

**LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**PEMETAAN POTENSI DAN PEMANFAATAN HYBRID ENERGI
TERBARUKAN DALAM MENUNJANG TERWUJUDNYA DESA MANDIRI
ENERGI DI PROPINSI GORONTALO**

Ervan Hasan Harun, ST.,MT / NIDN : 0025117408
Jumiati Ilham,ST.,MT / NIDN : 0017107504

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
SEPTEMBER 2014

**LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**PEMETAAN POTENSI DAN PEMANFAATAN HYBRID ENERGI
TERBARUKAN DALAM MENUNJANG TERWUJUDNYA DESA MANDIRI
ENERGI DI PROPINSI GORONTALO**

Ervan Hasan Harun, ST.,MT / NIDN : 0025117408
Jumiati Ilham, ST.,MT / NIDN : 0017107504

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
SEPTEMBER 2014

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Kegiatan : PEMETAAN POTENSI DAN PEMANFAATAN HYBRID ENERGI TERBARUKAN DALAM MENUNJANG TERWUJUDNYA DESA MANDIRI ENERGI DI PROPINSI GORONTALO

Peneliti / Pelaksana
Nama Lengkap : ST. ERVAN HASAN HARUN MT
NIDN : 0025117408
Jabatan Fungsional :
Program Studi : Teknik Elektro
Nomor HP : 081340079282
Surel (e-mail) : ervanharun@ung.ac.id

Anggota Peneliti (1)
Nama Lengkap : JUMIATI ILHAM ST., MT
NIDN : 0017107504
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Gorontalo
Institusi Mitra (jika ada) :
Nama Institusi Mitra :
Alamat :
Penanggung Jawab :
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 30.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp. 148.935.000,00

Mengetahui,
Dean Fakultas Teknik



(Drs. Suleman Dangkoa, M.Hum (pjs))
NIP/NIK 196212091987031003

Gorontalo, 23-9- 2014
Ketua Peneliti,

(ST. ERVAN HASAN HARUN MT)
NIP/NIK 197411252001121002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



(H. Fitriyane Lihawa, M.Si)
NIP/NIK 196912091993032001

RINGKASAN

Dalam rangka mewujudkan desa mandiri energi di Gorontalo, ada beberapa faktor yang perlu dilakukan oleh pemerintah Propinsi Gorontalo yang sekaligus menjadi indikator keberhasilan dalam mewujudkan desa mandiri energi tersebut. Salah satunya adalah dengan menghubungkan sistem pembangkit energi terbarukan dengan usaha bisnis dan lingkungan.

Berdasarkan informasi Tempo dan Deptamben Propinsi Gorontalo tahun 2010, secara umum 40 % desa-desa yang ada dipropinsi gorontalo belum teraliri listrik dari perusahaan listrik negara PLN sehingga kegiatan pengembangan potensi sosial ekonomi desa belum berjalan secara maksimal. Alternatif yang dapat ditempuh yaitu melalui pemanfaatan hibryd energi terbarukan (energi mikrohidro, energi surya dan anergi angin) untuk mendukung pertumbuhan peningkatan perekonomian masyarakat setempat serta membantu kebijakan pemerintah dalam memenuhi kebutuhan energi nasional sehingga dapat terwujud Desa mandiri Energi di Propinsi Gorontalo.

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi hibrid energi terbarukan (energi mikrohidro, energi surya dan energi angin) sebagai sumber energi alternatif dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo, dan secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi hybrid energi terbarukan yang dihasilkan pada lokasi desa yang belum teraliri listrik yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi, menganalisa kehidupan sosio-ekonomi masyarakat yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik hybrid energi terbarukan, menganalisa potensi hybrid energi terbarukan untuk setiap lokasi desa yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi, merancang desain komponen elektro mekanik pembangkit listrik tenaga hybrid energi terbarukan yang sesuai dengan keadaan sosio ekonomi masyarakat, merancang penataan sistem jaringan transmisi distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat serta pemetaan potensi hybrid energy terbarukan dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energy di propinsi Gorontalo.

Metode penelitian ini dimulai dari pengumpulan bahan referensi dasar serta data teknis dan non teknis, yang dilanjutkan dengan metode observasi untuk mendapatkan data tentang profil dusun/desa lokasi potensi hybrid energi terbarukan yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi. Selanjutnya dilakukan metode pengukuran langsung yaitu pengukuran koordinat bujur dan lintang lokasi potensi, mengukur debit air (hidrologi), mengukur intensitas radiasi matahari dan mengukur kecepatan angin. Melalui tahapan tersebut maka dapat ditentukan besarnya potensi hibrid energi terbarukan dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo.

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan keilmuan dan kompetensi peneliti. Disamping itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik bagi pihak lembaga maupun instansi terkait, yaitu informasi tentang prospek hibrid energi terbarukan (energi mikrohydro, energi surya dan energi angin) dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo.

Kata Kunci : hybrid energi terbarukan, energi mikrohidro, energi surya, energi angin, desa mandiri energi.

PRAKATA

Problem energi listrik umumnya di Indonesia saat ini cukup rumit, yang ditandai dengan seringnya diadakan pemadaman bergilir seperti halnya di Provinsi Gorontalo, sehingga untuk beberapa tahun keadaan supply energi listrik ke pedesaan tidak bisa diharapkan, dalam artian harus mencari sumber alternative lain dengan tetap mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi dan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan (energi mikrohidro, energi surya dan energi angin) sebagai sumber energi alternatif dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo. Sebagai sebuah kegiatan, maka penelitian ini tentunya dapat diselesaikan berkat rahmat kekuatan dan kesehatan yang diberikan oleh Allah SWT, oleh karena itu puji dan syukur selalu kami panjatkan kehadiran Allah SWT. Begitupula kami tak lupa mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Dirjen Dikti Kemendiknas RI yang telah menyediakan dana penelitian.
2. Rektor Universitas Negeri Gorontalo.
3. Kepala Lembaga Penelitian UNG, yang telah memberi kesempatan dalam melaksanakan penelitian Hibah Pekerti.
4. Semua pihak yang telah membantu kegiatan penelitian ini hingga selesai.

Layaknya sebuah hasil karya, maka penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran perbaikan dari pembaca sangat diharapkan untuk sempurnanya penelitian ini. Dan semoga desa mandiri energi dengan memanfaatkan potensi Hybrid Energi yang menjadi tujuan akhir penelitian ini akan benar-benar terwujud.

Gorontalo, September 2014
Ketua Peneliti

Ervan H. Harun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN.....	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan.	3
1.3. Urgensi Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Konsep Desa Mandiri Energi.....	7
2.2. Potensi Energi Mikrohidro.....	8
2.3. Potensi Energi Surya (Matahari).....	9
2.4. Potensi Energi Angin	10
2.5. Hibrid Energi Terbarukan	11
2.6. Peralatan Elektro-Mekanikal Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid	12
2.7. Jaringan Transmisi dan Distribusi	12
2.8. Analisa Sosio-Ekonomi	12
2.9. Peta Jalan Penelitian	13
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	15
3.1. Tujuan Umum	15
3.2. Tujuan Khusus	15
3.3. Manfaat Penelitian	15
BAB 4. METODE PENELITIAN	17
4.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	17
4.2. Kelengkapan yang Menunjang	17
4.3. Prosedur Pengumpulan Data.....	17

4.4. Analisis data Penelitian.....	20
4.5. Luaran yang diharapkan.....	22
4.6. Bagan Alir Penelitian/ <i>Fishbone Diagram</i>	23
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
5.1. Data Potensi Hybrid Energi	24
5.2. Data Potensi Hybrid Energi di Kabupaten Bone Bolango.....	27
5.2.1. Data debit air dan tinggi jatuh	27
5.2.2. Data intensitas radiasi matahari	28
5.2.3. Data kecepatan angin	30
5.3. Data Potensi Hybrid Energi di Kabupaten Gorontalo	32
5.3.1. Data debit air dan tinggi jatuh	32
5.3.2. Data intensitas matahari	34
5.3.3. Data kecepatan angin	36
5.4. Data Sosio Ekonomi Masyarakat di Lokasi Potensi Hybrid Energi.....	37
5.4.1. Kabupaten Bone Bolango	37
5.4.2. Kabupaten Gorontalo	39
5.5. Analisis Potensi Energi Listrik Setiap Komponen PLT- <i>Hybrid Energi</i>	41
5.5.1. PLTMH	41
5.5.2. PLTS	42
5.5.3. PLT-Angin	45
5.5.4. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Hybrid Energy	47
5.6. Detail Engineering Desain elektro mekanik PLT Hybrid Energy	49
5.6.1. Spesifikasi Teknis komponen PLTMH.....	49
5.6.2. Spesifikasi Teknis komponen PLTS	51
5.6.3. Spesifikasi Teknis komponen PLT-Angin	53
5.6.4. Desain Sistem PLT-Hybrid Energi	53
5.7. Rancangan Penataan Sistem Jaringan Distribusi	53
5.7.1. Pemilihan Jalur Distribusi	54
5.7.2. Fasilitas Distribusi.....	54
BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	57
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	59
7.1. Kesimpulan	59

7.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN-LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Banyaknya Kecamatan dan Desa/Kelurahan menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Gorontalo Tahun 2009.....	1
Tabel 5.1. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi di Kabupaten Bone Bolango.	24
Tabel 5.2. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi di Kabupaten Gorontalo.	25
Tabel 5.3. Lokasi potensi hybrid energi di kabupaten Bone Bolango.....	26
Tabel 5.4. Lokasi potensi hybrid energi di kabupaten Gorontalo.	26
Tabel 5.5. Data debit air sungai Tapadaa	27
Tabel 5.6. Data debit air sungai Tulabolo	28
Tabel 5.7. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Tapadaa	29
Tabel 5.8. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Tulabolo	30
Tabel 5.9. Kecepatan angin (knot) di desa Tapada'a	31
Tabel 5.10. Kecepatan angin (knot) di desa Tulabolo.....	31
Tabel 5.11. Data debit air sungai Bontula Lo Popaya	33
Tabel 5.12. Data debit air sungai Dulamayo Selatan	34
Tabel 5.13. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Liyodu	34
Tabel 5.14. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Dulamayo Selatan.....	35
Tabel 5.15. Kecepatan angin (knot) di desa Liyodu.....	36
Tabel 5.16. Kecepatan angin (knot) di desa Dulamayo Selatan.....	37
Tabel 5.17. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Tapada'a	38
Tabel 5.18. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Tulabolo.....	39
Tabel 5.19. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Liyodu.....	40
Tabel 5.20. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Dulamayo Selatan.....	41
Tabel 5.21. Energi yang dibangkitkan oleh PLTMH di setiap Lokasi <i>Hybrid Energy</i> .	42
Tabel 5.21. Spesifikasi Panel Surya type Mono-crystalline Silicon.....	43
Tabel 5.22. Energi yang dibangkitkan oleh PLTS di setiap lokasi <i>Hybrid Energy</i>	44
Tabel 5.23. Jumlah Panel Surya di setiap lokasi <i>Hybrid Energy</i>	45
Tabel 5.24. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Angin di setiap lokasi <i>Hybrid Energy</i>	46
Tabel 5.25. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Angin di setiap lokasi <i>Hybrid Energy</i>	47

Tabel 5.26. Potensi Energi Listrik yang dibangkitkan oleh PLT- <i>Hybrid Energy</i>	47
Tabel 5.27. Peningkatan potensi energi komponen PLT-Angin melalui penambahan unit pembangkit di setiap lokasi PLT- <i>Hybrid Energi</i>	48
Tabel 5.28. <i>Energy Demand</i> setiap lokasi PLT-Hybrid yang dilayani PLTS	51
Tabel 5.29. Spesifikasi komponen PLTS di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Jalan Penelitian	13
Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian	23
Gambar 5.1. Lokasi pengambilan data debit air sungai Tapadaa	27
Gambar 5.2. Lokasi pengambilan data debit air sungai Tulabolo	28
Gambar 5.3. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Tapada'a	29
Gambar 5.4. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Tulabolo	30
Gambar 5.5. Grafik kecepatan angin (knot) di desa Tapada'a	31
Gambar 5.6. Grafik kecepatan angin (knot) di desa Tulabolo	32
Gambar 5.7. Lokasi pengambilan data debit air sungai Bontula lo Popaya	32
Gambar 5.8. Lokasi pengambilan data debit air sungai Dulamayo Selatan	33
Gambar 5.9. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Liyodu	35
Gambar 5.10. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Dulamayo Selatan	35
Gambar 5.11. Grafik Kecepatan angin (knot) di desa Liyodu	36
Gambar 5.12. Grafik Kecepatan angin (knot) di desa Dulamayo Selatan	37
Gambar 5.13. Pembangkit Listrik Hybrid Energi	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Tapadaa kecamatan Suwawa Tengah, kabupaten Bone Bolango.....	63
Lampiran 2.	Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Tulabolo kecamatan Suwawa Timur, kabupaten Bone Bolango	65
Lampiran 3.	Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Liyodu kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo.	67
Lampiran 4.	Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Dulamayo Selatan kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo.	69
Lampiran 5.	Identitas Peneliti beserta kualifikasinya.....	71
Lampiran 6.	Publikasi.....	75

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebijakan pemerintah untuk mempercepat pelaksanaan listrik masuk desa semakin dikembangkan dalam upaya mendorong kegiatan ekonomi serta meningkatkan kecerdasan dan kesejahteraan rakyat pedesaan dalam pengentasan kemiskinan. Untuk daerah pedesaan di wilayah Provinsi Gorontalo yang terjangkau jaringan listrik nasional tidak merupakan masalah, namun untuk daerah yang jauh dari jaringan listrik ini merupakan masalah tersendiri. Di lain pihak lokasi yang belum terjangkau jaringan listrik PLN masih sangat banyak, terkhusus desa-desa terpencil.

Problem energi listrik umumnya di Indonesia saat ini cukup rumit, yang ditandai dengan seringnya diadakan pemadaman bergilir seperti halnya di Provinsi Gorontalo, sehingga untuk beberapa tahun keadaan supply energi listrik ke pedesaan tidak bisa diharapkan, dalam artian harus mencari sumber alternative lain dengan tetap mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi dan lingkungan.

Gorontalo merupakan propinsi pemekaran dari Sulawesi Utara, yang dibentuk berdasarkan undang-undang no.39 tahun 2000 terdiri dari 5 (lima) kabupaten dan 1 (satu) kota yaitu Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo, Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Gorontalo Utara dan Kota Gorontalo. Sedangkan kecamatan sebanyak 66 dan desa/kelurahan 615 yang tersebar di Provinsi Gorontalo sebagaimana terlihat dalam Tabel 1.1. di bawah ini :

Tabel 1.1. Banyaknya Kecamatan dan Desa/Kelurahan menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Gorontalo Tahun 2009

No	Kabupaten/Kota	Ibukota	Kecamatan	Desa/kelurahan
1	Pohuwato	Marisa	13	105
2	Bolaemo	Tilamuta	7	84
3	Gorontalo	Limboto	17	168
4	Bone Bolango	Suwawa	17	153
5	Gorontalo Utara	Kwandang	5	56
6	Kota Gorontalo	Gorontalo	6	49
Jumlah			66	615

Sumber : BPS Provinsi Gorontalo – Gorontalo Dalam Angka 2010

Berdasarkan informasi Tempo dan Deptamben propinsi Gorontalo tahun 2010, bahwa 40 % desa-desa yang tersebar dipropinsi Gorontalo belum teraliri listrik, sedangkan 60 % sudah teraliri listrik dari PLN. Jika desa-desa tersebut dapat teraliri

listrik, maka tentulah dapat meningkatkan kesejahteraan bagi masyarakat sekitar desa tersebut sekaligus membantu pemerintah dalam hal pemenuhan kebutuhan energi nasional.

Pembangkit listrik tenaga hybrid merupakan kombinasi dua atau lebih sistem pembangkit tenaga listrik yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN. Pembangkit listrik hybrid ini memanfaatkan renewable energi sebagai sumber utama seperti energi mikrohidro, energi surya, energi angin dan energi biomassa yang dikombinasikan.

Berdasarkan hasil penelitian LAPAN, energi hybrid ini sangat cocok untuk dikembangkan di wilayah Indonesia dikarenakan potensi energi surya di Indonesia sangat tinggi dimana intensitas rata-rata 4-5 Wh/m² yang berlaku sepanjang tahun dan potensi angin di Indonesia tengah mencapai 6,6 m/s pada ketinggian 30 m dan mencapai 7,5 m/s pada ketinggian 50 m (sumber : BPPT, BMG). Disamping itu, menurut hasil penelitian Harun, Ervan dkk 2009 tentang potensi sumber daya air untuk peningkatan ketenagalistrikan di wilayah provinsi Gorontalo diketahui bahwa potensi daya air di Gorontalo yang belum dimanfaatkan untuk kebutuhan energi listrik sebesar 31,61 MW.

Sesuai dengan sasaran kebijakan energi nasional yakni: Terwujudnya energi (primer) mix yang optimal pada tahun 2025, yaitu peranan masing-masing jenis energi terhadap konsumsi energi nasional: 1) minyak bumi menjadi kurang dari 20%; 2) gas bumi menjadi lebih dari 30%; 3) batubara menjadi lebih dari 33%; 4) biofuel menjadi lebih dari 5%; 5) panas bumi menjadi lebih dari 5%; 6) energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya, Biomasa, Nuklir, Tenaga Air Skala Kecil, Tenaga Surya, dan Tenaga Angin menjadi lebih dari 5%; 7) Bahan Bakar Lain yang berasal dari pencairan batubara menjadi lebih dari 2%. (Pepres No 5 tahun 2006). Sementara itu bauran Energi Nasional sampai dengan tahun 2050 kontribusi dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT) pada tahun 2010 sebesar 5% kemudian di tahun 2012 menjadi 5,6% dan diharapkan pada tahun 2050 menjadi 31%. (Tumiran, 2014).

Sebagai wujud kepedulian dalam implementasi Undang-undang Undang No 30 tahun 2007 tentang Pemanfaatan energi baru dan terbarukan serta kebijakan energi di Indonesia mengharuskan pemanfaatan sumber energi lokal, maka Universitas Negeri Gorontalo sebagai perpanjangan tangan Pemerintah melalui Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, dengan adanya penelitian ini memberikan peluang bagi

pengembangan potensi hybrid energi terbarukan yang ada di Propinsi Gorontalo dimana LEMLIT-UNG dapat melakukan kajian ilmiah dengan melakukan kerja sama instansi terkait dari pemerintah daerah Propinsi Gorontalo.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka akan dilakukan pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan yang dapat dihasilkan oleh setiap desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo, beserta beban listrik yang dikonsumsi oleh penduduk sekitar, sehingga dapat dibuat rancangan desain elektro-mekanik pembangkit listrik hibryd energy terbarukan yang tepat untuk menghasilkan energi listrik maximum untuk setiap pemukiman penduduk yang ada, yang nantinya dapat digunakan untuk menunjang desa mandiri energi dalam hal ini penyediaan pemenuhan kebutuhan energi, penciptaan lapangan kerja dan pengurangan kemiskinan.

1.2. Permasalahan.

Berdasarkan latar belakang masalah, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar potensi hibryd energi terbarukan yang dapat dihasilkan oleh setiap desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo?
2. Bagaimana kehidupan sosio-ekonomi masyarakat desa yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik hibryd energi terbarukan, dengan menganalisa besaran tegangan, arus, dan frekuensi yang dipengaruhi oleh karakteristik penggunaan beban listrik berdasarkan kebutuhan sosio-ekonomi masyarakat setempat?
3. Bagaimana potensi hibryd energi terbarukan untuk setiap desa yang belum teraliri listrik yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi?
4. Bagaimana rancangan desain komponen elektro mekanik pembangkit listrik tenaga hybrid energi terbarukan yang sesuai dengan potensi yang tersedia dan keadaan sosio ekonomi masyarakat setempat untuk menghasikan tenaga listrik yang maksimum?
5. Bagaimana rancangan penataan sistem jaringan distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat?
6. Bagaimana peta potensi hybrid energi terbarukan untuk daerah yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga hybrid dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energy.

1.3. Urgensi Penelitian

Kebutuhan energi listrik saat ini terus meningkat seiring dengan meningkatnya aktifitas kehidupan sehari-hari yang menggunakan energi listrik. Disisi lain cadangan energi berupa Bahan Bakar Minyak (BBM) terus berkurang bahkan sudah sampai pada titik kritis, sehingga sangat diperlukan upaya-upaya penghematan energi disamping usaha untuk menemukan dan memanfaatkan sumber energi alternatif lain seperti panas bumi, sinar matahari, energi angin, bio massa, tenaga air, dan sumber-sumber energi lain yang termasuk pada kelompok energi baru dan terbarukan.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti terutama penelitian mengenai potensi energi air di Propinsi Gorontalo yang dibiayai oleh DIKTI melalui dana Penelitian Strategi Nasional tahun 2009, dilanjutkan dengan penelitian tentang Revitalisasi PLTMH di Desa Ilomata Kabupaten Bone Bolango yang dibiayai oleh DIKTI melalui Dana Penelitian BOPTN tahun 2013, dan juga penelitian tentang Evaluasi Kemampuan Pembangkit pada Sistem Tenaga Listrik Gorontalo yang dibayai melalui Dana PNBPU Universitas Negeri Gorontalo tahun 2013. Penelitian-penelitian ini tidak saja memberikan informasi mengenai potensi energi air di Propinsi Gorontalo dan kondisi ketenagalistrikan saat ini, namun penelitian ini juga memberikan kontribusi yang besar pada penelitian yang sedang dilakukan saat ini, yakni berupa pengalaman meneliti, pengetahuan dan juga informasi awal mengenai kehidupan sosio ekonomi masyarakat yang berada di Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif dan juga kondisi kelistrikan di Propinsi Gorontalo yang berdasarkan penelitian sebelumnya diperoleh informasi bahwa Propinsi Gorontalo akan terus mengalami status defisit tenaga listrik jika tidak ada usaha-usaha untuk mencari dan memanfaatkan sumber-sumber energi alternatif.

Berdasarkan data penelitian (Harun, Ervan dkk, 2009) diketahui bahwa di daerah Gorontalo memiliki potensi air yang belum dimanfaatkan sebesar 31,61 MW yang tersebar di 5 (lima) kabupaten di Propinsi Gorontalo. Kebutuhan energi listrik di Propinsi Gorontalo sendiri terus meningkat sejak wilayah Gorontalo dimekarkan dari Propinsi Sulawesi Utara, dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Harun, Ervan dkk (2013) diperoleh informasi bahwa Propinsi Gorontalo akan mengalami defisit energi listrik sebesar 24,5 MW di tahun 2017, dan kondisi ini akan terus berlangsung

dan semakin buruk jika tidak dilakukan usaha-usaha dalam memanfaatkan sumber energi alternatif yang ada.

Penelitian yang dilakukan oleh LAPAN diperoleh bahwa wilayah Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat tinggi dimana intensitas rata-rata 4-5 Wh/m² yang berlaku sepanjang tahun dan potensi angin di Indonesia tengah mencapai 6,6 m/s pada ketinggian 30 m dan mencapai 7,5 m/s pada ketinggian 50 m, hal ini juga diperkuat berdasarkan pengukuran BPPT, BMG 2010 bahwa intensitas radiasi matahari di provinsi Gorontalo sebesar 4,911 Wh/m². Potensi ini sangatlah besar untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat, termasuk untuk memenuhi kebutuhan industri kecil bagi masyarakat yang tinggal di desa yang belum teraliri listrik PLN.

Berdasarkan data awal tersebut, maka sangatlah penting untuk melaksanakan penelitian tentang pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan yang dapat dihasilkan oleh setiap desa yang belum teraliri listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo. Dimana, sebelum memanfaatkan potensi hybrid energy terbarukan, maka sangat perlu dilakukan penelitian dan kajian ilmiah tentang besar potensi energy mikrohidro, energy surya dan energy angin yang tersedia untuk setiap lokasi desa yang belum teraliri listrik PLN, serta kehidupan sosio ekonomi masyarakatnya, sehingga dari hasil ini dapat dirancang desain elektro-mekanik pembangkit listrik tenaga hybrid yang tepat, sehingga dapat dibuat pemetaan desa-desa yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga hybrid, dalam rangka menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo.

Penelitian ini menjadi sangat penting, mengingat masih 40 % desa yang tersebar di propinsi Gorontalo merupakan desa terpencil yang belum teraliri listrik. Berdasarkan informasi dari Tempo dan Deptamben Propinsi Gorontalo tahun 2010, desa-desa ini sangat sulit untuk memperoleh aliran listrik PLN, sementara jumlah penduduk di desa tersebut terbilang banyak dan mempunyai potensi ekonomi untuk dapat dikembangkan.

Melalui Undang-Undang Republik Indonesia No 30 tahun 2007 tentang ENERGI pada Bab VIII pasal 29 dan 30 Presiden Republik Indonesia mengamanahkan bahwa Penelitian dan Pengembangan ilmu pengetahuan dan Teknologi penyediaan dan pemanfaatan Energi WAJIB difasilitasi oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya, dimana penelitian dan pengembangan terutama diarahkan

pada Energi Baru dan Terbarukan. Sebagai wujud kepedulian dalam implementasi Undang-undang tersebut, maka penelitian ini merupakan peluang untuk mendapatkan pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan untuk setiap desa yang belum teraliri listrik, yang diharapkan dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Desa Mandiri Energi

Konsep pembangunan desa mandiri energi merupakan pembangunan yang berdasarkan potensi lingkungan untuk kesejahteraan manusia dan kelestarian lingkungan. Dengan demikian, pengamatan terhadap potensi lingkungan dan karakteristiknya sangat penting (Heliyanto, B)

Konsep pembangunan Desa Mandiri Energi antara lain adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana menerapkan pendekatan pengembangan energi lokal tanpa merusak lingkungan dan pemberdayaan ekonomi produktif setempat dalam rangka terwujudnya Desa Mandiri Energi.
2. Bagaimana mengembangkan kelembagaan untuk mendorong masyarakat yang bertanggung jawab menjaga kelestarian lingkungan.
3. Bagaimana mengembangkan pengolahan dengan menggunakan paket teknologi konversi sumber energi terbarukan dalam konteks Desa Mandiri Energi.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan menghubungkan sistem pembangkit energi terbarukan dengan usaha bisnis dan lingkungan. Olahan energi terbarukan dapat dimanfaatkan oleh kegiatan ekonomi produktif yang memanfaatkan energi terbarukan untuk siang hari. Sedangkan di malam hari dapat dipergunakan untuk kebutuhan dasar energi rumah tangga seperti penerangan.

Identifikasi komposisi masyarakat merupakan kegiatan pertama untuk membangun sebuah desa mandiri energi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik masyarakat sebagai dasar untuk pembentukan lembaga pengelola sistem pembangkit energi terbarukan. Karakteristik masyarakat yang perlu diketahui antara lain adalah tingkat pendidikan, mata pencaharian, waktu kerja, hierarki sistem hukum desa setempat, dan kebudayaan/kebiasaan masyarakat.

Langkah selanjutnya adalah pembangunan pembangkit sumber energi. Hal ini diawali dengan identifikasi potensi energi terbarukan di desa setempat, perancangan sistem pembangkit, dan pelaksanaan pembangunan sistem pembangkit. Untuk keberlangsungan sistem pembangkit dan jaringannya, dilakukan pelatihan yang melibatkan tokoh masyarakat, perangkat desa, dan pengurus kelembagaan yang bertugas sebagai pengelola yang telah dibentuk sebelumnya.

2.2. Potensi Energi Mikrohidro

Pada dasarnya sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro memerlukan dua data yang penting yaitu debit air dan ketinggian jatuh (*Head*) untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Bentang alam yang terjadi (lebar, aliran sungai, kontur tanah dan sungai) akan menentukan besar potensi energi listrik yang ada di daerah tersebut. Persamaan dasar dari pembangkit listrik mikrohidro ini adalah (Harvey, 2003) :

$$P_{\text{nett}} = 9,8 \times H_{\text{gross}} \times Q \times \eta_{\text{tot}} \quad \text{kW}$$

Dimana :

Head (H) dalam meter,

Debit air (Q) dalam meter kubik per detik ,

Effisiensi total (η_{tot}) dalam persen dan terbagi sebagai berikut :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{konstruksi sipil}} \times \eta_{\text{penstock}} \times \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \times \eta_{\text{sistem kontrol}} \times \eta_{\text{jaringan}} \times \eta_{\text{trafo}}$$

$\eta_{\text{konstruksi sipil}}$ dan η_{penstock} adalah yang biasa diperhitungkan sebagai 'Head Loss (Hloss) atau kehilangan ketinggian'. Dalam kasus ini, persamaan diatas dirubah ke persamaan berikut:

$$P_{\text{nett}} = g \times (H_{\text{gross}} - H_{\text{loss}}) \times Q \times (\eta_{\text{tot}} - \eta_{\text{konstruksi sipil}} - \eta_{\text{penstock}}) \quad \text{kW}$$

Persamaan sederhana ini harus diingat, merupakan inti dari semua desain pekerjaan pembangkit listrik. Hal ini penting untuk menggunakan unit-unit yang benar.

Untuk Kapasitas daya satu PLTMH dapat dihitung secara rumus umum dengan persamaan:

$$\text{Potensi Daya Air, } P_G = 9,8 \cdot Q \cdot H_g$$

dimana :

P_G = Potensi daya air (KW)

Q = Debit aliran air (m³/s)

H_g = Head gross (m)

9.8 = Konstanta gravitas

Sedangkan potensi daya listrik terbangkit adalah

$$P = Q \cdot H_n \cdot \eta$$

dimana:

P = Daya listrik yang keluar dari generator (KW)

Q = Debit aliran air (m³/s)

H_n = Tinggi terjun efektif (m) ; η = Konstanta / efisiensi kerja pembangkit (%)

2.3. Potensi Energi Surya (Matahari)

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30 % energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, 47% dikonversikan menjadi panas, 23 % digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagaimana kecil 0,25 % ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025 % disimpan melalui proses fotosintesis di dalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil, proses fotosintesis yang memakan jutaan tahun). Sehingga bisa dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi matahari. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0.5 V sampai 0.7 V dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya 90^0 (tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga tergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Ini berarti bahwa sebuah sel surya akan menghasilkan daya $0.6 \text{ V} \times 20 \text{ mA} = 12 \text{ mW}$. Jika matahari memancarkan energinya ke permukaan bumi sebesar 100 W/m^2 atau 100 mW/cm^2 , maka bisa dibayangkan energi yang dihasilkan sel surya yang rata-rata mempunyai luas 1 cm^2 dibandingkan dengan bahan bakar fosil (BBM) dengan proses foto-sintesis yang memakan waktu jutaan tahun. (Manan,2010). Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap intensitas radiasi matahari secara total adalah Actinograph ($\text{calori.cm}^{-2}.\text{menit}^{-1}$). Untuk menentukan besarnya potensi energi surya suatu lokasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\text{watt peak}} = \text{Area array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}}$$

Sedangkan Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{PV Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{\text{PV}} \times \text{TCF} \times \eta_{\text{out}}}$$

Dimana : PSI (*Peak Solar Insolation*) adalah 1000 W/m^2 ; E_L : pemakaian energi (kWh/hari)

η_{PV} : insolasi harian matahari rata-rata ($\text{kWh/m}^2/\text{hari}$); G_{av} : efisiensi panel surya

TCF: temperature correction factor ; η_{out} : efisiensi inverter

2.4. Potensi Energi Angin

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin, untuk besarnya potensi energy angin dapat digunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (\text{watt/m}^2)$$

dimana :

P = daya (watt/m²) ;

ρ = massa jenis ;

V = kecepatan angin (m/det).

Persamaan mengenai daya angin ini dapat dijabarkan sebagai berikut. Karena perbedaan kerapatan udara di dataran rendah dan di daerah yang tinggi, energi angin yang dapat diekstrak di daerah pantai akan lebih besar dibandingkan dengan yang di pegunungan. Kemudian, apabila suatu tempat memiliki kecepatan angin 2 kali lebih cepat dari tempat lain, tempat pertama tersebut memiliki energi angin 8 kali lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan lokasi sangat menentukan besarnya penyerapan energi angin.

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah,

$$P = \frac{16}{27} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{W})$$

Angka $\frac{16}{27}$ (=59.3%) ini disebut batas Betz (*Betz limit*, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor, η_{rotor} ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik. Maka daya yang dapat diserap oleh turbin angin menjadi

$$P = \eta_{rotor} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

\bar{V} dimana adalah kecepatan rata-rata pada lokasi tersebut

Menurut Brown,C.K. and Warne (1975) dalam (Sam, Alimuddin & Patabang, Daud., 2005) daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan oleh suatu kincir angin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{EA} = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^3 \quad \text{Watt}$$

dengan:

c_p = koefisien daya = 0,4

D = diameter kincir angin (m)

v = kecepatan angin (m/s)

ρ = kerapatan udara (kg/m³)

Selanjutnya Energi Listrik yang dapat dihasilkan oleh konversi energi angin per satuan luas sudu kincir angin dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Sam, Alimuddin & Patabang, Daud., 2005):

$$P_{Syst}/A = c_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_g \cdot \eta_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ Watt/m}^2$$

dengan:

C_p = keefesiensi daya = 0,4

η_{tr} = efesiensi transmissi= 0,95

η_g = efisiensi generator = 0,85

η_b = efesiensi baterai = 0,75

ρ = kerapatan udara = 1,2 kg / m³

V = kecepatan angin (m/ detik)

2.5. Hibrid Energi Terbarukan

Sumber energy mikrohidro, energi surya dan angin merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas (*free*). Masalah utama dari ketiga jenis energi tersebut adalah tidak tersedia terus menerus. Energi mikrohidro hanya tersedia pada lokasi dengan kontur tanah yang mempunyai aliran dan ketinggian tertentu serta tergantung musim, Energi surya hanya tersedia pada siang hari ketika cuaca cerah, sedangkan energi angin tersedia pada waktu yang seringkali tidak dapat diprediksi (*sporadic*) dan sangat berfluktuasi bergantung cuaca atau musim.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, teknik hibrid banyak digunakan untuk menggabungkan beberapa jenis pembangkit listrik. Penelitian tentang pemanfaatan potensi hibrid energi sudah pernah dilakukan oleh Winarto (2013), yakni meneliti tentang potensi Hybird Energi yang merupakan kombinasi antara sel surya dengan turbin angin savious. Dari hasil penelitian menggunakan sistem akuisisi data diperoleh bahwa energi terbangkitkan dari pembangkit Hybrid ini sebesar 7,5 Watt. Menurut Olivia Lewi Pramesti (2012), bahwa Energi hibrid dengan potensi panas matahari dan angin potensial dikembangkan di Indonesia.

Penelitian yang serupa juga sudah pernah dilakukan oleh Tengku Dahril (2012) yang meneliti tentang Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan berdasarkan sumber daya lokal di Propinsi Riau. Dalam penelitian ini, diperoleh bahwa hampir semua desa yang belum teraliri listrik memiliki potensi energi terbarukan dan memungkinkan untuk diterapkannya penggabungan dari beberapa sumber energi ke dalam satu sistem pembangkit listrik Hybrid Energi.

Pada PLT Hibrid (energy mikrohidro, energi surya dan energy angin), tipe beban yang disuplai oleh pembangkit relatif datar dan tetap, maka pengaturan komposisi pembangkit dapat dilakukan dengan sederhana. Tenaga Mikrohidro dan Tenaga surya sebagai pembangkit utama dan turbin angin generator sebagai pembangkit tambahan, daya listrik dari mikrohidro, modul surya dan turbin angin generator akan digunakan untuk mengisi batere sehingga masalah kontinuitas daya dapat teratasi.

2.6. Peralatan Elektro-Mekanikal Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Komponen peralatan elektrikal - mekanik meliputi pengadaan sarana dan peralatan dimana perangkat elektro mekanik sistem hybrid energi terbarukan terdiri dari turbin yang berfungsi sebagai penggerak mula untuk menghasilkan energi listrik, generator sebagai mengubah tenaga poros turbin menjadi tenaga listrik, panel surya untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik, batteray sebagai penyimpan energi listrik, sistem kontrol dan pengaman untuk mengatur beban listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga hybrid.

2.7. Jaringan Transmisi dan Distribusi

Parameter utama dalam mendesain jaringan transmisi dan distribusi pada pembangkit listrik tenaga hybrid adalah menentukan panjang jaringan, besar tegangan (JTR atau JTM), jenis dan ukuran kabel, jenis tiang (besi, beton atau kayu), tinggi tiang dan jumlah tiang. Panjang jaringan ditentukan oleh jarak antara lokasi pembangkit hingga konsumen atau jaringan yang ada.

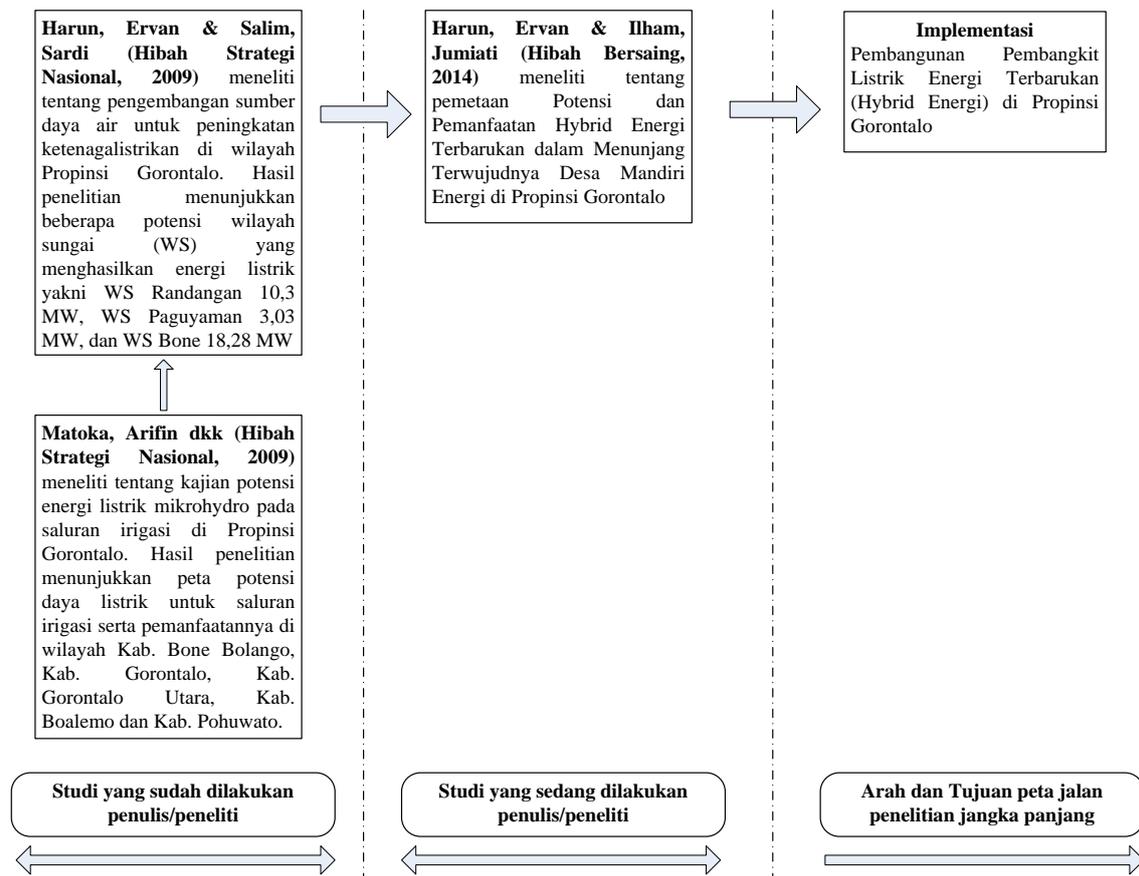
2.8. Analisa Sosio-Ekonomi

Analisa data sosio ekonomi di perlukan untuk mengetahui tingkat kesejahteraan masyarakat di sekitar lokasi rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga hybrid dan

kebutuhan daya yang diperlukan. Dengan memanfaatkan data sosial ekonomi hasil survey, maka untuk lokasi rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga hybrid dapat dianalisa mengenai jumlah kebutuhan tenaga listrik, pola pengelolaan, dan rencana pengembangan kedepannya, namun demikian kebutuhan akan tenaga listrik harus di pertimbangkan dengan potensi yang tersedia serta besarnya biaya pembangunan dan sumber pendanaanya.

2.9. Peta Jalan Penelitian

Penelitian ini secara umum memberikan gambaran tentang potensi-potensi energi terbarukan dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo. Lebih jelasnya mengenai peta jalan penelitian yang diharapkan, dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Peta Jalan Penelitian

Penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti terkait dengan sumber energi alternatif adalah pengembangan sumber daya air untuk peningkatan ketenagalistrikan di

wilayah propinsi Gorontalo. Peneliti berharap dan berusaha tujuan akhir dari pelaksanaan penelitian-penelitian ini adalah implementasi pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan di propinsi gorontalo.

Untuk mencapai tujuan akhir tersebut, maka peneliti mulai mengembangkan penelitian pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo, dimana melalui penelitian ini akan dikaji potensi hybrid energi terbarukan didesa-desa yang belum teraliri listrik oleh PLN untuk mendukung terwujudnya desa mandiri energi serta rancangan desain komponen elektro mekanikal pembangkit listrik tenaga hybrid yang dapat menghasilkan energi maksimal dan dapat beroperasi dalam jangka waktu semaksimal mungkin.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Umum

Secara umum penelitian bertujuan untuk untuk mengetahui potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan (energi mikrohidro, energi surya dan energi angin) sebagai sumber energi alternatif dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo

3.2. Tujuan Khusus

Secara rinci tujuan tersebut diurutkan sebagai berikut:

1. Menghitung besar potensi hybrid energi terbarukan yang dapat dihasilkan oleh setiap desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo.
2. Menganalisa kehidupan sosio-ekonomi masyarakat desa yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga hybrid energi terbarukan, dengan menganalisa besaran tegangan, arus, dan frekuensi yang dipengaruhi oleh karakteristik penggunaan beban listrik berdasarkan kebutuhan sosio-ekonomi masyarakat setempat.
3. Menganalisa potensi hybrid energi terbarukan untuk setiap desa yang belum teraliri listrik yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi.
4. Merancang desain komponen elektro mekanik pembangkit listrik tenaga hybrid energi terbarukan yang sesuai dengan potensi yang tersedia dan keadaan sosio ekonomi masyarakat setempat untuk menghasikan tenaga listrik yang maksimum.
5. Merancang penataan sistem jaringan distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat.
6. Membuat pemetaan potensi hybrid energi terbarukan untuk daerah yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga hybrid dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energy.

3.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Bagi peneliti, sebagai wahana pengembangan keilmuan peneliti dalam bidang energi terbarukan, khususnya hybrid energi terbarukan (energi air, energi surya dan energi angin)
2. Bagi lembaga Universitas Negeri Gorontalo, sebagai referensi bagi pelaksanaan penelitian-penelitian lanjutan yang berhubungan dengan pengembangan energi terbarukan, khususnya hybrid energi terbarukan (energi air energi surya dan energi angin)
3. Bagi instansi-instansi terkait, sebagai referensi dalam pengembangan dan implementasi pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada desa-desa yang sukar dialiri aliran listrik PLN yang tersebar di 5 (lima) kabupaten di propinsi Gorontalo yakni : kabupaten Gorontalo, kabupaten Bone Bolango, kabupaten Gorontalo Utara, kabupaten Boalemo dan kabupaten Pohuwato. Penelitian ini dilaksanakan selama 2 tahun dimulai pada bulan Maret 2014 sampai dengan Oktober 2015.

4.2. Kelengkapan yang Menunjang

Kelengkapan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah penyediaan pelaksana lapangan (staf ahli dan surveyor), penyediaan peralatan survei, pengumpulan data daerah penyelidikan serta kelengkapan administrasi.

4.3. Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas pengumpulan data non teknis yang meliputi pengumpulan data informasi profil sosio ekonomi masyarakat, dan Pengumpulan data teknis meliputi Pengukuran koordinat bujur dan lintang, pengukuran hidrologi, pengukuran intensitas radiasi matahari serta pengukuran kecepatan angin, pada desa-desa yang sukar dialiri listrik PLN. Berikut diuraikan prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini.

a. Pengukuran Koordinat Bujur dan Lintang

Koordinat pada bumi dinyatakan dalam bujur (B) dan lintang (L). Untuk mengetahui lokasi yang tepat potensi hybrid energi terbarukan pada sebuah desa yang belum teraliri listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi, maka perlu ditentukan koordinat bujur dan lintang dengan menggunakan alat ukur *Global Position System* (GPS).

b. Pengukuran Hidrologi

Pengukuran hidrologi dilaksanakan pada musim kemarau dan musim penghujan. Pengukuran hidrologi meliputi pengukuran tinggi jatuh (*Head*) dan debit air. Dimana

pengukuran tinggi jatuh (*Head*) dilakukan dengan menggunakan Theodolite. Sedangkan pengukuran debit air dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

a) Pengukuran Menggunakan current meter

Pengukuran debit daerah aliran sungai dilakukan dengan menggunakan alat Current Meter Counter dengan memakai kincir :

- 1) Pengukuran dilakukan disepanjang penampang melintang daerah aliran sungai dengan interval pengukuran setiap 1 (satu) meter.
- 2) Berdasarkan pengukuran tersebut akan diperoleh data tentang: lebar daerah aliran sungai, kedalaman maksimum, laju aliran (debit) air di daerah aliran sungai.

b) Pengukuran dengan Pelampung (*Float Area Methode*)

Pengukuran ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Rentangkan tali sepanjang lebar sungai.
2. Beri batasan rentangan tersebut sebagai titik akhir Bergeraknya pelampung.
3. Ukur jarak dari pembatas akhir sejauh 1 meter.
4. Ukur kedalaman air pada jarak tersebut pada beberapa titik kedalamannya.
5. Letakkan pelampung pada jarak 1 meter dari batas akhir dan siapkan stop watch, dan tekan bersamaan dengan Bergeraknya pelampung tersebut.
6. Catat kecepatan Bergeraknya pelampung tersebut sampai dibatas tali / kayu yang direntang.
7. Ulangi percobaan tersebut beberapa kali dengan berbagai kedalaman hitung debit air rata-rata yang diperoleh.

Pengukuran di atas, akan memberikan data-data tentang : Luas penampang (A) dan Kecepatan aliran (V). Sehingga diperoleh debit sungai ($Q = A \times V$).

c) Pengukuran Debit Air dengan Metode Rasional

Metode ini akan digunakan jika curah hujan dengan intensitas I terjadi secara terus menerus dengan persamaan yang digunakan:

$$Q = 0,277 C I A$$

Dimana : Q : debit puncak (m³/dtk) C : koefisien *run off*
I : intensitas curah hujan (mm/jam) A : luas DAS (km²)

c. Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari

Pengukuran intensitas radiasi matahari total harian dilakukan dengan menggunakan alat ukur actinograph dengan prosedur kerja sebagaimana berikut :

- Letakkan Actinograph pada permukaan datar/rata ± 150 cm di atas permukaan tanah. Lokasi pemasangan harus bebas dari pohon maupun bangunan yang dapat menghalangi sinar matahari ke arah alat dan bebas dari bahan-bahan yang dapat memantulkan sinar kuat ke arah alat.
- Atur Posisi bimetallic persegi-panjang se-arah Utara-Selatan dan kaca jendela ke arah Timur.
- Awal operasi dimulai pukul 06.00 waktu setempat (saat matahari belum bersinar).
- Lepaskan drum-clock dari shaftnya.
- Pasang kertas pias, sisi - sisi pias tepat berhimpit di penjepit drum-clock.
- Hidupkan sistem drum-clock. Untuk system spring wound, putar tangkai spring wound secukupnya dan untuk system quartz clock, geser switch ke posisi "ON".
- Putar drum-clock agar ujung pena tepat jatuh pada jam , hari awal pengukuran.
- Setelah Matahari terbenam selama 1.5 jam, Pias terpasang dapat/harus diambil (untuk pias harian).

d. Pengukuran Kecepatan Angin.

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat ukur anemometer dengan ketinggian tiang 10 meter selama 13 jam dari jam 06.00 s/d 19.00.

e. Pengumpulan Data dan Informasi Profil Sosio Ekonomi Masyarakat

Data dan informasinya dapat berupa data kuantitatif maupun kualitatif yang dapat dilakukan melalui pengumpulan data sekunder maupun data primer dari lembar observasi dan wawancara pada penduduk lokal di lokasi potensi. Data tersebut meliputi:

- 1) Profil dusun/desa yang menggambarkan tentang :
 - Tingkat populasi penduduk berdasarkan jumlah orang per KK, jenis kelamin, usia/umur, latar belakang pendidikan, komposisi agama yang dianut.
 - Tingkat heterogenitas masyarakat.

- Tingkat aksesibilitas lokasi dusun/desa dari pusat administratif desa, kecamatan, kota/kabupaten, dan ibukota propinsi, kondisi jalan dan mode transportasi yang ada serta jarak lokasi.
 - Profil ketersediaan sumber energi dan pola penggunaan dan pemanfaatannya.
- 2) Tingkat standar hidup dan sumber pendapatan masyarakat.
 - 3) Profil usaha dan sumber-sumber ekonomi produktif berbasis sumber daya lokal.
 - 4) Kecepatan akses, kemampuan mengusahakan akses kepada pasar.
 - 5) Kapasitas lokal dan kemampuan berkembang dengan pemanfaatan potensi sumber daya lokal.
 - 6) Kondisi dan profil infrastruktur pelayanan publik yang ada.

f. Pengumpulan Data Teknis Elektromekanik Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pengumpulan data teknis ini dilakukan dengan mengidentifikasi secara tepat dan akurat tentang komponen-komponen elektro mekanik PLT Hybrid, seperti pemilihan jenis turbin, pemilihan generator, pemilihan panel surya, pemilihan batteray serta komponen alat-alat proteksi yang disesuaikan dengan besarnya potensi energi terbarukan yang dihasilkan serta kebutuhan energi listrik masyarakat.

4.4. Analisis data Penelitian

1. Analisis data hidrologi.

Analisa hidrologi ini meliputi curah hujan rancangan dan efektif, debit rancangan dan andalan pada musim kemarau dan musim penghujan, ketinggian jatuh (*head*) dari aliran sungai sehingga diperoleh besarnya potensi energy mikrohidro dengan persamaan

$$\text{Potesi Daya Air, } P_G = 9,8 \cdot Q \cdot H_g$$

dimana : P_G = Potensi daya air (KW); Q = Debit aliran air (m³/s)

H_g = Head gross ; 9.8 = Konstanta gravitas

2. Analisis data Intensitas Radiasi Matahari

Pada tahapan ini akan dilakukan perhitungan terhadap hasil pembacaan kertas pias actinograph, dengan menggunakan planimeter diperoleh luas bentuk grafik yang tidak

$$P_{watt\ peak} = Area\ array \times PSI \times \eta_{pv}$$

teratur. Besarnya potensi energi surya suatu lokasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

Sedangkan Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan rumus :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}}$$

Dimana : PSI (*Peak Solar Insolation*) adalah 1000 W/m² ; E_L : pemakaian energi (kWh/hari)

η_{PV} : insolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari); G_{av} : efisiensi panel surya

TCF : temperature correction factor ; η_{out} : efisiensi inverter

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ (Watt/m}^2\text{)}$$

dimana :P = daya per satuan luas (W/m²); ρ = massa jenis ; V = kecepatan angin (m/det)

3. Analisis profil sosio ekonomi masyarakat.

Data yang diperoleh akan memberikan data tentang kapasitas kebutuhan daya listrik masyarakat serta kapasitas kemampuan daya beli masyarakat untuk energi listrik yang dihasilkan.

Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas, langkah selanjutnya adalah menganalisis kebutuhan energy listrik yang dibutuhkan setiap desa yang belum teraliri listrik PLN berdasarkan potensi dan pemanfaatan hibrid energi terbarukan yang dapat dihasilkan di lokasi tersebut. Dengan demikian dapat diketahui besar potensi hibrid energi terbarukan serta pemanfaatannya yang dapat direkomendasi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo.

4. Analisis rancangan desain komponen elektromekanik Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLT Hybrid)

Data dari hasil analisis besarnya potensi energi mikrohidro, energi surya dan energi angin akan dapat ditentukan komponen-komponen elektro mekanik untuk PLT Hybrid seperti jenis turbin, kapasitas generator, kapasitas panel surya, kapasitas batteray, serta komponen alat-alat proteksi yang sesuai dengan besarnya kapasitas daya listrik yang dihasilkan dari PLT Hybrid dan standar nasional indonesia (SNI).

Disamping itu, akan dihasilkan **rancangan penataan sistem jaringan tansmisi dan distribusi** energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat.

4.5. Luaran yang diharapkan

A. **Luaran dan indikator untuk tahun pertama** dilaksanakan di Kabupaten Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango:

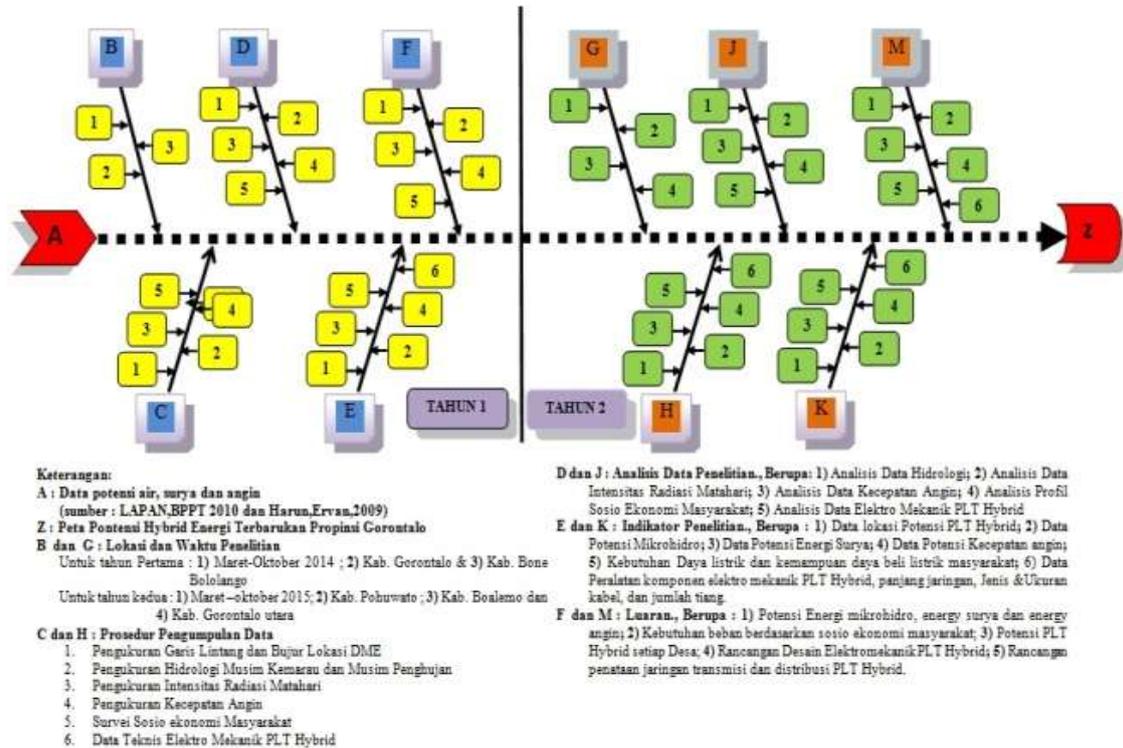
1. **Luaran** : Data potensi energi mikrohidro, energi surya dan energi angin pada desa-desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo. **Indikator** : Data tentang debit air rata-rata dan ketinggian jatuh air, Data intensitas radiasi matahari, Data kecepatan angin, Data tentang perhitungan daya berdasarkan potensi yang dihasilkan di sejumlah desa yang belum teraliri listrik.
2. **Luaran** : Hasil analisa sosio ekonomi berdasarkan karakteristik masyarakat sekitar bagi pemanfaatan PLT Hybrid tersebut dalam rangka menunjang terwujudnya Desa Mandiri Energi (DME). **Indikator** : Data tentang kapasitas kebutuhan daya serta data tentang kapasitas kemampuan daya beli masyarakat untuk energi listrik yang dihasilkan.
3. **Luaran** : Hasil analisis potensi hybrid energi terbarukan untuk setiap desa yang belum teraliri listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi gorontalo. **Indikator** :Data tentang perhitungan kapasitas daya total berdasarkan potensi hybrid energi terbarukan yang dihasilkan berdasarkan karakteristik beban listrik yang di gunakan oleh masyarakat setempat.
4. **Luaran** : Rancangan desain elektromekanik PLT Hybrid yang sesuai dengan potensi energy terbarukan pada setiap desa yang belum teraliri listrik. **Indikator** : Detail engginingering desain elektro mekanik PLT Hybrid untuk setiap desa yang belum teraliri listrik.
5. **Luaran** : Rancangan penataan sistem jaringan distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat. **Indikator** : Detail engginingering desain system jaringan distribusi setiap desa yang belum teraliri listrik.

B. **Luaran dan indikator untuk tahun kedua** dilaksanakan di Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Gorontalo Utara, Luaran yang diharapkan beserta indikator capaiannya sama dengan Luaran dan indikator pada tahap pertama. Akan tetapi, pada tahap kedua ini luaran akhir yang dihasilkan adalah:

Luaran : Pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan pada desa-desa yang belum teraliri listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi

di Propinsi Gorontalo. **Indikator** : Peta potensi PLT hybrid pada desa-desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo.

4.6. Bagan Alir Penelitian/*Fishbone Diagram*



Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana dijelaskan pada Bab 3, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo. Hybrid energi pada penelitian kali ini adalah gabungan dari sumber energi terbarukan yakni: energi mikrohidro, energi surya dan energi angin.

5.1. Data Potensi Hybrid Energi

Pembangkit listrik tenaga Hybrid yang menjadi fokus utama pada penelitian ini merupakan penggabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT-Angin). Untuk mendapatkan potensi Hybrid energi maka diperlukan data-data potensi dari ketiga sumber energi tersebut yakni: tenaga air, tenaga surya dan tenaga angin.

Besar potensi energi mikrohidro diperoleh melalui observasi dan penelitian pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada di Propinsi Gorontalo meliputi kabupaten Boalemo, kabupaten Pohuwato, kabupaten Bone Bolango, kabupaten Gorontalo dan kabupaten Gorontalo Utara.

Tahap awal dari kegiatan observasi ini adalah mengidentifikasi lokasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi sebagai sumber energi yang memungkinkan dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Lokasi potensial diambil dari peta topografi yang ada dengan penaksiran kemungkinan ketinggian.

Daerah Aliran Sungai (DAS) yang memiliki potensi untuk dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) berdasarkan analisis pada peta topografi ditinjau dari ketinggian jatuh untuk kabupaten Bone dan kabupaten Gorontalo berturut-turut diberikan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. sebagai berikut:

Tabel 5.1. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi di Kabupaten Bone Bolango.

No	Kecamatan	Desa	Beda Tinggi	Nama Sungai	Koordinat	
					Bujur Timur	Lintang Utara
1	Bulango Utara	Tuloa	25	Talutiti	123 ⁰ 05'28,2"	00 ⁰ 40'06,7"
2	Suwawa Timur	Tilangobula	25	Bibito	123 ⁰ 15'26,3"	00 ⁰ 30'33,4"
3	Suwawa	Tulabolo	75	Tulabolo	123 ⁰ 15'57,5"	00 ⁰ 29'46,7"

Timur						
4	Suwawa Tengah	Tapada'a	25	Tapada'a	123 ⁰ 13'15.5"	00 ⁰ 32'12.8"
5	Bone	Monano	35	Monano	123 ⁰ 24'54"	00 ⁰ 19'27"
6	Bone	Inogaluma	25	Sogita kiki	123 ⁰ 27'05"	00 ⁰ 20'33"

Sumber : Hasil Analisis Peta Topografi BPDAS BoneBolango Gorontalo

Tabel 5.2. Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berpotensi di Kabupaten Gorontalo.

No	Kecamatan	Desa	Beda Tinggi	Nama Sungai	Koordinat	
					Bujur Timur	Lintang Utara
1	Bogomeme	Liyodu	25	Bontula Lo Popaya	122 ⁰ 46'50.7"	00 ⁰ 33'15.0"
2	Telaga	Dulamayo Selatan	35	Dulamayo Selatan	123 ⁰ 03'03.5"	00 ⁰ 41'56.7"
3	Limboto	Polohungo	10	Biyonga	122 ⁰ 59'17.4"	00 ⁰ 41'10.7"
4	Limboto Barat	Daena	15	Buliyaa	122 ⁰ 56'10"	00 ⁰ 40'56"
5	Tibawa	Buhu	25	Patente	122 ⁰ 49'57"	00 ⁰ 43'44"

Sumber : Hasil Analisis Peta Topografi BPDAS BoneBolango Gorontalo

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan yang merupakan gabungan dari 3 (tiga) sumber energi yakni Energi Air, Energi Surya dan Energi Angin dengan sumber Energi Air menjadi sumber energi utama dari Hybrid Energi Terbarukan. Untuk tujuan tersebut maka pemilihan lokasi PLTMH selain pertimbangan potensi tenaga air maka hal-hal sebagai berikut juga akan menjadi kekangan dalam pemilihan lokasi yakni:

1. Potensi tenaga surya di sekitar lokasi PLTMH
2. Potensi tenaga angin di sekitar lokasi PLTMH
3. Jarak maksimum transmisi dari lokasi permukiman penduduk.

Dalam hal pertimbangan jarak maksimum transmisi, digunakan perkiraan kasar tentang jarak maksimum transmisi berdasarkan skema Mikrohidro di Indonesia yakni 1,5 km dari lokasi permukiman penduduk. Jarak ini dipilih berdasarkan asumsi bahwa tegangan pada akhir jaringan distribusi harus terjaga diatas 205 Volt, 15 Volt sebagai kerugian tegangan yang diijinkan pada aturan tegangan 220 Volt, tanpa trafo (*Transformer*). Sedangkan untuk pertimbangan potensi tenaga surya dan tenaga angin, maka dipilih lokasi yang memiliki lahan terbuka sehingga memungkinkan untuk diambil potensi tenaga surya dan tenaga angin di sekitar lokasi PLTMH atau minimal

masih berada pada radius 1,5 km dari lokasi PLTMH dan memungkinkan untuk dibangun PLTS dan PLT Angin.

Berdasarkan pada pertimbangan tersebut maka dilakukan pengumpulan data lebih lanjut dengan tetap berpedoman pada hasil analisis peta topografi dan juga ketiga pertimbangan lainnya. Pengumpulan data lanjutan ini diperoleh dengan mencari informasi masyarakat setempat terhadap lokasi-lokasi yang berpotensi untuk dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), dan juga berpotensi untuk pemanfaatan tenaga surya (PLTS) maupun tenaga angin (PLT Angin).

Survey untuk keseluruhan lokasi yang memiliki ketiga potensi sumber energi alternatif yang ada di propinsi Gorontalo dilakukan selama 2 (dua) tahun. Tahun pertama survey dilakukan di kabupaten Gorontalo dan kabupaten Bone Bolango, sedangkan untuk lokasi yang berada di kabupaten Pohuwato, kabupaten Boalemo, dan kabupaten Gorontalo Utara kegiatan survey akan dilaksanakan di tahun kedua.

Dari hasil survey dan informasi masyarakat, dan dengan memasukkan pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas, maka diperoleh lokasi-lokasi yang berpotensi dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Mikro Hidro, Tenaga Surya dan Tenaga Angin) sebagai berikut:

Tabel 5.3. Lokasi potensi hybrid energi di kabupaten Bone Bolango

No	Kecamatan	Desa	Beda Tinggi	Nama Sungai	Koordinat	
					Bujur Timur	Lintang Utara
1	Suwawa Timur	Tulabolo	75	Tulabolo	123 ⁰ 15'57.5"	00 ⁰ 29'46.7"
2	Suwawa Tengah	Tapada'a	25	Tapada'a	123 ⁰ 13'15.5"	00 ⁰ 32'12.8"

Dan untuk kabupaten Bone Bolango diberikan dalam Tabel 5.7 sebagai berikut:

Tabel 5.4. Lokasi potensi hybrid energi di kabupaten Gorontalo.

No	Kecamatan	Desa	Beda Tinggi	Nama Sungai	Koordinat	
					Bujur Timur	Lintang Utara
1	Bogomeme	Liyodu	25	Bontula Lo Popaya	122 ⁰ 46'50.7"	00 ⁰ 33'15.0"
2	Telaga	Dulamayo Selatan	35	Dulamayo Selatan	123 ⁰ 03'03.5"	00 ⁰ 41'56.7"

Setelah melakukan survey dan menentukan lokasi penelitian, kegiatan penelitian dilanjutkan pada tahap pengambilan data debit air pada setiap lokasi yang ada di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo.

5.2. Data Potensi Hybrid Energi di Kabupaten Bone Bolango

5.2.1. Data debit air dan tinggi jatuh

Pengukuran debit air dilakukan pada titik potensi yang ditetapkan untuk menyesuaikan tempat pembangunan bendung dan kemungkinan memperoleh ketinggian jatuh air (*Head*) yang memadai.

Tabel 5.5. menunjukkan hasil pengukuran debit air sungai Tapada'a, kecamatan Suwawa Tengah, kabupaten Bone Bolango pada tanggal 8 April 2014. Sungai Tapadaa berada pada koordinat N00032'12,8" E123013'15,7", dengan lebar sungai 4 meter dan beda tinggi (tinggi jatuh) adalah 20 meter. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.1. berikut:



Gambar 5.1. Lokasi pengambilan data debit air sungai Tapadaa

Tabel 5.5. Data debit air sungai Tapadaa

Segmen	Jarak	waktu (s)	Tinggi muka air (m)	Luas (m ²)	Kec (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	10	36	0,17	0,68	0,28	0,19
2	10	35	0,20	0,80	0,29	0,23
3	10	45	0,14	0,56	0,22	0,12
4	10	30	0,19	0,76	0,33	0,25
5	10	39	0,13	0,52	0,26	0,13
6	10	40	0,15	0,60	0,25	0,15
Rata-rata					0,28	0,19

Data debit air untuk lokasi ke dua di kecamatan Suwawa Timur kabupaten Bone Bolango yakni sungai Tulabolo yang diukur pada tanggal 13 April 2014. Sungai Tulabolo berada pada koordinat N00029'46,7" E123015'57,5". Lebar sungai Tulabolo dari hasil pengukuran adalah 13 meter dengan beda tinggi (tinggi jatuh) adalah 9 meter. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.2. berikut:



Gambar 5.2. Lokasi pengambilan data debit air sungai Tulabolo

Tabel 5.6. Data debit air sungai Tulabolo

Segmen	Jarak	waktu (s)	Tinggi muka air (m)	Luas (m ²)	Kec (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	10	45	0,16	2,08	0,22	0,46
2	10	44	0,23	2,99	0,23	0,68
3	10	39	0,35	4,55	0,26	1,17
4	10	40	0,30	3,90	0,25	0,98
5	10	40	0,32	4,16	0,25	1,04
6	10	41	0,30	3,90	0,24	0,95
Rata-rata					0,24	0,86

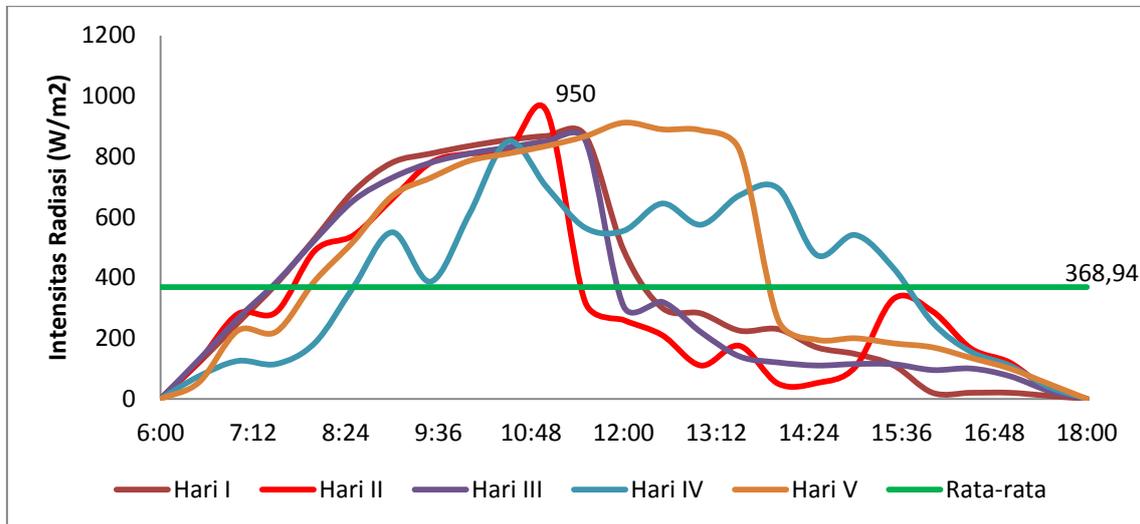
5.2.2. Data intensitas radiasi matahari

Pengukuran intensitas radiasi matahari total harian dilakukan dengan menggunakan alat ukur actinograph. Lokasi pengukuran dilakukan di sekitar lokasi pengambilan data potensi tenaga air, atau dalam radius 1,5 km dari lokasi potensi tenaga air dengan mempertimbangkan lahan/areal yang memungkinkan dibangun Pembangkit

Listrik Tenaga Surya (PLTS). Untuk mendapatkan data yang akurat maka pengukuran intensitas radiasi matahari dilakukan selama 5 (lima) hari. Tabel 5.7. menunjukkan data intensitas radiasi matahari di desa Tapadaa kecamatan Suwawa Tengah Kabupaten Bone Bolango yang diambil pada tanggal 8 April s/d 12 April 2014.

Tabel 5.7. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Tapadaa

Hari	Waktu Pengamatan																				Rata-rata					
	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30		16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
1	0	120	250	380	530	685	780	810	835	855	868	870	490	300	282	225	230	170	148	110	20	20	20	10	0	360,32
2	0	125	280	287	490	540	660	780	810	820	950	320	260	210	110	175	50	52	105	331	289	166	120	32	0	318,48
3	0	130	265	385	525	655	730	780	810	830	850	855	305	320	220	140	120	110	115	114	95	100	75	27	0	342,24
4	0	75	125	115	185	370	550	387	610	850	700	565	555	645	575	672	695	475	541	430	252	155	110	40	0	387,08
5	0	55	225	222	390	520	670	730	786	810	835	867	912	890	887	821	261	195	200	183	170	135	100	50	0	436,56
Rata-rata	0	101	229	277,8	424	554	678	697,4	770,2	833	840,6	695,4	504,4	473	414,8	406,6	271,2	200,4	221,8	233,6	165,2	115,2	85	31,8	0	368,94



Gambar 5.3. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Tapada'a

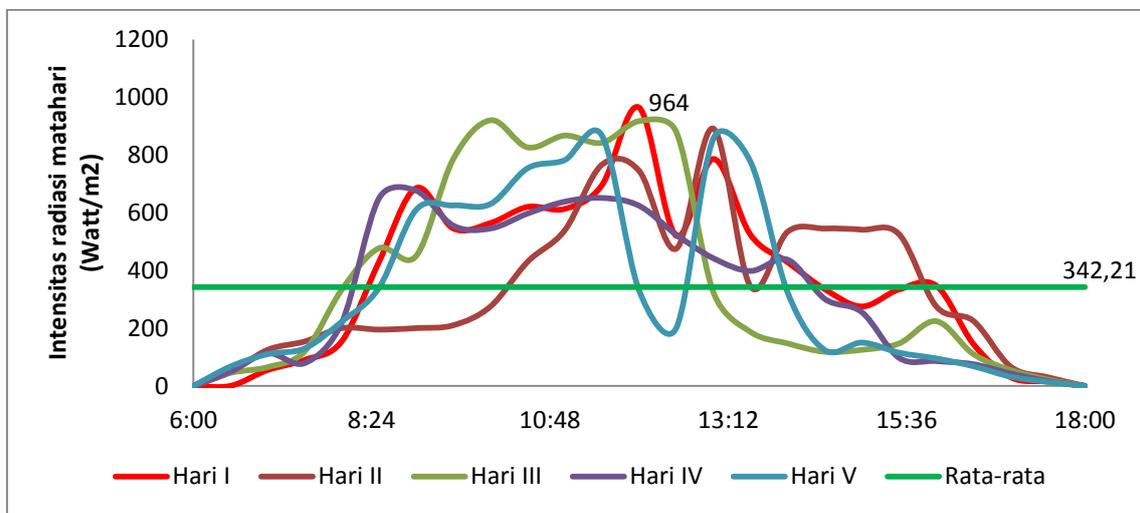
Dari hasil pengukuran intensitas radiasi matahari diperoleh bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah adalah 368,94 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari tertinggi diperoleh dari pengukuran pada hari ke 2, yakni sebesar 950 yang terukur pada pukul 11:00 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.

Intensitas radiasi matahari di desa Tulabolo, kecamatan Suwawa Timur, kabupaten Bone Bolango yang diambil pada tanggal 13 April 2014 s/d 17 April 2014 diberikan pada Tabel 5.8. Dari hasil pengukuran intensitas radiasi matahari diperoleh bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Tulabolo kecamatan Suwawa Timur adalah 342,21 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari tertinggi diperoleh dari pengukuran

pada hari pertama, yakni sebesar 964 yang terukur pada pukul 12:00 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.

Tabel 5.8. Intensitas radiasi matahari (W/m^2) di desa Tulabolo

Hari	Waktu Pengamatan																				Rata-rata					
	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30		16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
1	0	0	55	90	155	430	685	545	564	620	613	695	964	520	786	523	428	335	275	334	347	145	30	15	0	366,16
2	0	48	125	154	200	195	200	210	275	430	539	766	745	475	891	344	534	545	541	525	275	225	67	30	0	333,56
3	0	45	65	120	334	477	450	786	920	826	867	842	917	880	324	187	147	118	125	147	224	110	55	22	0	359,52
4	0	49	113	79	220	650	676	555	545	597	638	651	624	524	442	398	437	301	255	97	86	75	43	17	0	322,88
5	0	67	110	130	223	340	610	625	630	754	782	867	331	200	857	776	323	124	150	115	95	68	32	14	0	328,92
Rata-rata	0	41,8	93,6	114,6	226,4	418,4	524,2	544,2	586,8	645,4	687,8	764,2	716,2	519,8	660	445,6	373,8	284,6	269,2	243,6	205,4	124,6	45,4	19,6	0	342,21



Gambar 5.4. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Tulabolo

5.2.3. Data kecepatan angin

Energi angin tersedia pada waktu yang seringkali tidak dapat diprediksi (*sporadic*) dan sangat berfluktuasi bergantung cuaca atau musim. Untuk mendapatkan potensi energi angin maka dilakukan pengukuran kecepatan angin.

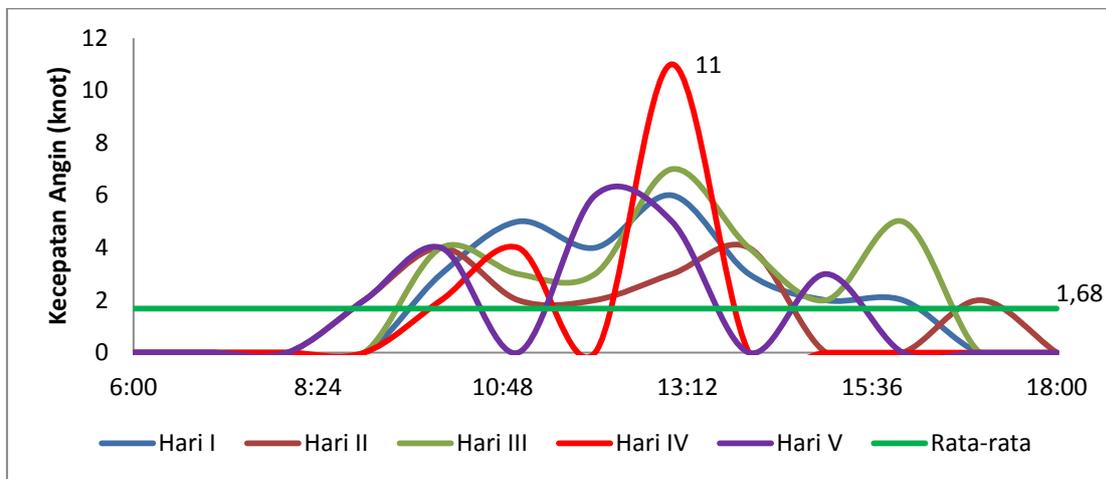
Seperti halnya pengambilan data intensitas matahari, pengukuran kecepatan angin dilakukan selama 5 (lima) hari di lokasi yang sama dengan pengambilan data intensitas matahari. Tabel 5.9. menunjukkan data kecepatan angin yang diukur dalam satuan knot di desa Tapadaa kecamatan Suwawa Tengah Kabupaten Bone Bolango yang diambil pada tanggal 8 April s/d 12 April 2014.

Dari hasil pengukuran kecepatan angin yang dilakukan di desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah kabupaten Bone Bolango diperoleh data bahwa rata-rata kecepatan angin adalah 1,68 knot. Kecepatan angin tertinggi adalah 11 knot yang terjadi

pada pengukuran di hari keempat yakni sebesar 11 knot yang terukur pada pukul 13:00 seperti ditunjukkan dalam gambar 5.5.

Tabel 5.9. Kecepatan angin (knot) di desa Tapada'a

Hari	Waktu Pengamatan													Rata-rata
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
1	0	0	0	0	3	5	4	6	3	2	2	0	0	1,92
2	0	0	0	2	4	2	2	3	4	0	0	2	0	1,46
3	0	0	0	0	4	3	3	7	4	2	5	0	0	2,15
4	0	0	0	0	2	4	0	11	0	0	0	0	0	1,31
5	0	0	0	2	4	0	6	5	0	3	0	0	0	1,54
Rata-rata	0	0	0	0,8	3,4	2,8	3	6,4	2,2	1,4	1,4	0,4	0	1,68



Gambar 5.5. Grafik kecepatan angin (knot) di desa Tapada'a

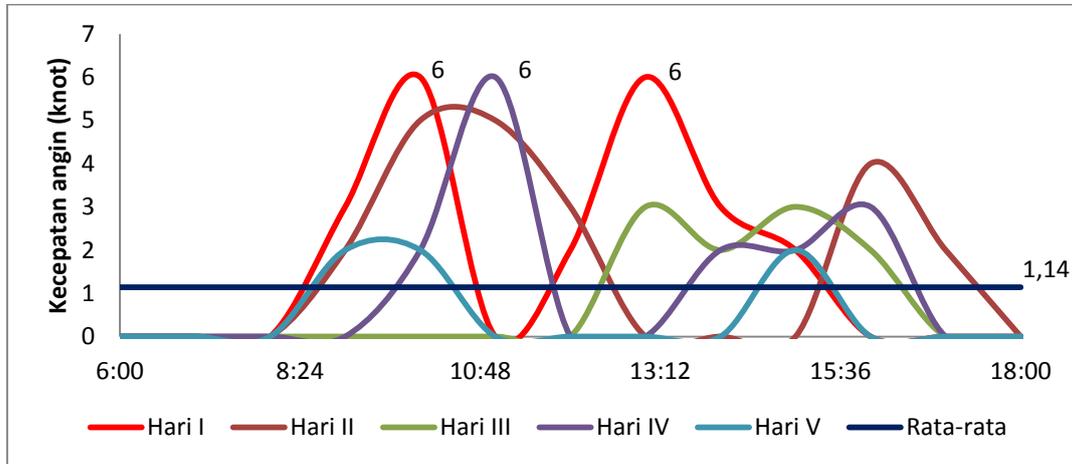
Kecepatan angin di desa Tulabolo, kecamatan Suwawa Timur, kabupaten Bone Bolango diukur pada tanggal 13 April 2014 s/d 17 April 2014. Hasil pengukuran diberikan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Kecepatan angin (knot) di desa Tulabolo

Hari	Waktu Pengamatan													Rata-rata
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
1	0	0	0	3	6	0	2	6	3	2	0	0	0	1,69
2	0	0	0	2	5	5	3	0	0	0	4	2	0	1,62
3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	2	0	0	0,77
4	0	0	0	0	2	6	0	0	2	2	3	0	0	1,15
5	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0,46
Rata-rata	0	0	0	1,4	3	2,2	1	1,8	1,4	1,8	1,8	0,4	0	1,14

Dari hasil pengukuran kecepatan angin yang dilakukan di desa Tulabolo kecamatan Suwawa Timur kabupaten Bone Bolango diperoleh data bahwa rata-rata kecepatan angin adalah 1,14 knot. Kecepatan angin tertinggi adalah 11 knot yang terjadi

pada pengukuran di hari pertama yakni sebesar 6 knot yang terukur pada pukul 10:00 dan 13:00, dan juga pada hari ke-4 sebesar 6 knot yang terukur pada pukul 11:00 seperti ditunjukkan dalam gambar 5.6.



Gambar 5.6. Grafik kecepatan angin (knot) di desa Tulabolo

5.3. Data Potensi Hybrid Energi di Kabupaten Gorontalo

5.3.1. Data debit air dan tinggi jatuh

Pemilihan lokasi pengambilan data potensi Hybrid Energi di kabupaten Gorontalo juga menggunakan peralatan, metode, dan pertimbangan yang sama seperti di kabupaten Bone Bolango. Gambar 5.7. menunjukkan lokasi pengambilan data debit air sungai Bontula lo popaya di desa Liyodu, kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo.



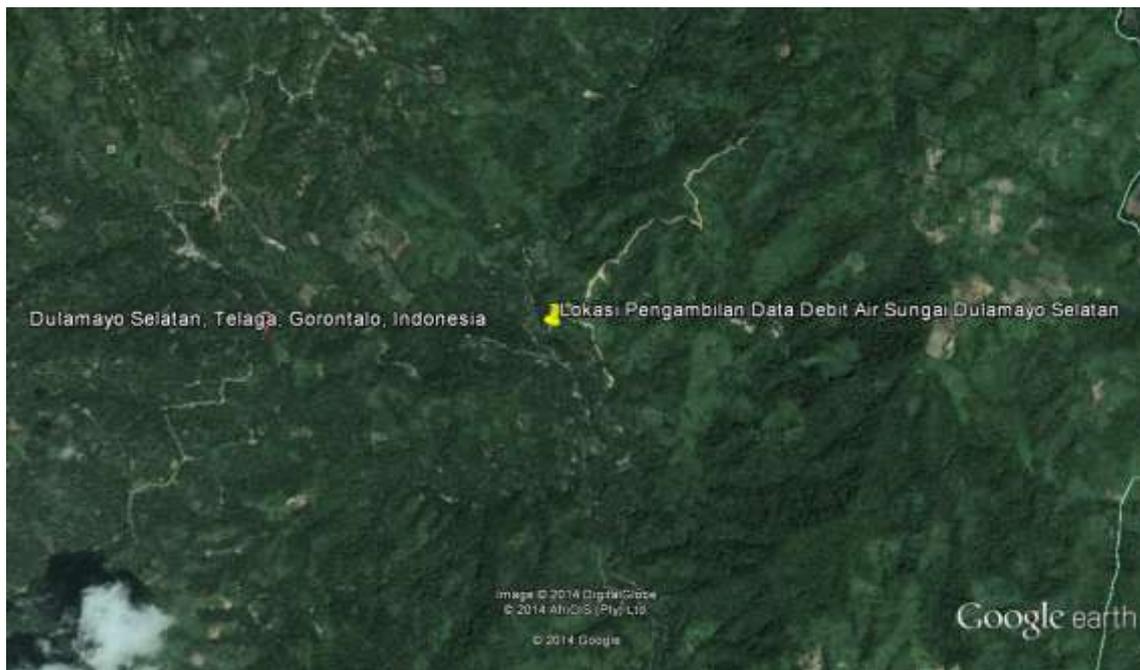
Gambar 5.7. Lokasi pengambilan data debit air sungai Bontula lo Popaya

Tabel 5.11. menunjukkan hasil pengukuran debit air sungai Bontula lo Popaya, kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo pada tanggal 24 April 2014. Sungai Bontula lo Popaya berada pada koordinat N00033'15.0" E122046'50.7" dengan lebar sungai 6 meter dan beda tinggi (tinggi jatuh) adalah 25 meter.

Tabel 5.11. Data debit air sungai Bontula Lo Popaya

Segmen	Jarak	waktu (s)	Tinggi muka air (m)	Luas (m ²)	Kec (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	10	25	0,46	2,76	0,40	1,10
2	10	29	0,36	2,16	0,34	0,74
3	10	30	0,47	2,82	0,33	0,94
4	10	32	0,44	2,64	0,31	0,83
5	10	25	0,34	2,04	0,40	0,82
6	10	28	0,56	3,36	0,36	1,20
Rata-rata					0,36	0,89

Lokasi pengambilan data di desa Dulamayo Selatan, kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo ditunjukkan pada Gambar 5.8. berikut ini:



Gambar 5.8. Lokasi pengambilan data debit air sungai Dulamayo Selatan
 Data debit air Dulamayo Selatan yang menjadi lokasi ke dua pengambilan data di kabupaten Gorontalo diukur pada tanggal 29 April 2014. Sungai Dulamayo Selatan terdapat di desa Dulamayo Selatan, kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo dan berada pada koordinat N00041'56,7" E123003'03,5". Lebar sungai Dulamayo Selatan dari

hasil pengukuran adalah 8,7 meter dengan beda tinggi (tinggi jatuh) adalah 8 meter. Tabel 5.12. menunjukkan data debit air sungai Dulamayo Selatan.

Tabel 5.12. Data debit air sungai Dulamayo Selatan

Segmen	Jarak	waktu (s)	Tinggi muka air (m)	Luas (m ²)	Kec (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	10	18	0,75	6,53	0,56	3,63
2	10	23	0,65	5,66	0,43	2,46
3	10	20	0,47	4,09	0,50	2,04
4	10	17	0,28	2,44	0,59	1,43
5	10	21	0,67	5,83	0,48	2,78
6	10	22	0,40	3,48	0,45	1,58
Rata-rata					0,51	2,47

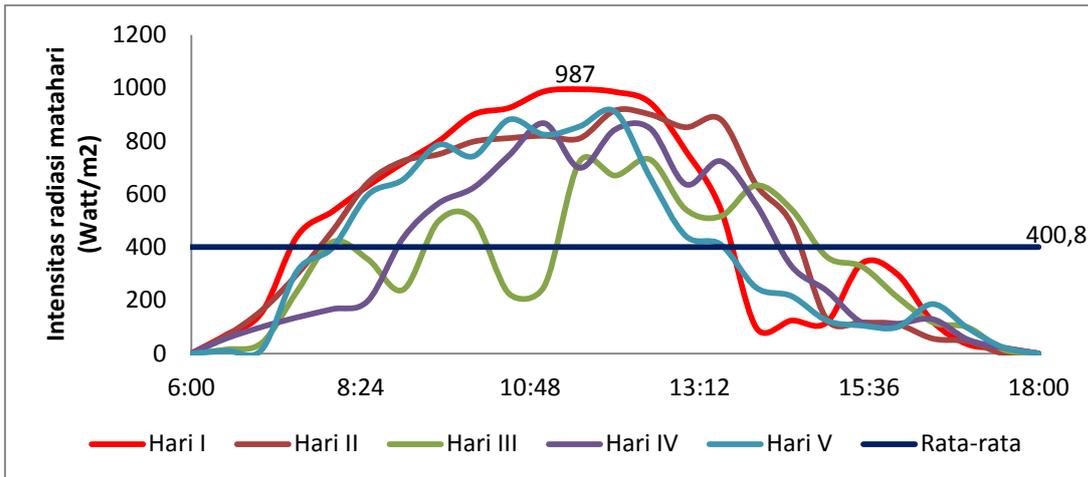
5.3.2. Data intensitas matahari

Pengambilan data intensitas radiasi matahari pada setiap lokasi di kabupaten Gorontalo dilakukan selama 5 (lima) hari seperti halnya di kabupaten Bone Bolango. Hasil pengukuran data intensitas radiasi matahari di desa Liyodu, kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo yang diambil pada tanggal 24 April 2014 s/d 28 April 2014 diberikan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Intensitas radiasi matahari (W/m²) di desa Liyodu

Hari	Waktu Pengamatan																				Rata-rata					
	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30		16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
1	0	71	155	442	535	631	718	799	900	925	987	995	985	944	764	542	97	124	117	340	298	120	34	20	0	461,72
2	0	68	163	299	462	643	725	750	798	811	820	810	915	900	852	881	635	489	128	117	110	56	46	0	0	459,12
3	0	15	40	235	420	355	240	498	505	225	254	723	670	730	543	517	633	543	364	327	212	117	98	15	0	331,16
4	0	57	100	136	167	198	435	565	625	746	867	699	843	847	637	724	561	329	236	116	112	129	52	22	0	368,12
5	0	10	15	311	398	597	655	786	743	881	824	855	911	662	443	410	248	216	124	105	99	186	95	23	0	383,88
Rata-rata	0	44,2	94,6	284,6	396,4	484,8	554,6	679,6	714,2	717,6	750,4	816,4	864,8	816,6	647,8	614,8	434,8	340,2	193,8	201	166,2	121,6	65	16	0	400,80

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas radiasi matahari di desa Liyodu kecamatan Bongomeme kabupaten Gorontalo, terlihat bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari adalah sebesar 400,8 Watt/m². Intensitas tertinggi terjadi di hari pertama pengukuran yakni sebesar 987 Watt/m² yang terukur pada pukul 11:00, seperti ditunjukkan pada gambar 5.9.



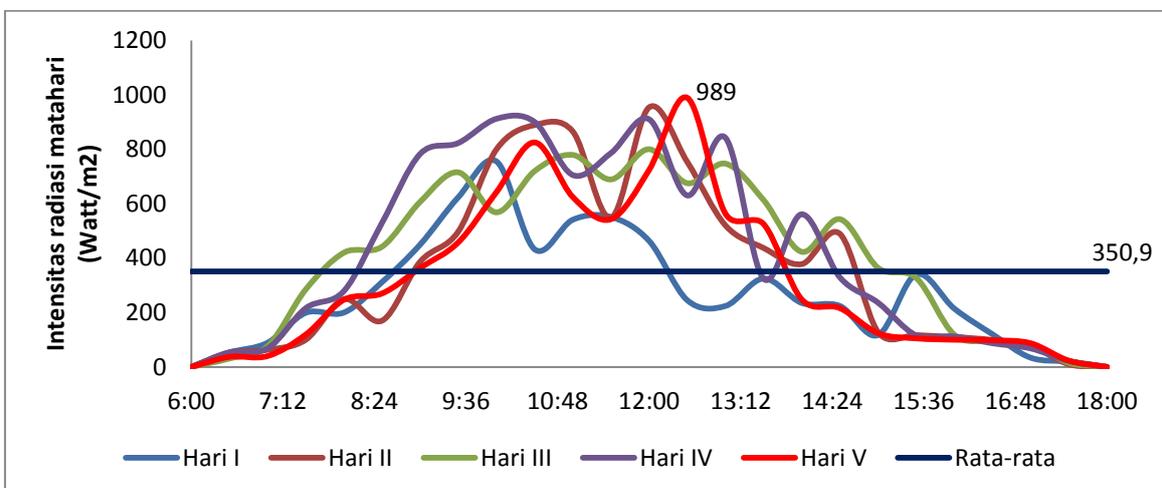
Gambar 5.9. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Liyodu

Pengambilan data intensitas radiasi matahari di desa Dulamayo Selatan, kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo berlangsung dari tanggal 29 April 2014 s/d 3 Mei 2014. Hasil pengukuran diberikan dalam dalam Tabel 5.14.

Tabel 5.14. Intensitas radiasi matahari (W/m²) di desa Dulamayo Selatan

Hari	Waktu Pengamatan																		Rata-rata							
	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30		15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
1	0	53	89	199	200	312	450	624	755	432	541	551	463	245	224	325	235	224	117	340	214	120	34	20	0	270,68
2	0	52	63	100	249	170	387	498	800	889	865	548	954	753	520	437	378	489	128	117	110	99	78	10	0	347,76
3	0	31	76	285	420	442	607	715	568	720	779	689	800	675	747	613	423	543	364	327	118	95	85	15	0	405,48
4	0	54	68	216	279	530	783	823	912	900	705	786	910	630	842	324	561	329	236	116	112	87	68	22	0	411,72
5	0	37	40	119	247	270	364	458	643	825	624	543	724	989	563	525	248	216	124	105	100	98	87	23	0	318,88
Rata-rata	0	45,4	67,2	183,8	279	344,8	518,2	623,6	735,6	753,2	702,8	623,4	770,2	658,4	579,2	444,8	369	360,2	193,8	201	130,8	99,8	70,4	18	0	350,90

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa intensitas radiasi matahari di desa Dulamayo Selatan rata-rata sebesar 350,9 Watt/m². Intensitas maksimum terjadi pada hari ke-5 dengan intensitas sebesar 989 Watt/m² yang terukur pada pukul 12:30, seperti ditunjukkan pada gambar 5.10.



Gambar 5.10. Grafik intensitas radiasi matahari di desa Dulamayo Selatan

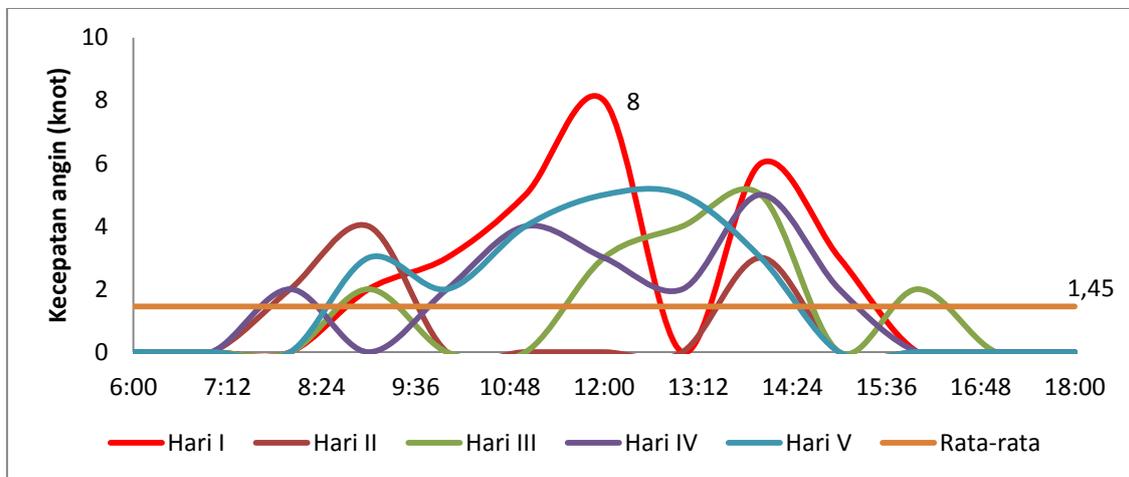
5.3.3. Data kecepatan angin

Seperti halnya pengambilan data intensitas matahari, pengukuran kecepatan angin dilakukan selama 5 (lima) hari di lokasi yang sama dengan pengambilan data intensitas matahari. Tabel 5.15. memberikan data kecepatan angin yang diukur dalam satuan knot di desa Liyodu, kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo yang diambil pada tanggal 24 April 2014 s/d 28 April 2014.

Tabel 5.15. Kecepatan angin (knot) di desa Liyodu

Hari	Waktu Pengamatan													Rata-rata
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
1	0	0	0	2	3	5	8	0	6	3	0	0	0	2,08
2	0	0	2	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0,69
3	0	0	0	2	0	0	3	4	5	0	2	0	0	1,23
4	0	0	2	0	2	4	3	2	5	2	0	0	0	1,54
5	0	0	0	3	2	4	5	5	3	0	0	0	0	1,69
Rata-rata	0	0	0,8	2,2	1,4	2,6	3,8	2,2	4,4	1	0,4	0	0	1,45

Dari hasil pengukuran kecepatan angin di desa Liyodu terlihat bahwa rata-rata kecepatan angin adalah 1,45 knot. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada hari pertama pengukuran yakni sebesar 8 knot yang terukur pada pukul 12:00 seperti ditunjukkan pada gambar 5.11.



Gambar 5.11. Grafik Kecepatan angin (knot) di desa Liyodu

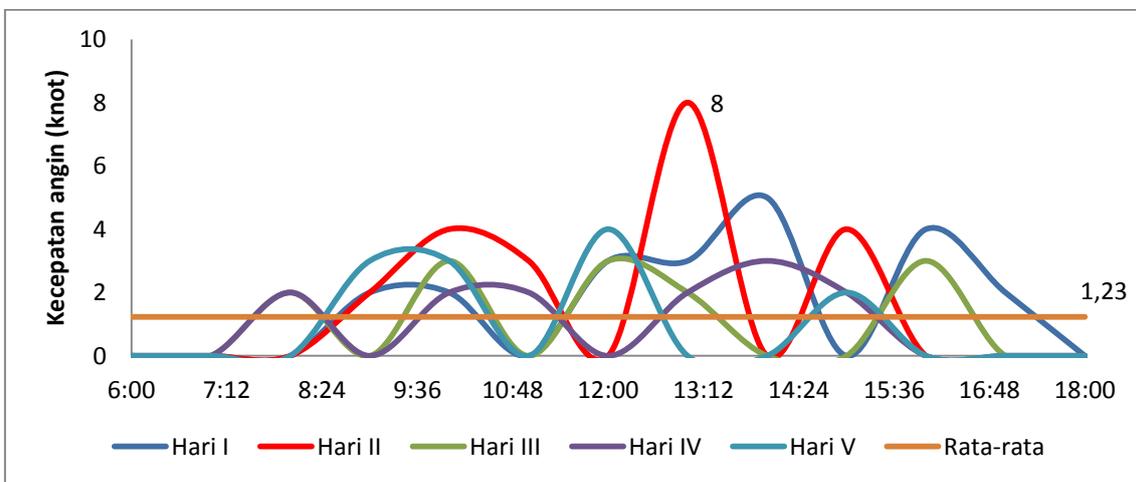
Pengukuran kecepatan angin di desa Dulamayo Selatan, kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo berlangsung dari 29 April 2014 s/d 3 Mei 2014. Adapun hasil pengukuran diberikan dalam Tabel 5.16.

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa kecepatan angin di desa Dulamayo Selatan sebesar 1,23 knot. Kecepatan tertinggi terjadi pada hari kedua pengukuran dengan

kecepatan sebesar 8 knot yang terukur pada pukul 13:00 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.12.

Tabel 5.16. Kecepatan angin (knot) di desa Dulamayo Selatan

Hari	Waktu Pengamatan													Rata-rata
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
1	0	0	0	2	2	0	3	3	5	0	4	2	0	1,62
2	0	0	0	2	4	3	0	8	0	4	0	0	0	1,62
3	0	0	2	0	3	0	3	2	0	0	3	0	0	1,00
4	0	0	2	0	2	2	0	2	3	2	0	0	0	1,00
5	0	0	0	3	3	0	4	0	0	2	0	0	0	0,92
Rata-rata	0	0	0,8	1,4	2,8	1	2	3	1,6	1,6	1,4	0,4	0	1,23



Gambar 5.12. Grafik Kecepatan angin (knot) di desa Dulamayo Selatan

5.4. Data Sosio Ekonomi Masyarakat di Lokasi Potensi Hybrid Energi.

5.4.1. Kabupaten Bone Bolango

Berdasarkan lokasi yang berpotensi Hybrid Energi seperti yang diberikan pada sub bab 5.1, maka untuk kabupaten Bone Bolango data kehidupan sosio ekonomi pada penelitian ini hanya meliputi dua desa yakni desa Tulabolo dan desa Tapadaa.

a) Desa Tapada'a

Desa Tapada'a berada di wilayah pemerintahan kecamatan Suwawa Tengah kabupaten Bone Bolango yang merupakan daerah aliran sungai Tapada'a. Desa Tapada'a sendiri belum semua mendapat fasilitas listrik dari PLN, salah satunya adalah dusun Gulabaga yang berada pada jarak 1,5 km dari lokasi potensi mikrohidro di daerah

aliran sungai Tapada'a yang dapat ditempuh dengan berjalan kaki selama 1 jam dengan menyebrangi beberapa sungai-sungai kecil.

Dusun Gulabaga dihuni oleh 152 jiwa penduduk dengan 36 kepala keluarga yang menempati 31 bangunan rumah tinggal. Mata pencaharian utama penduduk adalah bertani pada lahan perkebunan, dengan rata-rata pendapatan setiap kepala keluarga adalah Rp. 200,000 per bulan. Fasilitas umum yang terdapat pada dusun ini adalah 1 (satu) buah bangunan Puskesmas, 1 (satu) buah bangunan SD, dan 1 (satu) buah bangunan Mesjid.

Berdasarkan data kependudukan dan fasilitas umum yang ada di dusun Gulabaga desa Tapada'a, dan dengan menggunakan asumsi setiap rumah rata-rata membutuhkan energi listrik 200 VA, bangunan sekolah 450 VA, bangunan Puskesmas 900 VA, dan mesjid 200 VA maka dapat dibuat estimasi kebutuhan energi listrik untuk dusun ini diberikan pada tabel 5.17 sebagai berikut:

Tabel 5.17. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Tapada'a

Jenis Fasilitas	Jumlah (unit)	Kebutuhan Energi Listrik (VA)	Jumlah (VA)
Rumah	31	200	6200
SD	1	450	450
PUSKESDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
Total Kebutuhan Listrik			7750

b) Desa Tulabolo

Desa Tulabolo merupakan salah satu desa di kecamatan Suwawa Timur kabupaten Bone Bolango. Di Desa Tulabolo masih terdapat salah satu dusun yang belum mendapatkan fasilitas listrik dari PLN. Dusun ini terletak 1 km dari daerah aliran sungai Tulabolo yang menjadi lokasi pengambilan potensi tenaga mikro hidro sebagai salah satu komponen dari potensi Hybrid Energi. Lokasi sungai Talubolo sendiri dapat ditempuh dengan waktu \pm 10 menit dari pusat desa menggunakan kendaraan bermotor.

Jumlah penduduk di dusun ini sebanyak 605 jiwa yang menempati 180 unit rumah dengan 191 kepala keluarga. Mata pencaharian utama dari penduduk adalah bertani dengan rata-rata pendapatan per bulan setiap kepala keluarga adalah Rp. 300,000.-. Di dusun ini terdapat 6 (enam) bangunan yang digunakan sebagai fasilitas umum yakni 1

(satu) buah bangunan SD dan 1 (satu) buah bangunan SLTP, 1 (satu) buah bangunan Puskesmas, dan 3 (tiga) buah bangunan Mesjid.

Berdasarkan data kependudukan dan fasilitas umum yang ada di dusun ini, dan dengan menggunakan asumsi setiap rumah tinggal rata-rata membutuhkan energi listrik 200 VA, bangunan sekolah 450 VA, bangunan Puskesmas 900 VA, dan mesjid 200 VA maka dapat dibuat estimasi kebutuhan energi listrik untuk dusun ini diberikan pada tabel 5.18 sebagai berikut:

Tabel 5.18. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Tulabolo

Jenis Fasilitas	Jumlah (unit)	Kebutuhan Energi Listrik (VA)	Jumlah (VA)
Rumah	180	200	36000
SD	1	450	450
SMP	1	450	450
PUSKESMAS	1	900	900
Mesjid	3	200	600
Total Kebutuhan Listrik			38400

5.4.2. Kabupaten Gorontalo

Data kehidupan sosio ekonomi di kabupaten Gorontalo juga berdasarkan lokasi yang berpotensi Hybrid Energi seperti yang diberikan pada sub bab 5.1. Adapun desa atau lokasi penelitian di kabupaten Gorontalo adalah desa Liyodu kecamatan Bongomeme dan desa Dulamayo Selatan kecamatan Telaga.

a) Desa Liyodu

Desa Liyodu kecamatan Bongomeme kabupaten Gorontalo termasuk pada daerah aliran sungai Bontula Lo Popaya. Di desa ini terdapat salah satu dusun yakni dusun Padengo yang sampai saat ini belum mendapatkan fasilitas listrik dari jaringan PLN. Lokasi daerah aliran sungai Bontula Lo Popaya dihubungkan dengan jalan tanah dan melewati beberapa sungai kecil sehingga hanya dapat ditempuh berjalan kaki selama 1 (satu) jam dengan jarak sekitar 1,5 km.

Jumlah penduduk dusun Padengo desa Liyodu kecamatan Bongomeme adalah 281 jiwa yang menempati bangunan rumah tinggal sejumlah 84 unit rumah yang terdiri atas 112 kepala keluarga. Fasilitas umum yang ada di dusun Padengo yakni 1 (satu) buah bangunan Puskesmas, 1 (satu) buah bangunan Sekolah Dasar dan 1 (satu) buah bangunan Mesjid. Mata pencaharian utama penduduk dusun Padengo adalah bertani, dengan rata-rata pendapatan perbulan setiap kepala rumah tangga adalah Rp. 300,000,-

Berdasarkan data kependudukan dan fasilitas umum yang ada di dusun Padengo desa Liyodu, dan dengan menggunakan asumsi setiap rumah rata-rata membutuhkan energi listrik 200 VA, bangunan sekolah 450 VA, bangunan Puskesmas 900 VA, dan mesjid 200 VA maka dapat dibuat estimasi kebutuhan energi listrik untuk dusun ini diberikan pada tabel 5.19 sebagai berikut:

Tabel 5.19. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Liyodu

Jenis Fasilitas	Jumlah (unit)	Kebutuhan Energi Listrik (VA)	Jumlah (VA)
Rumah	84	200	16800
SD	1	450	450
PUSKESDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
Total Kebutuhan Listrik			18350

b) Desa Dulamayo Selatan

Desa Dulamayo Selatan kecamatan Telaga kabupaten Gorontalo dilewati oleh sungai Dulamayo yang merupakan pertemuan 2 (dua) anak sungai yaitu sungai Moluto dan sungai Pilayita. Di desa ini terdapat 3 (tiga) dusun yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN, sementara beberapa dusun lainnya saat ini sudah bisa memanfaatkan energi listrik yang bersumber dari PLTMH yang menggunakan potensi air dari sungai Moluto. Kondisi jalan menuju lokasi sungai Dulamayo selatan adalah jalan berbatu dan tanah yang berjarak 0,3 km dari pemukiman penduduk dan dapat ditempuh dengan waktu 5 menit dengan berjalan kaki.

Jumlah penduduk yang tinggal di ketiga dusun ini adalah 573 jiwa yang terdiri atas 180 kepala keluarga yang menghuni 125 buah rumah tinggal. Fasilitas umum yang dimiliki ketiga dusun ini yakni 1 (satu) buah bangunan Polides, 1 (satu) buah bangunan SD, 1 (satu) buah bangunan SLTP, dan 1 (satu) buah bangunan Mesjid. Mata pencaharian utama penduduk adalah bertani, dengan rata-rata pendapatan perbulan setiap kepala rumah tangga adalah Rp. 900,000,-

Berdasarkan data kependudukan dan fasilitas umum yang ada di ketiga dusun yang ada di desa Dulamayo Selatan, dan dengan menggunakan asumsi setiap rumah rata-rata membutuhkan energi listrik 200 VA, bangunan sekolah 450 VA, bangunan Puskesmas 900 VA, dan mesjid 200 VA maka dapat dibuat estimasi kebutuhan energi listrik untuk dusun ini diberikan pada tabel 5.20 sebagai berikut:

Tabel 5.20. Kebutuhan Listrik di lokasi Hybrid Energi desa Dulamayo Selatan

Jenis Fasilitas	Jumlah (unit)	Kebutuhan Energi Listrik (VA)	Jumlah (VA)
Rumah	125	200	25000
SD	1	450	450
SLTP	1	450	450
POLIDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
Total Kebutuhan Listrik			27000

5.5. Analisis Potensi Energi Listrik Setiap Komponen PLT- Hybrid Energi

Analisis besar energi yang dapat dibangkitkan setiap komponen dari Hybrid Energy yakni PLTMH, PLTS, dan PLT-Angin. Perhitungan berikut ini dilakukan untuk desa Tapada'a kecamatan SuwawaTengah kabupaten Bone Bolango, dan selanjutnya untuk lokasi lain mengikuti cara yang sama.

5.5.1. PLTMH

Berdasarkan data tinggi jatuh dan debit air seperti yang diberikan pada tabel 5.5 dan efisiensi dari setiap peralatan yang digunakan dapat dihitung energi listrik yang akan dihasilkan dari komponen hydro energi sebagai berikut:

Ketinggian jatuh (H)	: 20 meter
Debit air (Q)	: 0,19 m ³ /s
Grafitasi (g)	: 9,8 m/s ²
Efisiensi turbin (η_T)	: 0,77
Efisiensi transmiter (η_t)	: 0,87
Efisiensi Generator (η_G)	: 0,97
Power faktor (pf)	: 0,8

Dengan memasukan nilai-nilai di atas diperoleh daya keluaran di generator dalam kVA sebagai berikut:

$$\text{Output Generator (kVA)} = \frac{H \times Q \times g \times \eta_T \times \eta_t \times \eta_G}{pf} = \frac{20 \times 0,19 \times 9,8 \times 0,77 \times 0,87 \times 0,97}{0,8} = 29,566$$

Energi yang dapat dibangkitkan oleh PLTMH yang beroperasi selama 24 jam per hari dengan faktor daya (*power factor*) 0,8 adalah = 29,566 x 0,8 x 24 = 567,67 kWh.

Selanjutnya untuk lokasi lain di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo dihitung dengan cara yang sama, dan selengkapnya diberikan dalam tabel 5.21 sebagai berikut:

Tabel 5.21. Energi yang dibangkitkan oleh PLTMH di setiap Lokasi Hybrid Energy

Lokasi	Output Generator		Energi dibangkitkan selama 24 jam
	kVA	kW	kWh
Kabupaten Bone Bolango			
Tapada'a	29,57	23,65	567,67
Tulabolo	61,95	49,56	1189,38
Kabupaten Gorontalo			
Liyodu	176,31	141,05	3385,13
Dulamayo Selatan	157,12	125,70	3016,78

5.5.2. PLTS

Energi listrik yang dihasilkan dari komponen surya (PLTS) dihitung menggunakan data intensitas radiasi matahari seperti diberikan dalam tabel 5.7. Selain itu estimasi dari kebutuhan listrik juga digunakan dalam merancang sistem PLTS yang akan digunakan. Watt-Peak dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{\text{Watt peak}} = \text{area array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}}$$

1. Menghitung Area Array (PV area)

Area Array dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{PV Area} = \frac{E_L}{G_{\text{av}} \times \eta_{\text{PV}} \times \text{TCF} \times \eta_{\text{out}}}$$

E_L dalam persamaan di atas adalah estimasi kebutuhan energi listrik di desa Tapada'a yakni 7750 VA atau 7,75 kVA. Dengan asumsi bahwa power faktor di sisi beban adalah 0,95 maka daya dalam kW = $7,75 \times 0,95 = 7,36$ kW. Jika faktor kebutuhan (*deman factor*) masyarakat Gorontalo dalam menggunakan listrik adalah 21,41% (Statistik PLN, 2012), maka kebutuhan Energi Listrik (E_L) di desa Tapada'a setiap hari yang dilayani oleh PLTS dengan jam operasi 11 jam adalah $7,36 \text{ kW} \times 11 \text{ jam} \times 0,2141 = 17,34$ kWh per hari.

Secara umum untuk nilai insolasi harian matahari (G_{av}) akan dipergunakan nilai insolasi harian matahari terendah dari hasil pengukuran pada setiap lokasi penelitian. Berdasarkan data pengukuran intensitas radiasi matahari di desa Tapada'a diperoleh nilai terendah adalah $318,48 \text{ W/m}^2$ (data Tabel 5.7), maka insolasi harian matahari

untuk waktu pengukuran selama 11 jam (dari jam 06:30 s/d 17:30) adalah : $318,48 \times 11 \text{ jam} / 1000 = 3,5 \text{ kWh/m}^2$.

Efisiensi panel surya (η_{PV}) yang akan digunakan mengacu pada efisiensi panel surya Monokristal Silikon (Mono-crystalline Silicon) yang memiliki efisiensi 14-18 %. Dalam hal ini diambil salah satu dari type panel surya tersebut yaitu panel surya dengan type Mono-crystalline Silicon dengan daya 100 Wp.

Tabel 5.21. Spesifikasi Panel Surya type Mono-crystalline Silicon

Sell Type	Monocrystalline
Max Power (Pmax)	100 W
Voltage at Pmax (Vmpp)	17,4 V
Current at Pmax (Impp)	5,75 A
Short circuit current (Isc)	6,33 A
Open circuit voltage (Voc)	21,6 V
Dimension	1200 x 540 x 30 mm
Number of cells	36 cells
Weight	8,5 kg

Dengan spesifikasi panel surya seperti diberikan pada tabel 5.21, maka efisiensi panel surya (η_{PV}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \times A} \times 100\% = \frac{100}{1000 \frac{W}{m^2} \times 0,65 \text{ m}^2} = 15,38\%$$

Sebuah panel surya dapat bekerja secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal 25°C . Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C dari suhu normalnya (25°C) maka kinerja panel surya akan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga (daya) yang dihasilkan. Untuk propinsi Gorontalo, rata-rata terjadi peningkatan suhu sebesar $9,2^\circ\text{C}$ hal ini memberikan nilai TCF sebesar 0,95.

Untuk nilai (η_{out}) dihitung berdasarkan efisiensi komponen-komponen yang melengkapi sistem PLTS. Dalam sistem PLTS *Stand-Alone* yaitu yang berdiri sendiri yakni dilengkapi dengan *Charge Controller*, Baterai dan Inverter maka besar nilai (η_{out}) adalah hasil perkalian dari efisiensi *Charge Controller*, Baterai dan Inverter yaitu sebagai berikut:

$$\eta_{out} = \eta_c \times \eta_b \times \eta_i = 0,95 \times 0,9 \times 0,9 = 0,77$$

Dengan memasukan nilai-nilai EL, G_{av} , η_{PV} , TCF dan η_{out} , maka diperoleh:

$$PV \text{ Area} = \frac{17,34}{3,5 \times 15,38\% \times 0,95 \times 0,77} = 43,99 \text{ m}^2$$

2. Watt Peak

Daya yang dibangkitkan untuk Area Array, PSI dan efisiensi surya berturut-turut yakni 43,99 m², 1000 W/m², dan 15,38%, adalah :

$$\begin{aligned} P_{\text{Watt peak}} &= 43,99 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,1538 \\ &= 6766,21 \text{ Watt-Peak} \\ &= 6,77 \text{ kWp (Kilo Watt-Peak)} \end{aligned}$$

Dengan jam operasi dari PLTS 11 jam per hari maka total energi (kWh-Peak) yang dibangkitkan dari PLTS adalah 6,77 x 11 jam = 74,43 kWh-P

Selanjutnya untuk lokasi lain di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo dihitung dengan cara yang sama, dan selengkapnya diberikan dalam tabel 5.22 sebagai berikut:

Tabel 5.22. Energi yang dibangkitkan oleh PLTS di setiap lokasi *Hybrid Energy*

Lokasi	<i>Energy Demand</i> (kWh)	G _{av} (kWh/m ²)	PV Area m ²	Watt-Peak (kW-p)	Energi dibangkitkan (kWh-p)
Kabupaten Bone Bolango					
Tapada'a	17,34	3,5	43,99	6,77	74,43
Tulabolo	85,91	3,6	215,01	33,07	363,75
Kabupaten Bone Bolango					
Liyodu	41,06	3,6	100,18	15,41	169,48
Dulamayo Selatan	60,41	3,0	180,33	27,74	305,09

3. Jumlah unit PLTS

Untuk panel surya yang memiliki spesifikasi P_{MPP} = 100 Wp dengan luas area array 43,99 m², maka jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk melayani kebutuhan energi listrik (E_L) 17,34 kWh adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah panel surya} &= \frac{P_{\text{watt-peak}}}{P_{\text{MPP}}} \\ &= \frac{6766,21}{100} \\ &= 67,66 \text{ unit dibulatkan menjadi } 68 \text{ unit PLTS.} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk lokasi lain di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo dihitung dengan cara yang sama, dan selengkapnya diberikan dalam tabel 5.23 sebagai berikut:

Tabel 5.23. Jumlah Panel Surya di setiap lokasi *Hybrid Energy*

Lokasi	<i>Energy Demand</i>	Watt-Peak	Jumlah Panel Surya	
	(kWh)	Wp	Unit	dibulatkan
Kabupaten Bone Bolango				
Tapada'a	17,34	6766,21	67,66	68
Tulabolo	85,91	33068,62	330,69	331
Kabupaten Gorontalo				
Liyodu	41,06	15407,21	154,07	154
Dulamayo Selatan	60,41	27735,34	277,35	277

5.5.3. *PLT-Angin*

Energi Listrik yang dapat dihasilkan oleh konversi energi angin per satuan luas sapuan sudu kincir angin adalah sebagai berikut:

1. Daya Efektif yang dihasilkan kincir angin dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{EA} = \frac{1}{2} \cdot Cp \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^3 \text{ Watt}$$

2. Energi listrik yang dapat dibangkitkan per satuan luas penampang sapuan sudu kincir angin dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{Syst}/A = cp \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_g \cdot \eta_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ Watt/m}^2$$

dengan:

$$Cp = \text{keefesiensi daya} = 0,4$$

$$\eta_{tr} = \text{efesiensi transmissi} = 0,95$$

$$\eta_g = \text{efesiensi generator} = 0,85$$

$$\eta_b = \text{efesiensi baterai} = 0,75$$

$$\rho = \text{kerapatan udara} = 1,2 \text{ kg / m}^3$$

$$V = \text{kecepatan angin (m/s)}$$

Berdasarkan pengukuran kecepatan angin yang dilakukan di desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah selama 5 (lima) hari diperoleh maksimum kecepatan rata-rata angin 4,67 knot = 2,4 m/s yang berlangsung selama 8 jam yakni dari jam 9:00 s/d 17:00.

Dalam penelitian ini, desain diameter sudu dari kincir angin yang digunakan adalah 7 meter. Luasan sapuan sudu kincir angin untuk diameter $D = 7$ m adalah 38,465 m². Dengan memasukkan nilai-nilai dan koefisien seperti di atas maka untuk kecepatan angin = 1,03 m/s yang terjadi pada pukul 09:00 dapat dihitung:

- Daya Efektif kincir angin adalah:

$$P_{EA} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^3 = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 1,2 \times 7^2 \times (1,03)^3 = 12,81 \text{ Watt}$$

- Energi listrik yang dapat dibangkitkan per satuan luas penampang sapuan sudu kincir angin :

$$P_{Syst}/A = 0,4 \times 0,95 \times 0,85 \times 0,75 \times \frac{1}{2} \times 1,2 \times 1,03^3 = 0,16 \text{ Watt/m}^2.$$

Hasil perhitungan selanjutnya diberikan dalam tabel 5.24 sebagai berikut:

Tabel 5.24. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Angin di setiap lokasi *Hybrid Energy*

Jam	Kec. Angin (m/s)	Daya Efektif (watt)	(Psyst/A) Wp (Watt/m2)	P syst (Watt)
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	1,03	12,81	0,16	6,09
10:00	2,06	102,44	1,27	48,70
11:00	2,57	200,09	2,47	95,12
12:00	3,09	345,75	4,27	164,38
13:00	5,66	2130,53	26,33	1012,89
14:00	2,06	102,44	1,27	48,70
15:00	1,54	43,22	0,53	20,55
16:00	2,57	200,09	2,47	95,12
17:00	1,03	12,81	0,16	6,09
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rerata	2,40	350,02	4,33	166,40

Dari tabel 5.24 terlihat bahwa daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLT-Angin di desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah kabupaten Bone Bolango dengan diameter sudu kincir 7 meter berkisar antara 6,09 s/d 1012,89 Watt dengan rata-rata daya listrik yang dihasilkan adalah 166,40 watt.

Daya listrik ini tersedia rata-rata selama 9 jam yakni dari jam 09:00 s/d 17:00 sehingga potensi Energi yang dapat diperoleh dari tenaga angin adalah : 166,40 x 9 jam = 1497,65 Wh atau 1,50 kWh per hari.

Kebutuhan energi listrik (*energy demand*) untuk desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah selama 9 jam waktu operasi PLT-Angin jika faktor kebutuhan (*demand factor*) 21,41% adalah : 12,61 kWh per hari. Sedangkan 1 (satu) unit PLT-Angin hanya dapat memberikan energi sebesar 1,50 kWh per hari, oleh karena itu untuk dapat

melayani energi listrik sebesar 12,61 kWh diperlukan PLT-Angin dengan diameter sudu 7 meter sejumlah $12,61/1,50 = 9$ unit PLT-Angin.

Selanjutnya untuk lokasi lain di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo energi listrik yang dapat diperoleh dari tenaga angin dan jumlah unit PLT-Angin yang harus disediakan untuk melayani kebutuhan energi dihitung dengan cara yang sama, dan selengkapnya diberikan dalam tabel 5.25 sebagai berikut:

Tabel 5.25. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Angin di setiap lokasi *Hybrid Energy*

Lokasi	Energy Demand	P_{EA}	$P_{syst/A}$	P_{syst}		Jumlah
	(kWh)	(watt)	(Watt/m ²)	(Watt)	(kWh)	
Kabupaten Bone Bolango						
Tapada'a	14,19	350,02	4,33	166,40	1,50	9
Tulabolo	70,29	147,26	1,82	70,01	0,56	126
Kabupaten Gorontalo						
Liyodu	33,59	197,78	2,44	94,03	0,85	40
Dulamayo Selatan	54,92	169,85	2,10	73,28	0,73	75

5.5.4. Energi yang dibangkitkan oleh PLT-Hybrid Energy

Dari hasil analisis potensi energi listrik yang dihasilkan oleh setiap komponen PLT – *Hybrid Energy* dapat dibuat tabel yang menunjukkan total potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLT – *Hybrid Energy* di setiap lokasi baik di kabupaten Bone Bolango maupun di kabupaten Gorontalo. Hasil selengkapnya diberikan dalam tabel 5.26 sebagai berikut:

Tabel 5.26. Potensi Energi Listrik yang dibangkitkan oleh PLT- *Hybrid Energy*

Lokasi	Energy Demand	Energi dibangkitkan tiap komponen				Cadangan Energy
		PLTMH	PLTS	PLT-Angin	Total Energi	
	24 Jam	24 jam	11 jam	9 s/d 10 jam	24 jam	(kWh)
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Kabupaten Bone Bolango						
Tapada'a	37,83	567,67	74,43	1,50	643,59	605,76
Tulabolo	187,45	1189,38	363,75	0,56	1553,69	1366,25
Kabupaten Gorontalo						
Liyodu	89,58	3385,13	169,48	0,85	3555,46	3465,88
Dulamayo Selatan	131,80	3016,78	305,09	0,73	3322,60	3190,80

Dari tabel 5.26 terlihat bahwa kebutuhan energi harian untuk setiap lokasi Hybrid Energi dapat dipenuhi oleh energi yang dibangkitkan komponen PLTMH, dan jika PLTMH tidak dapat beroperasi sama sekali, maka kebutuhan energi masih dapat diatasi oleh komponen PLTS. Kontribusi dari PLT-Angin pada PLT-Hybrid Energy ini sangat kecil, karena potensi energi angin di lokasi PLT-Hybrid Energy memang sangat kecil. Dari hasil pengukuran, rata-rata kecepatan angin di setiap lokasi kurang dari 2 knot yakni hanya berkisar antara 1,14 s/d 1,68 knot. Oleh karena itu, jika komponen PLTMH dan PLTS tidak dapat berfungsi sama sekali maka PLT-Angin tidak dapat diandalkan dalam melayani kebutuhan energi harian konsumen.

Sementara itu agar PLT-Angin dapat diandalkan sebagai sumber energi pada PLT-Hybrid Energi, maka jumlah unit PLT-Angin yang dibangun di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi harus sebanyak seperti yang diberikan dalam tabel 5.25 yakni Tapada'a dan Tulabolo masing-masing 9 unit dan 126 unit, sedangkan untuk Liyodu dan Dulamayo Selatan masing-masing 40 unit dan 75 unit. Jika semua unit ini dapat dibangun pada setiap lokasi PLT-Hybrid Energi, maka akan memberikan peningkatan kontribusi energi listrik dari PLT-Angin seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.27 sebagai berikut:

Tabel 5.27. Peningkatan potensi energi komponen PLT-Angin melalui penambahan unit pembangkit di setiap lokasi *PLT-Hybrid Energi*

Lokasi	PLT-Angin			
	Jumlah (unit)	Energi (kWh)	Jumlah (unit)	Energi (kWh)
Kabupaten Bone Bolango				
Tapada'a	1	1,50	9	13,48
Tulabolo	1	0,56	126	70,57
Kabupaten Gorontalo				
Liyodu	1	0,85	40	33,85
Dulamayo Selatan	1	0,73	75	54,96

Disisi lain, terlihat dari Tabel 5.26 bahwa di semua lokasi PLT-Hybrid Energy terdapat cadangan energi yang berkisar antara 605,76 kWh s/d 3465,88 kWh setiap hari. Hal ini dapat terjadi karena di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi, komponen energi yang bersumber dari PLTMH sangat besar, oleh karena potensi mikrohydro memang sangat besar dibandingkan dengan potensi surya maupun potensi angin. Kelebihan pembangkitan energi ini tentunya sangat menguntungkan jika energi yang dibangkitkan

dapat dimanfaatkan secara maksimal, misalnya dialirkan ke desa-desa tetangga atau dijual ke PLN.

5.6. Detail Engineering Desain elektro mekanik PLT Hybrid Energy

5.6.1. Spesifikasi Teknis komponen PLTMH

A. Lokasi desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah kabupaten Bone Bolango

1. Turbin

- Jenis : Corssflow (batang horisontal)
- Efisiensi pada debit desain : 77%
- Output Turbin : 28,028 kW

2. Diameter Penstock : 0,45 m

3. Generator

- Tipe dan jumlah fasa : Sinkron 3 fasa
- Tegangan : 220/380 volt
- Efisiensi : 65%
- Putaran nominal : 1500 rpm
- Power Factor (pf) : 0,8
- Output : 29,566 kVA

4. Transmisi Mekanik

- Tipe : V-Belt atau Flat Belt
- Efisiensi : 95%

5. Sistem Kontrol : ELC dan IGC

B. Lokasi desa Tulabolo kecamatan Suwawa Timur kabupaten Bone Bolango

1. Turbin

- Jenis : Corssflow (batang horisontal)
- Efisiensi pada debit desain : 77%
- Output Turbin : 58,724 kW

2. Diameter Penstock : 0,7 m

3. Generator

- Tipe dan jumlah fasa : Sinkron 3 fasa
- Tegangan : 220/380 volt

- Efisiensi : 65%
 - Putaran nominal : 1500 rpm
 - Power Factor (pf) : 0,8
 - Output : 61,95 kVA
4. Transmisi Mekanik
- Tipe : V-Belt atau Flat Belt
 - Efisiensi : 95%
5. Sistem Kontrol : ELC dan IGC

C. Lokasi desa Liyodu kecamatan Bongomeme kabupaten Gorontalo

1. Turbin
- Jenis : Corssflow (batang horisontal)
 - Efisiensi pada debit desain : 77%
 - Output Turbin : 167,137 kW
2. Diameter Penstock : 0,7 m
3. Generator
- Tipe dan jumlah fasa : Sinkron 3 fasa
 - Tegangan : 220/380 volt
 - Efisiensi : 65%
 - Putaran nominal : 1500 rpm
 - Power Factor (pf) : 0,8
 - Output : 176,309 kVA
4. Transmisi Mekanik
- Tipe : V-Belt atau Flat Belt
 - Efisiensi : 95%
5. Sistem Kontrol : ELC dan IGC

D. Lokasi desa Dulamayo Selatan kecamatan Telaga kabupaten Gorontalo

1. Turbin
- Jenis : Corssflow (batang horisontal)
 - Efisiensi pada debit desain : 77%
 - Output Turbin : 148,950 kW

- 2. Diameter Penstock : 1,2 m
- 3. Generator
 - Tipe dan jumlah fasa : Sinkron 3 fasa
 - Tegangan : 220/380 volt
 - Efisiensi : 65%
 - Putaran nominal : 1500 rpm
 - Power Factor (pf) : 0,8
 - Output : 157,124 kVA
- 4. Transmisi Mekanik
 - Tipe : V-Belt atau Flat Belt
 - Efisiensi : 95%
- 5. Sistem Kontrol : ELC dan IGC

5.6.2. Spesifikasi Teknis komponen PLTS

Spesifikasi teknis dari komponen PLTS bergantung pada kebutuhan energi (*energy demand*) yang akan disupply oleh PLTS, dan juga spesifikasi dari panel surya yang akan digunakan.

Berdasarkan data sosio ekonomi dari setiap lokasi PLT-Hybrid Energi diperoleh data beban listrik di masing-masing lokasi yaitu: Tapada'a 7,36 kW, Tulabolo 36,48 kW, Liyodu 17,43 kW, dan Dulamayo Selatan 25,65 kW. Energy dalam kWh yang akan disupply oleh PLTS bergantung pada jam operasi PLTS menerima panas matahari yakni 11 jam per hari. Oleh karena itu, beban listrik dikalikan dengan 11 jam untuk mengubahnya ke dalam besaran kWh.

Faktor kebutuhan (*demand factor*) konsumen listrik di Propinsi Gorontalo berdasarkan Statistik PLN 2012 adalah 21,41%, oleh karena itu kebutuhan energy yang sebenarnya masih harus dikalikan dengan faktor 21,41%. Dan untuk jelasnya diberikan dalam Tabel 5.28 sebagai berikut:

Tabel 5.28. *Energy Demand* setiap lokasi PLT-Hybrid yang dilayani PLTS

Lokasi	<i>Energy Demand</i>		
	Beban kW	kWh	kWh
Tapada'a	7,36	80,99	17,34
Tulabolo	36,48	401,28	85,91
Liyodu	17,43	191,76	41,06
Dulamayo Selatan	25,65	282,15	60,41

Panel surya yang digunakan dalam desain PLT-Hybrid ini adalah type Mono-crystalline Silicon dengan daya 100 Wp dengan spesifikasi teknis dapat dilihat pada Tabel 5.21. Contoh berikut untuk PLTS di desa Tapada'a kecamatan Suwawa Tengah kabupaten Bone Bolango.

1. Kapasitas Bateray, dihitung menggunakan persamaan:

$$C = \frac{N \times \text{Energy Demand}}{DOD \times \eta_{inv}} = \frac{1 \times 17,34 \text{ kWh}}{0,8 \times 0,9} = 24,08 \text{ kWh}$$

Tegangan bateray yang digunakan pada PLTS adalah 12 volt, sehingga kapasitas Ah (Ampere Hours) dari bateray adalah:

$$\text{Ah} = \frac{24080}{12} = 2007 \text{ Ampere-hours}$$

2. Kapasitas Charge Controller, dihitung dengan persamaan:

$$\text{Charge Controller (CC)} = I_{sc} \times \text{Jumlah Panel Surya}$$

I_{sc} berdasarkan spesifikasi panel type Mono-crystalline Silicon dengan daya 100 Wp adalah 6,33 Amp. Jumlah panel surya di desa Tapada'a adalah 68 unit, oleh karena itu:

$$\text{CC} = 6,33 \times 68 = 430,44 \text{ Ampere}$$

3. Kapasitas Inverter, dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kapasitas Inverter (KI)} = V_{MPP} \times I_{MPP} \times \text{Jumlah panel Watt}$$

Dari spesifikasi panel surya diketahui $V_{MPP} = 17,4$ Volt dan $I_{MPP} = 5,75$ Amp, maka:

$$\text{KI} = 17,4 \times 5,75 \times 68 = 6803,4 \text{ Watt}$$

Selanjutnya untuk spesifikasi dari Bateray, Charge Controller, dan kapasitas Inverter di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi diberikan dalam Tabel 5.29 sebagai berikut:

Tabel 5.29. Spesifikasi komponen PLTS di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi

Lokasi	Bateray (Ah)	Charge Controller (Ampere)	Inverter (Watt)
Tapada'a	2007	430,44	6803,40
Tulabolo	9944	2095,23	33116,55
Liyodu	4752	974,82	15407,70
Dulamayo Selatan	6992	1753,41	27713,85

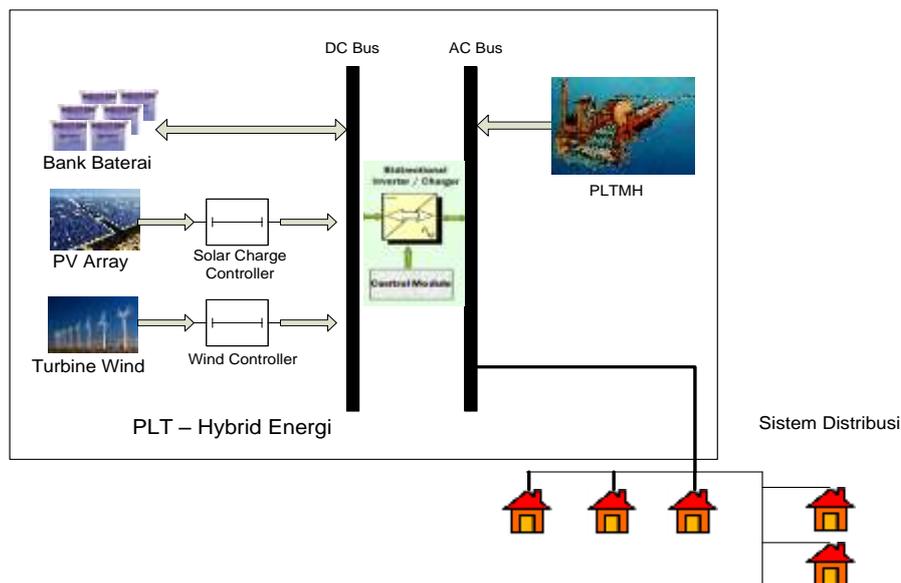
5.6.3. Spesifikasi Teknis komponen PLT-Angin

Spesifikasi teknis dari komponen PLT-Angin untuk semua lokasi PLT-Hybrid Energy sama yakni:

1. Kincir Angin tipe poros horisontal tenaga angkat
2. Diameter sudu (D) : 7 meter,
3. Efisiensi komponen sebagai berikut :
 - a) η_{tr} = efisiensi transmisi : 0,95
 - b) η_g = efisiensi generator : 0,85
 - c) η_b = efisiensi baterai : 0,75

5.6.4. Desain Sistem PLT-Hybrid Energi

PLT-Hybrid Energi merupakan gabungan dari beberapa pembangkit. Pada penelitian ini, pembangkit itu adalah PLTMH, PLTS, dan PLT-Angin. Desain sistem PLT-Hybrid Energi ditunjukkan pada gambar



Gambar 5.13. Pembangkit Listrik Hybrid Energi

5.7. Rancangan Penataan Sistem Jaringan Distribusi

Berdasarkan keadaan sosio ekonomi masyarakat setempat, secara umum penggunaan energi listrik di dominasi oleh kebutuhan rumah tangga. Disamping itu, untuk beberapa lokasi energi listrik dibutuhkan untuk fasilitas umum dan beberapa

industri kecil. Hasil pengamatan di lokasi penelitian terlihat bahwa secara umum distribusi penduduk adalah menyebar dan berkelompok. Merujuk pada hal tersebut, maka penataan distribusi yang sesuai adalah struktur jaringan radial, dimana struktur jaringan ini adalah struktur jaringan yang paling sederhana dan paling murah biaya pembangunannya.

5.7.1. Pemilihan Jalur Distribusi

Dalam memilih lokasi struktur pendukung hal-hal berikut harus dipertimbangkan:

- a) Mudah untuk akses dan perawatan
- b) Kondisi tanah kuat dan stabil
- c) Diharapkan tidak ada masalah dalam pengalihan/penggunaan lahan
- d) Tidak ada masalah pada jarak dengan rumah dan pohon, dsb
- e) Jalur distribusi harus paling pendek
- f) Jika tiang dipasang disekitar slope curam atau pada dasar jurang, maka tempatkan jalur pada garis yang kuat dan hindari memasang tiang pada dasar jurang
- g) Ketinggian konduktor dari atas tanah harus lebih dari 4 m.

5.7.2. Fasilitas Distribusi

Fasilitas pendukung sistem distribusi sebagai berikut:

1) Tiang

a) Jenis Tiang

Tiang standar untuk jaringan distribusi adalah tiang beton, tiang kayu (termasuk tiang bambu, dan tiang besi. Dengan mempertimbangkan kondisi sosio ekonomi masyarakat setempat, maka tiang kayu yang dipilih dalam desain jaringan distribusi.

b) Panjang Bentangan Tiang

Panjang bentangan antara pendukung jaringan distribusi ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Bentangan yang direkomendasikan 50 m;
- Maksimum 80 m, untuk area diluar pemukiman, area persawahan, dan ruang terbuka;
- Maksimum 50 m, untuk area pemukiman penduduk.

c) Jarak bebas Minimum yang diijinkan untuk Konduktor dan Lingkungan

Jarak bebas minimum konduktor dari atas tanah didesain dengan kriteria sebagai berikut:

Ketinggian konduktor di atas tanah (m)		
Kondisi	20 kV	Tegangan Rendah
Memotong jalan	6,5	4
Sepanjang jalan	6	4
Tempat lain	6	4

d) Ketinggian tiang

Ketinggian tiang harus ditentukan dengan memperhitungkan faktor-faktor berikut:

- Ketinggian yang diperlukan untuk konduktor feeder (penyulang) diatas tanah dapat diamankan dibawah lendutan terbesar.
- Jarak bebas yang diperlukan antara konduktor feeder dan bangunan, kawat listrik lain atau pepohonan dapat diamankan (jarak bebas dibawah lendutan maksimum harus diuji).
- Ketinggian yang direkomendasikan dari struktur pendukung adalah sebagai berikut:

Tegangan	Panjang tiang yang direkomendasikan
20 kV	9 m
Tegangan Rendah	7 m

e) Rekomendasi kedalaman minimum pemasangan tiang adalah satu per enam dari panjang tiang. Sebagai contoh: Kedalaman pemasangan tiang = Panjang tiang $9 \text{ m} \times 1/6 = 1.5 \text{ m}$

2) Tarik tegang

Tarik tegang harus dipasang untuk menyeimbangkan tiang. Jenis-jenis beban untuk struktur pendukung adalah (a) beban vertikal, (b) beban mendatar, dan (c) beban samping.

3) Konduktor dan kabel

Ukuran konduktor harus dipilih dengan memperhitungkan jumlah beban sekarang, beban yang diperkirakan, hubungan pendek/korsleting, kapasitas arus konduktor,

kerugian tegangan, kerugian daya, kekuatan mekanikal, dll. Terlalu banyak ukuran tidak dapat dipakai untuk percabangan feeder.

4) Sambungan rumah

Untuk SR (sambungan rumah), kabel twisted berinti tembaga atau berinti aluminium akan digunakan.

Ukuran dari bahan berinti tembaga adalah: 4 mm²; 6 mm²; 10 mm²; 16 mm²; 25 mm²

Ukuran dari bahan berinti aluminium adalah: 10 mm²; 16 mm²; 25 mm²; 35 mm²

5) Pengkabelan dalam rumah

Konsumsi tenaga yang diharapkan disetiap rumah tangga adalah 150 W dengan fasilitas-fasilitas sebagai berikut;

- a. MCB (Molded Circuit Breaker) satu fasa untuk pengaman dari hubungan pendek dan pentanahan.
- b. 2 lampu ruang dengan saklar on-off.
- c. 1 lampu di pintu masuk dengan saklar on-off.
- d. 1 lampu di luar digunakan untuk fasilitas umum .

BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Rencana tahap berikut dari penelitian ini didasarkan pada tujuan penelitian yakni mengetahui potensi Hybrid Energi di Propinsi Gorontalo. Penelitian ini direncanakan selesai dalam 2 (dua) tahun. Tahun pertama dilaksanakan di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo dengan hasil-hasil yang sudah dicapai pada tahun pertama adalah sebagai berikut:

1. Data tentang debit air rata-rata dan ketinggian jatuh air, Data intensitas radiasi matahari, Data kecepatan angin, Data tentang perhitungan daya berdasarkan potensi yang dihasilkan di sejumlah desa yang belum teraliri listrik.
2. Analisis sosio ekonomi berdasarkan karakteristik masyarakat sekitar bagi pemanfaatan PLT-Hybrid Energi tersebut dalam rangka menunjang terwujudnya Desa Mandiri Energi (DME).
3. Hasil analisis potensi hybrid energi terbarukan untuk setiap desa yang belum teraliri listrik dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di propinsi Gorontalo, di mana untuk tahun pertama ini hanya untuk kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo.
4. Rancangan desain elektromekanik PLT-Hybrid Energi yang sesuai dengan potensi energy terbarukan pada setiap desa yang belum teraliri listrik.
5. Rancangan penataan sistem jaringan distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat.

Sebagaimana tujuan akhir dari penelitian ini yakni untuk mengetahui potensi Hybrid Energi di propinsi Gorontalo secara keseluruhan maka diperlukan penelitian yang sama di 3 (tiga) kabupaten yang lainnya yakni: kabupaten Pohuwato, kabupaten Boalemo dan kabupaten Gorontalo Utara. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk dilanjutkan pada tahun kedua agar tujuan akhir dari penelitian ini yakni: “Peta potensi dan pemanfaatan Hybrid Energi Terbarukan dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi” dapat tercapai.

Untuk kegiatan penelitian di tahun ke dua, akan dilaksanakan pemetaan potensi dan pemanfaatan Hybrid Energi di desa-desa yang belum mendapatkan fasilitas listrik dari PLN, dan akan mengambil lokasi yang berada di 3 (tiga) kabupaten yaitu:

- 1) Kabupaten Gorontalo Utara

- 2) Kabupaten Boalemo
- 3) Kabupaten Pohuwato

Adapun luaran penelitian di tahun ke dua, sama juga dengan luaran pada tahun pertama yang akan dicapai melalui kegiatan penelitian sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan data potensi energi mikrohidro, energi surya dan energi angin pada desa-desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo.
2. Melakukan pengambilan data sosio ekonomi masyarakat desa yang berada disekitar lokasi yang berpotensi dibangun pembangkit listrik tenaga hybrid energi.
3. Melakukan analisis potensi hybrid energi terbarukan berdasarkan data-data yang sudah diperoleh sebelumnya.
4. Melakukan analisis kehidupan sosio-ekonomi masyarakat desa.
5. Membuat desain komponen elektro mekanik pembangkit listrik tenaga hybrid energi terbarukan yang sesuai dengan potensi yang tersedia.
6. Membuat desain sistem jaringan distribusi energi listrik yang sesuai dengan keadaan sosio-ekonomi masyarakat setempat.
7. Membuat pemetaan potensi hybrid energi terbarukan di daerah yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga hybrid dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi.

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

1. Potensi Hidro, Surya, dan Angin untuk Hybrid Energi

Kabupaten Bone Bolango:

- a. Rata-rata debit air sungai Tapadaa, kecamatan Suwawa Tengah adalah sebesar $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$, dan untuk sungai Tulabolo yang berada di kecamatan Suwawa Timur adalah sebesar $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$.
- b. Besar rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Tapadaa dan desa Tulabolo yang diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: $368,94 \text{ W/m}^2$ dan $342,21 \text{ W/m}^2$.
- c. Rata-rata kecepatan angin di desa Tapadaa dan desa Tulabolo yang juga diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 1,68 knot dan 1,14 knot

Kabupaten Gorontalo:

- a. Rata-rata debit air sungai Bontula Lo Popaya, di desa Liyodu, kecamatan Bongomem adalah sebesar $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$, dan untuk sungai Dulamayo Selatan yang berada di kecamatan Telaga adalah sebesar $2,47 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - b. Besar rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Liyodu dan desa Dulamayo Selatan yang diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: $400,80 \text{ W/m}^2$ dan $350,90 \text{ W/m}^2$.
 - c. Rata-rata kecepatan angin di desa Liyodu dan desa Dulamayo Selatan yang juga diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 1,45 knot dan 1,23 knot.
2. Sebagian besar penduduk di desa Tapadaa dan Tulabolo memiliki mata pencaharaan utama sebagai petani dengan pendapatan per bulan berkisar antara Rp. 200,000.- s/d Rp. 300,000.- Begitu juga untuk desa Liyodu dan desa Dulamayo Selatan mata pencaharian utama adalah bertani dengan pendapatan per bulan Rp. 300,000.- s/d Rp. 900,000.- Kebutuhan energi listrik (*energy demand*) masyarakat dipengaruhi juga oleh kondisi sosio ekonomi terutama pendapatan per bulan. Dari hasil penelitian, kebutuhan energi listrik di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi adalah sebagai berikut: Desa Tapadaa kecamatan Suwawa Tengah adalah 37,83 kWh per hari, desa Tulabolo kecamatan Suswawa Timur adalah 187,45 kWh per hari, desa Liyodu 89,58 kWh per hari, dan desa Dulamayo Selatan 131,8 kWh per hari.

3. Energi listrik yang bisa dibangkitkan oleh PLT-Hybrid Energi yakni desa Tapadaa sebesar 643,59 kWh per hari, desa Tulabolo sebesar 1553,69 kWh per hari, desa Liyodu 3555,46 kWh per hari, dan desa Dulamayo Selatan 3322,6 kWh per hari.
4. Desain komponen elektro mekanik berdasarkan karakteristik debit air maka untuk komponen PLTMH digunakan turbin air dari jenis crossflow, berdasarkan karakteristik angin untuk PLT-Angin digunakan kincir angin tipe poros horisontal tenaga angkat, dan berdasarkan karakteristik intensitas radiasi matahari untuk PLTS digunakan panel surya type Mono-crystalline Silicon dengan daya 100 Wp. Desain lengkap dapat dilihat pada Bab V point 5.6.
5. Jaringan distribusi yang sesuai berdasarkan kondisi sosio ekonomi masyarakat adalah sistem distribusi radial, dengan tiang penyanggah konduktor dipilih dari tiang kayu yang banyak tersedia di lokasi.
6. Potensi Hybrid Energi tersedia cukup besar tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan kebutuhan energi untuk desa Tapada'a, desa Tulabolo, desa Liyodu, dan desa Dulamayo Selatan seperti pada point 2 di atas, maka terdapat cadangan energi yakni: 605,76 kWh per hari untuk desa Tapada'a, 1366,25 kWh per hari untuk desa Tulabolo, 3465,88 kWh per hari untuk desa Liyodu, dan 3190,8 kWh per hari untuk desa Dulamayo Selatan.

7.2. Saran

1. Bagi pemerintah agar dapat memaksimalkan potensi energi terbarukan melalui pemanfaatan PLT-Hybrid Energi, karena dari hasil penelitian didapatkan bahwa potensi Hybrid Energi cukup banyak tersedia dan belum dimanfaatkan secara maksimal.
2. Bagi peneliti, penelitian ini masih dapat dilanjutkan dalam hal implementasi dari hasil penelitian yang sudah dilakukan kali ini, dan juga penelitian terkait dengan usaha bagaimana meningkatkan unjuk kerja dari PLT-Angin dalam proses konversi energi angin menjadi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

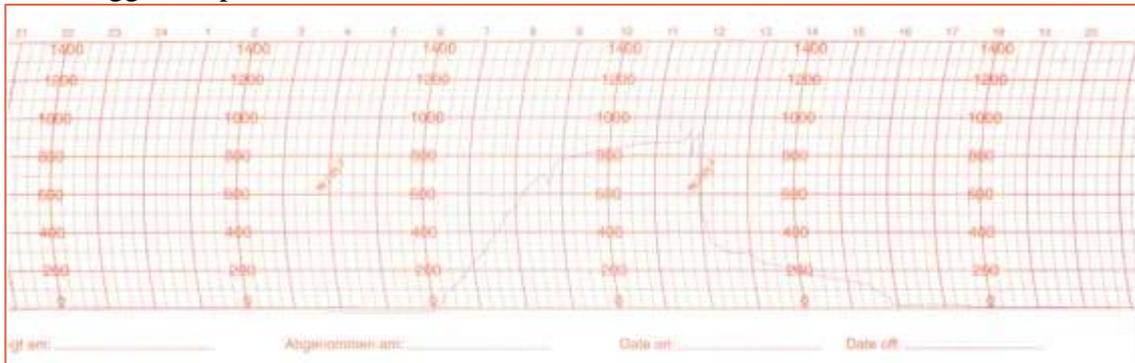
- Harun, Ervan & Salim, Sardi. 2009, dkk “*Pengembangan Sumber Daya air Untuk Peningkatan Ketenagalistrikan di Wilayah Propinsi Gorontalo*”. Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- BPS propinsi Gorontalo. 2010. *Propinsi dalam Angka*. Gorontalo.
- Heliyanto,B..... *Konsep Desa Mandiri Energi*. Prosiding lokakarya nasional-III Inovasi teknologi jarak pagar untuk mendukung program Desa Mandiri Energi. Penerbit Bayumedia Publishing
- Harvey.2003. “*Manual Desing Mycrohydro Report on Standarisation of Civil Works for Small Microhydro Power Plant*”. UNINDO.
- Manan Saiful.2010., *Energi Matahari sumber energi alternatif yang efisien, handal, dan ramah lingkungan di indonesia.*, Laporan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.Semarang
- Matoka, Arifin,dkk. 2009. “ *Kajian Potensi Energi Listrik Mikrohidro Pada Saluran Irigasi Provinsi Gorontalo menunjang Elektrifikasi Pertanian*”. Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- Olivia Lewi Pramesti, 2012., *Energi Hibrid Potensial Dikembangkan di Indonesia.*, <http://nationalgeographic.co.id/berita/2012/04/energi-hibrid-potensial-dikembangkan-di-indonesia>
- PT. CIT. 2004.”*Desain Manual Turbin OF 430*”. Chianjuang Inti Teknik. Bandung. [www. Tempo.co/read/2010/01](http://www.Tempo.co/read/2010/01)
- PT. PLN (Persero). 2013. “Statistik PLN 2012”. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero). Jakarta.
- Pepres RI No 5 tahun 2006., “Kebijakan Energi Nasional”
- Sam, Alimuddin & Patabang, Daud. 2005. “Studi Potensi Energi Angin Di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik” *Jurnal SMARTEK*, Volume 3 No. 1 Pebruari 2005.
- Soeripno, MS dan Ibrochim, M., 2009., *Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin di Lebak Banten*., *Jurnal Teknologi Dirgantara*. Volume 7 No.1 Juni 2009.

- Tengku Dahril, Prof.,Dr., 2012. “Penelitian dan Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan berdasarkan sumber daya lokal di Prpinsi Riau”. Disampaikan pada Annual Forum Energy and Enviromental Partnership, Pekanbaru 30 – 31 Oktober 2012.
- Tumiran., Prof., Dr, 2014. “Paradigma Baru Kebijakan Energi Nasional Menuju Ketahanan Dan Kemandirian Energi”., Anggota Dewan Energi Nasional Periode 2009-2014
- Winarto, Eko Wismo., 2013., “Potensi Pembangkitan Listrik Hybrid menggunakan Vertical Axis Wind Turbine tipe Savonius dan Panel Sury”., Jurnal Tenologi Volume 6 No 2 Desember 2013.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Tapadaa kecamatan Suwawa Tengah, kabupaten Bone Bolango

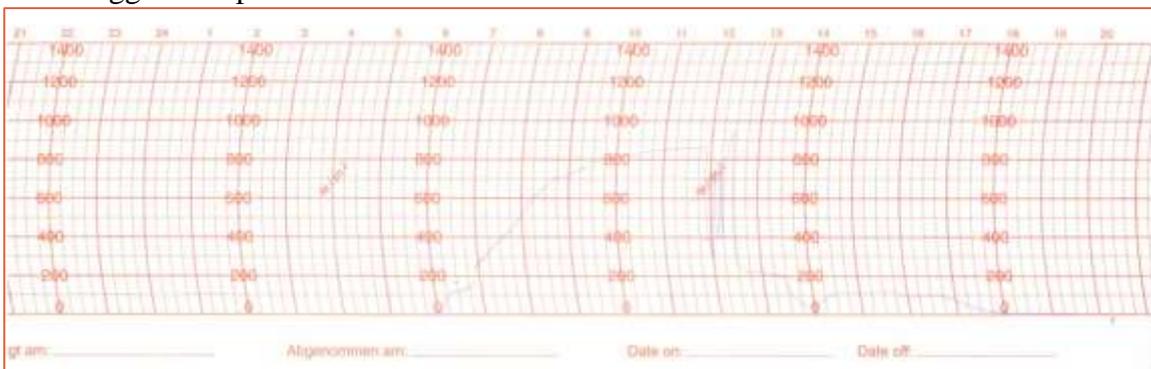
1. Tanggal 8 April 2014



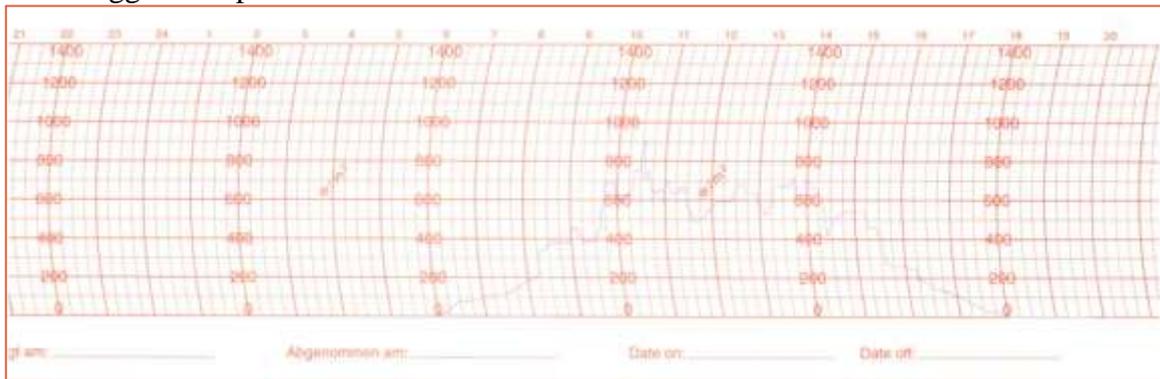
2. Tanggal 9 April 2014



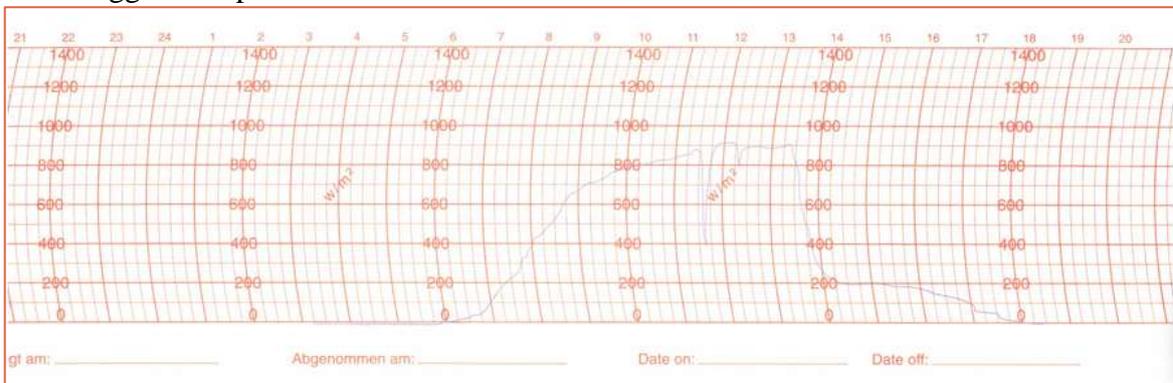
3. Tanggal 10 April 2014



4. Tanggal 11 April 2014



5. Tanggal 12 April 2014

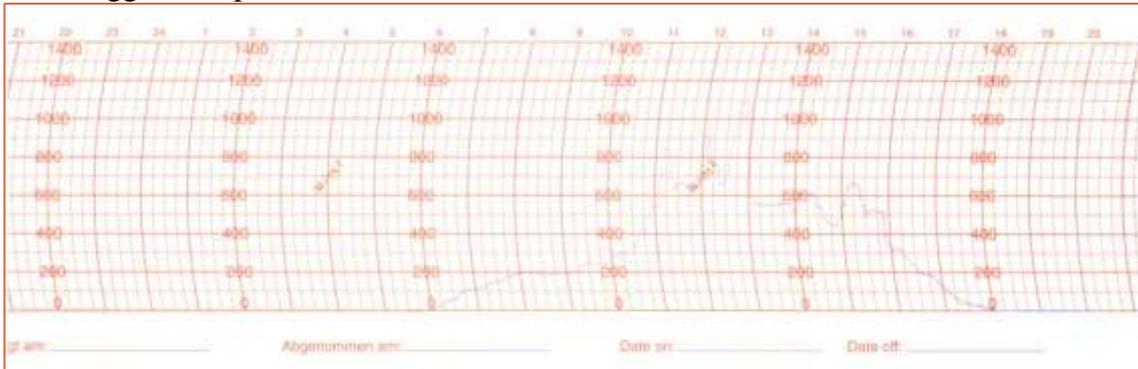


Lampiran 2. Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Tulabolo kecamatan Suwawa Timur, kabupaten Bone Bolango

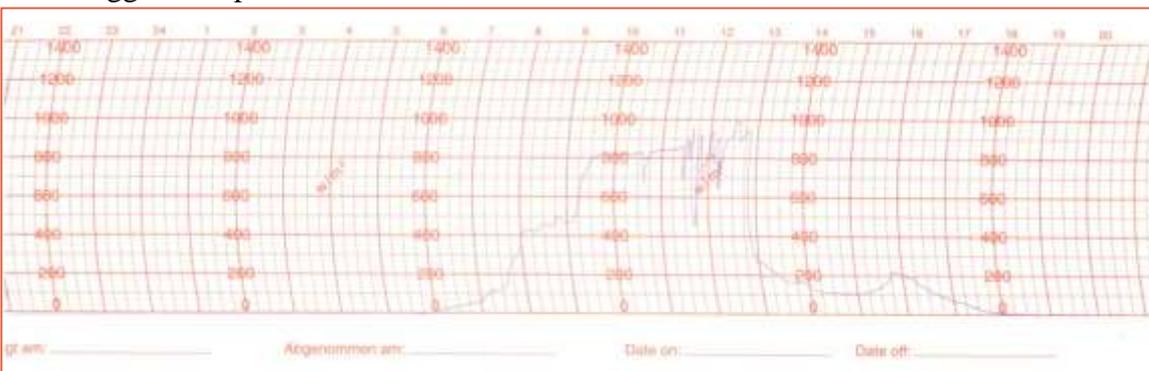
1. Tanggal 13 April 2014



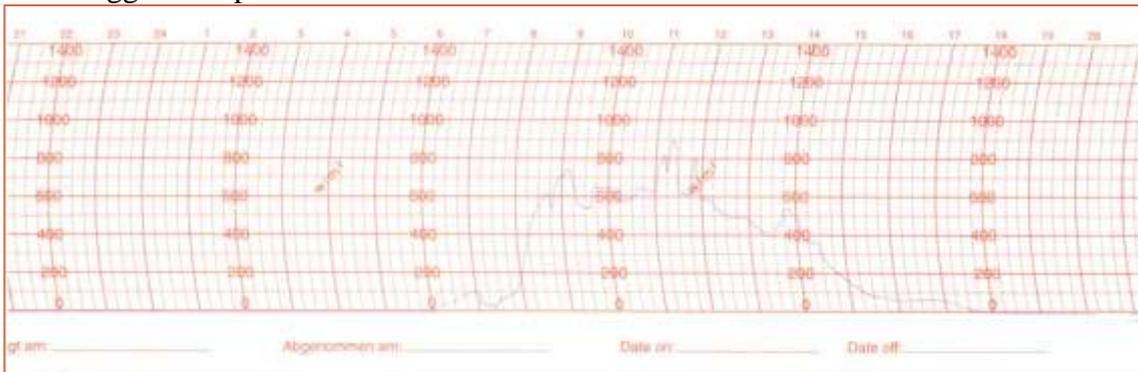
2. Tanggal 14 April 2014



3. Tanggal 15 April 2014



4. Tanggal 16 April 2014

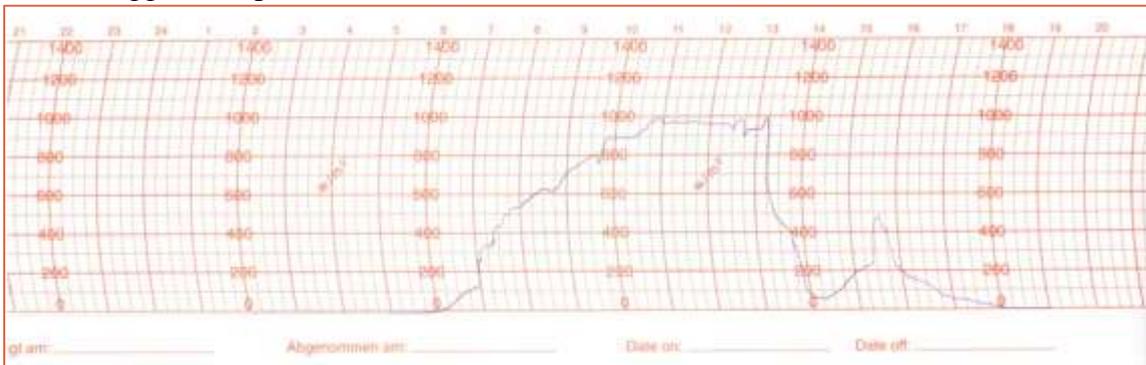


5. Tanggal 17 April 2014

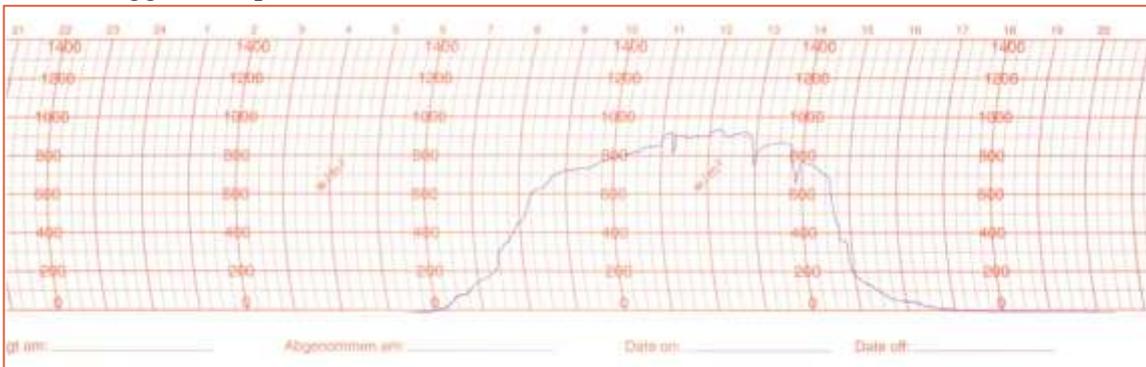


Lampiran 3. Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Liyodu kecamatan Bongomeme, kabupaten Gorontalo.

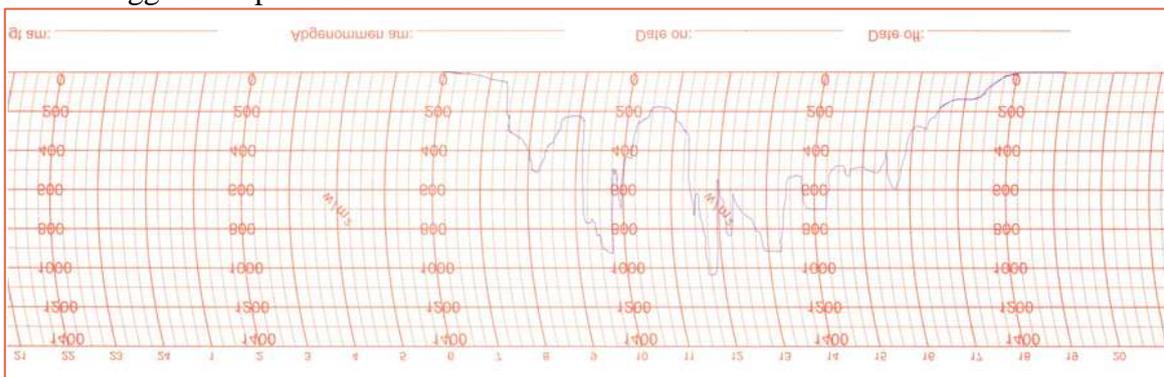
1. Tanggal 24 April 2014



2. Tanggal 25 April 2014



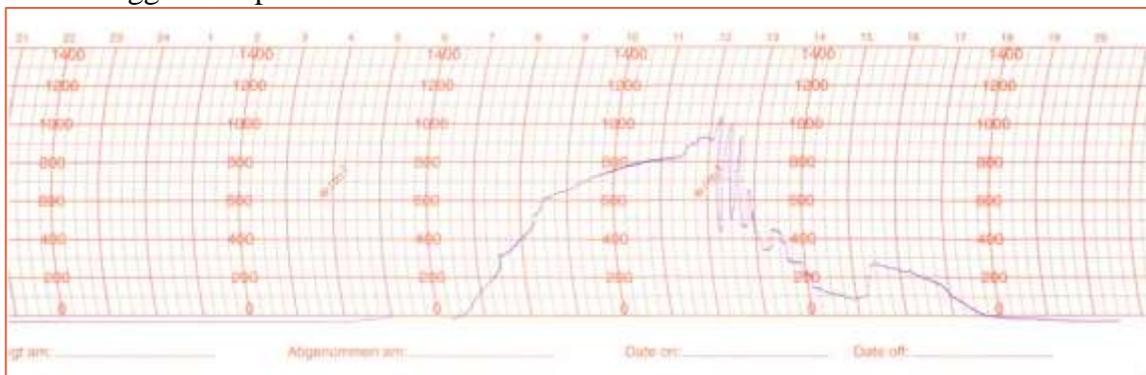
3. Tanggal 26 April 2014



4. Tanggal 27 April 2014

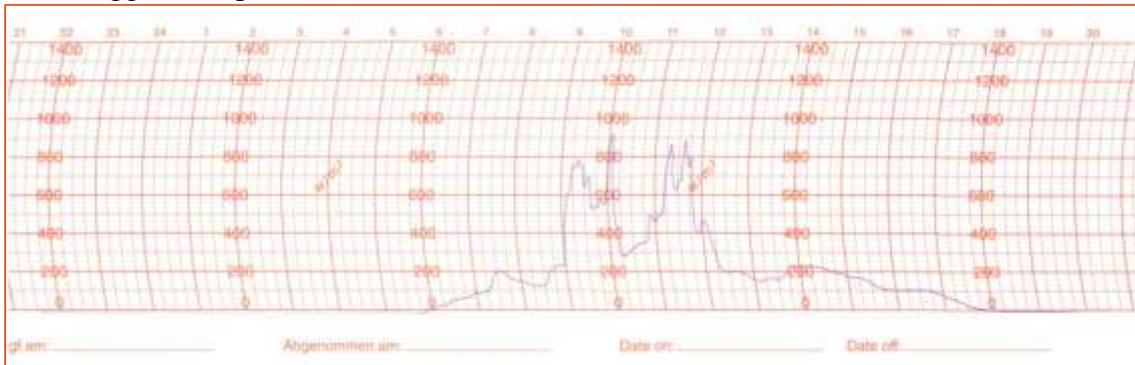


5. Tanggal 28 April 2014



Lampiran 4. Karakteristik Intensitas Radiasi Matahari perhari Desa Dulamayo Selatan kecamatan Telaga, kabupaten Gorontalo.

1. Tanggal 29 April 2014



2. Tanggal 30 April 2014



3. Tanggal 1 Mei 2014



4. Tanggal 2 Mei 2014



5. Tanggal 3 Mei 2014



Lampiran 5. Identitas Peneliti beserta kualifikasinya

DAFTAR RIWAYAT HIDUP KETUA PENELITIAN

A. IDENTITAS DIRI

1.	Nama Lengkap	Ervan Hasan Harun, ST. MT
2.	Jenis Kelamin	Laki-laki
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	NIP	197411252001121002
5.	NIDN	0025117408
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Gorontalo, 25 November 1974
7.	E-mail	ervanharun@ung.ac.id
8.	Nomor Telp/HP	081340079282
9.	Alamat Kantor	Jln. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
10.	Nomor Telepon/Faks	0435-821125/ 0435-821183
11.	Lulusan yang dihasilkan	D3 = 18 Org
12.	Mata Kuliah yang diampu	1. Dasar konversi energi
		2. Analisis system tenaga listrik
		3. Transmisi dan Gardu induk
		4. Metode numerik

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

	S-1	S-2
Nama PT	UNSRAT manado	UGM Yogyakarta
Bidang Ilmu	Teknik Tenaga Listrik	Teknik Tenaga Listrik
Tahun Masuk _Lulus	1993-1999	2004-2006
Judul Skripsi /tesis /Disertasi	Studi tentang Rugi-rugi Energi Listrik Pada Sitem Distribusi di PT PLN (Persero) Wialayah SULUTENGGGO	Studi Stabilitas Sistim Tenaga Lisrrik di PT PLN (Persero) Wialayah VII SULUTENGGGO Sektor Minahasa
Nama Pembimbing / Promotor	Ir. Sandy H. Pakaja,M.Sc. Ir. Dardjupri,M.Si	DR. Ir. Sasongko,P.H.DEA Ir. Soedjatmiko,M.Sc.

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah Juta (Rp)
1	2008	Prakiraan Besar Medan listrik dan medan magnet saluran udara tegangan tinggi (SUUT) 150 kV di Provinsi Gorontalo	PNBP UNG	3
2	2009	Pengembangan ketenagalistrikan melalui pemberdayaan sumber daya alam terbarukan di wilayah provinsi Gorontalo	Hibah Strategis Nasional Dikti	100
3	2011	Pemetaan sumber daya laboratorium teknik elektro UNG sebagai analisis kebutuhan pengemabngan laboratorium yang ideal	PNBP UNG	17,5
4	2012	Analisis aliran daya pada system tenaga listrik 150 kV Gorontalo menggunakan metode newton rhapson	PNBP UNG	8,51

D. PENGALAMAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	JudulPengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah Juta (Rp)
1	2009	Pelatihan Pembuatan Inverter Sebagai Modul Tambahan Pada PLTS-SHS di Desa Batulayar Kec. Bongomeme	DIKTI	7,5

		Kab.Bongomeme		
2	2012	Pemeliharaan dan Perawatan (<i>Maintenance</i>) PLTMH di Desa Dulamayo Selatan	PNBP Fatek UNG	6

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume / Nomor	Nama Jurnal
1	2009	Pemanfaatan Sinar matahari sebagai upaya meningkatkan efisiensi pada system siklus kombinasi	Vol.7/No. 1/juni 2009	Jurnal Teknik Fak. Teknik UNG
2	2010	Analisis radiasi gelombang elektromagnetik SUTT 150 kV menggunakan metode geometric mean distance (GMD) dan geometric mean radius (GMR)	Vol.8/No. 2/Desember 2010	Jurnal Teknik Fak. Teknik UNG
3	2012	Analisis tahanan setiap bus pada system tenaga listrik gorontalo melalui simulasi aliran daya	Vol.6/No. 6/November 2012	Jurnal Sainstek UNG
4	2014	Analisis Kemampuan Pembangkit Sistem Tenaga Listrik Gorontalo Berdasarkan Simulasi Aliran Daya Menggunakan Matlab	Vol.4/No. 1/Maret 2014	Jurnal Ilmiah Foristek

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam dokumen laporan Tahunan Penelitian Hibah Bersaing.

Gorontalo, 23 September 2014
Pengusul,



Ervan Hasan Harun, ST. MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP ANGGOTA PENELITI

A. IDENTITAS DIRI

1.	Nama Lengkap	Jumiati Ilham, ST. MT.	26
2.	Jenis Kelamin	Perempuan	
3.	Jabatan Fungsional	Lektor	
4.	NIP	197510172005012001	
5.	NIDN	0017107504	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Matano, 17 Oktober 1975	
7.	E-mail	jumiatiilham@ung.ac.id	
8.	Nomor Telp/HP	081340251241	
9.	Alamat Kantor	Jln. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo	
10.	Nomor Telepon/Faks	0435-821125/ 0435-821183	
11.	Lulusan yang dihasilkan	D3 = 20 Org	
12.	Mata Kuliah yang diampu	1. Dasar konversi energi 2. Pembangkit Tenga Listrik 3. Ilmu Bahan Listrik 4. Instalasi Penerangan	

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

	S-1	S-2
Nama PT	Universitas Muslim Indonesia	Universitas Hasanuddin
Bidang Ilmu	Teknik Tenaga Listrik	Teknik Tenaga Listrik
Tahun Masuk _Lulus	1993-1998	2008-2010
Judul Skripsi /tesis /Disertasi	Perancangan motor induksi 1 fasa dengan 2 arah putaran	Studi Penuaan minyak transformator distribusi
Nama Pembimbing / Promotor	Ir. Sugianto, M.Sc Ir. Syarifudin Nojeng, M.sc	Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang Prof. Dr. H.M. Arief, Dpil

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah Juta (Rp)
1	2007	Evaluasi potensi energi listrik pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (studi kasus pada PLTMH Lembah Permai Lemito)	Dana DIKS UNG	2
2	2011	Sistem Informasi monitoring perkuliahan fakultas teknik berbasis WEB	PNBP UNG	46,5

D. PENGALAMAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	JudulPengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah Juta (Rp)
1	2007	Pelatihan Pengoperasian dan Perawatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kepada masyarakat di Ds. Batu Layar Kec. Bongomeme Kab. Gorontalo	PNBP UNG	1,5
2	2007	Pelatihan Pembuatan Briket Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Bagi remaja Putus Sekolah di Kel. Padebuolo Kec. Kota Timur Gorontalo	PNBP UNG	1,5
3	2008	Pelatihan Instalasi Jaringan Internet "Dial IP" dengan Stand Alone dan Line Telepon bagi Remaja Mesjid di Kel. Padebuolo Kec. Kota Timur Gorontalo	PNBP UNG	1,5
4	2008	Pelatihan Pengolahan Sampah Biomassa sebagai Sumber Energi Altrenatif Pengganti BBM pada Pembuatan Briket Bioarang Skala Rumah Tangga Bagi Ibu-ibu RT di Kel. Padeboulo Kec. Kota Timur	PNBP UNG	1,5

		Gorontalo		
5	2011	Pelatihan Komputer Aplikasi di SMK Negeri 1 Batudaa,- Kab. Gorontalo	DIPA Fakultas Teknik	5
6	2012	Pelatihan perawatan dan pemeliharaan PLTMH desa Dulamayo Selatan kab. Gorontalo	PNBP Fakultas Teknik	5

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume / Nomor	Nama Jurnal
1	2008	Evaluasi potensi energi air pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro	Vol.3/No.2/juni 2008	Jurnal Ichsan Gorontalo
2	2010	Desain Sistem kendali proteksi arus	Vol.5/No.1/Desember 2010	Jurnal Teknik Elektro FATEK UNM
3	2010	Studi Penuaan minyak transformator distribusi	Vol.11/No.6/November 2012	Proceedings SITIA ITS Surabaya

F. PEMAKALAH SEMINAR ILMIAH (*Oral Presentation*) DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Seminar on Intelligent Tegnology and Its Applications	Studi penuaan minyak transformator distribusi	9 - 10 Oktober 2010 Surabaya

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam dokumen laporan Tahunan Penelitian Hibah Bersaing.

Gorontalo, 23 September 2014
Pengusul,

Jumiati Ilham, ST. MT

POTENSI DEBIT AIR, INTENSITAS RADIASI MATAHARI, DAN KECEPATAN ANGIN SEBAGAI KOMPONEN HYBRID ENERGI DI GORONTALO

Ervan Hasan Harun¹⁾ dan Jumiati Ilham²⁾
Dosen Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo

Abstract - Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi hibrid energi terbarukan (energi mikrohidro, energi surya dan energi angin) sebagai sumber energi alternatif dalam menunjang terwujudnya desa mandiri energi di Propinsi Gorontalo, dan secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi hibrid energi terbarukan yang dihasilkan pada lokasi desa yang belum teraliri listrik yang dapat menunjang terwujudnya desa mandiri energi. Metode penelitian ini dimulai dari pengumpulan bahan referensi dasar serta data teknis dan non teknis, yang dilanjutkan dengan metode observasi untuk mendapatkan data tentang profil dusun/desa lokasi potensi hibrid energi terbarukan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa: potensi debit air; intensitas radiasi matahari; dan kecepatan angin di kabupaten Bone Bolango, berurut-turut sebagai berikut: 0,19 m³/s; 368,94 W/m²; 1,68 knot di desa Tapadaa, dan 0,86 m³/s; 342,21 W/m²; 1,14 knot di desa Tulabolo. Dan kabupaten Gorontalo berturut-turut sebagai berikut: 0,89 m³/s; 400,8 W/m²; 1,45 knot di desa Liyodu, dan 2,47 m³/s; 350,9 W/m²; 1,23 knot di desa Dulamayo Selatan.

Kata kunci: Potensi, Hybrid Energi, debit air, energi surya, energi angin.

I. PENDAHULUAN

Kebijakan pemerintah untuk mempercepat pelaksanaan listrik masuk desa semakin dikembangkan dalam upaya mendorong kegiatan ekonomi serta meningkatkan kecerdasan dan kesejahteraan rakyat pedesaan dalam pengentasan kemiskinan.

Gorontalo merupakan propinsi pemekaran dari Sulawesi Utara, yang

dibentuk berdasarkan undang-undang no.39 tahun 2000 terdiri dari 5 (lima) kabupaten dan 1 (satu) kota yaitu Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo, Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Gorontalo Utara dan Kota Gorontalo. Berdasarkan informasi Tempo dan Deptamben propinsi Gorontalo tahun 2010, bahwa 40 % desa-desa yang tersebar dipropinsi Gorontalo belum teraliri listrik, sedangkan 60 % sudah teraliri listrik dari PLN.

Pembangkit listrik tenaga hybrid merupakan kombinasi dua atau lebih sistem pembangkit tenaga listrik yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN. Berdasarkan hasil penelitian LAPAN, energi hybrid ini sangat cocok untuk dikembangkan di wilayah Indonesia dikarenakan potensi energi surya di Indonesia sangat tinggi dimana intensitas rata-rata 4-5 Wh/m² yang berlaku sepanjang tahun dan potensi angin di Indonesia tengah mencapai 6,6 m/s pada ketinggian 30 m dan mencapai 7,5 m/s pada ketinggian 50 m (sumber : BPPT, BMG)

Berdasarkan pemaparan di atas, maka akan dilakukan pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi terbarukan yang dapat dihasilkan oleh setiap desa yang belum teraliri listrik di Propinsi Gorontalo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Desa Mandiri Energi

Konsep pembangunan desa mandiri energi merupakan pembangunan yang berdasarkan potensi lingkungan untuk kesejahteraan manusia dan kelestarian

lingkungan. Dengan demikian, pengamatan terhadap potensi lingkungan dan karakteristiknya sangat penting (Heliyanto, B)

Konsep pembangunan Desa Mandiri Energi antara lain adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana menerapkan pendekatan pengembangan energi lokal tanpa merusak lingkungan dan pemberdayaan ekonomi produktif setempat dalam rangka terwujudnya Desa Mandiri Energi.
2. Bagaimana mengembangkan kelembagaan untuk mendorong masyarakat yang bertanggung jawab menjaga kelestarian lingkungan.
3. Bagaimana mengembangkan pengolahan dengan menggunakan paket teknologi konversi sumber energi terbarukan dalam konteks Desa Mandiri Energi.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan menghubungkan sistem pembangkit energi terbarukan dengan usaha bisnis dan lingkungan. Olan energi terbarukan dapat dimanfaatkan oleh kegiatan ekonomi produktif yang memanfaatkan energi terbarukan untuk siang hari. Sedangkan di malam hari dapat dipergunakan untuk kebutuhan dasar energi rumah tangga seperti penerangan.

2.2. Potensi Energi Mikrohidro

Pada dasarnya sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro memerlukan dua data yang penting yaitu debit air dan ketinggian jatuh (Head) untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Bentang alam yang terjadi (lebar, aliran sungai, kontur tanah dan sungai) akan menentukan besar potensi energi listrik yang ada di daerah tersebut. Persamaan dasar dari pembangkit listrik mikrohidro ini adalah (Harvey, 2003) :

$$P_{netto} = 9,8 \times H_{gross} \times Q \times \eta_{tot} \text{ kW}$$

2.3. Potensi Energi Surya

Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui peralatan konversi energi yakni sel surya. Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah

sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0.5 V sampai 0.7 V dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya 900 (tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga bergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Untuk menentukaan besarnya potensi energi surya suatu lokasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{WP} = Area \text{ Array} \times PSI \times \eta_{PV}$$

Sedangkan Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan persamaan :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}}$$

2.4. Potensi Energi Angin

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin, untuk besarnya potensi energy angin dapat digunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3$$

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah,

$$P = \frac{16}{27} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^3$$

Angka $\frac{16}{27}$ (=59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor, η_{rotor} ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik.

2.5. Hybrid Energi Terbarukan

Sumber energy mikrohidro, energi surya dan angin merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas (free). Masalah utama dari ketiga jenis energi tersebut adalah tidak tersedia terus menerus. Energi mikrohidro hanya tersedia pada lokasi

dengan kontur tanah yang mempunyai aliran dan ketinggian tertentu serta tergantung musim, Energi surya hanya tersedia pada siang hari ketika cuaca cerah, sedangkan energi angin tersedia pada waktu yang seringkali tidak dapat diprediksi (sporadic) dan sangat berfluktuasi bergantung cuaca atau musim.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, teknik hibrid banyak digunakan untuk menggabungkan beberapa jenis pembangkit listrik. Dalam teknik hibrid ini, pada umumnya baterai digunakan sebagai penyimpan energi sementara, dan sebuah pengendali digunakan untuk mengoptimalkan pemakaian energi dari masing-masing sumber dan baterai, disesuaikan dengan beban dan ketersediaan energi dari sumber energi yang digunakan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Data

Pengukuran hidrologi dilaksanakan pada musim kemarau dan musim penghujan. Pengukuran hidrologi meliputi pengukuran tinggi jatuh (Head) dan debit air. Dimana pengukuran tinggi jatuh (Head) dilakukan dengan menggunakan Theodolite. Sedangkan pengukuran debit air dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

- a. Pengukuran Menggunakan current meter
- b. Pengukuran dengan Pelampung (Float Area Methode)
- c. Pengukuran Debit Air dengan Metode Rasional

Data intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh dengan menggunakan alat ukur actinograph untuk pengukuran intensitas radiasi matahari dan anemometer untuk pengukuran kecepatan angin.

3.2. Lokasi Pengambilan data

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini adalah tempat yang memiliki potensi sumber energi alternatif yang terdiri atas tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin yang memungkinkan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Enegi.

Pada tahun pertama lokasi survey dilaksanakan di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran di 2 (dua) lokasi pada setiap kabupaten diberikan pada Tabel 1s/d Tabel 4.

Tabel 1. Potensi desa Tapadaa

Data	Debit (m3/s)	Intensitas Radiasi (W/m2)	Kec. Angin (knot)
1	0,19	360,32	1,92
2	0,23	318,48	1,46
3	0,12	342,24	2,15
4	0,25	387,08	1,31
5	0,13	436,56	1,54
Rerata	0,19	368,94	1,68

Tabel 2. Potensi desa Tulabolo

Data	Debit (m3/s)	Intensitas Radiasi (W/m2)	Kec. Angin (knot)
1	0,46	366,16	1,69
2	0,68	333,56	1,62
3	1,17	359,52	0,77
4	0,98	322,88	1,15
5	1,04	328,92	0,46
Rerata	0,86	342,21	1,14

Tabel 3. Potensi desa Liyodu

Data	Debit (m3/s)	Intensitas Radiasi (W/m2)	Kec. Angin (knot)
1	1,1	461,72	2,08
2	0,74	459,12	0,69
3	0,94	331,16	1,23
4	0,83	368,12	1,54
5	0,82	383,88	1,69
Rerata	0,89	400,80	1,45

Tabel 4. Potensi desa Dulamayo Selatan

Data	Debit (m3/s)	Intensitas Radiasi (W/m2)	Kec. Angin (knot)
1	3,63	270,68	1,62
2	2,46	347,76	1,62
3	2,04	405,48	1,00
4	1,43	411,72	1,00
5	2,78	318,88	0,92
Rerata	2,47	350,90	1,23

V. KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan kegiatan penelitian yang sudah dilakukan sejauh ini,

maka dapat disampaikan hal-hal yang menjadi kesimpulan sementara dari penelitian ini yakni:

1. Potensi Hybrid Energi di kabupaten Bone Bolango:
 - a. Rata-rata debit air sungai Tapadaa, kecamatan Suwawa Tengah adalah sebesar 0,19 m³/s, dan untuk sungai Tulabolo yang berada di kecamatan Suwawa Timur adalah sebesar 0,86 m³/s.
 - b. Besar rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Tapadaa dan desa Tulabolo yang diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 368,94 W/m² dan 342,21 W/m².
 - c. Rata-rata kecepatan angin di desa Tapadaa dan desa Tulabolo yang juga dikur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 1,68 knot dan 1,14 knot
2. Potensi Hybrid Energi di kabupaten Gorontalo:
 - a. Rata-rata debit air sungai Bontula Lo Popaya, di desa Liyodu, kecamatan Bongomem adalah sebesar 0,89 m³/s, dan untuk sungai Dulamayo Selatan yang berada di kecamatan Telaga adalah sebesar 2,47 m³/s.
 - b. Besar rata-rata intensitas radiasi matahari di desa Liyodu dan desa Dulamayo Selatan yang diukur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 400,80 W/m² dan 350,90 W/m².
 - c. Rata-rata kecepatan angin di desa Liyodu dan desa Dulamayo Selatan yang juga dikur selama 5 (lima) hari berturut-turut adalah: 1,45 knot dan 1,23 knot.

DAFTAR PUSTAKA

Harun, Ervan & Salim, Sardi. 2009, dkk "Pengembangan Sumber Daya air Untuk Peningkatan Ketenagalistrikan di Wilayah Propinsi Gorontalo". Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.

BPS propinsi Gorontalo. 2010. Propinsi dalam Angka. Gorontalo.

Heliyanto,B..... Konsep Desa Mandiri Energi. Prosiding lokakarya nasional-III Inovasi teknologi jarak pagar untuk mendukung program Desa Mandiri Energi. Penerbit Bayumedia Publishing

Harvey.2003. "Manual Desing Mycrohydro Report on Standarisation of Civil Works for Small Microhydro Power Plant". UNINDO.

Manan Saiful.2010., Energi Matahari sumber energi alternatif yang efisien, handal, dan ramah lingkungan di indonesia., Laporan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.Semarang

Matoka, Arifin,dkk. 2009. " Kajian Potensi Energi Listrik Mikrohidro Pada Saluran Irigasi Provinsi Gorontalo menunjang Elektrifikasi Pertanian". Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.

PT. CIT. 2004."Desain Manual Turbin OF 430". Chianjuang Inti Teknik. Bandung.
[www. Tempo.co/read/2010/01](http://www.Tempo.co/read/2010/01)