanya sumber tegangan PLC adalah 220 VAC atau 24 VDC.

4.1.2 PLC Modicon TM221ME16R

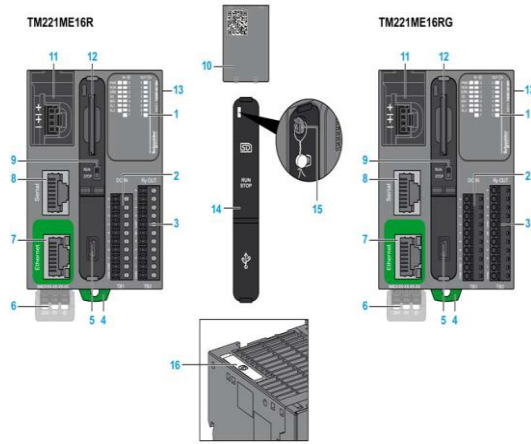
Schneider merupakan salah satu merk dagang elektronik yang terkenal dan memiliki berbagai macam kontroller dan komponen kelistrikan. PLC Modicon merupakan produk PLC Schneider yang dibuat untuk kebutuhan industri. PLC ini dapat dikonfigurasi dan diprogram dengan perangkat lunak *SoMachine Basic* dan mendukung bahasa pemrograman IEC 61131-3 yang mencakup *instruction list*, *ladder diagram*, dan *grafcet*. Perangkat ini memiliki jumlah I/O sebesar 16,24

dan 40 yang dapat diekspansi hingga 120 I/O serta memiliki memori sebesar 512 Kbyte (RAM) dan 1,5 Mbyte (FLASH). PLC TM221 terdiri dari beberapa tipe diantaranya adalah, TM221C16R, TM221C16T, TM221C16U, TM221C24R, TM221C24T, TM221C24U, TM221C40R, TM221C40T, TM221C40U, TM221CE16R, TM221CE16T, TM221CE16U, TM221CE24R, TM221CE24T, TM221CE24U, TM221CE40R, TM221CE40T, TM221CE40U, TM221M16R/G, TM221M16T/G, TM221M32TK, TM221ME16R/G, TM221ME16T/G, TM221ME32TK, Dengan jumlah I/O 16, 24 dan 40. Tipe PLC yang digunakan pada PLTMH Bintang Asih adalah TM221ME16R.

PLC modicon TM221ME16R memiliki kapasitas 16 I/O terdiri dari 8 *input* dan 8 *output*, dengan tegangan masukan 24 VDC berada dalam kontak analog *input*, memiliki *port* untuk Ethernet dengan posisi terminal dan LED indikator yang tersebar dibagian depan. Bentuk fisik dari PLC modicon TM221ME16R dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.

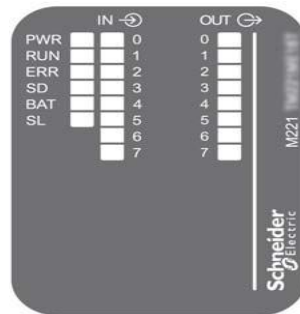


Gambar 4. 4 Bentuk fisik PLC modicon TM221ME16R



Gambar 4. 5 Komponen Pengontrol Pada PLC

Bagian tampilan untuk melihat status kerja PLC dari lampu indikator



Gambar 4. 6 Indikator PLC

4.1.3 Modul Ekspansi

Modul ekspansi adalah modul tambahan yang disediakan oleh Schneider untuk memenuhi kebutuhan I/O. Ekspansi ini terdiri dari beberapa tipe diantaranya adalah: TM3DI16K, TM3DI16/G, TM3DI32K, TM3DI8A, TM3DI8/G, TM3DM24R/G, TM3DM8R/G, TM3DQ16R/G, TM3DQ16TK, TM3DQ16T/G, TM3DQ16UK, TM3DQ16U/G, TM3DQ32TK,

TM3DQ32UK, TM3DQ8R/G, TM3DQ8T/G, TM3DQ8U/G. Ekspansi *output* yang digunakan pada PLTMH Bintang Asih adalah ekspansi TM3DQ16R.

4.1.4 Ekspansi TM3DQ16R/G

Modul ekspansi TM3DQ16R/G merupakan ekspansi untuk digital *output*, dalam digital *output* tersedia hanya 8 *output* dan 16 *output*. Digital *output* digunakan untuk kontrol *on-off* yang mengenali logika 0 dan 1. Spesifikasi ekspansi TM3DQ16R/G tertera pada table 4.1

Tabel 4. 1 Spesifikasi Ekspansi TM3DQ16R/G

Reference	Channe l	Chan nel Type	Voltage Current	Terminal Type / Pitch
TM3DQ1 6R/G	16	Relay Outp ut	5 V : 37 mA / 24 V : 77 mA 2A relay outputs expansion module with 2 common lines and removable terminal block	Removable screw terminal blocks / 3.81 mm

Untuk lebih jelas tentang bagian-bagian bentuk fisik dari TM3DQ16R/G dapat dilihat pada gambar 4.7 .

1. LED untuk menampilkan I/O *channel* yang aktif.
2. *Clip-on lock* untuk bagian atas *section rail* (DIN-rail).
3. Terminal *block removable*.
4. Konektor ekspansi untuk TM3 I/O bus.
5. Pengunci *device* pada modul *device* sebelumnya.



Gambar 4. 7 Bentuk Fisik dan Bagian-bagian TM3DQ16R/G

4.1.5 Relay

Relay merupakan komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik maka tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada *solenoid* sehingga kontak saklar akan menutup.

Pada saat arus dihentikan, gayamagnet akan hilang maka tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. *Relay* biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere 220 Vac) dengan memakai arus/tegangan yang kecil (misalnya 0.5 ampere 24 Vdc). *Relay* yang paling sederhana ialah *relay* elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. *Relay* dapat dilihat pada gambar 4.8 .



Gambar 4. 8 Relay

Konfigurasi dari kontak-kontak *relay* ada tiga jenis, yaitu:

1. *Normally Open* (NO), apabila kontak-kontak tertutup saat *relay* dicatu
2. *Normally Close* (NC), apabila kontak-kontak terbuka saat *relay* dicatu
3. *Command* adalah basis dari *normally open* dan *normally close*

4.1.6 Current Transducer (CT)

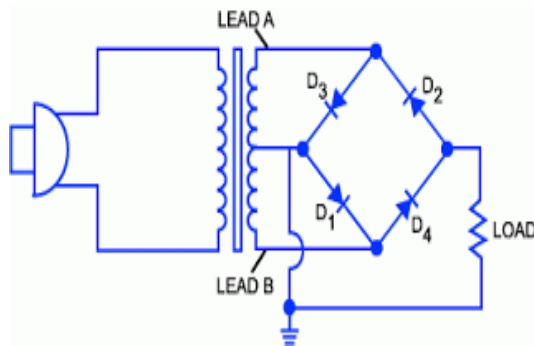
Current Transducer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi untuk membaca nilai arus pada beban. Nilai arus tersebut digunakan sebagai nilai referensi untuk melakukan perbandingan antara beban yang digunakan pada beban konsumen dan beban komplemen. Dikarenakan PLC menggunakan analog *input* maka PLC hanya membaca sinyal-sinyal masukan yang dihasilkan oleh sensor-sensor tersebut, sehingga PLC dapat menjalankan program sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan. *Current Transducer* (CT) dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Current Transducer

4.1.7 Dioda Bridge

Dioda bridge atau jembatan diode merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak-balik AC menjadi arus searah DC. Skema *Dioda Bridge* dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut ini.



Gambar 4.10 Rangkain Dioda Bridge

4.1.8 Lampu Pijar

Pengaturan pembebanan pada PLTMH dengan menggunakan generator menjadi sesuatu hal yang harus dilakukan. Hal ini dilakukan dengan memasang beban penyeimbang berupa lampu pijar yang paralel terhadap

generator. Beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi untuk membuang energi listrik yang tidak di gunakan sehingga generator dapat berputar secara konstan. Lampu Pijar dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4.11 Lampu Pijar

4.1.9 Heater

Heater atau elemen pemanas merupakan alat yang memiliki fungsi sama seperti lampu pijar yaitu sebagai penyeimbang beban. *Heater* akan bekerja apabila beberapa bola lampu putus akibat beban yang terlalu tinggi. Apabila *heater* hidup maka listrik warga akan mati selama 15 menit. Bentuk *Heater* dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Elemen Pemanas

4.1.10 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

Miniatur Circuit Breaker adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi sebagai proteksi arus lebih yang disebabkan terjadinya beban lebih dan arus lebih karena adanya hubung singkat. *Miniatur Circuit Breaker* dapat dilihat pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Miniatur circuit breaker

4.1.11 Pilot Lamp

Pilot lamp adalah sebuah lampu indikator yang dipasang untuk melakukan *monitoring* kelistrikan yang ada.



Gambar 4.14 Pilot lamp

4.1.12 Battery Charger

Battery charger adalah peranti yang digunakan untuk mengisi energi ke dalam *battery* (isi ulang) dengan

memasukkan arus listrik melaluinya. Arus listrik yang dimasukkan nilainya 24 VDC dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4.15 Battrey charger

4.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan digunakan antara lain adalah *SoMachine Basic* yang digunakan untuk membuat program *ladder* pada PLC.

4.2.1 SoMachine Basic

SoMachine Basic merupakan perangkat lunak PLC yang digunakan untuk mengkonfigurasi, dan mengkomunikasikan seluruh alat yang tersambung dalam jaringan perangkat lunak tersebut termasuk logika dan kontrol yang terkait dengan fungsi otomatisasi. *SoMachine Basic* mempunyai fungsi-fungsi untuk memudahkan pengguna dalam menggunakannya serta dapat menghemat waktu pembuatan.

SoMachine Basic memiliki beberapa kelebihan di antaranya;

1. Dapat meningkatkan efisiensi dengan kinerja yang fleksibel dan *scalable*. *Software* ini dapat dilakukan pergantian *controller* satu dengan *controller* lainnya,

sementara dapat tetap mempertahankan logika dan konfigurasi. Beberapa versi *SoMachine Basic* dapat berjalan secara paralel dalam sebuah sistem serta dapat membantu memastikan kompatibilitas.

2. *Vijeo-Designer* dapat mengkonfigurasi dan mengkomunikasikan alat untuk perangkat kontrol gerak, IEC 61131-3 bahasa, mengintegrasikan konfigurasi *fieldbus*, ahli *diagnosis*, dan *men-debug*. Beberapa kemampuan lainnya ialah untuk pemeliharaan dan visualisasi termasuk *web visualization*.
3. Saat mesin mulai bekerja, maka *SoMachine* juga telah siap bekerja untuk menyediakan data yang sebenarnya pada PC. Sehingga *software* dapat menyederhanakan integrasi dan pemeliharaan.

Berikut ini ialah perangkat-perangkat yang dapat menggunakan perangkat lunak *SoMachine Basic*:

1. *Controller: Logic Controller* modicon M221, M238, M241, M251, dan M258, *Motion Controller* modicon LMC058, dan LMC078, *HMI Controller* Magelis SCU, Magelis XBTGC dan XBTGC/GK, serta *Drive Controller* Altivar IMC.
2. *I/O modules: Modicon* TM2, TM3, TM5 dan TM7.
3. *HMI: Wonderware, Magelis STO/STU Small Panels, Magelis GH/Magelis GK/Magelis GT Advanced Panels dan Magelis STO dan Magelis GTO Optimum Advanced Panels.*

Pada *software* untuk PLC, pada umumnya digunakan model *ladder diagram* untuk melakukan pemrograman. Pada *ladder diagram* terdapat berbagai jenis objek pada *software* yang fungsinya berbeda-beda

seperti *timer, counter, comparison, dan operation*. Berikut adalah penjelasan dari beberapa fungsi tersebut:

1. *Timer*
Timer pada *ladder diagram* berfungsi sebagai batas waktu pada program untuk berubah menjadi *open* atau *close*. *Timer* ada dua jenis yaitu *ON delay* dan *OFF delay*. *Timer* jenis *ON delay* akan membuat suatu kontak/rangkaian menjadi *ON/close* dengan waktu *delay* tertentu yang dapat ditentukan oleh pemrogram. Sedangkan *timer* jenis *OFF delay* akan membuat rangkaian menjadi *OFF/open* dengan waktu *delay* yang ditentukan oleh pembuat program.
2. *Counter*
Fungsi *counter* pada *software SoMachine Basic* adalah untuk menghitung dengan batas tertentu berapa kali suatu kontak aktif. Koil dari *counter* tersebut dapat dijadikan fungsi *compare* untuk menentukan pada kali seberapa suatu koil akan aktif. Jumlah *counter* yang dapat digunakan maksimum sampai 225 buah.
3. *Comparison Block*
Comparison Block atau fungsi *compare* berfungsi sebagai pembanding apakah suatu kontak akan *close* atau *open*. Apabila nilai yang tercantum pada *expression* cocok pada pembacaan nilai pada *compare*, maka *comparison block* akan aktif.
4. *Operation Block*
Operation Block berfungsi sebagai pemroses *input* analog dari *software SoMachine Basic*. Pada *operation*

block, input analog akan diproses dan akan mengeluarkan bilangan bentuk desimal yang dapat di konversi kembali sesuai formulasi yang dimasukkan oleh pembuat program.

4.3 Perancangan Sistem Comparasi PLC TM221ME16R

Penggunaan PLC TM221ME16R adalah untuk pengaturan besar tegangan masuk ke beban komplemen dan beban konsumen. Salah satu metode pengaturan besar tegangan masuk ke beban komplemen adalah dengan menggunakan metode perbandingan antara tegangan generator dengan suatu besaran referensi. Besar tegangan generator akan di sampling kemudian dibandingkan dengan suatu besaran referensi.

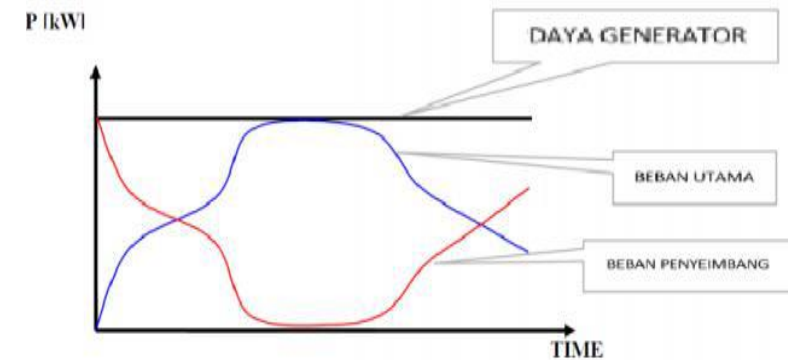
Hasil dari perbandingan ini berupa sinyal yang akan menentukan sudut penyalaan saklar elektronik otomatis yaitu *relay*. Alasan penggunaan *relay* sebagai saklar otomatis karena digunakan sebagai kontrol di tegangan VDC sesuai dengan PLC. Beban komplemen terdiri dari beban resistif murni yang besarnya konstan. Sehingga untuk mengatur besar beban komplemen dapat dilakukan dengan mengatur tegangan masuk ke beban komplemen.

4.4 Beban Komplemen

Pengaturan pembebanan pada PLTMH skala kecil dengan menggunakan sistem kontrol yang terintegrasi menjadi sesuatu yang harus dilakukan. Hal tersebut dilakukan dengan memasang beban penyeimbang yang

pararel terhadap beban utama. Beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai *regulator* tegangan pada sebuah generator listrik.

Beban penyeimbang atau disebut *ballast load* merupakan sebuah beban yang tegangan masuknya terkontrol dalam aplikasinya digunakan untuk meratakan nilai beban total generator dengan beban utama. Dengan kata lain daya keluaran dari generator akan stabil meskipun terjadi perubahan konsumsi daya pada beban utama seperti tampak pada gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4. 16 Pemakaian Daya Pada Beban Utama dan Beban Penyeimbang

Gaya gerak listrik pada generator dinyatakan dengan:

$$E = C n \Phi \quad (4.1)$$

Keterangan:

- E = gaya gerak listrik (Volt)
- C = konstanta
- Φ = fluksi magnetik (Webber)
- n = Kecepatan putaran rotor (Rpm)

Apabila terjadi penurunan beban maka putaran (n) akan naik dan diikuti oleh naiknya frekuensi, jika fluksi (Φ) konstan maka generator akan mengalami tegangan berlebih (*over voltage*). Apabila terjadi peningkatan beban maka putaran (n) akan turun dan diikuti oleh turunnya frekuensi, jika fluksi (Φ) konstan maka generator akan mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*).

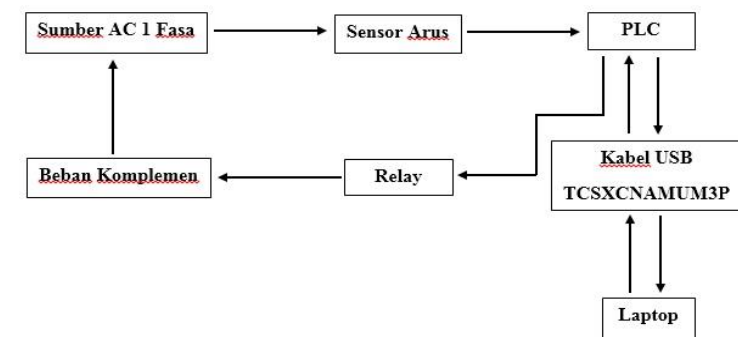
4.5 Keuntungan Penggunaan PLC TM221ME16R Pada PLTMH

Penggunaan PLC TM221ME16R pada PLTMH akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Tegangan yang dihasilkan generator akan stabil, sehingga menghindari kerusakan peralatan listrik (TV, lampu, dll).
2. Dapat menghindari kerusakan generator akibat kecepatan berlebih pada saat beban konsumen berkurang (*runaway speed*).
3. Tidak diperlukan lagi buka tutup *valve* turbin pada saat terjadi perubahan beban, sehingga pekerjaan operator lebih praktis dan efisien.
4. Tidak akan terjadi tekanan air balik (*water hammer*) pada pipa *penstock* yang disebabkan penutupan *valve* turbin secara tiba-tiba.
5. Kemudahan dalam pemasangan, pengoperasian, dan perawatan.
6. PLC TM221ME16R mampu menerima perubahan beban yang besar dalam waktu yang sangat cepat.

4.6 Perancangan Sistem Kontrol Beban Pada PLTMH Bintang Asih

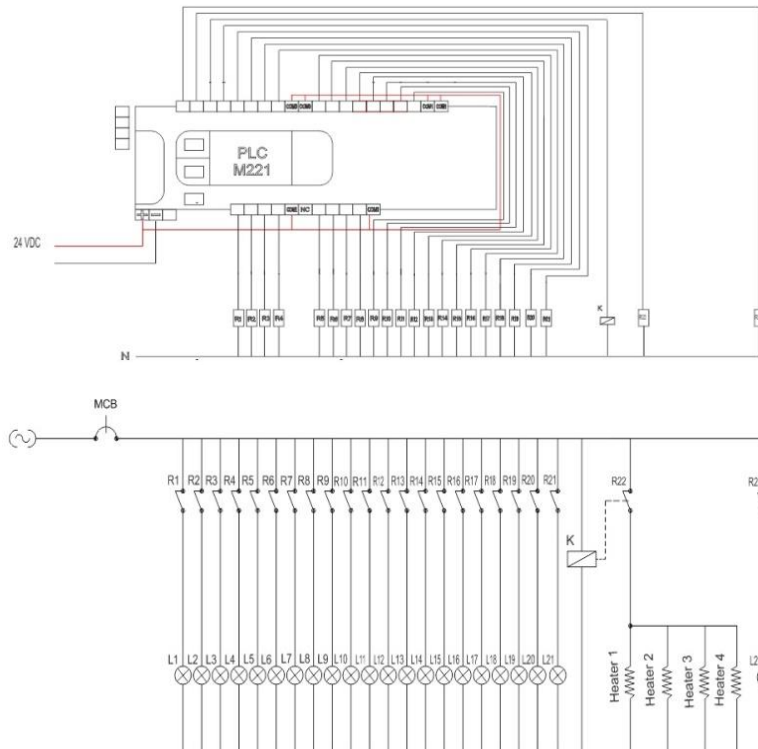
Perancangan sistem kontrol beban merupakan suatu metode yang dipelajari dari analisa masalah-masalah yang terjadi di PLTMH Bintang Asih. Masalah yang paling sulit di atasi adalah menjaga kestabilan tegangan akibat dari banyak atau tidaknya pemakaian beban listrik yang mengakibatkan operator harus *standby* di rumah pembangkit dan pada panel kontrol. Jarak antara rumah pembangkit dan panel kontrol yang jauh mengakibatkan operator kewalahan dalam menjalani tugasnya. Maka dari itu perancangan sistem kontrol ini guna memudahkan kerja operator dan menjaga generator berputar secara konstan agar menghasilkan energi listrik yang stabil sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.



Gambar 4. 17 Blok Diagram Sistem

4.6.1 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai regulator tegangan pada sebuah generator listrik. Gambar 4.18 memperlihatkan wiring diagram rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC M221.



Gambar 4. 18 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Pada rangkaian tersebut dijelaskan secara singkat bagaimana perancangan dan pembuatan sistem Penstabil tegangan menggunakan PLC TM221ME16R. Pada PLTMH Bintang Asih, PLC merupakan pengendali tegangan dari generator sebelum di alirkan ke beban konsumen. Dengan adanya sistem penstabil tegangan

ini maka generator bekerja secara konstan sehingga dapat terus menerus menghasilkan daya listrik.

Daya masukan pada PLC berasal dari aliran baterai dengan kapasitas 24 Vdc. Daya keluaran baterai harus dihubungkan ke terminal masukan PLC. Kabel netral harus terhubung keseluruhan beban komplemen.

Output PLC maupun *output* Ekspansi akan terhubung ke semua rangkaian. Prinsip kerja PLC akan membandingkan pemakaian daya listrik beban konsumen dan daya listrik beban komplemen.

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik ke beban komplemen.

4.6.2 Langkah-langkah Perakitan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Dalam merancang sistem kontrol penstabil tegangan pada PLTMH Bintang Asih hal yang pertama harus diperhatikan adalah kapasitas *Prime Mover* (penggerak mula) yang akan digunakan pada sistem, sehingga selanjutnya pemilihan komponen-komponen pada sistem kontrol dapat dilakukan dengan pertimbangan teknis dan ekonomis.

Langkah kedua adalah melakukan perancangan gambar sistem kontrol penstabil tegangan yang sesuai dengan spesifikasi kerja yang diinginkan seperti yang dijelaskan di subbab prinsip kerja sebelumnya.

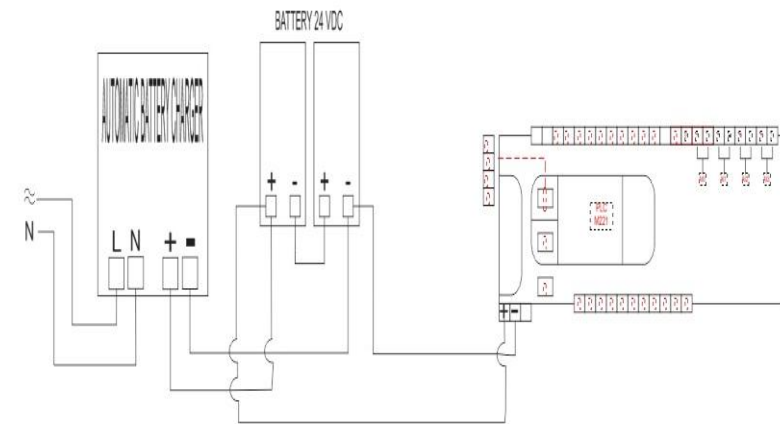
Berikut adalah langkah-langkah perakitan sistem kontrol penstabil tegangan pada PLTMH Bintang Asih;

1. Perancangan dan perakitan *Box*
Box yang digunakan berdimensi panjang 50 cm, lebar 15 cm dan tinggi 70 cm. Terdiri dari *box* utama untuk komponen-komponen pengontrolan penstabil tegangan.
2. Pemasangan kabel *duct*
 Pemasangan *duct* atau jalur kabel dilakukan dengan memperhatikan tata letak dari komponen yang akan dipasang baik di dalam *box* utama maupun pada pintu *box*. Pembuatan *duct* ini juga memperhatikan rangkaian sehingga memudahkan tahap perakitan selanjutnya yaitu tahap *wiring*.
3. *Wiring*
Wiring atau pengkabelan dilaksanakan dengan memperhatikan gambar rancangan. Kabel yang digunakan adalah kabel jenis NYAF 1 mm².
4. Pemasangan Komponen
 Pemasangan komponen dilakukan sesuai dengan gambar rancangan dan alur *wiring* yang dilakukan.
5. Pengontrolan PLC
 Pengontrolan PLC dilakukan berdasarkan data-data dari analisa permasalahan yang sebelumnya sering terjadi pada PLTMH Bintang Asih.

4.6.3 Rangkaian Automatic Battery Charger

Rangkaian *automatic charger battery* merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai daya masukan terhadap PLC. Tegangan masukan pada PLC berupa tegangan DC yaitu 24 Volt. Prinsip kerja rangkaian *automatic charger battery* ini adalah mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan listrik DC sesuai dengan

kriteria daya keluaran pada *automatic charger battery* dan pada masukan PLC.

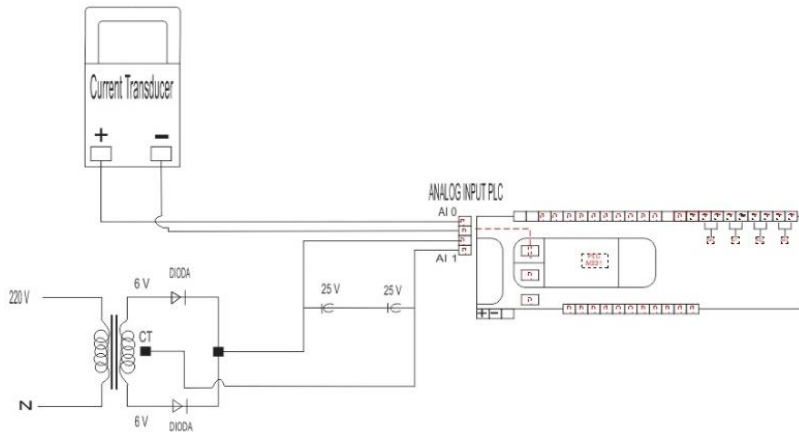


Gambar 4.19 Rangkaian Automatic Charger Battery

4.6.4 Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan Pada PLC

Rangkaian sensor arus merupakan perangkat yang mendeteksi arus listrik di kawat penghantar beban utama yang menghasilkan sinyal. Sinyal diukur menggunakan multimeter analog maupun multimeter digital dalam satuan amperemeter. Rangkaian sensor tegangan digunakan untuk melihat nilai daya yang dihasilkan oleh generator. Nilai AC yang dihasilkan oleh generator diubah menjadi nilai DC 12 Volt. Kedua sinyal tersebut dapat dimanfaatkan untuk tujuan pengontrolan.

SISTEM PROTEKSI PLTMH BINTANG ASIH BERBASIS DEEP SEA ELEKTRONIK 3110



Gambar 4. 20 Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan

Prinsip kerja rangkaian sensor arus dan rangkaian sensor tegangan ini adalah untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh generator dan nilai pemakaian daya pada beban utama. Kemudian sinyal dari arus dikirim ke analog *input* pada PLC tujuannya untuk akuisisi data pada pengontrolan.



Gambar 4. 21 Perakitan Sistem Kontrol Otomatis

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik berskala kecil. Namun, PLTMH harus memiliki sistem pengontrolan yang kompleks, seperti halnya pembangkit listrik yang berskala besar. Pembangkitan energi dan pengkonversian energi mekanik menjadi energi listrik hingga sampai penyaluran energi listrik, semuanya dikontrol dalam suatu sistem pada PLTMH.

Selain sistem pembangkitan energi, sistem pengaman juga merupakan hal yang tidak bisa diabaikan dalam proses pembangkitan energi. Apabila terjadi gangguan, maka untuk mengisolir dan mencegah terjadinya kerusakan diperlukan suatu pengaman [10].

Perubahan beban pada PLTMH akan berakibat langsung pada generator. Jika torsi turbin tidak diubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan berubah yang dapat mengakibatkan kerusakan baik di generator

maupun di sisi beban. Karena itu, diperlukan suatu sistem proteksi yang dapat mencegah kerusakan ini terjadi [11]. Selain itu, ketidakstabilan beban pada konsumen juga akan mengakibatkan terjadinya fluktuasi frekuensi yang memberikan dampak buruk pada peralatan listrik konsumen [12].

Sistem proteksi merupakan sistem pengamanan yang dipasang pada sistem tenaga listrik seperti: sistem distribusi tenaga listrik, trafo tenaga, transmisi tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen). Pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga [13].

5.1 Komponen Sistem Proteksi

5.1.1 Selector Switch

Saklar/*switch* adalah komponen elektikal yang berfungsi untuk memberikan sinyal atau untuk memutuskan atau menyambungkan suatu sistem kontrol. *Switch* berupa komponen kontaktor mekanik yang digerakkan karena suatu kondisi tertentu. *Switch* merupakan komponen yang mendasar dalam sebuah rangkaian listrik maupun rangkaian sistem kontrol.

Komponen ini sederhana namun memiliki fungsi yang paling vital di antara komponen listrik yang lain.

Jadi *switch*/saklar pada dasarnya adalah suatu alat yang dapat atau berfungsi menghubungkan atau memutuskan aliran listrik (arus listrik) baik itu pada jaringan arus listrik kuat maupun pada jaringan arus listrik lemah. Yang membedakan saklar arus listrik kuat dan saklar arus listrik lemah adalah bentuknya kecil jika dipakai untuk peralatan elektronika arus lemah, demikian pula sebaliknya semakin besar saklar yang digunakan jika aliran arus listrik semakin besar.

Dari berbagai macam *switch*/saklar yang di buat oleh produsen saklar, sebenarnya bisa di klasifikasi-kan dalam beberapa jenis antara lain:

1. Menurut jumlah kaki/ kutub-nya : SP, DP, 3P.
2. Menurut jumlah posisi tertutup : *single throw* dan *double throw*.
3. Menurut jenis kontakannya : *knife blade*, *butt contact*, dan *mercury*.
4. Menurut jumlah breaks-nya: tunggal dan ganda.
5. Menurut metode isolasinya: *air-break* dan *oil immersed*.
6. Menurut metode operasinya: manual, magnetik, motor, *lever*, *dial*, *drum* dan *snap*.
7. Menurut kecepatan operasinya: *quick break*, *quick make* dan *slow break*.
8. Menurut tempatnya/ casingnya: terbuka dan tertutup.
9. Menurut tingkat perlindungan terhadap perangkat.
10. Menurut jenis penggunaannya: saklar daya, saklar kabel/ wiring, saklar kontrol, dan saklar instrumental.



Sumber:<https://www.google.co.id/search>

Gambar 5.1 Selector Switch

Saklar pemilih ini menyediakan beberapa posisi kondisi *on* dan kondisi *off*, ada dua, tiga, empat bahkan lebih pilihan posisi, dengan berbagai tipe geser maupun putar. Saklar pemilih biasanya dipasang pada panel kontrol untuk memilih jenis operasi yang berbeda, dengan rangkaian yang berbeda pula. Saklar pemilih memiliki beberapa kontak dan setiap kontak dihubungkan oleh kabel menuju rangkaian yang berbeda, misal untuk rangkaian putaran motor cepat dan untuk rangkaian putaran motor lambat. Atau pada rangkaian audio misalnya memilih posisi radio, tape dan lainnya.

5.1.2 Volt Meter

Voltmeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur besaran tegangan atau beda potensial listrik antara dua titik pada suatu rangkaian listrik yang dialiri arus listrik. Pada alat ukur voltmeter ini biasanya ditemukan tulisan voltmeter (V), milivoltmeter (mV),

mikrovoltmeter, dan kilovolt (KV). Saat ini, voltmeter ditemukan dalam dua jenis yaitu voltmeter analog (jarum penunjuk) dan voltmeter digital. Voltmeter memiliki batas ukur tertentu, yakni nilai tegangan maksimum yang dapat diukur oleh voltmeter tersebut. Jika tegangan yang diukur oleh voltmeter melebihi batas ukurnya, voltmeter akan rusak.



Sumber:<https://www.google.co.id/search>

Gambar 5.2 Volt Meter

5.1.3 Amperemeter

Ampere meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Umumnya alat ini digunakan oleh teknisi elektronik dalam alat multi tester listrik yang disebut avometer gabungan dari fungsi amperemeter, voltmeter dan ohmmeter.

Amper meter dapat dibuat atas susunan mikroamperemeter dan shunt yang berfungsi untuk deteksi arus pada rangkaian baik arus yang kecil, sedangkan untuk arus yang besar ditambahkan dengan hambatan shunt.

Amperemeter bekerja sesuai dengan Gaya Lorentz gaya magnetis. Arus yang mengalir pada kumparan yang selimuti medan magnet akan menimbulkan gaya Lorentz yang dapat menggerakkan jarum amperemeter. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar pula simpangannya.



Sumber: <https://www.google.co.id/search>
Gambar 5.3 Ampere Meter

5.1.4 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah saklar atau perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian instalasi listrik dari arus lebih (*over current*). Terjadinya arus lebih ini, mungkin disebabkan oleh beberapa gejala, seperti: hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*). MCB sebenarnya memiliki fungsi yang sama dengan sekering (*fuse*), yaitu akan memutus aliran arus listrik circuit ketika terjadi gangguan arus lebih. Yang membedakan keduanya adalah saat terjadi gangguan, MCB akan trip dan ketika rangkaian sudah normal, MCB bisa di ON-kan lagi

(*reset*) secara manual, sedangkan *fuse* akan terputus dan tidak bisa digunakan lagi.

MCB biasa diaplikasikan atau digunakan pada instalasi rumah tinggal, pada instalasi penerangan, pada instalasi motor listrik di industri dan lain sebagainya.

Prinsip kerja MCB sangat sederhana, ketika ada arus lebih maka arus lebih tersebut akan menghasilkan panas pada bimetal, saat terkena panas bimetal akan melengkung sehingga memutuskan kontak MCB (*trip*). Selain bimetal, pada MCB biasanya juga terdapat solenoid yang akan mengtripkan MCB ketika terjadi *grounding* (*ground fault*) atau hubung singkat (*short circuit*).

Namun penting juga untuk diingat, bahwa MCB juga bisa trip dengan panas (*over heating*) yang diakibatkan karena kesalahan desain/perencanaan instalasi, seperti ukuran kabel yang terlalu kecil untuk digunakan dalam arus yang tinggi, sehingga menghasilkan panas, yang lama-kelamaan akan melekungkan bimetal dan men-tripkan MCB. Oleh karena itu penggunaan kabel instalasi juga harus memperhatikan standar maksimum arus (A) kabel yang akan digunakan, dan arus kabel tersebut tidak boleh lebih kecil dari arus maksimum rangkaian/circuit.

Menurut karakteristik tripnya, ada tiga tipe utama dari MCB, yaitu: tipe B, tipe C, dan tipe D yang didefinisikan dalam IEC 60898.

1. MCB Tipe B, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 3 sampai 5 kali dari arus maksimum atau arus nominal MCB. MCB tipe B

merupakan karakteristik trip tipe standar yang biasa digunakan pada bangunan domestik.

2. MCB Tipe C, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 5 sampai 10 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe ini akan menguntungkan bila digunakan pada peralatan listrik dengan arus yang lebih tinggi, seperti lampu, motor dan lain sebagainya.
3. MCB tipe D, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 8 sampai 12 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe D merupakan karakteristik trip yang biasa digunakan pada peralatan listrik yang dapat menghasilkan lonjakan arus kuat seperti, transformator, dan kapasitor.

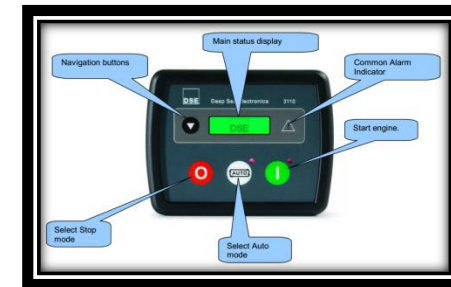


Sumber: <https://www.google.co.id/search>
Gambar 5.4 MCB (Miniature Circuit Breaker)

5.1.5 Deep Sea Elektronik 3110



Modul Deep Sea Elektronik 3110 adalah modul yang sudah banyak dipakai untuk kebutuhan sinkron

dan dapat berfungsi untuk mengatur, mengontrol, memonitor dan mensupervisi suatu sistem *back up emergency* baik dari *mains supply (ongrid)* maupun dari *standby emergency power (Generator Set)*. *Deep sea* juga mempunyai fasilitas *load sharing, synchronizing* dan *dependent start stop*. Bahkan mengontrol dan memonitor dapat diakses dengan jarak jauh baik menggunakan kabel data ataupun modem. *Module Deep Sea Elektronik 3110* dapat dilihat pada gambar 5.5 dibawah ini.





Sumber : DSE3110-Data-Sheet-USA
Gambar 5.5 Deep Sea Elektronik 3110



Dari gambar 5.5 dapat dideskripsikan tombol-tombol dan fasilitas yang ada pada modul Deep Sea 3110 yaitu:

1. *Button Select Stop/Reset Mode*,  adalah tombol yang berfungsi untuk menghapus setiap kondisi *alarm* dan menginstruksikan *circuit breaker* generator untuk membuka serta dapat untuk menghentikan generator.
2. *Button Select Auto Mode*,  adalah tombol yang berfungsi mengontrol generator secara otomatis. Modul akan memonitor input mulai jarak

jauh dan sekali permintaan awal dibuat, set akan secara otomatis dimulai dan ditempatkan pada beban.

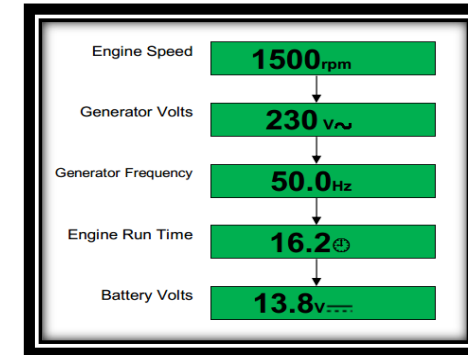
3. *Button Select Start Mode*,  adalah tombol yang berfungsi untuk menghidupkan modul secara manual.
4. *Button Select Page Mode*,  adalah tombol yang berfungsi untuk mengganti layar untuk beberapa instrument.

Adapun fasilitas lain yang ada pada *Modul Deep Sea 3110* antara lain:

1. *Common Alarm Indicator*,  berfungsi sebagai indikator alarm.
2. *Main Status Display*,  berfungsi sebagai tampilan status utama.

Main Status Display dari *Modul Deep Sea Elektronik 3110* berfungsi untuk memonitoring :

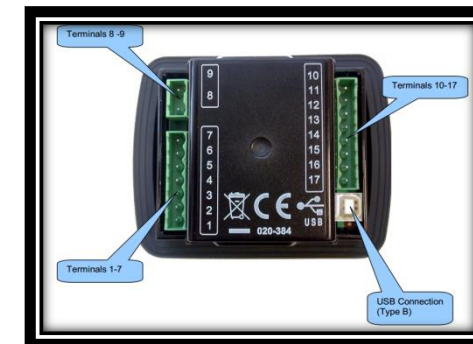
1. Putaran pada Generator (Rpm)
2. Tegangan pada Generator (Volt)
3. Frekuensi pada Generator (Hz)
4. Waktu (jam) pada saat Generator berputar
5. Tegangan pada Baterai (Volt)



Sumber : DSE3110-Data-Sheet-USA

Gambar 5. 6 Instrumen Display Deep Sea Elektronik 3110

Modul Deep Sea Elektronik 3110 mempunyai 1-17 terminal dan USB yang masing-masing mempunyai uraian sebagai berikut :



Sumber : DSE3110-Data-Sheet-USA

Gambar 5. 7 Tampak Bagian Belakang Modul Deep Sea Elektronik 3110

Tabel 5. 1 Terminal Pada Modul Deep Sea Elektronik

	PIN No	DESCRIPTION	CABLE SIZE	NOTES
-	1	DC Plant Supply Input (Negative)	2.5mm ² AWG 13	
	2	DC Plant Supply Input (Positive)	2.5 mm ² AWG 13	(Recommended Maximum Fuse 15A anti-surge) Supplies the module (2A anti-surge requirement) and all output relays
+	3	Output A (FUEL)	1.0mm ² AWG 18	Plant Supply Positive from terminal 2. 3 Amp rated.
	4	Output B (START)	1.0mm ² AWG 18	Plant Supply Positive from terminal 2. 3 Amp rated.
	5	Output C	1.0mm ² AWG 18	Plant Supply Positive from terminal 2. 3 Amp rated.
	6	Output D	1.0mm ² AWG 18	Plant Supply Positive from terminal 2. 3 Amp rated.
D + W/L	7	Charge fail / excite	2.5mm ² AWG 13	Do not connect to ground (battery negative). If charge alternator is not fitted, leave this terminal disconnected.
~	8	Generator Neutral (N) input	1.0mm ² AWG 18	Connect to generator Neutral terminal (AC)
	9	Generator L1 (U) voltage monitoring	1.0mm ² AWG 18	Connect to generator L1 (U) output (AC) (Recommend 2A fuse)
-	10	Magnetic pickup Positive	0.5mm ² AWG 20	Connect to Magnetic Pickup device
	11	Magnetic pickup Negative	0.5mm ² AWG 20	Connect to Magnetic Pickup device
+	12	Configurable digital input A	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative
	13	Configurable digital input B	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative
	14	Configurable digital input C	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative
	15	Configurable digital input D	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative
	16	Configurable digital input E	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative
	17	Configurable digital input F	0.5mm ² AWG 20	Switch to negative

Sumber : DSE3110-Data-Sheet-USA

5.1.6 Relay

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *Electromechanical* (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus

listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan Relay yang menggunakan Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan Armature Relay (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A



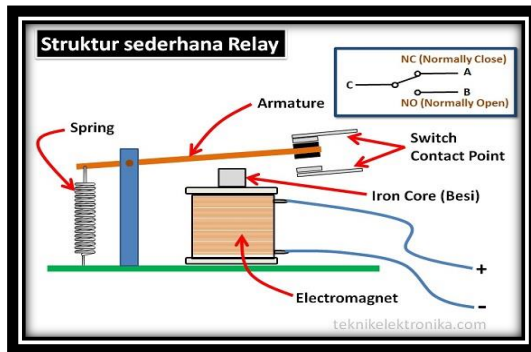
Sumber: <https://www.google.co.id/search?>

Gambar 5. 8 Relay

Pada dasarnya Relay terdiri dari 4 komponen dasar yaitu :

1. Elektromagnet (*Coil*)
2. *Armature*
3. *Switch Contact Point* (Saklar)
4. *Spring*

Gambar berikut ini merupakan gambar dari bagian-bagian Relay :



Sumber: <https://www.google.co.id/search>
Gambar 5.9 Struktur Sederhana Relay

Kontak Poin (*Contact Point*) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu :

- *Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi CLOSE (tertutup)
- *Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi OPEN (terbuka)

Berdasarkan gambar 5.9, sebuah Besi (*Iron Core*) yang dililit oleh sebuah kumparan *Coil* yang berfungsi untuk mengendalikan Besi tersebut. Apabila Kumparan *Coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya Elektromagnet yang kemudian menarik *Armature* untuk berpindah dari Posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana *Armature* tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi OPEN atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, *Armature* akan kembali lagi ke posisi Awal (NC). *Coil* yang digunakan oleh Relay

untuk menarik *Contact Poin* ke Posisi *Close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.

Beberapa fungsi Relay yang telah umum diaplikasikan kedalam peralatan Elektronika diantaranya adalah :

1. Relay digunakan untuk menjalankan Fungsi Logika (*Logic Function*)
2. Relay digunakan untuk memberikan Fungsi penundaan waktu (*Time Delay Function*)
3. Relay digunakan untuk mengendalikan Sirkuit Tegangan tinggi dengan bantuan dari Signal Tegangan rendah.
4. Ada juga Relay yang berfungsi untuk melindungi Motor ataupun komponen lainnya dari kelebihan Tegangan ataupun hubung singkat (*Short*).

5.1.7 Battery dan Automatic Battery Charger

Alat yang memiliki sumber energi kimia yang dapat menghasilkan energi listrik disebut dengan *electric cell* (sel listrik). Dan ketika beberapa sel listrik tersebut dihubungkan secara elektrik akan menjadi baterai.



Gambar 5.10 Battery 12 Volt 2 pcs

Automatic Battery Charger biasanya sebagai charger dimana alat ini mendapat suplai listrik dari sumber *ongrid* atau dari generator itu sendiri. *Battery charger* untuk mengisi energi listrik ke accu. Accu ini biasanya berkapasitas 12/24V, maka *battery charger* ini harus dapat mengisi accu sampai kapasitas tersebut.

Automatic Battery Charger adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengisi *battery* dengan tegangan konstan hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila level tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka arus pengisian akan turun secara otomatis sesuai dengan settingan dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga indikator menyala menandakan *battery* telah terisi penuh.

Didalam rangkaian *battery charger* terdapat regulator berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran agar tetap konstan, sedangkan rangkaian comparator berfungsi untuk menurunkan arus pengisian secara otomatis pada *battery* pada saat tegangan pada *battery* penuh dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga menyebabkan indikator aktif menandakan *battery* telah terisi penuh.

Automatic Battery Charger yang dipakai untuk Deep Sea Elektronik 3110 adalah yang bertegangan 24 Volt DC dengan arus 5 Ampere.



Gambar 5.11 *Automatic Battery Charger*

5.1.8 Lampu Indikator

Lampu indikator merupakan komponen yang digunakan sebagai lampu tanda. Lampu tersebut digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk lampu indikator pada panel penunjuk fasa R, S dan T atau L1, L2 dan L3. Selain itu juga lampu indikator digunakan sebagai indikasi bekerjanya suatu sistem kontrol. Misalnya lampu berwarna hijau disini digunakan sebagai tanda bahwa komponen sistem tersebut sedang bekerja atau digunakan.



Gambar 5.12 *Lampu Indikator*

5.1.9 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. *Buzzer* biasanya sering digunakan pada rangkaian anti-maling, Alarm pada jam tangan, bel rumah, peringatan mundur pada truk dan perangkat peringatan bahaya lainnya. Pada dasarnya prinsip kerja *buzzer* hampir sama dengan loud speaker, jadi *buzzer* juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet, kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara.

Buzzer ini digunakan sebagai indikator jika terjadi suatu kesalahan pada sebuah sistem. Dan *Buzzer* ini berfungsi sebagai *Alarm* untuk *under* dan *over voltage* serta ketidakstabilan *frequency*.



Sumber: <https://www.google.co.id/search>

Gambar 5.13 Bentuk Buzzer

5.2 Perancangan Sistem Proteksi di PLTMH Bintang Asih

Secara umum DSE 3110 adalah sebagai proteksi Frekuensi dan Tegangan dari Generator sebelum di alirkan ke beban (konsumen). Dengan adanya sistem proteksi ini maka peralatan dari sistem pembangkit sampai ke konsumen akan terlindungi atau dapat meminimalisasi kerusakan.

Prinsip kerja dari sistem proteksi dengan menggunakan modul Deep Sea Elektronik 3110 ini sebagai tahap awal adalah tegangan terminal yang dihasilkan oleh generator 1 fasa akan di terima oleh *Automatic Battery Charger*.

Automatic Battery Charger ini berfungsi sebagai charger dimana alat ini mendapat suplai listrik dari sumber generator itu sendiri. Selanjutnya *automatic battery charger* mengisi energi listrik ke accu. Accu ini berkapasitas 12/24V, kemudian *battery charger* ini mengisi accu sesuai kapasitasnya. Dibagian *Automatic Battery Charger* ini terdapat terminal positif (+) dan negative (-) yang akan dialirkan ke battery 12 Volt dan terminal Fasa dan Netral.

Pada sisi Negatif (-) battery 12 Volt akan terhubung dengan selector On/Off, relay, Deep Sea Elektronik 3110 (terminal 1 dan 12) dan buzzer. Sedangkan sisi Positif (+) akan terhubung dengan MCB B, lalu ke selector On/Off dan relay. lalu bagian netral akan terhubung dengan selector reset, lampu indikator dan Volt Meter. Untuk bagian fasa akan terhubung dengan Volt meter, MCB A,

lampu indikator, Ampere meter, relay, dan selector reset.

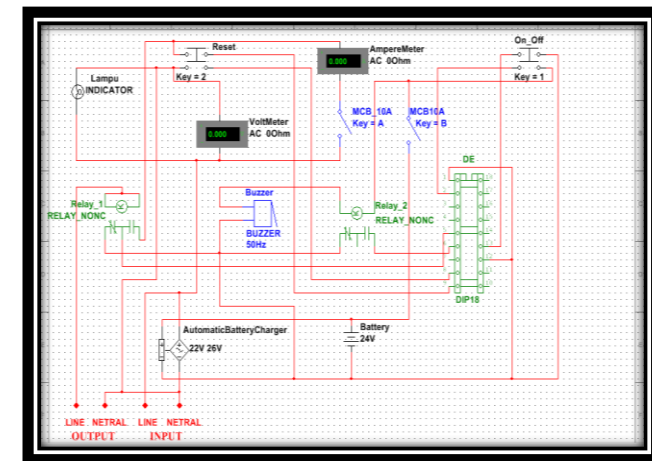
Relay merupakan saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dengan komponen *electromechanical* yang terdiri dari 2 bagian utama yakni elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

Selanjutnya relay 1 dan 2 akan terhubung dengan *buzzer* yang fungsinya sebagai alarm jika terjadi *Over* dan *Under Voltage* serta ketidakstabilan frekuensi. pada relay 2 akan terhubung dengan modul Deep Sea Elektronik 3110 di terminal 6. selanjutnya relay 1 akan terhubung dengan modul Deep Sea Elektronik 3110 pada terminal 5.

Modul Deep Sea Elektronik 3110 berfungsi sebagai proteksi kestabilan frekuensi serta *under* dan *over voltage*. Selain itu display modul DSE 3110 ini bisa memonitor : putaran pada generator (Rpm), tegangan pada generator, frekuensi pada generator, waktu (jam) pada saat generator berputar, tegangan pada *battery*.

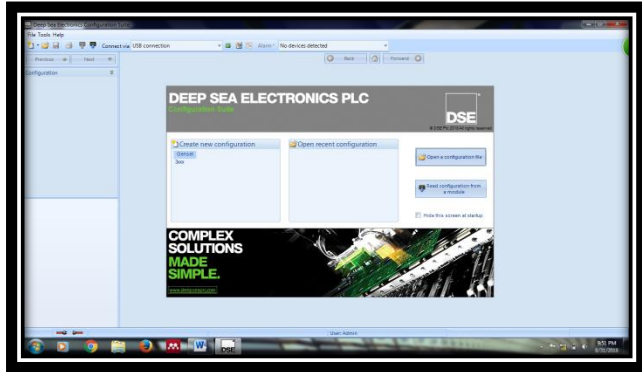
Terminal 1 dan 12 modul DSE 3110 terhubung dengan bagian Negatif (-) dari *battery*, terminal 2 terhubung dengan selector *On/Off*, terminal 5 terhubung dengan relay 1, terminal 6 terhubung dengan relay 2, terminal 8 dan 9 terhubung dengan selector *reset* dan terminal 13 terhubung dengan selector *On/Off*.

Prinsip kerja dari DSE 3110 ini akan memproteksi tegangan dan frekuensi yang telah di setting pada modul tersebut. Jika tegangan dan frekuensi tidak memenuhi syarat, maka DSE 3110 tidak akan menghantarkan tegangan dan frekuensi tersebut ke beban (konsumen).

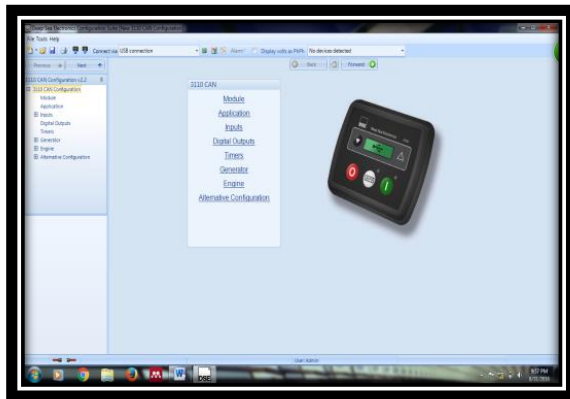


Gambar 5. 14 Rangkaian Sistem Proteksi Modul Deep Sea 3110

Tahapan pengontrolan Modul Deep Sea Elektronik 3110 adalah dengan meng-input data melalui software *DSE Configuration Suite*. Dengan *software* tersebut dapat dilakukan setting seberapa cepat Deep Sea Elektronik 3110 tersebut dapat memproteksi adanya gangguan, men-setting *Under* dan *Over Voltage* serta *Under* dan *Over Frequency*. Untuk lebih jelasnya pengontrolan *Module Deep Sea Elektronik 3110* dapat dilihat pada gambar 5.15



Gambar 5. 15 Tampilan Awal DSE Configuration Suit



Gambar 5. 16 Tampilan DSE 3110 Configuration Suite

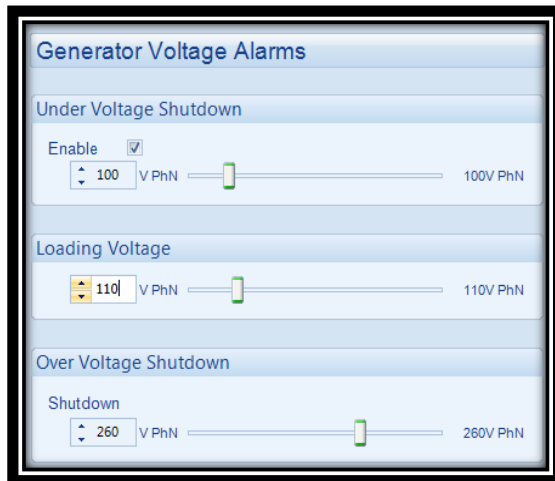
Setelah muncul Tampilan *DSE 3110 Configuration Suite* maka, pilih “Timers”, setelah itu muncul tampilan seperti gambar 5.17



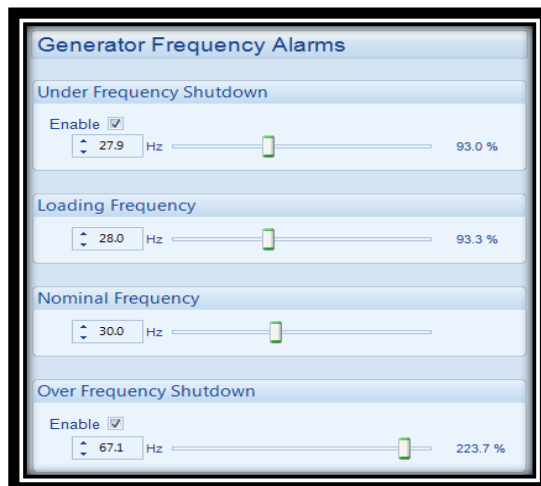
Gambar 5. 17 Pengontrolan Timers pada Modul Deep Sea Elektronik 3110

Untuk melakukan settingan seberapa cepat *Deep Sea Elektronik* memproteksi adanya gangguan maka lakukan setting pada bagian *Breaker*. Untuk PLTMH Bintang Asih dilakukan pen-settingan di 0,5s untuk *Breaker Trip Pulse* dan 0,5s untuk *Breaker Close Pulse*. Artinya jika terjadi gangguan maka selama 0,5s sistem akan memproteksi dan *Buzzer* akan berdering sebagai pengingat Operator untuk segera menuju ke panel distribusi guna meng-off-kan Modul Deep Sea 3110 demi menjaga peralatan pada sistem pembangkitan dan pembebanan.

Tahapan selanjutnya adalah pengontrolan frekuensi dan tegangan. Untuk lebih jelas sistem pengontrolan *Module Deep Sea Elektronik 3110* dapat dilihat pada gambar 5.18 dibawah ini.

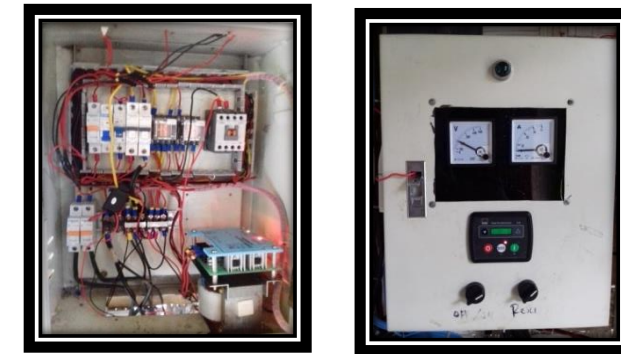


Gambar 5. 18 Pengontrolan Voltage pada Modul Deep Sea Elektronik 3110



Gambar 5. 19 Pengontrolan Frekuensi pada Modul Deep Sea Elektronik 3110s

Pengontrolan tegangan dan frekuensi dilakukan harus sesuai dengan gambar agar peralatan berjalan sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 5. 20 Hasil Pemasangan Komponen Sistem Proteksi

5.3 Prosedur Pengujian Sistem Proteksi

Setelah perancangan selesai, maka tahap selanjutnya adalah pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon panel ini setelah dirakit. Sistem proteksi ini dikatakan baik bila kerja sistemnya sesuai dengan fungsi yang direncanakan pada saat perancangan.

Berikut ini adalah langkah-langkah tahapan pengujiannya :

1. Membuka *valve* pipa, sehingga air akan masuk ke turbin dan akan menggerakkan generator.
2. Setelah generator berputar dan menghasilkan energi listrik, maka sesuaikan tegangan tersebut sesuai kebutuhan beban dengan cara mengatur *valve* pada pipa.
3. Dengan adanya tegangan yang masuk, maka tegangan tersebut akan menuju ke sistem panel distribusi berkisar antara 200-220 Volt.
4. Lalu memposisikan MCB A dalam keadaan ON, dan secara otomatis tegangan masuk ke sistem

panel distribusi, maka beban komplemen pun mulai bekerja untuk mem-backup beban sebelum beban di alirkan ke konsumen.

5. Setelah itu memposisikan *Selector ON/OFF* dalam keadaan ON, kemudian juga memposisikan *selector reset* dan dikembalikan dalam keadaan ON.
6. Menunggu respon Modul Deep Sea Elektronik 3110 yang sedang bekerja untuk memproteksi tegangan dan frekuensi yang masuk di panel distribusi.
7. Setelah Modul DSE 3110 tersebut bekerja, maka modul DSE 3110 akan menampilkan informasi tentang putaran generator (Rpm), tegangan pada generator, frekuensi pada generator, waktu (jam) pada saat generator berputar, tegangan pada *battery* pada displaynya.
8. Jika tegangan dan frekuensi sudah sesuai dengan yang diinginkan (normal), maka kita bisa memposisikan MCB B dalam keadaan ON, dan secara otomatis tegangan dan frekuensi akan menuju ke beban sehingga peralatan pada sistem pembangkit dan kerusakan pada beban akan berkurang.
9. Jika tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dari generator tidak sesuai dengan yang diinginkan (tidak normal) walaupun kita memposisikan MCB B dalam keadaan ON, maka secara otomatis juga Tegangan dan Frekuensi tidak akan masuk ke beban karena tidak sesuai settingan pada Modul DSE 3110.

10. Dan bila posisi MCB B tetap dalam keadaan ON maka *Buzzer* pun akan berbunyi untuk mengingatkan operator untuk memposisikan MCB dalam keadaan OFF serta untuk memposisikan *selector reset* dan *selector ON/OFF* dalam keadaan OFF demi menjaga peralatan pada sistem pembangkit.

5.4. Peranan Deep Sea Elektronik 3110 Sebagai Alat Proteksi

Modul Deep Sea Elektronik 3110 adalah modul yang sudah banyak dipakai untuk kebutuhan sinkron dan dapat berfungsi untuk mengatur, mengontrol, memonitor dan men-supervisi suatu sistem *back up emergency* baik dari *mains supply (ongrid)* maupun dari *standby emergency power (Generator Set)*.

Peranan Deep Sea Elektronik 3110 dalam PLTMH Bintang Asih adalah sebagai alat proteksi tegangan dan frekuensi sebelum menuju ke beban (konsumen). Apabila terjadinya beban puncak, maka sistem pembangkit akan mengalami perubahan tegangan dan frekuensi secara tiba-tiba (tidak stabil), oleh sebab itu sistem proteksi ini dibuat guna untuk melindungi peralatan yang ada pada sistem pembangkit mengingat peralatan tersebut harganya cukup mahal.

Dengan adanya sistem proteksi ini, semoga peralatan baik yang ada di sisi pembangkit, di panel distribusi maupun di bagian beban (konsumen) dapat terjaga dengan baik sehingga biaya untuk perawatan PLTMH Bintang Asih akan berkurang.



BAB VI

SISTEM DISTRIBUSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

A. Sistem Pembangkitan

Pusat pembangkit tenaga listrik (*electric power station*) biasanya terletak jauh dari pusat-pusat beban di mana energi listrik digunakan. Pembangkitan energi listrik, biasanya menggunakan sistem tenaga penggerak energi listrik seperti : Tenaga Uap (PLTU), Tenaga Panas Bumi, Tenaga Gas (PLTG), Tenaga Diesel (PLTD), Tenaga Nuklir (PLTN), Tenaga Air (PLTA) dan lain-lain.

B. Sistem Transmisi

Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi menuju gardu induk (GI). Oleh karena itu dalam penyaluran tenaga listrik yang dibangkitkan diperlukan kawat-kawat atau saluran transmisi. Karena tegangan yang dibangkitkan oleh generator pada umumnya rendah, maka tegangan ini biasanya dinaikkan dengan pertolongan transformator daya ke tingkat yang lebih tinggi antara 30 KV-500 KV (negara-negara maju sudah ada yang mencapai 1 MV).

Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini, selain untuk memperbesar daya hantar dari saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan pada gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah, misalnya dari 500 KV ke 150 KV, atau dari 150 KV ke 70 KV. Kemudian penurunan kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 KV ke 20 KV atau dari 70 KV ke 20 KV.

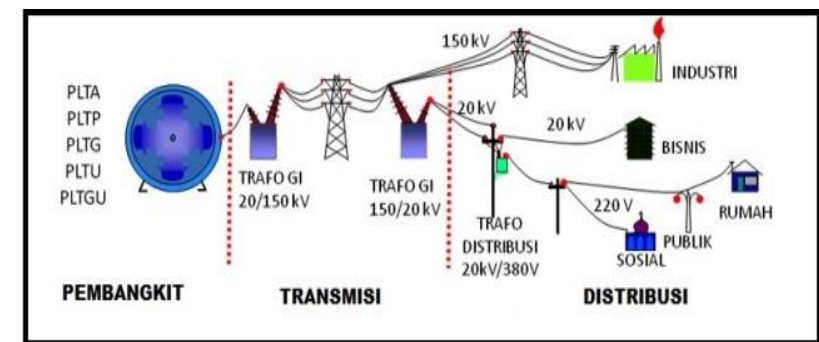
C. Sistem Distribusi

Energi listrik dari gardu-gardu induk akan disalurkan oleh sistem distribusi sampai kepada konsumen. Melalui jaringan distribusi tegangan 20 KV, sistem jaringan distribusi tegangan 20 KV ini disebut tegangan distribusi primer, sedang untuk tegangan rendah sebesar 110V/220V/380V. Ketiga bagian utama

(pembangkitan, transmisi, dan distribusi) tersebut menjadi bagian penting dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energy listrik kepada konsumen.

D. Beban

Beban adalah peralatan listrik pada sisi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.



Gambar 6. 1 Sistem Tenaga Listrik

6.1 Jaringan Distribusi Sistem Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik.

1) Gardu Induk (GI)

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dan umumnya terletak di

pingiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.

2) Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala corona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya,

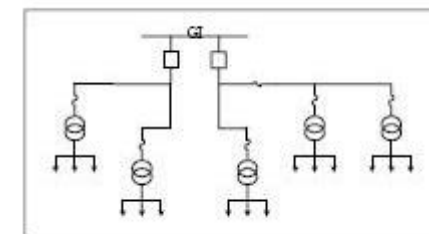
terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia industri.

Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen.

Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

a) Sistem Radial

Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 6.2 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 6. 2 Konfigurasi Jaringan Radial

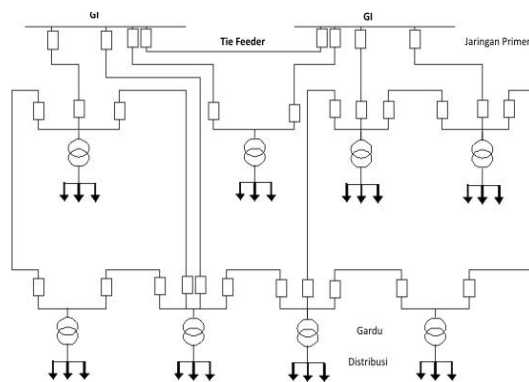
Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat di mana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan di atas tiang.

Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

b) Sistem Hantaran Penghubung (Tie Line)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 6.3 umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).



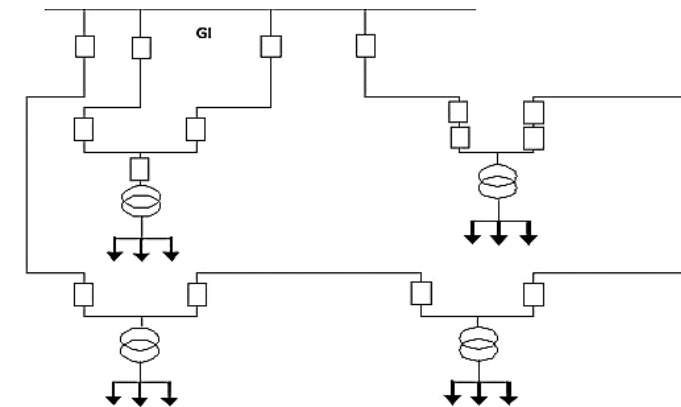
Gambar 6.3 Konfigurasi Tie Line (Hantaran Penghubung)

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over*

Switch/Automatic Transfer Switch, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

c) Sistem Loop

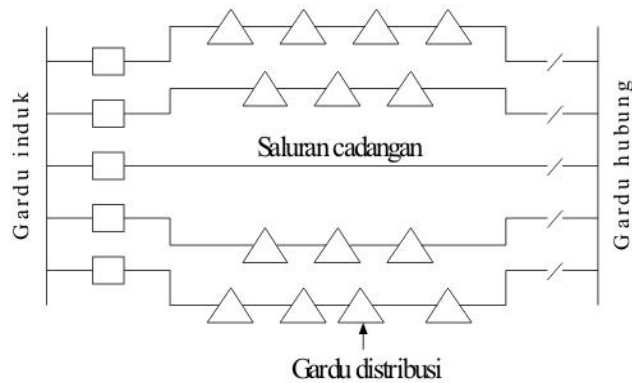
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar 6.4 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 6.4 Rekonfigurasi Jaringan Loop

d) Sistem Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 6.5 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang(feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 6.5 Konfigurasi Sistem Spindel

Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

3) Gardu Distribusi atau Trafo Distribusi

Gardu distribusi (Trafo distribusi) berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi

sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada transformator distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Gardu distribusi (trafo distribusi) dapat berupa transformator satu fasa dan juga berupa transformator tiga fasa.

4) Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 380/220 V untuk sistem baru. Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

A. Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk negara Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran energi listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

B. Tegangan Rendah (TR)

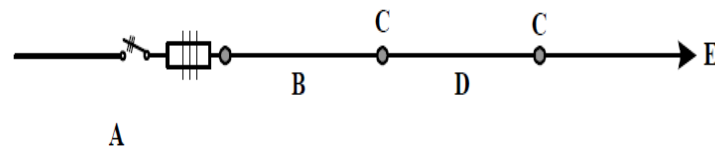
Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai di bawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi

netral. Indonesia sendiri menggunakan tegangan rendah 380/220 V di mana tegangan 380 V merupakan besar tegangan antarfasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa-netral.

Tegangan 20 KV disebut tegangan distribusi primer, sedangkan untuk tegangan rendah sebesar 110V/220V/380V. Jaringan listrik tegangan rendah menurut penaikan dan pengisian tegangan ada 2 buah macam, yaitu:

1. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung.

Jaringan distribusi tegangan rendah langsung yaitu Jaringan distribusi tegangan rendah yang ditarik dan diisi tegangan langsung dan pembangkit tenaga listrik tanpa melalui transformator. Adapun cara pemasangan sistem Jaringan distribusi tegangan rendah langsung seperti terlihat pada gambar 6.6 dibawah ini:



Gambar 6.6 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung

Keterangan:

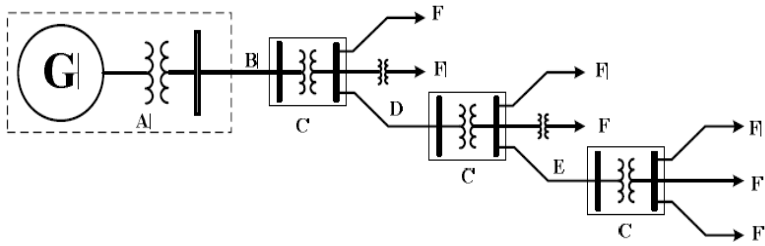
- A : Pemutus dan Pengaman Tegangan 220/380 V
- B : Kabel Tanah Tegangan Rendah.
- C : Tiang Jaringan
- D : Kawat Jaringan Konsuraen.
- E : Pemakai / Konsumen

Tegangan Jaringan tersebut biasanya hanya menghasilkan kapasitas kecil dan digunakan untuk keperluan lokal.

2. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Tak Langsung.

Jaringan distribusi tegangan rendah tak langsung adalah jaringan distribusi tegangan rendah yang ditarik dan diisi dengan tegangan setelah melalui suatu transformator penaik tegangan (*step up*). Generator yang ada dipembangkit tenaga listrik biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6 - 20 KV yang kemudian dengan transformator tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150 - 500 KV.

Saluran tegangan tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima selanjutnya tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan subtransmisi 70 KV pada gardu induk (GI) tenaga listrik yang diterima kemudian disalurkan menuju transformator distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 KV. Melalui transformator distribusi yang tersebar di berbagai pusat-pusat beban, tegangan primer ini kemudian diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai/konsumen. Bentuk secara diagram blok dapat diperjelas seperti gambar 6.7.



Gambar 6. 7 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Tidak Langsung

Keterangan :

- A. Pembangkit tenaga listrik (Generator, Transformator Step Up)
- B. Saluran Tegangan Tinggi (STT), yaitu Tegangan 150 - 500 KV
- C. Gardu Induk (GI)
- D. Saluran Sutransmisi (SST) yaitu 70 KV
- E. Saluran Distribusi Primer (SDP) yaitu Tegangan Menengah 20 KV.
- F. Beban
- G. Generator

6.2 Permasalahan Pada Jaringan Distrbusi Tegangan Rendah

Dalam distribusi tegangan rendah ada beberapa permasalahan-permasalahan yang sering timbul. pendistribusian yang timbul pada aliran tenaga listrik dapat menyebabkan terganggunya aliran daya listrik.

6.2.1 Susut Energi Listrik

Susut energi adalah bekuranganya pasokan energi listrik yang dikirim oleh sumber pengirim kepada konsumen/beban. Dalam hal ini pihak penyedia tenaga

listrik mengalami kerugian yang besar. Susut daya jaringan listrik yang biasanya terjadi dalam sistem transmisinya hal ini dinyatakan dalam persamaan:

Dalam jarak pendek

$$P_L = 3 I^2 R L \dots \dots \dots (6.1)$$

Keterangan:

P_L = hilang daya (watt)

R = tahanan kawat per fasa (Ω /Km)

L = panjang saluran (Km)

Sedangkan untuk mengetahui besarnya nilai susutdaya listrik dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_L = P_s - P_R \dots \dots \dots (6.2)$$

Keterangan :

P_L = daya yang hilang (KW)

P_s = daya yang dikirim (KW)

P_R = daya yang diterima (KW)

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial yang dihadapi oleh PLN dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (totally black out). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang di antaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik.

Persoalan ini meliputi profil tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan. Ketika kontinuitas pasokan masih merupakan persoalan, hal-hal yang berkaitan dengan persoalan kualitas daya untuk sementara dapat "diabaikan" yang kemudian mengherankan adalah

ketika data di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit yang tersedia lebih dari cukup untuk memikul beban yang ada.

Kesimpulan yang sementara bisa ditarik adalah bahwa terjadi susut daya yang cukup besar di jaringan. Kesimpulan ini diperkuat dengan data di lapangan bahwa susut daya di jaringan cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan. Kerugian finansial akibat susut daya ini merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan. Ada beberapa persoalan yang menyebabkan terjadinya penyusutan daya antara lain penyusutan daya listrik secara teknis dan penyusutan daya listrik secara non teknis.

A. Penyusutan Daya Secara Teknis.

Penyusutan secara teknis biasanya disebabkan adanya kesalahan pada sistem kelistrikannya antara lain :

- 1) Adanya kerusakan pada peralatan mekanik listrik yang berada di Pembangkit ataupun PLN antara lain :
 - Kerusakan yang terjadi pada peralatan mekanik yang berada di pusat pembangkit seperti: kerusakan pada generator, turbin, kincir air dan sebagainya.
 - Kerusakan yang terjadi pada jaringan transmisi seperti terlalu jauhnya jarak pembangkit dari konsumen dan terjadi kerusakan pada saluran kabelnya.
 - Adanya pemakaian peralatan dan konstruksi jaringan (komponen) yang tidak memenuhi syarat

atau sudah berumur sehingga menimbulkan kerusakan pada peralatan.

- Kerusakan pada peralatan komponen pendukung jaringan seperti kerusakan pada alat ukur.
- 2) Kesalahan manusia atau *human error*, sebagai akibat dari :
 - Kesalahan yang terjadi pada PLN yaitu kesalahan dalam pembacaan alat ukur.
 - Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan penyambungan kawat penghantar atau penyadapan dan pemasangan sepatu kabel yang kurang baik, dimana nilai tahanan (R) pada titik sambungan atau penyadapan dan sepatu kabel menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya.
 - Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan pemasangan atau pemeliharaan jaringan yang kurang baik. Kondisi penghantar, isolator, tiang listrik, jarak aman dan sebagainya tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan sehingga kemungkinan terjadinya kebocoran arus, korona yang melebihi batas standar sampai terhentinya pasokan tenaga listrik akan menjadi cukup besar.
 - Adanya pemakaian bahan alat listrik yang kurang baik atau tidak memenuhi standar sehingga memudahkan alat yang dipergunakan cepat rusak atau dapat menimbulkan impedansi yang lebih tinggi.
 - Adanya pemakaian konstruksi jaringan dan peralatannya (komponen) yang tidak memenuhi syarat sehingga dapat menimbulkan kerugian.

B. Penyusutan Daya Secara Non Teknis

Penyusutan daya secara non teknis disebabkan oleh adanya kesalahan di luar sistem kelistrikannya antara lain :

- Bencana alam seperti : Banjir, gempa, angin topan dll.
- Kondisi fisik, psikis dan religi SDM.
- Kondisi sarana dan prasarana pekerjaan.
- Kondisi pengetahuan dan ketrampilan.
- Adanya kesalahan yang dilakukan oleh konsumen seperti pencurian daya dan penggunaan energi listrik secara sembarangan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya dilakukan di sisi pembangkitan dan juga di pihak PLN antara lain :

- a) Pihak Pembangkit dan gardu induk melakukan:
 - Program perbaikan sambungan, sadapan, sepatu kabel dan kawat/ penghubungnya pada instalasi jaringan.
 - Program pemeliharaan/ perbaikan trafo (bergaransi).
 - Program pembebanan trafo dan perubahan tap trafo.
 - Program pemasangan kapasitor shunt pada sisi sekunder trafo daya dan pada penyulang (feeder) pada jaringan.
 - Program penjadwalan optimal pembangkit beserta peralatannya secara berkala.
- b) Pihak PLN, melakukan hal-hal sebagai berikut:

- Melakukan alokasi optimal daya reaktif untuk menekan rugi-rugi daya penyaluran dan mempertahankan profil.
- Melakukan pengaturan optimal aliran daya listrik (optimal power flow) untuk menurunkan rugi daya penyaluran.
- Mengoptimalkan kapasitas pembangkitan.
- Program perubahan tegangan rendah (PTR) dari tegangan 110/127 V menjadi 220/380 V, di mana pada daya yang sama arus beban akan menjadi lebih kecil.
- Program perbaikan faktor kerja (cos phi) beban menjadi 0,9. Dengan faktor kerja 0,9 pada daya yang sama arus akan menjadi lebih kecil dibanding beban yang mempunyai faktor kerja kurang dari 0,9.
- Program pemilihan komponen peralatan yang berkualitas dan tepat guna.
- Program pemasangan trafo sesopon dan tindak lanjutnya.
- Program pemeliharaan peralatannya secara berkala.
- Melakukan pengecekan pada jaringan instalasi listrik kepada konsumen.

Selain upaya yang dilakukan pada sisi pembangkitan dan PLN ada juga beberapa upaya lain yang tidak kalah penting untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya-upaya tersebut berada pada titik

konsumen atau beban, di antarlain upaya tersebut adalah:

1. Menggunakan daya listrik untuk keperluan rumah tangga secara efisiensi serta memenuhi standart dan ketentuan yang diberikan PLN.
2. Tidak melakukan pemakaian energi listrik secara tidak sah (mencuri).

6.2.2 Drop Tegangan

Jaringan tegangan rendah yang terlalu panjang akan menimbulkan drop tegangan, di mana selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima . Masyarakat yang berada di daerah yang jauh dari kabel utama distribusi cenderung menerima tegangan yang nilainya lebih kecil dari pada di daerah yang dekat dengan kabel utama distribusi. Menurut SPLN 1:1995, toleransi tegangan Saluran Pelayanan (SP) adalah +5%. dari tegangan standar tegangan rendah pada sisi pangkal dan -10% pada sisi ujung.

Hal ini terjadi akibat besar arus yang mengalir di sepanjang kabel pilin tegangan rendah (*Low Voltage Tweested Cable* = LVTC) tidaklah sama, karena beban hanya mengalir pada titik-titik penghubung kabel distribusinya saja. Jadi dapat dikatakan bahwa besar arus pada titik yang mengalir pertama lebih besar dari besar arus di tiang kedua dan seterusnya semakin kecil hingga tiang terakhir. Sementara besarnya rugi-rugi yang terjadi di sepanjang jaringan adalah kuadrat arus dikali tahanan total kabel jaringan. Karena besar arus berbeda-beda di sepanjang jaringan, maka sangat sulit

menghitung drop tegangan keseluruhan dari kawat tersebut. Akibat dari beban terdistribusi tidak merata, panjang saluran penghantar terlalu jauh, maka jumlah ketiga arus phasa tidak lagi sama dengan nol, karena beban tidak setimbang sehingga pada kawat netral akan timbul arus yang mengalir dari penghantar netral ke elektronnda bumi (*grounding rod*), sehingga timbul drop tegangan pada saluran penghantar dan rugi-rugi daya pada penghantar tersebut.

Keterangan :

V_d = jatuh tegangan (volt)

V_s = tegangan penerima dari sumber (Volt)

V_r = tegangan penerima di sisi sumber (volt)

Drop tegangan terjadi pada saluran adalah

Keterangan :

ΔV = drop tegangan (Volt)

I = Arus (ampere)

L = panjang saluran (m)

ρ = tahanan jenis (rho)

$\cos \phi$ = faktor daya

A = luas penampang

Untuk jaringan distribusi tegangan rendah nilai reaktansi kecil sehingga diabaikan. Dalam hal ini kabel *Twisted Insulate Cable* resistansi penghantarnya dengan mengacu pada SPLN 42-10:1993.

Untuk menentukan efisiensi regulasi tegangan pada beban sistem turbin air PLTMH dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta_{sistem} = \frac{P_g}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots(6.5)$$

Sedangkan regulasi tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots\dots\dots(6.6)$$

Keterangan:

V_s = Tegangan ujung pengirim (volt)

V_r = Tegangan ujung penerima (volt)

6.2.3 Rugi-rugi pada penghantar

Rugi rugi pada penghantar tidak dapat dihilangkan karena setiap penghantar mempunyai nilai tahanan jenis yang menyebabkan adanya daya terserap pada penghantar. Besarnya rugi-rugi energi pada penghantar tersebut di tentukan dengan rumus :

Dan kerugian energi dihitung setiap jam, maka besarnya adalah:

$$P_c = I^2 \times R \times L \times H \text{ (Watt hours)} \dots\dots\dots (6.8)$$

Keterangan :

P_c = rugi-rugi pada energi (Watt)

$P_c H$ = rugi energi listrik (kWh)

I = arus yang mengalir pada penghantar (ampere)

R = tahanan murni pada penghantar (ohm)/Km

L = panjang penghantar (Km)

H = waktu/jumlah jam

6.2.4 Karakteristik Jaringan Distribusi

Untuk daya yang sama, maka daya yang digunakan untuk menyalurkan akan naik dikarenakan rugi-rugi transmisi turun apabila tegangan transmisi ditinggikan. Namun, peninggian tegangan transmisi berarti juga menaikkan isolasi dan biaya peralatan dan gardu induk.

Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (reliability), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada. Di Indonesia, pemerintah telah menyeragamkan deretan tegangan tinggi sebagai berikut:

Tegangan nominal (KV) : (30) - 66 - 150 - 220 - 380 - 500. Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (KV): (36) - 72,5 - 170 - 245 - 420 - 525.

Tegangan nominal 30 KV hanya diperkenankan untuk daerah asuhan di mana tegangan distribusi 20 KV tidak dipergunakan. Penentuan deretan tegangan di atas disesuaikan dengan rekomendasi *International Electrotechnical Commission* (IEC). Menurut TIM PLN (SPLN 12/1978) Sistem jaringan distribusi tenaga listrik harus memenuhi karakteristik sebagai berikut :

1. Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun hal-hal yang direncanakan. Biasanya kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak

dikehendaki mengalami pemadaman sekalipun dalam waktu yang relatif singkat.

2. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi: kapasitas daya yang memadai, tegangan yang selalu konstan dan frekuensi yang selalu konstan untuk arus bolak-balik.
3. Luasan dan penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang. Khususnya untuk sistem tiga fasa, faktor keseimbangan atau kesimetrisan beban pada masing-masing fasa juga perlu diperhatikan.
4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban. Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kesatuan beban yang sesaat, tetapi perlu diperhitungkan pula secara teliti kemungkinan pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi dalam hal perluasan jaringan yang harus dilayani.
5. Kondisi dan situasi lingkungan, faktor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasinya, tata letaknya dan pertimbangan dari segi estetika atau keindahannya.
6. Pertimbangan ekonomi, faktor ini menyangkut perhitungan atau untung ruginya ditinjau dari segi ekonomis dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

Sedangkan menurut TCM PLN 1978 (SPLN 12/1978 : 6) sistem jaringan distribusi tenaga listrik

untuk 20 KV tiga fasa empat kawat mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

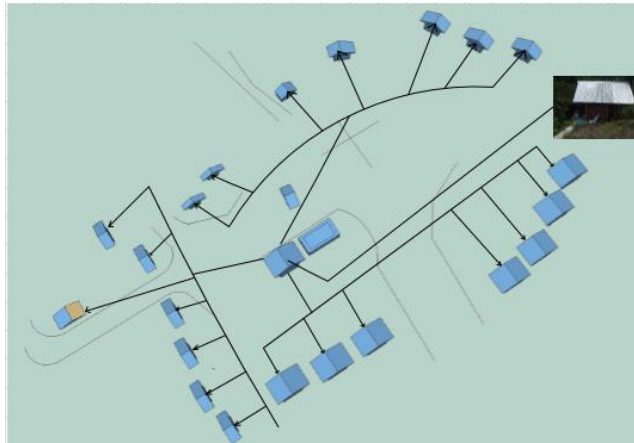
1. Netral yang ditanahkan disepanjang jaringan
2. Dilakukan pentanahan langsung
3. Pentanahan dilakukan di sepanjang jaringan
4. Penghantar netral yang ada merupakan penghantar jaringan tegangan menengah maupun penghantar netral jaringan tegangan rendah.
5. Transformator menggunakan transformator 1 fasa yang dihubungkan antara fasa dan netral bersama sehingga kebutuhan akan aliran tiga fasa dipenuhi oleh susunan tiga fasa. Transformator distribusi satu fasa lebih praktis dan dipasang dengan 4 saluran penghantar, pada sisi kumparan sekunder dapat dihubungkan seri paralel, yang berfungsi untuk memperoleh tegangan 220 Volt/ 380 Volt. Dewasa ini hubungan dari seri paralel maupun seri pada sisi sekunder transformator distribusi satu fasa dilakukan dalam tangki transformator.

Dengan demikian karakteristik jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan itu mempunyai kontinuitas dan kualitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, netral dan pentanahan yang dilakukan disepanjang jaringan, hubungan transformator distribusi secara praktis dan dipasang dengan 4 saluran penghantar, pada sisi kumparan sekunder dapat dihubungkan seri paralel, yang berfungsi untuk memperoleh tegangan 220/380 Volt serta memperhatikan kondisi dan situasi lingkungan

dan pertimbangan ekonomi dalam hal pengembangan jaringan distribusi.

6.3 Sistem Distribusi Pada PLTMH Bintang Asih

Jaringan distribusi pada PLTMH Bintang Asih berada dalam kategori jaringan distribusi tegangan rendah langsung. Hal ini disebabkan daya keluaran pembangkit tersebut hanya pada kisaran 5 - 10 KW. Perencanaan yang dilakukan dalam mensuplai energi listrik kepada konsumen hanya menggunakan tiang-tiang kayu dari *power house* sampai ke pemukiman penduduk.



Gambar 6. 8 Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada PLTMH Bintang Asih



Gambar 6. 9 Pemasangan Sistem Distribusi di Bintang Asih



BAB VII

ASPEK SOSIAL DAN EKONOMI PEDESAAN

Potensi sumber daya alam yang dimiliki Dusun Bintang Asih cukup memadai bila dikembangkan dengan baik. Aliran air sungai yang tetap sepanjang tahun dapat dimanfaatkan untuk pembangkit mikrohidro guna memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat dusun tersebut.

Hal ini juga dapat mendukung roda perekonomian penduduk setempat, dengan tumbuhnya industri gula merah skala kecil yang diproduksi pada malam hari, agar tidak mengganggu aktivitas pada siang hari dalam berkebun dan berladang maupun bekerja sebagai buruh pada perkebunan sawit dan karet milik pengusaha – pengusaha yang ada di wilayah tersebut.

7.1 Aspek Pendidikan

Terbangunnya PLTMH Bintang Asih dengan kapasitas 5 kW saat ini secara langsung berdampak positif pada aspek pendidikan dan komunikasi. Sebelum

adanya pembangkit tersebut anak-anak usia sekolah harus belajar menggunakan lampu minyak tanah.

Namun saat ini semua warga Bintang Asih sudah mendapat fasilitas penerangan yang cukup memadai pada malam hari dan siang hari. Sehingga dapat menumbuhkan semangat belajar juga meningkatkan mutu pembelajaran mereka.

Selanjutnya warga Bintang Asih juga dapat memperoleh informasi melalui media televisi baik pada siang hari maupun malam hari dengan cepat, sehingga dapat menambah ilmu pengetahuan dan mampu mengikuti perkembangan teknologi yang ada. Di samping hal tersebut pola pikir masyarakat juga pasti akan berubah seiring perkembangan informasi di era digital saat ini.



Gambar 7.1 Warga Sedang Menonton Televisi

7.2 Aspek Manajemen Listrik Pedesaan

Dalam tata kelola PLTMH Bintang Asih dilakukan berdasarkan prinsip manajemen terbuka, dimana iuran yang dikumpulkan oleh ketua STM setiap bulan akan di

publikasikan melalui mading Musala Al-Ikhsan yang selanjutnya akan digunakan sebagai biaya perawatan. Tidak hanya itu mereka juga bekerjasama dengan tim pakar Perguruan Tinggi untuk melakukan kegiatan pelatihan terkait PLTMH, meliputi: pelatihan instalasi, perawatan dan pemanfaatan PLTMH, pelatihan pemasangan instalasi rumah tinggal sederhana serta pelatihan pengelolaan keuangan PLTMH.

Hal ini bertujuan agar warga mampu mengatasi sendiri permasalahan-permasalahan yang timbul pada saat PLTMH dioperasikan. Memberikan pengetahuan tentang perawatan PLTMH merupakan hal yang paling penting agar peralatan berumur panjang serta menumbuhkan rasa memiliki yang tinggi dari warga setempat. Selanjutnya juga memberikan informasi agar selalu menjaga keseimbangan alam di sekitar pembangkit agar sumber air tetap sepanjang tahun.



Gambar 7.2 Sosialisasi Manajemen PLTMH



Gambar 7.3 Power House PLTMH Bintang Asih

DAFTAR PUSTAKA

- Kemenkumham, *PP No. 5 Tahun 2006: Kebijakan energi nasional*. 2006.
- A. Subandono, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *ADITYA - Pendidik. Bhs. dan Sastra Jawa*, vol. 10, no. 4, pp. 1-13, 2013.
- A. M. Kurniawan, P. T. Juwono, and S. Marsudi, "Studi Kelayakan Perencanaan Pltmh Di Saluran Turitunggoro Pada Bendung Gerak Mrican Kediri," *Pengairan.Ub.Ac.Id*.
- Slamet, "Pengendali Beban Elektronik Tiga Fasa Menggunakan Mikro Kontroler Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH)," *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, vol. 11, no. 1, pp. 67-80, 2012.
- E. Nw, "Perencanaan Optimal Sistem Kontrol AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan Algoritma Genetik," pp. 1-11.
- K. K. Frekuensi, "Stabilisasi frekuensi dengan metoda histerisis," *J. Siliwangi*, vol. 2, no. 2, pp. 114-120, 2016.
- M. Effendy, "Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi perubahan tegangan generator pada saat t erjadi perubahan beban konsumen . Keluaran dari rangkaian berupa tegangan DC .," vol. 8, no. September, pp. 154-162, 2012.

TENTANG PENULIS

- J. E. T. Pioh, L. S. Patras, and I. F. Lisi, "Pengendalian Motor Listrik Dari Jarak Jauh Dengan Menggunakan Software Zelio Soft 2," *E-Journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 77-88, 2016.
- [9] T. Anggraini, "Pengendalian Beban Generator Otomatis Berbasis PLC dan SCADA dengan Mempertimbangkan Arus pada Konsumen," *Padang*, 2015.
- Z. P. Teguh Eko Prasetyo, "Studi Proteksi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Silau 2 Tonduhan Kabupaten Simalungun," *Stud. Prot. Pada Pembangkit List. Tenaga Minihidro Silau 2 Tonduhan Kabupaten Simalungun*, vol. 2, no. 3, pp. 113-118, 2013.
- A. M. S. Saragih, "Studi Pemodelan Electronic Load Controller Sebagai Alat Pengatur Beban Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro," *Stud. Pemodelan Electron. Load Controll. Sebagai Alat Pengatur Beban Pembangkit List. Tenaga Mikro-Hidro*, 2008.
- T. Awad, M. R. Kirom, and R. F. Iskandar, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Distribusi Daya Berbasis Electronic Load Controller (ELC) Pada Genset 1200 Watt," 2014.
- P. N. Sriwijaya, "Dasar-Dasar Sistem Proteksi," in *Dasar-Dasar Sistem Proteksi*, 2010, pp. 8-29.



Rimbawati merupakan anak seorang petani dari Kualuh Hilir yang lahir pada tanggal 13 April 1975. Berbekal semangat dan tekad yang kuat pada tahun 1998 berhasil meraih gelar sarjana Teknik (S1) dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta meraih gelar Magister Teknik dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2007. Awal berkarir penulis adalah seorang guru di SMK Dwi Sejahtera Pekanbaru tahun 1999.

Namun sejak tahun 2010 telah mengabdikan diri sebagai Dosen pada Prodi Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Saat ini penulis juga aktif dalam LSM lingkungan hidup, terutama yang berkaitan dengan pengelolaan sampah, pelestarian ekosistem serta air bersih bagi warga masyarakat yang berada di wilayah-wilayah terpencil dengan mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.



GLOSARIUM

Biomasa	: Senyawa organik yang berasal dari tanaman budidaya, alga, dan sampah organik
Distamben	: Dinas pertambangan dan energi
<i>Elevasi</i>	: Ketinggian suatu tempat terhadap daerah sekitarnya
Fluksi magnetic	: Ukuran atau jumlah medan magnet B yang melewati luas penampang tertentu
Fluktuasi	: Ketidaktepatan atau guncangan
Fasa	: Bagian dari instalasi listrik yang mengandung tegangan
Gardu Induk	: Sud sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik
Koil	: Gulungan kawat yang mengatur arus tegangan listrik yang berasal dari sumbernya
Mikrohidro	: Suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (<i>head</i>) dan jumlah debit air
NYAF	: Kabel jenis fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. dipakai untuk



INDEKS

instalasi panel yang membutuhkan fleksibilitas tinggi

Ohmmeter : Alat untuk mengukur resistansi listrik

Radial : Berkenaan dengan sinar atau seperti sinar

Solenoid : Salah satu jenis kumparan terbuat dari kabel panjang yang dililitkan secara rapat dan dapat diasumsikan bahwa panjangnya jauh lebih besar daripada diameternya

Switchgear : Adalah panel distribusi yang mendistribusikan beban kepanel-panel yang lebih kecil kapasitasnya

Torsi : Torsi adalah ukuran kemampuan turbin untuk melakukan kerja

Turbin : Sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida

Vortex : Aliran cairan yang berputar dan biasanya turbulen

<hr/> A <hr/>	<hr/> K <hr/>
Arismunandar · 38	Kaplan · 37
Aritmatik · 47	Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Indonesia · 10
<hr/> B <hr/>	Koil · 60
Biomasa · 10	<hr/> L <hr/>
Buzzer · 87, 92, 96	LVTC · 115
<hr/> D <hr/>	<hr/> M <hr/>
Dioda Bridge · 55	MCB · 57, 75, 76, 77, 88, 94, 95, 96
Distamben · 11	Mikrohidro · 12, 15, 24, 38, 40, 42, 70, 128, 130
<hr/> E <hr/>	Mosonyi · 30
Elektromekanis · 53, 75	<hr/> N <hr/>
Elevasi · 28, 32, 36	NYAF · 67
EMAW · 32	<hr/> O <hr/>
<hr/> F <hr/>	Ohmmeter · 74
Fasa · 86, 88, 106, 110, 119, 120	<hr/> P <hr/>
Fluktuasi · 42, 71	Parameter · 25, 34, 35, 42
<hr/> G <hr/>	Penche · 25, 30, 31
Gardu Induk · 100, 101, 104, 109	PLC · Iv, V, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 54, 58, 59, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 129
Generator · 37, 40, 78, 79, 88, 96, 108, 109, 129	PLTMH · 12, 14, 15, 16, 19, 22, 26, 27, 37, 40,
<hr/> H <hr/>	
Harmonik · 44	
Head Tank · 28	

41, 43, 50, 52, 55, 61,
63, 64, 65, 66, 67, 70,
88, 92, 96, 116, 121,
124, 125, 126, 127, 128

R

Ramos · 32, 33

S

Schneider · 49, 51

Settling Basin · 26, 28

Solenoid · 47, 53, 76

Spellman · 33

STT · 108, 109

Switchgear · 37

T

Tie Line · 103

Torsi · 42, 70

Tranduser · 46

Transmisi · 71, 98, 99,
100, 101, 111, 118, 132

U

USBR · 30, 34, 35

V

Valve · 31, 48, 63, 94

Varshney · 30

Vortex · 29, 31

W

Weiran · 26

PEMANFAATAN ENERGI BARU & TERBARUKAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, dengan cara memutar turbin untuk menggerakkan generator guna menghasilkan daya listrik. Penerapan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di desa-desa pada umumnya masih belum banyak didukung dengan sistem perencanaan yang baik. Buku ini memberikan gambaran teknis terkait penerapan PLTMH, dimulai dari perencanaan dalam studi kelayakan dengan mempertimbangkan potensi sumber daya alam dan sumber daya air yang tersedia di Desa Rumah Sumbul. Peran serta masyarakat sangat penting dalam pengoperasian PLTMH sebagai ujung tombak pemanfaatan. Semangat gotong royong untuk keluar dari permasalahan penyediaan energi terus disosialisasikan agar dampak positif dapat dirasakan oleh warga masyarakat. Keberadaan PLTMH Bintang Asih UMSU diharapkan membawa manfaat bagi 150 jiwa warga Rumah Sumbul.

Tentang Penulis



Rimbawati anak seorang petani dari Kualuh Hilir, lahir 13 April 1975. Berbekal semangat dan tekad yang kuat pada tahun 1998 berhasil meraih gelar sarjana Teknik (S1) dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta meraih gelar Magister Teknik dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2007. Awal berkarir guru di SMK Dwi Sejahtera Pekanbaru tahun 1999. Namun sejak

2010 mengabdikan sebagai dosen Prodi Teknik Elektro UMSU. Kini, penulis aktif dalam LSM lingkungan hidup, terutama berkaitan pengelolaan sampah, pelestarian ekosistem serta air bersih bagi warga masyarakat yang berada di wilayah-wilayah terpencil dengan mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3
Medan, Sumatera Utara
Website: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
Email: umsupress@umsu.ac.id

