

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Hydropower merupakan daya yang didapat dari energi air yang mengalir. Kincir air merupakan alat yang terdiri dari sebuah roda yang dilengkapi dengan sudu-sudu yang tersusun disekeliling roda yang berfungsi untuk merubah energi kinetik aliran air menjadi energi mekanik. Kincir Air merupakan jenis teknologi hydropower yang paling tua di dunia. Kincir Air pertama kali digunakan di Yunani pada 300 tahun sebelum masehi. Hingga Revolusi Industri yang Pertama di Inggris dan Perancis pada selang antara tahun 1760 – 1830 energi air dan energi angin menjadi sumber daya utama disamping mesin uap dan tenaga hewan (Fritz, 1984).

Kincir Air besar pertama di dunia dibangun pada tahun 1882 di Apleton, Wisconsin, Amerika Serikat. Kincir ini membangkitkan daya listrik sebesar 12,5 kW untuk memenuhi kebutuhan dua pabrik kertas dan sebuah bangunan (Green-Trust, 2010). Kemudian, sejalan dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, suatu perubahan terjadi setelah penemuan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) oleh Nikolaus Otto di tahun 1861 serta penemuan mesin Diesel oleh Rudolf Diesel di tahun 1897.

Pada masa setelah itu, mesin pembakaran dalam dipandang lebih efisien, ukuran dan bentuknya lebih sederhana, menghasilkan daya lebih besar serta dapat ditempatkan dimana saja tanpa harus dekat dengan sumber air yang mengalir. Mesin pembakaran dalam pada masa itu dipandang lebih modern dan mencerminkan teknologi yang lebih maju. Banyak buku menuliskan bahwa penemuan mesin

pembakaran dalam merupakan salah satu penyebab dan pendorong timbulnya Revolusi Industri Kedua di Eropa pada tahun 1850.

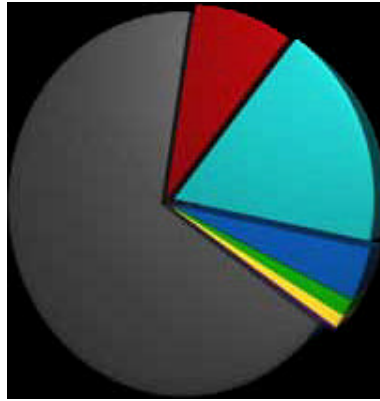
Sejak itu hydropower mulai ditinggalkan, karena dianggap kurang efisien dalam membangkitkan tenaga mekanik, kurang praktis dalam penggunaan serta membutuhkan tempat yang luas serta biaya instalasi yang besar. Dunia secara perlahan-lahan meninggalkan Kincir Air dan berpindah kepada Mesin Uap, Mesin Otto dan Mesin Diesel.

Dewasa ini, dunia khawatir akan pemanasan global. Pemanasan global diperkirakan terjadi secara signifikan sejak pertengahan abad ke XX terkait kenaikan konsentrasi gas rumah kaca di lapisan atmosfer. Pemanasan global menurut Joseph Fourier (1824) disebabkan oleh adanya absorpsi dan emisi terhadap radiasi sinar inframerah oleh gas-gas di atmosfer yang mengakibatkan meningkatnya suhu pada permukaan bumi. (Weart, 2008). Diantara gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global adalah uap air yaitu kurang lebih sebesar 36-70% dari total pemanasan global (Schmidt, 2005). Selain itu gas CO₂ yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil pada industri-industri, transportasi dan pembalakan hutan. Emisi gas CO₂ menyebabkan sekitar 9-26% dari total efek rumah kaca dunia. Methane (CH₄) menyebabkan 4-9 % dan ozon (O₃) menyebabkan sekitar 3-7% (Russell, 2007) International Panel on Climate Change menyatakan bahwa konsentrasi gas CO₂ yang merupakan gas rumah kaca, telah mengalami peningkatan dari 280 ppm pada masa sebelum revolusi industri menjadi 378ppm pada tahun 2005 (IPCC,2007). Hasil pembakaran bahan bakar fosil mendominasi emisi CO₂ dunia, yakni 56,6% dari total emisi CO₂ dunia. Konsentrasi CO₂ saat ini telah melampaui kisaran alaminya yaitu antara 180-300 ppm yang telah bertahan selama 650.000 tahun. Kenaikan temperatur atmosfer telah menyebabkan pencairan es di kutub dan

ekspansi thermal air laut yang keduanya berdampak pada kenaikan muka air laut. Sejak 1961 – 2005 rata-rata kenaikan permukaan air laut secara global adalah 1,8 mm \pm 0,5 mm per-tahun (Indartono, 2009).

Kesepakatan dan Perjanjian International dibuat antar pemimpin dunia, sebagai komitmen politik untuk mengurangi emisi gas buang ke atmosfer. Diantara kesepakatan itu adalah Konvensi Wina tahun 1985, Protokol Montreal tahun 1987, Amandemen Copenhagen tahun 1992 dan yang inti pokoknya adalah pengurangan emisi gas rumah kaca baik di negara maju maupun di negara berkembang, guna menghambat penipisan lapisan ozon yang diyakini merupakan penyebab dari pemanasan global (US-EPA, 2011)

Pemakaian energi alternatif merupakan salah satu pilihan guna meminimalkan emisi gas rumah kaca. Sumber energi yang aman seperti energi matahari, energi angin, energi gelombang, energi pasang surut, energi geothermal dan energi konversi panas laut merupakan energi alternatif terbarukan yang banyak diteliti untuk tujuan itu. Sejak krisis energi tahun 1970 dan dampak yang timbul akibat efek gas rumah kaca mendorong pengambil keputusan di bidang energi di Eropa untuk mengembangkan sumber daya energi terbarukan khususnya hydropower yang berukuran kecil, murah, aman dan bersih dengan dampak lingkungan minim (Baguenier, 1994). Kesadaran akan menipisnya cadangan minyak dunia dan penurunan kualitas lingkungan telah mendorong perhatian terhadap sumber daya energi terbarukan. Hingga saat ini, hydropower masih merupakan sumber daya energi terbarukan yang dipakai luas. Hydropower merupakan 18% dari total energi listrik yang dibangkitkan di dunia dan merupakan 90% dari total sumber daya energi terbarukan yang terpakai di dunia saat ini (Kadellis,2007).



Gambar 1. Kapasitas daya listrik dunia pada tahun 2010 (GW)* dimana Gas batubara dan minyak 68%, Nuklir 9%, Hydropower 17%, Angin 4%, sisanya adalah Bio energy, Solar and Geothermal (International Hydropower Association, 2010)

Indonesia merupakan negara berkembang yang pernah mengalami kesulitan ekonomi terkait kenaikan harga minyak. Indonesia merupakan negara dimana separuh dari konsumsi energi nasionalnya adalah minyak. Harga minyak di Indonesia ditentukan berdasarkan asumsi dan prediksi terhadap kecenderungan ekonomi nasional serta korelasinya terhadap situasi ekonomi internasional. Selisih antara harga minyak di dalam negeri yang lebih rendah dari harga minyak dunia, merupakan nilai yang harus disubsidi oleh pemerintah untuk konsumsi di dalam negeri. Bilamana terjadi lonjakan harga minyak internasional yang cukup besar di luar prediksi dari asumsi yang dibuat sebelumnya, maka ekonomi dalam negeri Indonesia akan terbebani akibat membesarnya pembiayaan terhadap subsidi di dalam negeri.

Beberapa usaha telah dan tengah dilakukan oleh pemerintah Republik Indonesia untuk mengurangi tingkat ketergantungan keuangan negara terhadap fluktuasi harga minyak dunia dan untuk memperkuat dasar ekonomi negara. Usaha-usaha itu dapat dikelompokkan dalam tiga kategori, yaitu: Konservasi energi, Penghematan energi dan Diversifikasi energi. Dalam Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 diamanatkan bahwa rasio antara tingkat pertumbuhan konsumsi energi dengan tingkat

pertumbuhan ekonomi dalam tahun 2025 harus lebih kecil dari satu. Dalam tahun 2025 juga diharapkan telah terwujud capaian diversifikasi konsumsi energi yang beraneka macam yang disebut Energi Mix dengan komposisi konsumsi seperti terlihat pada Tabel 1. Data pada tabel menunjukkan penurunan yang tajam pada konsumsi minyak bumi dari 47,5% pada saat ini menjadi 20% pada tahun 2025. Sementara itu terjadi peningkatan yang tajam pada konsumsi gas bumi, batubara serta energi baru dan terbarukan. Angka-angka ini menunjukkan target yang jelas dari pemerintah Republik Indonesia untuk melakukan perubahan konsumsi energi dari kondisi awal yang tergantung pada minyak menjadi aneka macam ragam energi.

Tabel 1. Konsumsi Energi Indonesia Sekarang dan Proyeksi Konsumsi yang Diharapkan Pada Tahun 2025.

No:	Jenis Energi	Konsumsi Energi saat ini *)	Proyeksi konsumsi energi tahun 2025 **)
1	Minyak Bumi	47.5%	20%
2	Gas Bumi	26.5%	30%
3	Batubara	24.3%	33%
4	Biofuel	-	> 5%
5	Panas Bumi	2.45%	> 5%
6	Energi Baru Terbarukan	1.7%	> 5%
7	Energi lain	-	> 2%

*) Sumber: BP Tahun 2008.

**) Perpres No5 Th.2006 Pasal II ayat 2.b.

Penelitian pada bidang energi hijau terbarukan ini diharapkan dapat berkontribusi dalam usaha meningkatkan konsumsi energi terbarukan dari 1,7% konsumsi nasional pada saat ini menjadi lebih dari 5% pada tahun 2025. Dengan makin tingginya kecenderungan untuk menggunakan energi baru dan terbarukan yang dilatar belakangi oleh alasan harga minyak dan pertimbangan lingkungan, menurut Shaw (1994), maka kita sampai pada saat dimana hydropower terutama energi gelombang dan energi pasang surut menjadi energi yang lebih layak dipertimbangkan dibandingkan energi thermal konvensional dalam memenuhi kebutuhan energi bersih di masa depan.

Berkenaan dengan teritorial Indonesia yang luasnya 2,8 juta kilometer persegi, dan bentuk geografis negara yang merupakan kepulauan, maka hydropower menjadi salah satu tumpuan harapan energi dimasa depan. Energi hydro menjadi energi yang paling menjanjikan ketika sumber energi non-minyak dan non-emisi CO₂ menjadi pertimbangan pokok. Sementara itu bila dibandingkan dengan sumber daya bahan bakar fossil, hydropower memiliki sejumlah keunggulan, diantaranya adalah tidak menghasilkan gas rumah kaca, tidak berisik, dapat dibuat dalam skala kecil serta tidak menghasilkan limbah (Fritz, 1984). Diperkirakan potensi hydropower di Indonesia adalah 75.000 MW, yang merupakan salah satu cadangan hydroelectric yang terbesar di Asia (Hayes, 2004; Kamarudin, 2005)

Indonesia menghasilkan emisi sekitar 2,1 Gt CO₂ equivalent di tahun 2005, halmana equivalent dengan 4.97% dari emisi gas rumah kaca dunia. Suatu peningkatan terjadi hingga mencapai angka 2,4% emisi dunia pada tahun 1993 atau ekivalen dengan 140 juta ton CO₂ (Petrich,1993). Sebagian besar emisi CO₂ Indonesia tidak berasal dari aktifitas industri seperti India, China dan Jepang, tetapi terkait dengan kebakaran gambut dan deforestasi (Indonesia National Climate Change Council, 2009; Jupesta, 2011; Brockhaus, 2011).

Indonesia memiliki komitmen untuk mengurangi emisi CO₂ hingga 26% hingga tahun 2020. Pernyataan ini disampaikan oleh Presiden Republik Indonesia, pada pertemuan pemimpin negara-negara G-20 di Bangkok 25 September 2009 dan pada Pertemuan Puncak Perubahan Iklim di Copenhagen, Jerman pada 15 Desember 2009. (Reuters, 2009; Environment News, 2009) bahkan, komitmen penurunan emisi hingga 26% ini dapat lebih dikembangkan menjadi 41% jika di dukung oleh bantuan dana internasional (Jupesta, 2011; Best, 2011).

Untuk merealisasikan komitmen ini, pemerintah mengambil sejumlah langkah penting yang meliputi: Peningkatan investasi dibidang Energi terbarukan; Mengurangi tingkat ‘deforestasi’ serta Meninjau ulang Draft Penggunaan Lahan. Usaha dalam negeri diupayakan sejalan dengan usaha percepatan diversifikasi energi, pemanfaatan sumber daya non-bahan bakar fosil serta penggunaan sumber daya energi terbarukan seperti mikro hidro, geothermal dan biofuels. (Pidato Kenegaraan Presiden RI, 2007).

Lahan basah di Indonesia pada tahun 2006 diperkirakan mencapai 33,4 juta hektar yang terdiri dari 20,1 juta hektar lahan basah pasang surut dan 13,3 juta hektar lahan basah non-pasang surut.

Table 2. Distribusi Lahan Basah di Indonesia dan Lahan Yang Sudah Dikembangkan.

<i>Lokasi</i>	<i>Lahan Basah yang tersedia (Juta hektar)</i>			<i>Lahan yang sudah dikembangkan (Juta hektar)</i>		
	Pasang surut	Non-pasang surut	Total	Pasang surut	Non-pasang surut	Total
Sumatera	6.6	2.7	9.3	0.6	0.26	0.8
Kalimanta	8.1	3.5	11.7	0.2	0.2	0.4
Irian Jaya	4.2	6.3	10.5	0	0.06	0.06
Sulawesi	1.1	0.6	1.8	0	0.02	0.02
Total	20	13.3	33.4	0.8	0.47	1.314.

Sumber: Dit Rawa dan Pantai, Ditjen Pengairan, Dept PU, 2009

Dari 0,8 juta hektar lahan yang sudah dikembangkan di empat pulau besar di Indonesia, sebanyak 0,6 juta hektar ($\pm 75\%$) berlokasi di Sumatera Selatan dan terpusat di pantai timur Sumatera Selatan.

Data dari Badan Wilayah Sumatera Selatan VIII (BWSS VIII) menunjukkan bahwa wilayah seluas 0,6 juta hektar tersebut tersebar beberapa lokasi di pantai timur Sumatera Selatan diantaranya adalah: Telang I, Telang II, Delta Upang, Delta Saleh, Sugihan Kiri, Sugihan Kanan, Padang Sugihan, Karang Agung Hulu, Karang Agung Tengah, Karang Agung Hilir, Pulau

Rimau dan Air Rengit. Table 3. menunjukkan data saluran irigasi pasang surut di kawasan timur Sumatera Selatan yang tersebar pada beberapa lokasi.

Saluran primer memiliki ukuran-ukuran berikut:

- Lebar atas saluran: 23 meter
- Lebar dasar saluran: 6-8 meter
- Kedalaman: 5 meter

Saluran sekunder memiliki ukuran-ukuran berikut:

- Lebar atas saluran : 7 meter
- Lebar dasar saluran: 3 meter
- Kedalaman: 2 meter

Tabel 3. Saluran Irigasi Pasang Surut di Sumatera Selatan ^{*)}

Lokasi	Luas Wilayah (ha)	Saluran Primer	Saluran Sekunder
Delta Telang I	26.600	5	100
Delta Telang II	13.200	4	68
Sugihan Kiri	45.557	9	200
Sugihan Kanan	29.835	6	58
Delta saleh	19.760	4	164
Padang Sugihan	51.000	-	-
Delta Upang	8.423	4	53
Pulau Rimau	40.263	6	36
Air Rengit	2.411	-	-
Air Limau	2.576	-	-
Gasing Partian	6900	-	-
Air Senda	6.730	-	-
Tenggalang	8.794	-	-
Karang Agung Hulu	9.000	-	-
Karang Agung Tengah	30.000	5	46
Karang Agung Hilir	20.317	6	237
Bertak I	4.600	-	-
Bertak II	5.100	-	-
Kumbang Padang	14.227	-	-
Cinta Manis	9.257	-	-

^{*)} Data didapat dari peta Departemen PU-Direktorat Jenderal Pengairan, 2006.

^{**)} Termasuk Saluran Sekunder Pedesaan (SPD) and Saluran Sekunder Drain Utama (SDU)

Data pada Tabel 3. menunjukkan bahwa pada daerah Telang II terdapat 4 Saluran Primer dan 68 Saluran irigasi sekunder. Saluran sekunder yang digunakan pada penelitian ini terletak di desa Bangun Sari atau berada pada posisi 2,381 Lintang Selatan dan 104,42 Bujur Timur. Masing-masing saluran sekunder melayani area seluas 288 hektar. Yang terdiri dari 256 hektar lahan sawah dan 32 hektar lahan pemukiman. Sehingga dengan luas wilayah yang sudah dikembangkan seluas 615.250 hektar, maka jumlah saluran sekunder yang ada di daerah irigasi pasang surut di pantai timur Sumatera Selatan setidaknya berjumlah 2136 unit, yang berarti potensi energi hydro yang terkandung pada saluran-saluran itu cukup besar jika dapat dimanfaatkan untuk mendukung kehidupan manusia disekitarnya.

B. Kemandirian Energi Pedesaan

Konsep kemandirian energi ini berpijak pada pemanfaatan energi terbarukan dan pemberdayaan masyarakat. Konsep Desa Mandiri Energi (DME) pada intinya merupakan upaya pengembangan kemandirian pedesaan dari aspek energi dengan memanfaatkan potensi lokal. Syarat pokok pemanfaatan energi lokal tersebut adalah, keberlanjutan, regional development dan ramah lingkungan. Desa Mandiri Energi adalah desa yang masyarakatnya memiliki kemampuan memenuhi lebih dari 60 % kebutuhan energi listrik dan bahan bakar dari energi terbarukan yang dihasilkan melalui potensi sumberdaya setempat. Ada dua tipe pengembangan desa mandiri energi. Tipe pertama desa yang dikembangkan dengan sumber energi non pertanian atau Non-Bahan Bakar Nabati seperti penggunaan mikrohidro, tenaga surya, dan biogas. (Ditjen PMD Depdagri, 2012) Sebagai contoh, pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) kampung Lebakpicung desa

Hegarmanah Kecamatan Cibeber, Kabupaten Lebak Banten dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro Cikatomas di Desa Kiarapandak Kecamatan Sukajaya, Bogor (Siaran Pers Kementerian ESDM, 2010). Tipe kedua adalah desa yang dikembangkan dengan sumber pertanian atau Bahan Bakar Nabati (BNN) seperti biofuel dan agrofuel. Sebagai contoh model Desa Mandiri Energi berbasis biogas limbah peternakan, yaitu Desa Haurngombong Kecamatan Pamulihan Kabupaten Sumedang Jawa Barat dan desa Desa Manukaya, Kecamatan Tampaksiring, Kabupaten Gianyar Bali. Selain itu, terdapat juga DME berbasis jarak pagar dan biomasa cangkang kelapa sawit.

Tujuan pokok dari program DME diantaranya adalah untuk membuka lapangan pekerjaan dan menurunkan angka kemiskinan. Pembukaan lapangan kerja dan penurunan angka kemiskinan memiliki keterkaitan secara langsung satu sama lain, dimana lapangan kerja akan memberikan pendapatan bagi penduduk dan pendapatan akan mengangkat derajat seseorang dari kemiskinan menuju kepada kesejahteraan.

Riset akademik tentang hydropower telah cukup banyak dilakukan di universitas-universitas di Indonesia. Diperkirakan dalam waktu kedepan, study tentang hydropower akan makin banyak sehubungan dengan potensi hydropower yang besar di Indonesia. Menurut Abbasi, diperkiraan potensi SHP (Small Hydro Power) di Indonesia mencapai 5000 MW namun hanya 5 MW yang dimanfaatkan dalam bentuk kapasitas terpasang, dan hanya 1 MW yang benar-benar dimanfaatkan (Abbasi, 2011) Menurut Abbasi, potensi total hydropower yang sebesar 75.000 MW yang merupakan salah satu potensi hydroelectric terbesar di Asia tersebar di 1315 lokasi dengan kapasitas dan prediksi daya yang berbeda.

Banyak lokasi dimana mini hydropower dan micro hydropower dapat dikembangkan di Indonesia. Pemerintah sendiri telah menargetkan 59,5 MW tenaga micro hydropower untuk tujuan komersial pada akhir 2003 dan akan ditingkatkan menjadi 153,4 MW di tahun 2020. Desa-desa yang memerlukan daya kurang dari 100 kW akan dicukupi dengan membangun pembangkit micro hydro bilamana di lokasi tersebut terdapat sumber daya air. Micro hydro diharapkan mampu menggantikan pembangkit Diesel dengan daya sekitar 25 kW (Hayes, 2004). Hingga tahun 2010, Pemerintah Indonesia telah mengembangkan 633 Desa Mandiri Energi dari target 2000 desa yang akan dikembangkan hingga tahun 2014. Di Indonesia terdapat 80.000 desa dimana 45% daripadanya berada pada daerah tertinggal dan 6500 desa daripadanya belum teraliri listrik. (Krisnamurthi, 2010).

Penelitian yang dilakukan di desa Bangun Sari Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin ini diharapkan dapat memberikan sumbangan bagi penciptaan kemandirian energi pedesaan yang memiliki potensi sumber daya energi pasang surut melalui pemanfaatan Kincir Air Apung untuk membangkitkan listrik.

C. Keterbaruan Penelitian

Saluran irigasi pasang surut sejauh ini digunakan hanya untuk pertanian dan perkebunan. Dalam kehidupan sehari-hari saluran irigasi juga digunakan untuk minum dan mandi, transportasi, budi daya hewan peliharaan seperti ayam, itik dan budi daya ikan.

Hasil wawancara kami dengan Kelompok Tani di desa Bangun Sari terdapat kebutuhan akan energi yang besar dari masyarakat guna menunjang produktifitas pertanian. Kebutuhan itu antara lain energi listrik, pompa air dan mesin pengolah produk pertanian pasca panen. Pompa air diperlukan untuk

memudahkan pengambilan air dari saluran irigasi ke lahan pertanian sehingga dapat menghemat biaya produksi. Sepanjang kebutuhan energi itu belum diperoleh dari sumber-sumber yang murah, maka biaya produksi pertanian setempat akan tetap tinggi dan menjadi beban petani.

Penelitian ini mencoba menemukan fungsi baru dari saluran irigasi yaitu sebagai pembangkit energi.



Gambar 2. Fungsi irigasi yang dikenal masyarakat dan fungsi baru yang ingin dikembangkan, yaitu energi.

D. Perumusan Masalah

Dengan didasarkan pada keinginan untuk mengetahui secara lebih seksama potensi energi yang telah diungkapkan terdahulu, maka timbul beberapa pertanyaan yang meliputi hal-hal sebagai berikut, yaitu:

1. Apakah aliran air keluar dan masuk pintu air saluran irigasi sekunder pasang surut Telang II dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik?
2. Bagaimanakah rancang bangun Kincir Air Apung agar aliran air pada saluran dapat diubah menjadi energi listrik ?
3. Apakah pemakaian Kincir Air Apung pada pintu air berdampak negatif

terhadap badan air pada saluran irigasi sekunder?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui secara kuantitatif hal-hal sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui secara seksama rancang bangun Kincir Air Apung yang bagaimana yang cocok digunakan pada pintu air saluran irigasi sekunder Desa bangun Sari – Telang II Banyuasin, menyangkut diameter roda kincir, jumlah sudu, sistem transmisi, kerangka penopang dan ukuran panjang-lebar body.
2. Penelitian ini akan menjawab secara kuantitatif kinerja Kincir Air Apung yang pada saat disambung dengan sistem transmisi dan pada saat disambung dengan sistem transmisi & alternator.
3. Penelitian ini akan menjawab secara kuantitatif daya yang dihasilkan Kincir Air Apung yang dirancang dan dimanufaktur jika diaplikasikan pada pintu air Desa Bangun Sari – Telang II Banyuasin.
4. Mengetahui secara kuantitatif, apakah kualitas badan air sebelum dan sesudah kincir mengalami perubahan baik secara fisika maupun secara kimiawi, dan apakah perubahan itu masih dalam batas-batas yang bisa ditoleransi.

F. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan akan menjawab secara kuantitatif apakah aliran air keluar masuk saluran irigasi pasang surut dapat menghasilkan energi listrik. Dari hasil yang dicapai akan diketahui langkah-langkah lebih lanjut untuk pengembangan dan penyempurnaan.
2. Kincir Air Apung yang dirancang dan diujicobakan untuk menuai energi dari air yang mengalir akibat pasang surut dengan permukaan yang bergerak setiap waktu akan berguna untuk perancangan dan aplikasi ditempat lain dengan karakter serupa.

3. Hasil penelitian ini diharapkan akan mendukung usaha pemerintah dalam menjaga kelestarian lingkungan khususnya mengurangi emisi CO₂ hingga 26% pada tahun 2020 dan melaksanakan Program Desa Mandiri Energi yang sudah dicanangkan sejak tahun 2007.

Selain itu, energi pedesaan yang mandiri sesungguhnya memberi dukungan ekonomi bagi kehidupan masyarakat disekitarnya. Kincir Air Apung yang bekerja dengan energi pasang surut merupakan energi yang bersifat terus menerus. Jika energi ini dapat dimanfaatkan bagi masyarakat, maka energi ini akan secara langsung meningkatkan kesejahteraan masyarakat, setidaknya dalam bentuk pengurangan biaya rumah tangga dan lepas dari ketergantungan listrik pemerintah. Ukuran kesejahteraan masyarakat dewasa ini tidak lagi didasarkan pada besarnya penghasilan yang diperolehnya, tetapi juga diukur dari sarana penunjang dalam rumah tangga dan situasi lingkungan disekitarnya. Penerangan listrik, air bersih, jamban keluarga dan media informasi merupakan faktor penunjang kesejahteraan seseorang. Berkembangnya teknologi LED (Light Emitting Diode) dewasa ini merupakan salah satu harapan dalam meningkatkan taraf kehidupan masyarakat. LED merupakan jenis lampu yang memerlukan daya kecil tetapi memancarkan cahaya yang terang. Dengan adanya LED maka daya kincir yang kecil diharapkan dapat dioptimalkan pemanfaatannya untuk penerangan. Diantara negara yang telah menerapkan teknologi LED untuk penerangan di Asia adalah Laos dan Nepal (Smitts,2010).

Manfaat lain dari penelitian ini adalah harapan terbentuknya budaya baru di masa depan. Adanya fungsi energi pada saluran irigasi akan menciptakan budaya baru dimasyarakat berupa budaya teknik (*technoculture*) diluar budaya air (*waterculture*) yang sudah terbentuk dilingkungan lahan pertanian pasang surut. Keberadaan energi dalam saluran diharapkan akan menarik partisipasi masyarakat dalam membersihkan

saluran. Saluran yang dipenuhi oleh vegetasi atau pencemar berupa sampah, tinja manusia dan lain sebagainya akan membuat suasana tidak sehat dan berpengaruh dalam menghambat aliran air. Untuk menjaga agar daya yang dihasilkan tetap maksimum, penduduk diharapkan membersihkan saluran secara sukarela. Hal tersebut berarti akan meringankan biaya perawatan yang harus ditanggung oleh pemerintah setiap tahun. Ini berarti terdapat sinergi antara energi yang dihasilkan, partisipasi masyarakat dalam memelihara saluran dan terpeliharanya lingkungan.

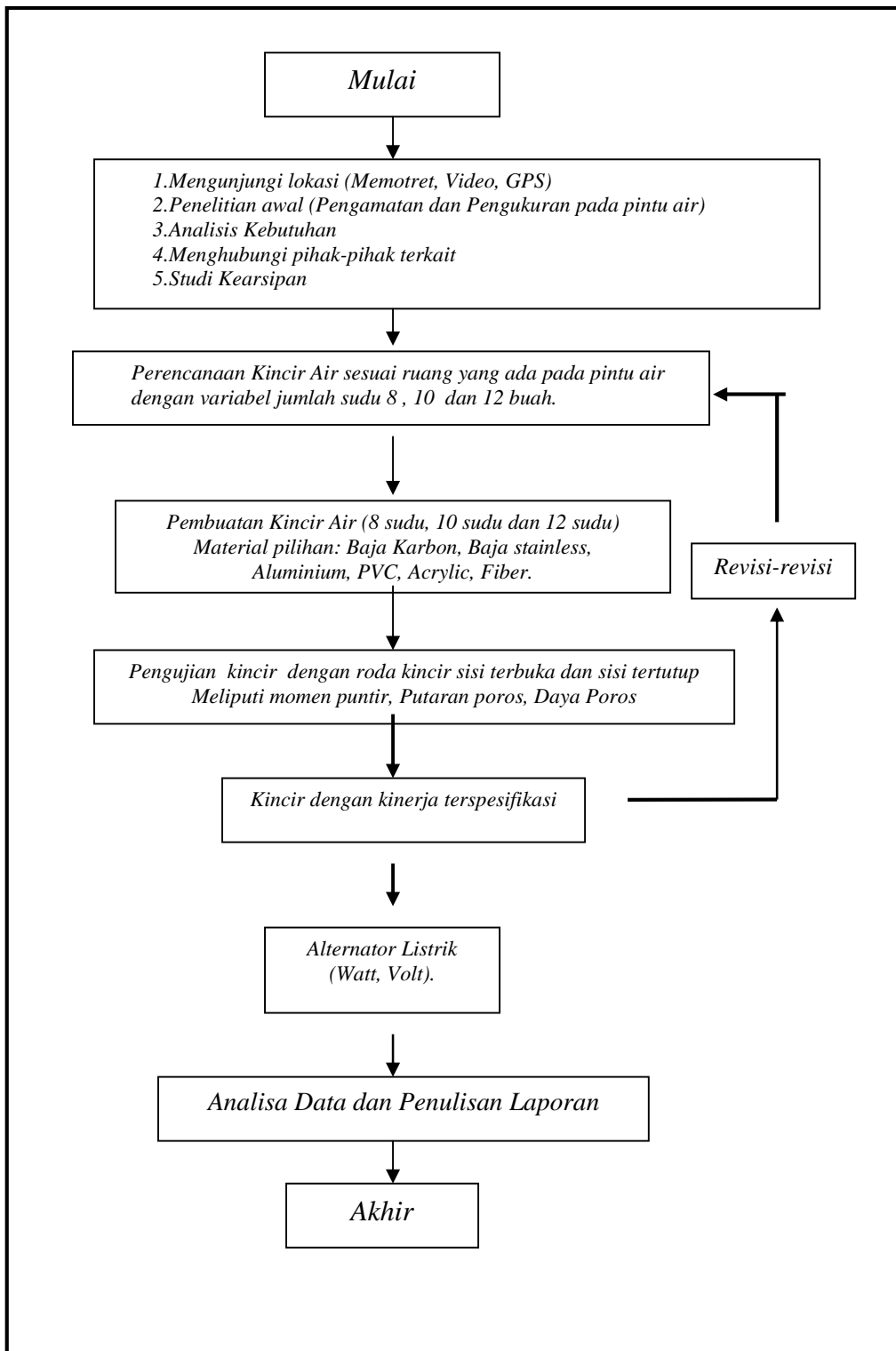
G. Hipotesis

Dari pengamatan yang dilakukan terdahulu terhadap kondisi dilapangan, dapat disusun hipotesa penelitian ini sebagai berikut:

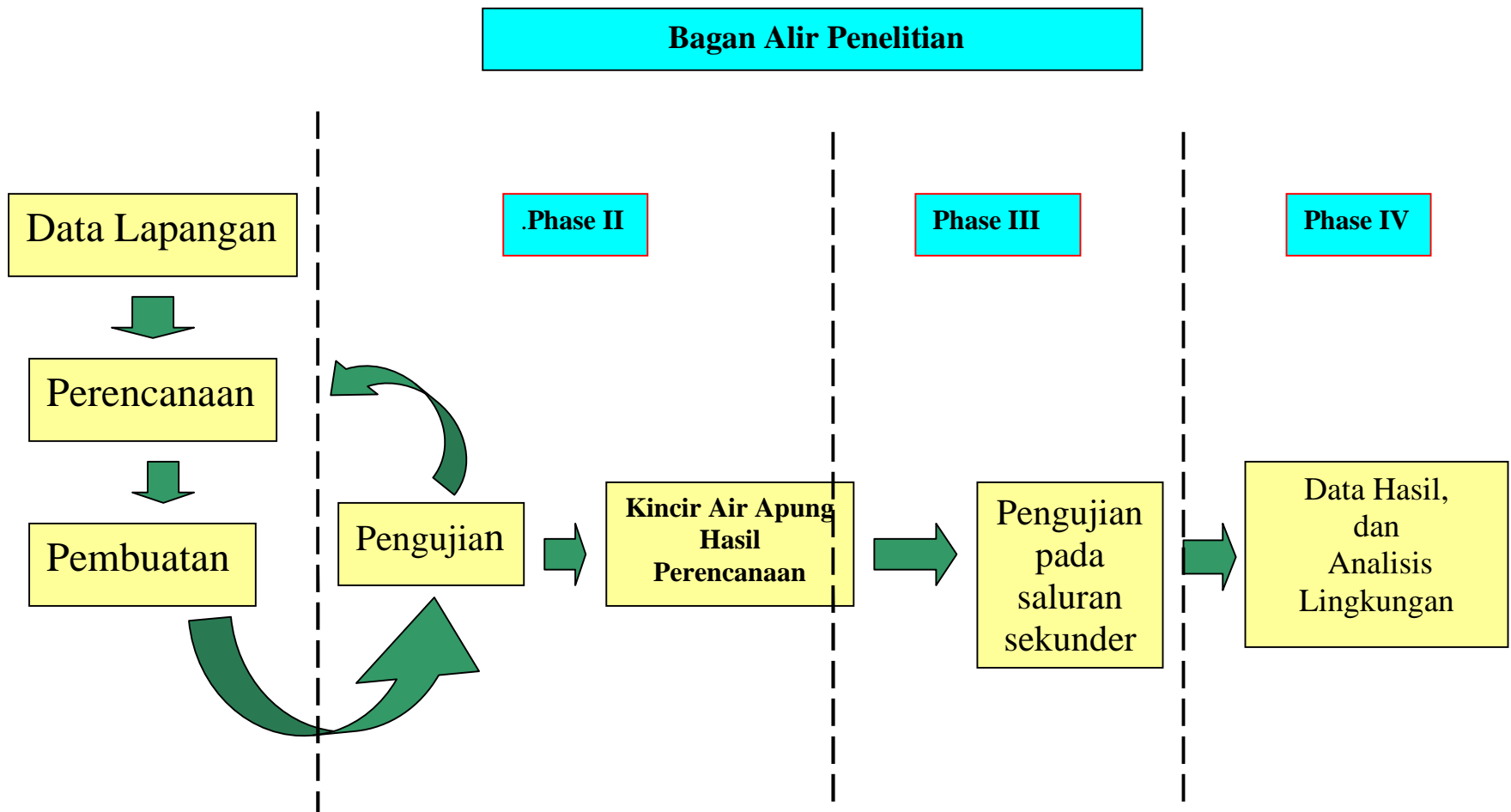
- Aliran air pada pintu air saluran irigasi pasang surut Telang II dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan Kincir Air Apung.
- Kincir Air Apung merupakan wahana yang dapat memanfaatkan energi air pada saluran irigasi sekunder menjadi energi listrik dimana permukaan air selalu berubah naik dan turun.
- Penerapan Kincir Air Apung pada saluran sekunder tidak berpengaruh negatif terhadap badan air pada saluran.

H. Alur Pikir Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan prinsip terapan dengan pola fikir penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. Alur pikir penelitian



Gambar 4. Bagan alir penelitian

BAB II

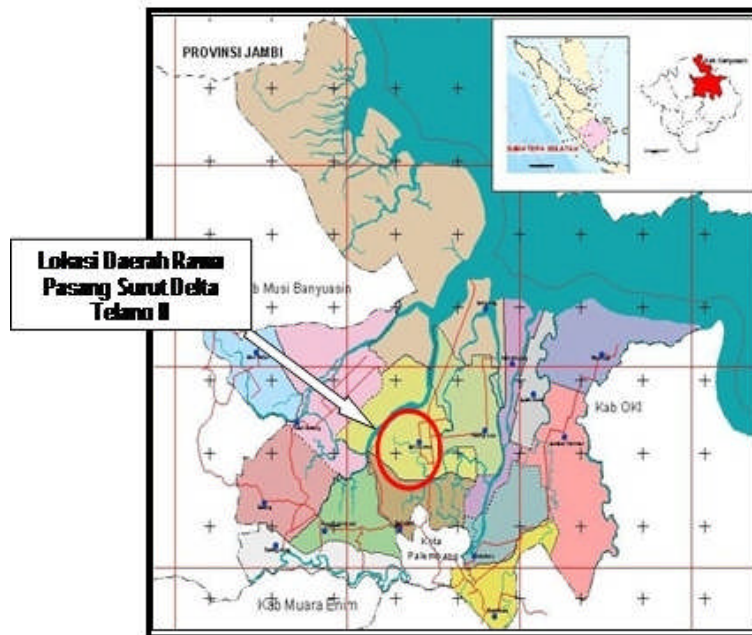
TINJAUAN PUSTAKA

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

D. Telang II – Banyuasin

Kabupaten Banyuasin terletak pada posisi antara 1,30° - 4,0° Lintang Selatan (LS) dan 104° 00' - 105° 35' Bujur Timur (BT) yang terbentang mulai dan bagian tengah Propinsi Sumatera Selatan sampai dengan bagian Timur dengan luas wilayah seluruhnya 11.832,99 Km² atau 1.183.299 Ha.

Lokasi penelitian cukup dekat dengan kota Palembang, hanya berjarak ± 30 km menuju ke arah Tanjung Api-api, dan dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat. Kendaraan pribadi dapat langsung menuju lokasi, dengan kondisi jalan tanah perkerasan pasir-batu, sehingga perjalanan ke lokasi dapat ditempuh dengan waktu 1 jam. Berdasarkan peta , Telang II secara administratif meliputi 8 desa yaitu Desa Mekarsari, Desa Bangunsari, Desa Banyu Urip, Desa Muliasari, Desa Telangsari, Desa Sukadamai, Desa Sukatani dan Desa Muarasugih, yang seluruhnya termasuk ke dalam Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin. Kabupaten Banyuasin merupakan kabupaten hasil pemekaran dari Kabupaten Musi Banyuasin yang terbentuk berdasarkan UU No. 6 Tahun 2002.



Gambar 23. Peta lokasi Daerah Rawa Pasang Surut Delta Telang II

Berdasarkan hasil survey Intimulia Multikencana (2009), pada pertengahan tahun 2006, jumlah penduduk Kabupaten Banyuasin sebesar 757,3 ribu jiwa. Sedangkan pada tahun 2007 terjadi peningkatan menjadi sebesar 778,6 ribu jiwa. Peningkatan juga terjadi pada tahun 2008. Pada kondisi pertengahan 2008 jumlah penduduk Kabupaten Banyuasin sebesar 790.360 jiwa. Pada tahun tersebut tercatat jumlah penduduk Kabupaten Banyuasin pada pertengahan tahun sekitar 798.360 jiwa.

Kabupaten Banyuasin terdiri dari 15 kecamatan yang secara total luasnya adalah sekitar 11.832,99 Km². Rata-rata kepadatan penduduk pada tahun 2007 adalah sebesar 65,80 jiwa/km². Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, kepadatan penduduk di Banyuasin juga meningkat. Pada tahun 2006 kepadatan penduduk sebesar 64,01 jiwa/km², sedangkan pada tahun 2005 adalah sebesar 62,02 jiwa/km².

Laju Pertumbuhan penduduk dalam kurun waktu tahun 2005 hingga 2008, cukup stabil. Pada tahun 2006 pertumbuhan penduduk Kabupaten Banyuasin adalah sebesar 1,69%, sedangkan pada tahun 2007 mengalami penurunan dari tahun sebelumnya,

yaitu sebesar 1,58%, walaupun secara nominal mengalami penambahan jumlah penduduk sebagaimana tersebut di atas, sedangkan pada tahun 2008 pertumbuhan penduduk Kabupaten Banyuasin adalah sebesar 2,58 persen. Kesimpulannya Jumlah penduduk Kabupaten Banyuasin dari tahun 2006 hingga tahun 2008 terus mengalami kenaikan yang cukup rendah. Jika dihubungkan dengan luas wilayah, pada tahun 2008 Kabupaten Banyuasin masih merupakan daerah yang berpenduduk jarang, dengan kepadatan penduduk 67,47 jiwa/Km².

Mata pencaharian penduduk Banyuasin beragam, namun dominasi jenis lapangan pekerjaan adalah: industri/pengolahan, pertanian, dan bangunan sipil. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah indikator utama dalam mengukur

Table 6. Distribusi Luas Lahan pertanian untuk Telang II.

No	Nama desa	Luas lahan Pertanian (Ha)	Peruntukan (Hektar)
1	Tegal Sari	1787,27	<ul style="list-style-type: none"> • Kelapa 48,17 • Kelapa Sawit 135,43 • Padi 1603,40 • Luas rata-rata petak tersier 44
2	Mulya Sari	1057,70	<ul style="list-style-type: none"> • Semua padi • Luas rata-rata petak tersier 44
3	Banyu Urip	1431,85	<ul style="list-style-type: none"> • Tertanami Padi seluruhnya • Luas rata-rata petak tersier 44
4	Bangun Sari	1431,85	<ul style="list-style-type: none"> • Semua padi • Luas rata-rata petak tersier 44
5	Sumber Mekar	785,93	<ul style="list-style-type: none"> • Semua padi • Luas rata-rata petak tersier 44

Sumber : Data survey tahun 2009 (Intimulia Multikencana,2009)

pertumbuhan perekonomian suatu wilayah. Menurut hasil survey Intimulia Multikencana (2009), PDRB Kabupaten Banyuasin dengan migas atas dasar harga berlaku selama tiga tahun terakhir adalah sebagai berikut: tahun 2006 sebesar 7.029.269 juta rupiah, tahun 2007 sebesar 8.158.813 juta rupiah, dan tahun 2008 sebesar 9.884.371 juta rupiah.

Dari data Tabel 6 terlihat bahwa distribusi luas lahan pertanian di daerah Telang II berikut jenis tanaman yang dibudidayakan oleh masyarakat sesuai dengan kondisi lahan yang ada.

1. Agro-Sosioekonomi Telang II

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh PT.Intimulya Multikencana yang dilakukan pada tahun 2009, data agro-sosial-ekonomi daerah Telang II adalah sebagai berikut:

Table 7. Jumlah penduduk di desa-desa Telang II Tahun 2007.

No	Kelurahan/ Desa	Jiwa			Jumlah KK
		Laki-laki	Perempuan	Jumlah	
1	Purwosari	687	719	1.406	341
2	Telangari	1.078	1.122	2.200	534
3	Mulayasari	1.390	1.448	2.838	689
4	Banyu Urip	1.889	1.953	3.842	933
5	Bangunsari	1.515	1.585	3.100	752
6	Sumbermekarmukti	1.130	1.170	2.300	558
Jumlah		7.689	7.997	15.686	3.807

Sumber : Intimulia Multikencana, 2009.

Table 8. Luas rata-rata per kepala keluarga di tiap desa pada tahun 2007.

No	Kelurahan	Luas Wilayah	Jumlah KK	Luas rata-rata Per KK (Ha)
		(Km ²)		
1	Purwosari	14.00	341	4,1
2	Telangari	28.40	534	5,3
3	Mulayasari	20.00	689	2,9
4	Banyu Urip	16.00	933	1,7
5	Bangunsari	14.40	752	1,9
6	Sumbermekarmukti	17.00	558	3,0
Jumlah		109.80	3.807	2,9

Sumber : Intimulia Multikencana, 2009.

Berdasarkan data dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa Desa Banyu Urip yang termasuk daerah rawa Delta Telang mempunyai jumlah penduduk cukup besar. Jumlah penduduk di Desa Banyu Urip mencapai 3.842 jiwa, di Desa Bangunsari jumlah penduduknya mencapai 3.100 jiwa. Sedangkan jumlah penduduk di Desa Purwosari hanya sebanyak 1.406 jiwa. Jumlah tersebut menjadi yang terkecil diantara

enam desa yang termasuk ke dalam daerah rawa Delta Telang. Berdasarkan parameter tersebut, terlihat bahwa Desa Telangsari, menunjukkan angka/nilai yang cukup besar diantara desa yang lainnya, yakni 5,3 hektar per kepala keluarga. Sedangkan, dengan karakteristik yang sama untuk desa Bangunsari dan Banyu Urip adalah jauh lebih kecil, masing-masing jumlah angkanya yaitu 1,9 dan 1,7 hektar per KK.

Penduduk di daerah Telang II umumnya adalah masyarakat transmigran yang berasal dari daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Daerah Istimewa Yogyakarta, yang ditempatkan di daerah ini sekitar tahun 1983. Kondisi lahan usaha masyarakat daerah ini tergolong sudah cukup maju, dengan komoditi padi sawah sebagai unggulannya. Meskipun hanya satu kali panen dalam satu tahun, tetapi produktivitas lahannya cukup tinggi yakni mencapai 4 – 7 ton/hektar. Sesuai dengan program transmigrasi yang ada rata-rata kepemilikan lahan masyarakat di daerah ini adalah 2 hektar tiap Kepala Keluarga.

Lokasi rawa Delta Telang II dimana dilakukan penelitian ini terletak dikawasan lintas strategis karena tidak terlalu jauh dari kota Palembang. Jarak tempuh sekitar 45 km dengan lama peranan sekitar 1 jam perjalanan dan kawasan perantara antara kota dengan pelabuhan Tanjung Api-Api.

Lebih dari 17% Gross Domestic Product (GDP) di Telang II didapat dari sektor pertanian dengan laju pertumbuhan sekitar 3%. Tanaman biji di sektor pertanian memegang peranan penting karena merupakan kontirbutor terbesar di bidang pertanian yaitu sekitar 62% di tahun 1990. Sektor pertanian juga menyerap banyak tenaga kerja. Sekitar 72% dari total tenaga kerja yang ada dilokasi ini terserap ke bidang pertanian.

2. Topography

Luas Wilayah Kabupaten Banyuasin sekitar 11.832,99 km², terletak antara 1,3^o - 4^o Lintang Selatan dan 104^o 40' -105^o 15' Bujur Timur. Sebagian besar wilayah Kabupaten Banyuasin merupakan dataran rendah yang terletak dibagian hilir aliran sungai Musi dan sungai Banyuasin. Hampir 80% wilayah merupakan dataran rendah berupa rawa pasang surut dan lebak, sedangkan 20% sisanya merupakan lahan kering dengan topografi datar sampai dengan bergelombang dan berbukit-bukit dengan ketinggian 20 – 140 meter diatas permukaan laut. Kemiringan lahan berkisar dari 0% sampai maksimum 2%.

Hasil pengukuran topografi yang dilakukan oleh .Intimulya Multikencana terhadap posisi dan sifat datar situasi dan daerah genangan banjir serta trase saluran drainasenya menunjukkan bahwa kondisi lahan seluas 5.000 hektar relatif datar dengan rata-rata elevasi +6,60 m, elevasi lahan terendah + 5,90 m dan lahan tertinggi +7,34 m.

3. Hidrology

Pada daerah rawa pasang surut, analisis hidrologi dititik beratkan pada analisis curah hujan, imbangan air (*water balance*) antara ketersediaan hujan dengan kebutuhan air untuk tanaman, besaran debit pembuangan untuk mengurangi kelebihan air, dan pengaruh pasang surut di lokasi pekerjaan.

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh .Intimulya Multikencana (2009) data hujan sebagai dasar analisis dipergunakan data hujan yang tercatat pada stasiun hujan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II, Palembang, dengan panjang data selama 12 tahun (Tahun 1997 sampai 2008). Hasil analisis menunjukkan bahwa hujan tahunan maksimum sebesar 3.542,50 mm, terjadi pada tahun 2007, sedangkan terendah 2.089,50 mm, terjadi pada tahun 1997. Hujan harian maksimum tertinggi

adalah 278,30 mm, sedangkan hujan harian rerata tertinggi seluruh kejadian adalah 9,40 mm. Hujan rerata bulanan tertinggi adalah 344,61 mm, terjadi pada bulan Maret, sedangkan terendah adalah 81,23 mm terjadi pada bulan Agustus.

Data klimatologi, menghasilkan nilai lama penyinaran matahari rata-rata 66,9% bervariasi antara 52,4% pada bulan Januari dan 80,0% pada bulan Juli. Temperatur udara maksimum adalah 32,6°C dan suhu minimum 22,4°C. kelembaban udara rata-rata tahunan adalah 83,2% dengan kisaran 80,0% (September) dan 85,3% (Desember). Kecepatan angin bervariasi antara 1,6 km/jam (Nopember) dan 2,7 km/jam (Januari) dengan rata-rata 2,1 km/jam, dan menurut skala Baufort, kecepatan angin tergolong dalam ‘angin lemah-sedang’.

4. Kebutuhan Air Untuk Tanaman

Kebutuhan air konsumtif untuk tanaman adalah kebutuhan air untuk berlangsungnya kehidupan tanaman yang tidak lain adalah besaran evapotranspirasi tanaman (ET_c). Nilai ET_c dipengaruhi oleh: temperatur (suhu udara), sinar matahari, kelembaban, dan kecepatan angin. Evapotranspirasi tanaman dapat dihitung dengan persamaan:

$$ET_c = k_c ET_o \dots\dots\dots(4)$$

Dengan k_c adalah koefisien tanaman dan ET_o adalah evapotranspirasi tetapan (mm/hari). Nilai k_c dan ET_o berubah diantara waktu sesuai perubahan klimatologi daerah setempat, lebih spesifik koefisien tanaman k_c , dipengaruhi oleh jenis dan varitas tanaman. Koefisien tanaman k_c untuk ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh FAO dan Nedeco.

Evapotranspirasi tetapan (ET_o) dihitung secara empiris berdasarkan data evaporasi. Bila evaporasi diukur di stasiun agrometeorologi, maka biasanya digunakan panci evaporasi kelas A. Harga-harga evaporasi panci (E_{pan}) dikonversi ke dalam nilai ET_o dengan mengintroduksi koefisien panci (K_p) yang nilainya berkisar antara 0.65 dan 0.85 bergantung pada kecepatan angin, kelembaban relatif serta elevasi, dengan persamaan sebagai berikut:

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan} \dots\dots\dots(5)$$

Nilai ET_o dari rumus evaporasi Penman pada tanaman acuan dengan dasar albedo 0,25; sehingga koefisien tanaman yang dipakai untuk perhitungan ET_c harus didasarkan pada ET_o ini dengan albedo sebesar 0,25 pula. Hasil penelitian menurut FAO nilai k_c bervariasi antara 0,95 sampai 1,10, sedangkan menurut Nedeco nilai k_c bervariasi antara 1,20 sampai 1,33. Dengan mengambil nilai k_c sebesar 1,33, maka berdasar nilai ET_o yang telah dihitung, maka didapat nilai ET_c bulanan. Perhitungan nilai kebutuhan air untuk tanaman pada penelitian ini tidak diperhitungkan karena dianggap tidak terkait dengan hipotesa.

5. Keseimbangan Air

Berdasarkan hasil hitungan atas data hujan yang terkumpul, maka imbalan air antara ketersediaan (hujan rerata bulanan, R_{bln}) dengan kebutuhan air untuk tanaman (evapotranspirasi tanaman, ET_c) dapat dilihat pada tabel. Defisit air terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus dan September, sedang bulan-bulan lainnya mengalami surplus. Atas dasar analisis tersebut maka penanaman padi (sekali setahun) dapat dimulai pada bulan Nopember. Apabila dipolakan untuk tanaman padi 2 kali setahun maka harus ditanam padi varietas unggul yang berumur pendek (105 hari) sehingga masa dimana terjadi defisit air dapat dilewati dengan tetap produktif.

Table 9. Nilai Imbangan Air antara hujan yang tersedia dengan kebutuhan air Untuk Tanaman

<i>Bulan</i>	<i>Rbln</i>	<i>ET_c bln</i>	ΔS	<i>Keterangan</i>
Jan	287,67	182,28	105,39	Surplus
Feb	213,59	179,95	33,64	Surplus
Maret	344,61	177,82	166,79	Surplus
April	308,83	159,92	148,91	Surplus
Mei	172,08	161,73	10,36	Surplus
Juni	120,23	146,09	-25,86	Defisit
Juli	122,31	158,00	-35,70	Defisit
Agustus	81,23	193,74	-112,51	Defisit
September	90,60	205,35	-114,75	Defisit
Oktober	247,85	202,72	45,13	Surplus
Nopember	320,68	185,88	134,79	Surplus
Desember	328,34	174,48	153,86	Surplus

Sumber: Intimulya Multikencana, 2009.

6. Kualitas air

Kualitas/mutu air pada daerah rawa pasang surut ditentukan oleh:

- Sifat tanah, terutama kedalaman dan keadaan pirit, serta ketebalan dan keadaan gambut,
- Sistem drainase dan irigasi,
- Pengaturan pintu air, dan
- Frekuensi pengelontoran air di lahan dan saluran.

Pirit adalah zat yang hanya ditemukan di tanah di daerah pasang surut saja, yang terbentuk pada waktu lahan digenangi oleh air laut yang masuk pada musim kemarau. Pada saat kondisi lahan basah atau tergenang, pirit tidak berbahaya bagi tanaman. Akan tetapi, bila terkena udara (teroksidasi), pirit berubah bentuk menjadi zat besi dan zat asam belerang yang dapat meracuni tanaman. Pirit dapat terkena udara apabila: diangkat ke permukaan tanah (misalnya pada waktu mengolah tanah, membuat saluran, atau membuat surjan) atau saat permukaan air tanah turun (misalnya pada musim kemarau). Dengan demikian sistem pengelolaan air pada lahan rawa pasang surut dilakukan dengan sistem aliran satu arah. Salah satu saluran tersier dijadikan

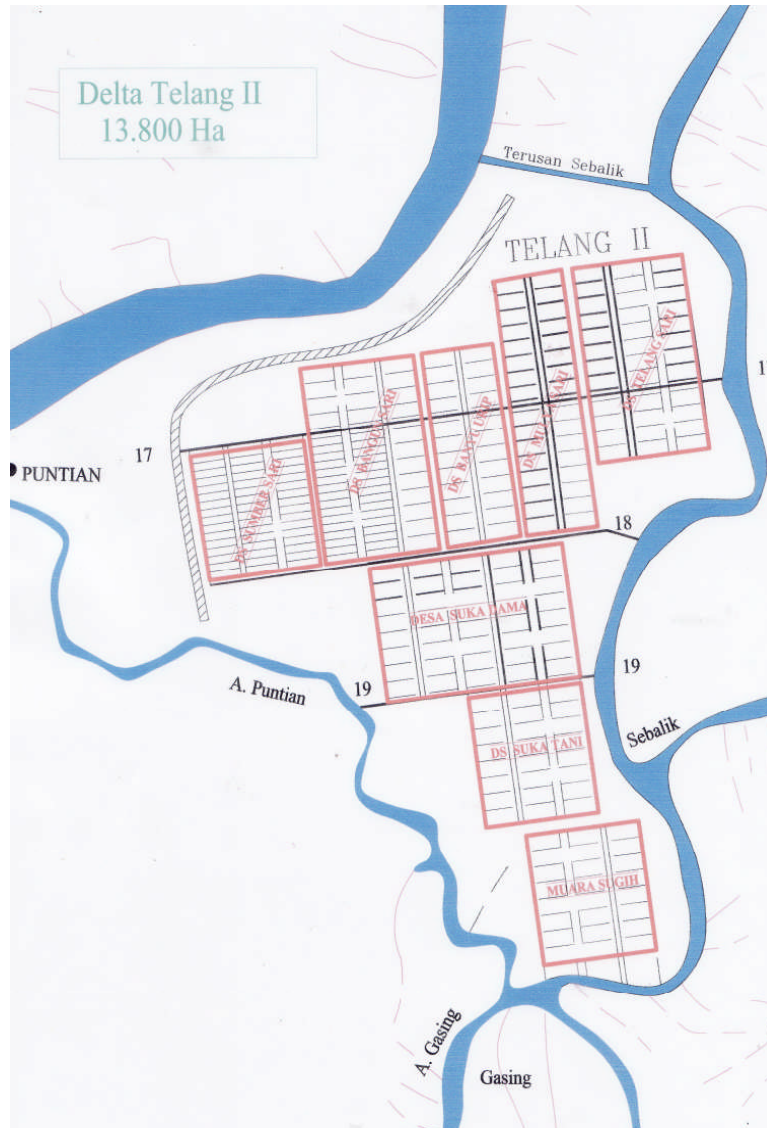
aluran pemasukan irigasi dan saluran kuarter dijadikan saluran pembuangan menuju saluran tersier drainase. Diperlukan juga saluran dangkal di sekeliling petakan sawah. Saluran ini berfungsi sebagai saluran penyalur di dekat saluran kuarter irigasi dan sebagai saluran pengumpul yang didekat saluran kuarter drainase. Di dalam petakan sawah dibuatkan pula saluran dangkal intensif yang berfungsi untuk mencuci zat asam dan zat beracun dari lahan. Jarak antar-saluran bervariasi tergantung kepada kendala lahan yang dapat diatur sebagai berikut:

- a. Lahan dengan kandungan pirit dalam dibuat saluran dengan jarak 9 m atau 12 m.
- b. Lahan dengan kandungan pirit dangkal dibuat saluran dengan jarak 6 m atau 9 m.
- c. Pada lahan sulfat masam dibuat saluran dengan jarak 3 m atau 6 m.
- d. Pada lahan tidur dibuat saluran berjarak 3 m.

Keseimbangan yang ada antara oksidasi dan pencucian mencukupi untuk mempertahankan tanah menjadi masam. Sangat penting untuk mematangkan tanah dengan kepadatan rendah yang belum matang dengan menerapkan sistem pengaturan air dangkal. Untuk memacu proses pematangan tanah jenis ini, maka selama musim kemarau air tanah harus diturunkan 60 cm di bawah permukaan tanah. Pada tanah yang sudah matang sangat mungkin penggunaan irigasi pompa dikombinasikan dengan traktor dan terciptanya “plough-layer” (lapisan tanah yang belum matang tidak bisa mempertahankan genangan air di atas lahan).

Hasil penelitian kualitas air menunjukkan pH air rata-rata sebesar 6,28 sedangkan kualitas yang diperkenankan antara 6,5~8,5, sehingga pada lokasi Telang II memungkinkan pengembangan daerah pertanian untuk tanaman padi selama musim hujan dan penanaman palawijo diluar waktu penghujan.

7. Saluran Primer dan Saluran Sekunder Telang II



Gambar 24. Peta Saluran Irigasi Delta Telang II

Sumber : Intimulia Multikencana, 2009

Data berikut visual saluran irigasi yang ada dengan panjang 9567,33 meter dan luas area efektif 5000 hektar.

Tabel 10. Saluran Primer Delta Telang II

No	Nama Saluran	Nomenklatur	Panjang (m)	Jenis Saluran
1	Primer	Primer 17.1	477,00	Tanah
2	Primer	Primer 17.2	1009,14	Tanah
3	Primer	Primer 17.3	246,34	Tanah

4	Primer	Primer 17.4	959,59	Tanah
5	Primer	Primer 17.5	148,06	Tanah
6	Primer	Primer 17.6	950,52	Tanah
7	Primer	Primer 17.7	289,12	Tanah
8	Primer	Primer 17. 8	925,10	Tanah
9	Primer	Primer 17.9	146,97	Tanah
10	Primer	Primer 17.10	962,22	Tanah
11	Primer	Primer 17.11	216,89	Tanah
12	Primer	Primer 17.12	930,51	Tanah
13	Primer	Primer 17.13	152,35	Tanah
14	Primer	Primer 17.14	953,28	Tanah
15	Primer	Primer 17.15	249,39	Tanah
16	Primer	Primer 17.16	950,85	Tanah
17	Primer	Primer 17.17	894,95	Tanah
18	Primer	Primer 17.18	116,08	Tanah
19	Primer	Primer 17.19	919,56	Tanah

Sumber :Intimulia Multikencana, 2009

Tabel 11. Saluran Irigasi Sekunder Delta Telang II

No.	Saluran	Nomenklatur	Panjang (m)
1	Sekunder Utara	SDU 1 Utara	3850,57
		SDU 2 Utara	3852,03
		SDU 3 Utara	3841,82
		SDU 4 Utara	3861,24
		SDU 5 Utara	3860,61
		SDU 6 Utara	2001,85
		SDU 7 Utara	2004,83
		SDU 8 Utara	2103,83
		SDU 9 Utara	1971,55
2	Sekunder Selatan	SDU 1 Selatan	2037,90
		SDU 2 Selatan	2009,95
		SDU 3 Selatan	2025,58
		SDU 4 Selatan	3854,51
		SDU 5 Selatan	3854,10
		SDU 6 Selatan	3850,15
		SDU 7 Selatan	3801,46
		SDU 8 Selatan	3853,46
		SDU 9 Selatan	3858,0

Sumber : Intimulia Multikencana,2009

8. Perilaku Pasang Surut di Telang II

Pengamatan pasang surut yang dilakukan oleh Intimulya Multikencana pada tanggal 28 Juli 2009 sampai 12 Agustus 2009 di dua tempat yaitu pertama di hilir saluran primer pada koordinat X=475.956,332 dan koordinat Y=708.924,726

dan lokasi kedua berada di hulu saluran primer pada koordinat X=464.578,604 dan koordinat Y=707.266,036. diperoleh hasil seperti pada gambar berikut.

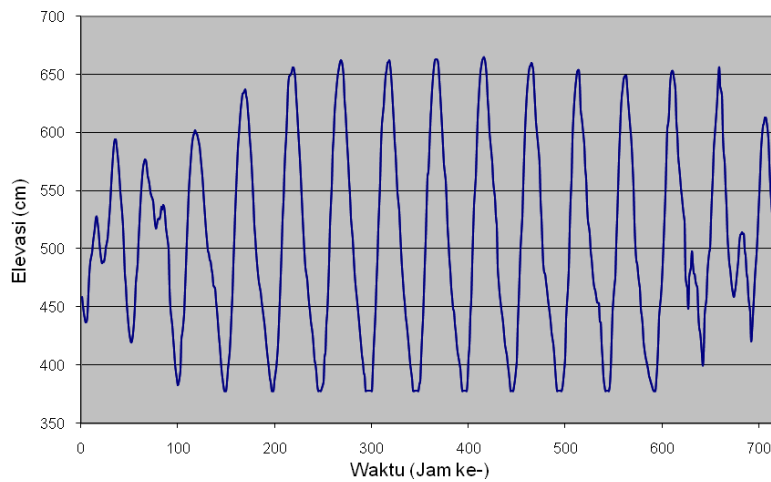


Figure 25. Fluktuasi pasang surut di lokasi hilir saluran primer

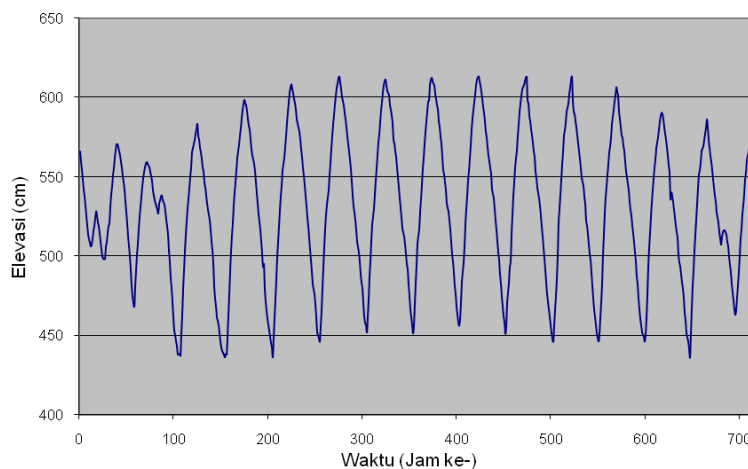
Sumber : Intimulia Multikencana,2009

Fluktuasi pasang surut yang ditampilkan pada gambar menunjukkan pasang surut di lokasi hilir saluran primer dengan ketinggian pengaruh air pasang tertinggi pada elevasi +6,649 m dan *mean high water level* (rerata tinggi air pasang) pada elevasi +5,932 m sedangkan elevasi pengaruh air surut terendah pada elevasi +3,778m dan *mean low water level* (rerata tinggi air surut) pada elevasi +4,497 m.

Kondisi pasang surut pada gambar kedua menunjukkan pengaruh pasang surut di hulu saluran primer dengan ketinggian pengaruh air pasang pada elevasi +6,132 m dan *mean high water level* (rerata tinggi air pasang) pada elevasi +5,689 m sedangkan elevasi pengaruh air surut terendah pada elevasi +4,362 m dan *mean low water level* (rerata tinggi air surut) pada elevasi +4,805 m. Berdasarkan data ketinggian pasang surut di saluran primer dan kondisi topografi lahan, maka dapat disimpulkan pengaruh air pasang surut tidak sampai menggenangi lahan pertanian disekitarnya, namun berpengaruh pada saluran.

Prediksi Pasang Surut tahun 2008 dari Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, yang terjadi di stasiun pasang surut Bangka yaitu stasiun pasang surut yang terdekat dengan Telang II pada bulan Juli pasang tertinggi 3,80 meter dan pada bulan Desember pasang tertinggi 4,20 meter. Dari analog analisa data pada stasiun Bangka tahun 2008, maka pada bulan Desember di lokasi ini terjadi pasang tertinggi 3,27 meter atau pada elevasi +7,049 meter, jika pada bulan Juli didapatkan hasil pengukuran di lapangan 2,87 meter atau pada elevasi +6,649 meter pada lokasi pengukuran hilir saluran primer.

Prediksi ini memperlihatkan bahwa kawasan areal Telang II sebagian besar masih berada diatas pasang tertinggi, hanya sebagian kecil saja di hilir kawasan yang terendam air pasang.

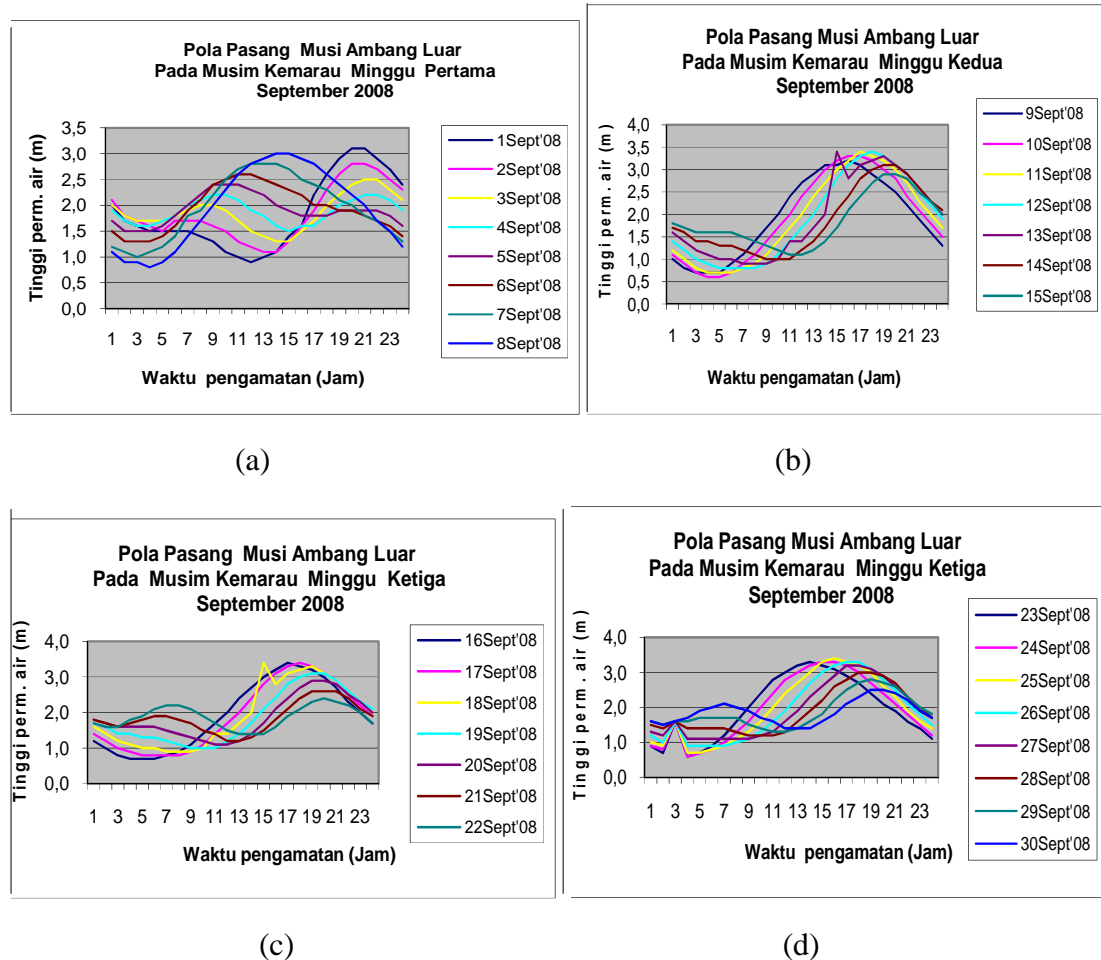


Gambar 26. Fluktuasi Pasang Surut berdasar elevasi di hulu saluran primer

Sumber : Intimulia Multikencana,2009

Jika dilihat dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Intimulya Multikencana pada tahun 2009 dan data dari Ditjen PU Pengairan selama lima tahun yaitu dari tahun 2006 hingga tahun 2010 menunjukkan bahwa perilaku pasang surut di Telang II dan sekitarnya tidak total diurnal. Pada saat pasang perbani terutama pada musim kemarau, pasang akan berpola semi diurnal, yaitu membentuk dua gunung dan dua

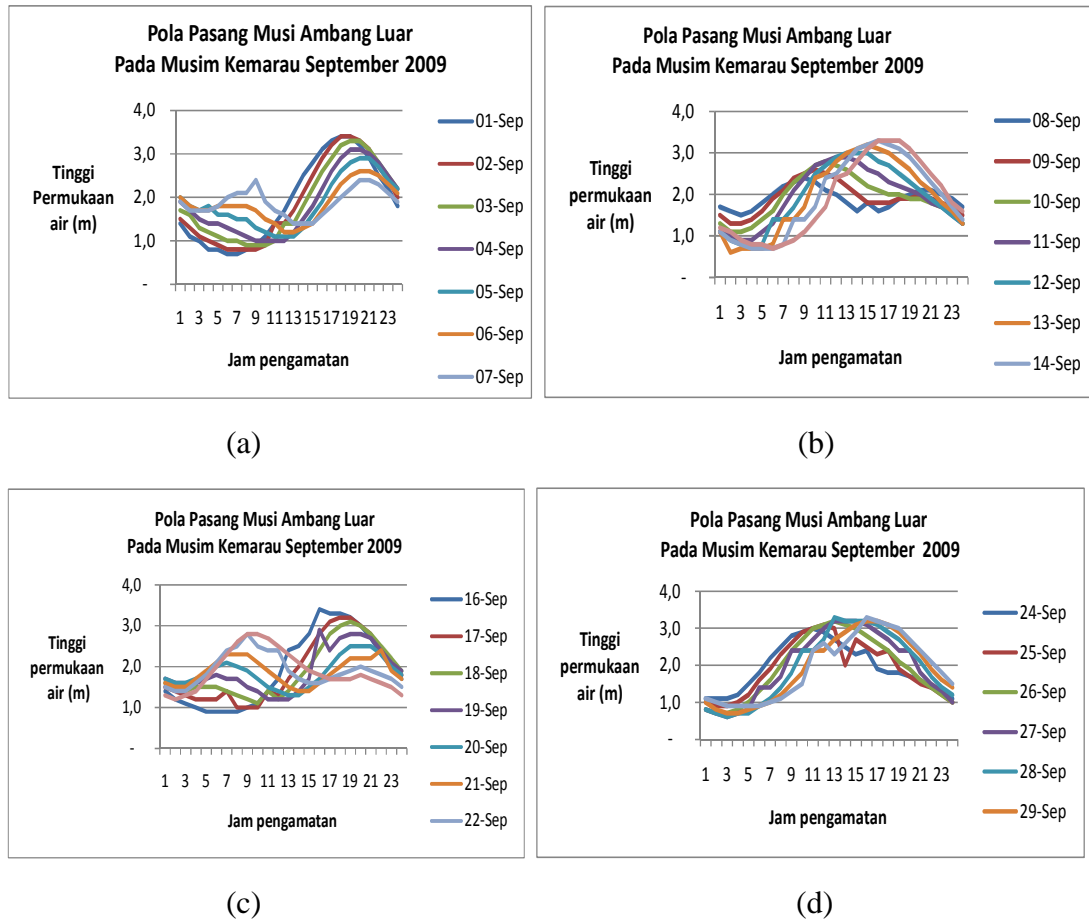
lembah. Data dari Ditjen PU Pengairan selama rentang waktu lima tahun menunjukkan bahwa sifat semi-diurnal terjadi hanya pada saat Perbani dan pada ujung musim kemarau kira-kira selama tiga atau empat hari pada saat posisi Bulan-Bumi-Matahari membentuk sudut tegak lurus. Setelah itu pasang akan diurnal



Gambar 27. Pola pasang surut pada musim kemarau bulan September tahun 2008. menunjukkan pola semi-diurnal pada saat perbani tanggal 2,3,4 dan 20,21,22 gambar (a) dan (c) dan selanjutnya kembali diurnal pada tanggal 9,10,11 dan 23,24,25 saat purnama gambar (b) dan (d). sempurna hingga tiba saat Purnama. Demikianlah pola pasang surut hingga ahir musim kemarau. Pada musim hujan, semua pasang bersifat diurnal dari awal bulan hingga ahir bulan.

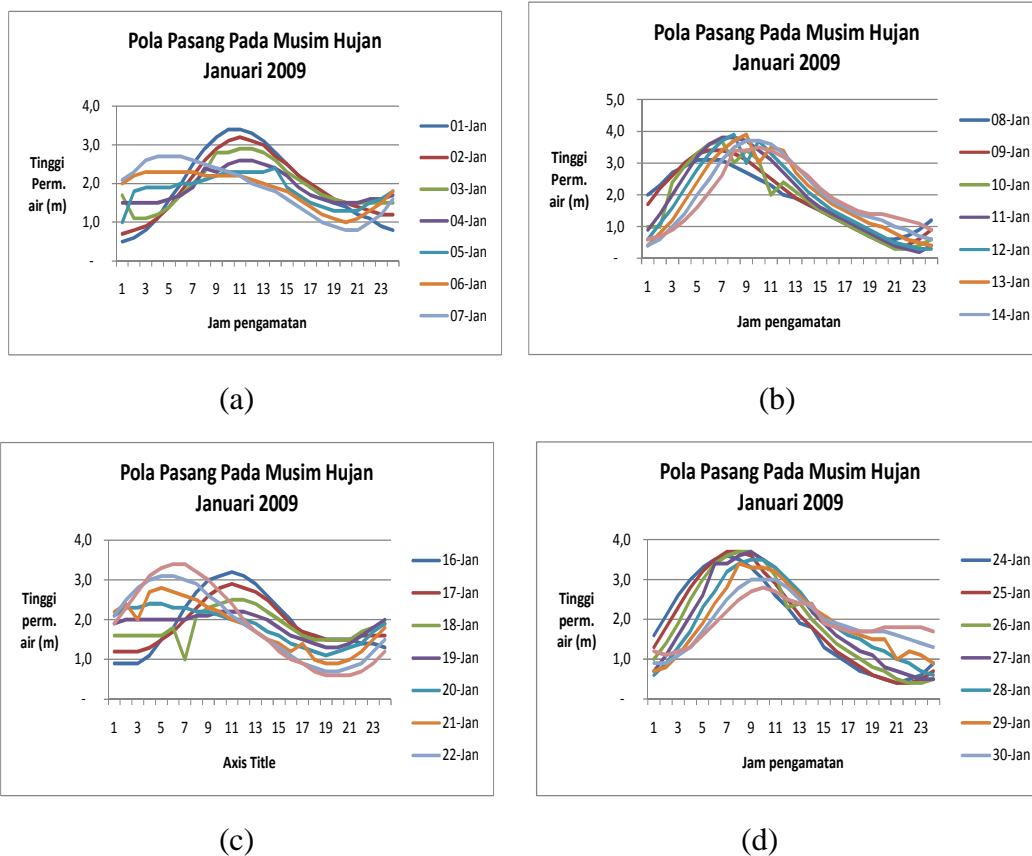
Untuk memastikan bahwa perilaku pasang seperti ini berlangsung setiap tahun, maka berikut ini disajikan grafik pola pasang yang terjadi pada musim kemarau pada tahun 2008 dan tahun 2009. Dari Gambar 27 dan Gambar 28 terlihat pola pasang yang

serupa dimana pada musim hujan, pasang akan berpola Diurnal murni dari awal bulan hingga ahir bulan. Pada ujung musim kemarau pasang pada ambang luar Sungai



Gambar 28. Pola Pasang pada Musi Ambang Luar Pada Musim Kemarau bulan September 2009 nampak terjadi pola Semi-Diurnal pada saat perbani tanggal 5,6,7 dan 20, 21,22 gambar (a) dan (c). Pola diurnal saat purnama pada tanggal 8,9,10 dan 27,28,29 gambar (b) dan (d).

Musi akan tetap berpola Diurnal tetapi terdapat pola Semi-Diurnal sekitar tiga atau empat hari pada posisi Bumi-Bulan dan Matahari membentuk sudut 90^0 (*Neap tide*).

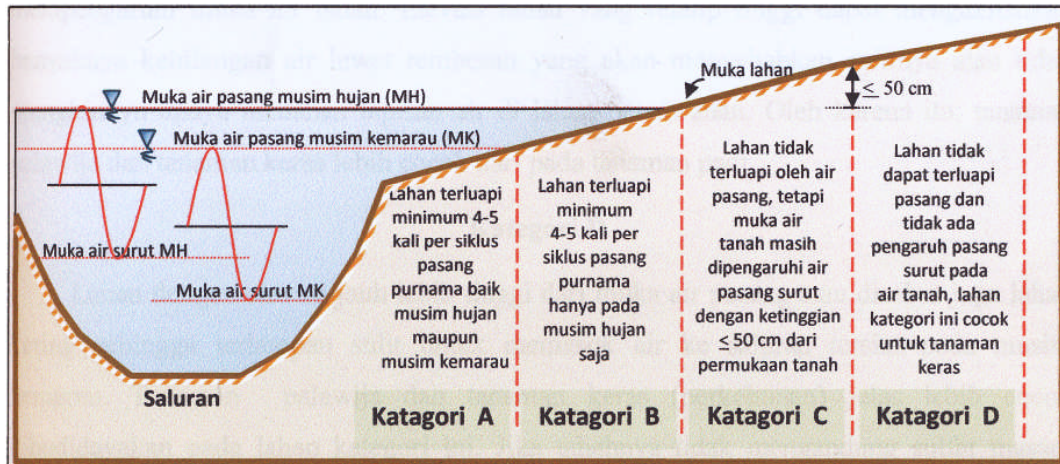


Gambar 29. Gambar (a), (b), (c) dan (d) menunjukkan bahwa pada musim hujan Januari 2009 pasang dalam pola Diurnal sebulan penuh.

Gambar 29 menunjukkan bahwa pasang akan berpola Diurnal selama sebulan penuh pada musim hujan. Dari pengamatan kami terhadap catatan pasang surut dari Dirjen Pengairan Kementerian Pekerjaan Umum – RI di Palembang, dari rentang waktu 2006 hingga 2010 hal serupa ini selalu terjadi setiap tahun. Sehingga dapat diambil kesimpulan pola pasang ini sudah menjadi karakter pasang di titik Musi Ambang Luar. Melalui pengetahuan kita tentang pola pasang ini maka menjadi referensi untuk mengetahui sifat pasang pada pintu air desa Bangun Sari yang berjarak kurang lebih lima kilometer dari Musi Ambang Luar.

9. Hidrotografi Lahan Rawa

Kondisi hidrotopografi suatu lahan ditentukan berdasarkan perbandingan antara elevasi lahan tersebut dengan elevasi muka air sungai atau muka air pada saluran terdekat pada musim hujan maupun pada musim kemarau.



Gambar 30. Penggolongan hidrotopografi lahan rawa. (Sumber: Disalin ulang dari Megawaty, 2012 Halaman 25)

Secara umum terdapat empat penggolongan hidrotopografi . (Euroconsult, 1993; Suryadi, 1996; Satker SIRASS Dept. PU, 2005) yang dikenal hingga saat ini yaitu:

1. Kategori A, yaitu lahan yang terluapi air pasang pada musim hujan maupun pada musim kemarau.
2. Kategori B, yaitu lahan yang hanya terluapi air pasang pada musim penghujan.
3. Kategori C, yaitu untuk lahan yang berada diatas elevasi muka air pasang tertinggi pada musim hujan.
4. Kategori D, yaitu lahan kering yang tak pernah terluapi air pasang baik pada musim hujan maupun pada musim kemarau.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa saluran sekunder Bangun Sari tergolong type A.

E. Ekstraksi Daya Teoritis Pada Saluran

Menurut Bryden (2007) energi yang dapat diekstraksi dari air yang bergerak berdasarkan perbedaan ketinggian akibat pasang surut dapat dimodelkan dengan memodifikasi persamaan aliran pada saluran terbuka dengan lebar saluran konstan sehingga didapat persamaan-persamaan berikut:

$$\left[1 - \frac{U^2}{h \cdot g}\right] \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{-P_{er} \tau_{eff}}{\rho g A} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana: P_{er} = "wet perimeter" dari saluran (m)

U = kecepatan aliran longitudinal lokal (m/detik)

τ_{eff} = Tegangan batas efektif (Nm^{-2})

h = kedalaman air (m)

x = posisi sepanjang saluran (m)

ρ = density air (kgm^{-3})

g = percepatan gravitasi ($mdet^{-2}$)

Persamaan diatas dapat disederhanakan untuk saluran-saluran biasa menjadi:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{-P_{cr} \tau_{eff}}{\rho g A} \dots\dots\dots(7)$$

Head drop pada pintu masuk saluran:

$$\Delta h_{inlet} = \frac{U_{inlet}^2}{2g} \dots\dots\dots(8)$$

U_{inlet} =kecepatan aliran longitudinal ke hilir pada saat inlet (m/det)

Tegangan batas alami (natural boundary stress),

$$\tau_0 = \rho g \frac{U^2 n^2}{R^{1/3}} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

$n =$ koefisien gesekan Manning ($\text{detik}/\text{m}^{1/3}$), untuk ini diambil $0,025 \text{ det}/\text{m}^{1/3}$

$$R = \text{Radius hidraulik lokal} = \frac{A}{P_{er}} (\text{m}).$$

$$\tau_{add} = \frac{P_x}{U \Delta x P_{er}} \dots\dots\dots(10)$$

P_x adalah daya ekstraksi artificial

Δx adalah panjang saluran terhadap mana energi diekstraksi

Jika radius hidrolik dan kecepatan aliran longitudinal sepanjang saluran dianggap konstan, maka tegangan batas rata-rata efektif :

$$\tau_{eff} = \rho g \frac{U_c^2 n^2}{R^{1/3}} + \frac{P_{ext}}{U_c L P_{er}} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

$P_{ext} =$ daya ekstraksi artificial sepanjang saluran (Watt)

$L =$ panjang saluran

$U_c =$ kecepatan aliran longitudinal pada saluran (m/detik)

Total perbedaan 'head' antara inlet dan outlet:

$$\Delta h = \frac{U_c^2}{2g} + \frac{P_{er} \tau_{eff} L}{\rho g A} \dots\dots\dots(12)$$

Dengan substitusi:

$$\Delta h = \frac{U_c^2}{2g} + \frac{U_c^2 n^2 L}{R^{4/3}} + \frac{P_{ext}}{U_c \rho g A} \dots\dots\dots(13)$$

Dalam keadaan tidak ada ekstraksi energi eksternal, persamaan ini dapat digunakan untuk menentukan kecepatan aliran 'natural' yaitu:

$$U_0^2 = \frac{2g \Delta h}{\left[1 + 2gn^2 L / R^{4/3} \right]} \dots\dots\dots(14)$$

$$P_{ext} = U_c \rho g A \left(\Delta h - \frac{U_c^2}{2g} - \frac{U_c^2 n^2 L}{R^{4/3}} \right)$$

$$P_{ext} = U_c \rho g A \left[\frac{1}{2g} + \frac{n^2 L}{R^{4/3}} \right] (U_0^2 - U_c^2)$$

Daya optimum berada pada posisi: $U_{opt} = U_0 / \sqrt{3}$

$$P_{opt} = \frac{1}{2} \rho A U_0^3 \frac{2}{3\sqrt{3}} \left[1 + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right] \dots\dots(15)$$

Dimana: $\frac{2}{3\sqrt{3}} \left[1 + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right]$ merupakan faktor ‘multiflier’ yang tergantung bentuk dan kekasaran saluran.

Kecepatan aliran air dapat dinyatakan dengan fungsi kerapatan probabilitas:

$\Phi_{(u)}$ dimana $\int_{u_1}^{u_2} \Phi_{(u)} du$ merupakan fraksi waktu dimana kecepatan arus bervariasi

antara u_1 dan u_2 (Bryden,2000)

Daya ekstraksi rata-rata yang dapat dicapai dapat ditentukan melalui persamaan:

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} P_T(u) \Phi_{(u)} du \dots\dots\dots(16)$$

Untuk saluran irigasi sederhana seperti pada saluran sekunder Bangun Sari, daya yang diekstraksi dapat dihitung berdasarkan flux energi kinetik yang bekerja pada suatu luasan penampang lintang saluran (Bryden, 2004).

$$P = \frac{1}{2} \rho \int (U^3 dA) \dots\dots\dots(17)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ditentukan berdasarkan hasil survey pendahuluan yang dilakukan sebelumnya, yaitu pada saluran irigasi sekunder pasang surut yang berada di Desa Bangun Sari Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin Propinsi Sumatera Selatan. Posisi geometris lokasi adalah pada titik $104^{\circ}42.714$ Bujur Timur $2^{\circ}38.991'$ Lintang Selatan. Pilihan ini diperkuat dengan alasan sudah ada pondok petani di lokasi terdekat, sehingga memudahkan akomodasi, menjadi sumber informasi serta membantu dalam operasional.

Penelitian ini dilakukan secara langsung dilapangan atas alasan teknis dan alasan ekonomis. Jika dibandingkan dengan pengujian skala laboratorium, biaya pengadaan peralatan laboratorium akan sangat mahal karena meliputi pengadaan sarana saluran air dengan volume air yang harus dialirkan mencapai $1,2 \text{ m}^3/\text{detik}$, peralatan pendukung seperti pompa, reservoir dengan kapasitas paling sedikit 10 m^3 , tempat khusus yang memang disiapkan untuk itu, alat-alat ukur dan sumber daya listrik yang besar. Selain itu, terdapat kesulitan operasional dalam menyerupakan aliran air pada simulasi di laboratorium dengan kondisi aslinya mengingat volume dan kecepatan arus air bervariasi terhadap waktu dan terkait naik turunnya permukaan air akibat pasang. Oleh sebab itu penulis memilih melakukan penelitian secara langsung di lapangan sehingga diperoleh hasil yang sebenarnya dan tidak merupakan sebuah harga kesebandingan karena simulasi pada laboratorium.

1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Dari survey dan data-data yang diambil pada tingkat kunjungan pendahuluan dapat disajikan data-data dan gambar-gambar berikut ini yang melukiskan kondisi umum pada lokasi penelitian.



(a)



(b)

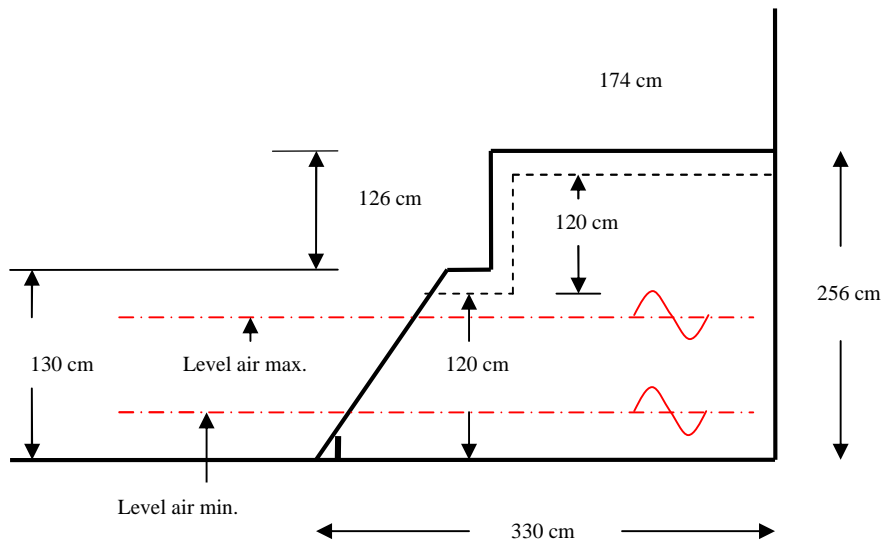
Gambar 31. a. Pintu air di desa Bangun Sari pada musim hujan.
bulan Maret 2011

b. Pintu air di desa Bangun Sari pada musim kemarau.
bulan September 2011.

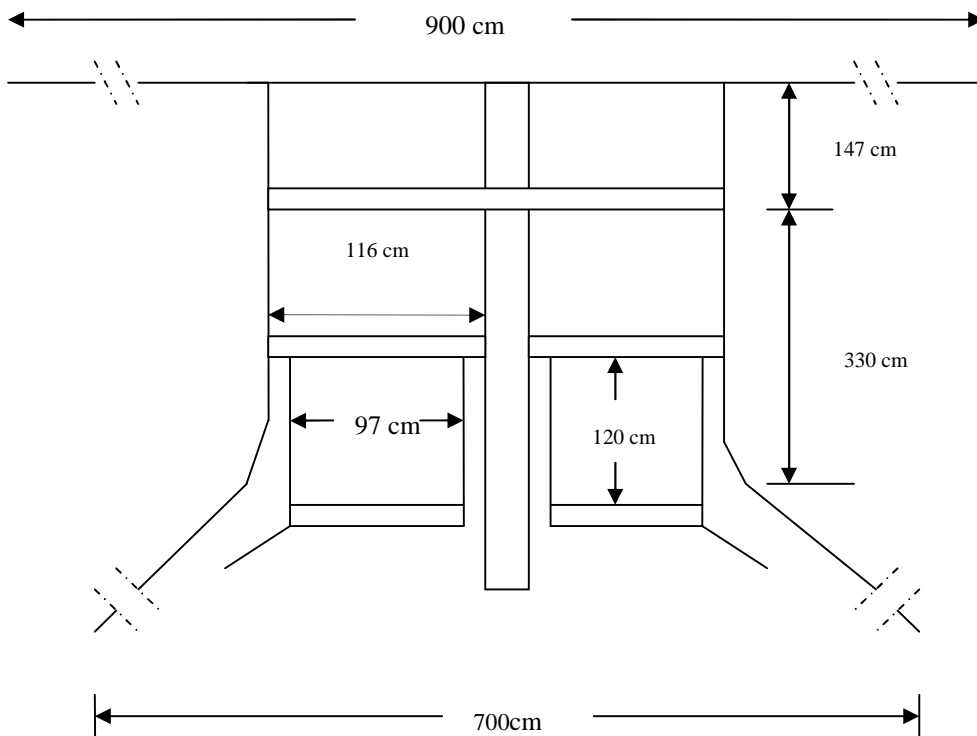


Gambar 32 . Sebuah pondok dekat pintu air yang telah berdiri selama delapan tahun tanpa penerangan listrik.

Tampak samping pintu air Bangun Sari sebagai berikut:



Gambar 33 . Tampak samping pintu air Bangun Sari. Garis merah menunjukkan level air rata-rata maksimum dan level air rata-rata minimum masing-masing 110 cm dan 20 cm dari lantai dasar pintu air.



Gambar 34 . Tampak atas pintu air Bangun Sari

Laluan air pada pintu air terdiri dari dua pintu dengan ukuran 120 cm x 97 cm. Pada kondisi normal, kedua pintu ini diatur sesuai kebutuhan. Kadang terbuka dan kadang tertutup, tergantung pada ketersediaan air dan kebutuhan akan air oleh para petani. Pada saat penelitian ini dilakukan, salah satu pintu air ditutup penuh dengan maksud agar kecepatan aliran air pada pintu yang lain menjadi maksimum. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan sebelumnya, jika kedua pintu air terbuka, maka aliran air yang ada tidak cukup kuat untuk memutar roda kincir sehingga dapat dipastikan tidak layak untuk menghasilkan daya listrik ataupun daya mekanik. Oleh sebab itu selama pengukuran dan pengujian, pintu air hanya dibuka separuhnya, sedangkan separuh yang lain ditutup untuk memaksimalkan kecepatan aliran.

B. Metode Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tiga tahapan pengerjaan, masing-masing tahapan disebut phase sbb:

1. Phase Pertama

Penelitian ini akan dimulai dengan studi awal yang meliputi studi tentang hal-hal berikut ini:

- Mengunjungi lokasi penelitian dan menilai kemungkinan melakukan penelitian. Pekerjaan ini meliputi: Memotret lokasi penelitian dan sekitarnya; Memfilmkan aliran air pada pintu air; Menentukan lokasi penelitian secara spatial dengan GPS; dan melakukan pengukuran-pengukuran.
- Menghubungi pihak-pihak yang terkait langsung dengan penelitian, diantaranya Kedinasan Pekerjaan Umum Provinsi Sumatera Selatan; Camat Kecamatan Tanjung Lago; Kepala Desa dan Sekretaris Desa Bangun Sari; Masyarakat disekitar Pintu Air desa Bangun Sari.

- Study literatur tentang segala sesuatu yang terkait dengan konten penelitian yang meliputi hal-hal yang meliputi: Kondisi Lingkungan lokal dan global; Kebijakan pemerintah Republik Indonesia tentang energi pedesaan; Turbin air, khususnya Kincir Air.
- Mencari data-data Hidrology, Topografi, Sosial-ekonomi, Kependudukan, Peta-peta irigasi, , Iklim, Curah hujan dan sebagainya di Telang II – Banyuasin.

2. Phase Kedua:

- Memulai perencanaan dengan prosedur sebagai berikut:
 - a. Melakukan pengamatan dan pengukuran tentang air pasang yang meliputi ketinggian permukaan air dari waktu ke waktu dan kecepatan aliran pada pintu air baik pada musim hujan maupun pada musim kemarau pada lokasi penelitian.

Ketinggian permukaan air diukur dengan pengamatan terhadap meteran yang dipasang pada pintu air. Kecepatan aliran diukur dengan Current Meter.

- b. Melakukan perencanaan Kincir Air dengan batasan sbb:
 - Ukuran disesuaikan dengan space yang tersedia pada pintu air, dimana lebar kincir air maksimum 95 cm dan diameter maksimum 100 cm.
 - Sistem transmisi daya berupa susunan roda gigi dan kopling yang menghubungkan putaran dari roda kincir ke alternator.
 - Alternator yang dapat menghasilkan daya pada putaran rendah.
 - Variable jumlah blade ditentukan berdasarkan perhitungan efektifitasnya dalam menghasilkan daya jika sudu tercelup hingga kedalaman 20 sentimeter. Untuk penelitian ini ditentukan variabel jumlah blade adalah 8,10 dan 12.

- Lebar sudu 20 cm ditentukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap tinggi permukaan air pada saluran irigasi pada ujung musim kemarau, dimana pada saat ahir masih terdapat ketinggian aliran setinggi sepuluh sentimeter. Pemilihan lebar sudu 20 sentimeter ini dimaksudkan agar daya dapat diperoleh sepanjang waktu, yaitu 24 jam dalam sehari dan 360 hari dalam setahun.

Daya Rencana dihitung dengan formula: $P_{ren} = f_c \times P_{design}$

Diambil faktor koreksi $f_c = 1,2$

Diameter poros dhitung dari formula:

$$d_s^3 = \frac{5,1}{\tau_a} K_t \cdot C_b \cdot T \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(19)$$

τ_a = Tegangan geser izin (Kg/mm²)

$$= \frac{\tau_b}{S_{f1} \cdot S_{f2}} \quad \dots\dots\dots(20)$$

τ_b = Tegangan tarik material poros. (Kg.mm²)

S_{f1} = Faktor koreksi untuk kelelahan puntir, 6 utk Baja Karbon.

S_{f2} = Faktor koreksi untuk konsentrasi tegangan, diambil 1.2

K_t = Faktor koreksi momen puntir, diambil 1,3

C_b = Faktor koreksi untuk kemungkinan beban lentur,diambil 2

Gaya pengapungan dihitung berdasarkan prinsip Archimedes, dimana sebuah benda akan menerima gaya keatas sebesar volume air yang dipindahkannya.

Perhitungan Defleksi Puntiran

$$L = \frac{\theta \cdot G \cdot d_s^4}{584 \cdot T} \quad \dots\dots\dots(21)$$

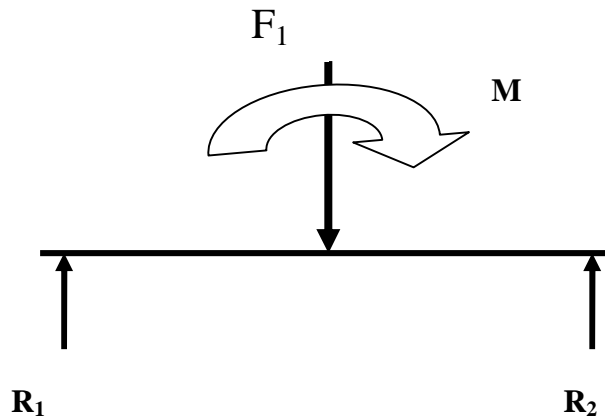
Dimana:

L = Panjang poros. (cm)

θ = Defleksi puntiran (Yang diizinkan $2^0 - 3^0$)

T = Momen puntir aktual.

d_s = Diameter poros (mm)



Gambar 35. Diagram benda bebas gaya-gaya yang terjadi pada konstruksi kincir air apung.

Pemilihan Bantalan:

Bantalan ditentukan terlebih dahulu dari jenis beban radial dan elemen gelinding jenis bola alur dalam (deep groove ball bearing). Pemilihan ini ditentukan berdasarkan pertimbangan bobot konstruksi yang ringan serta daya kecil, sehingga jenis bantalan ini lebih tepat. Diameter bantalan yang digunakan disesuaikan dengan hasil perhitungan diameter poros dan pertimbangan teknis lainnya.

Pilihan Sistem Transmisi

Sistem transmisi daya terdiri dari sistem Rantai, Kopling, Sabuk-V dan Roda gigi. Jenis transmisi rantai tidak dapat digunakan mengingat Kincir Air Apung akan bekerja diatas permukaan air sedangkan sambungan rantai rentan terhadap korosi. Oleh sebab itu untuk sistem transmisi, hanya dipertimbangkan jenis Sabuk-V dan Roda gigi.

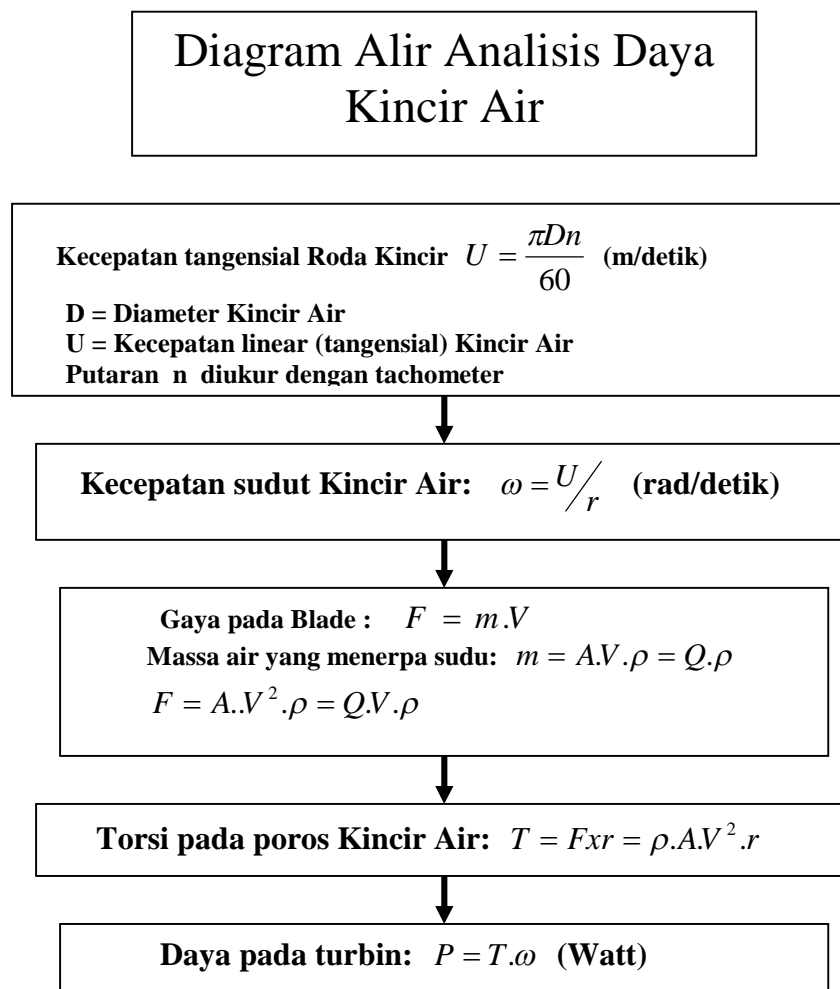
Kopling terdiri dari Kopling Tetap dan Kopling Tidak Tetap. Untuk Kincir Air Apung yang akan direncanakan ini, ditentukan terlebih dahulu bahwa jenis kopling yang akan dipakai adalah dari jenis Kopling Tidak Tetap dengan pertimbangan bahwa

jenis kopling ini dapat mengakomodasi 'misalignment' yang cukup besar dan dapat mengadaptasi eksentrisitas antara dua poros yang dihubungkan.

Tahap berikutnya adalah melakukan pembuatan Kincir Air dengan pilihan material logam dan non-logam. Material logam meliputi: Baja , Baja Stainless, Aluminium, Kuningan, Tembaga. Material non-logam meliputi: Acrylic, PVC, Fiberglass, Plastik.

3. Phase Ketiga:

Melakukan pengujian lapangan dan mencatat hasil-hasil yang diperoleh serta melakukan modifikasi pada perencanaan jika pada pengujian hal itu diperlukan.



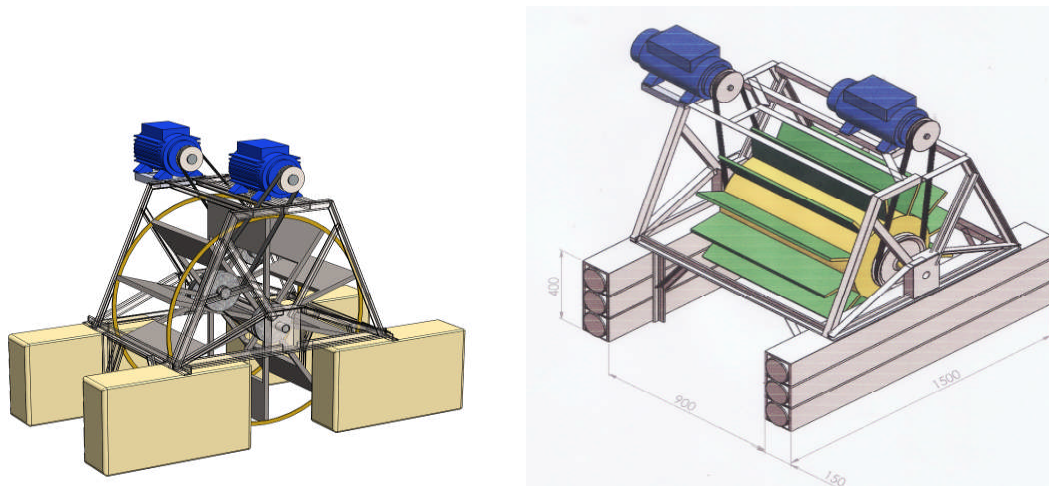
Gambar 36. Diagram alir Analisis Daya Kincir Air

- Pengukuran daya dilakukan dengan mengukur momen yang terjadi pada poros. Besar momen pada poros diukur berdasarkan besarnya gaya yang bekerja pada sudu dikalikan dengan jari-jari tempat gaya itu bekerja dalam satuan Newton-meter. Daya adalah Momen x Omega dalam satuan Watt, dimana Omega adalah kecepatan keliling roda kincir dalam satuan Radial/Detik.
- Melakukan pengukuran produktifitas Alternator listrik.

Tabel 12. Kartu Catatan Produktifitas Kincir Air

Nomor	Alternator Listrik (Volt)
1	
2	
3	

Gambar rancangan imaginatif Kincir Air Apung:



Gambar 37. Rancangan imaginatif 1 dan 2.

4. Phase Keempat:

- Analisis data dan kajian teknis serta lingkungan.
- Penulisan Laporan
- Seminar Hasil Penelitian
- Publikasi Ilmiah
- Ujian Ahir.

BAB IV HASIL-HASIL PENELITIAN

A. Kecepatan Aliran dan Perilaku Pasang Surut Pada Pintu Air Bangun Sari

Untuk melanjutkan penelitian ini ke tingkat perhitungan dan perekayasaan, perlu suatu keyakinan bahwa hipotesa yang kita buat diperkirakan akan memberikan hasil yang konkrit. Untuk itu maka diperlukan data penunjang dan studi lapangan yang memperkuat keyakinan bahwa perhitungan dan perekayasaan yang kita akan lakukan secara teknis dimungkinkan. Diantara data yang diperlukan adalah pengetahuan yang rinci tentang sifat dan perilaku pasang surut yang meliputi tinggi permukaan air dan kecepatan aliran air pada ketinggian terkait. Pengukuran terhadap kedua hal ini dilakukan secara langsung dilapangan dengan alat-alat yang sudah disiapkan. Titik yang dianggap strategis untuk pengukuran ini adalah pada pintu air (sluice). Titik ini menjadi referensi dari pengukuran tinggi permukaan air dan kecepatan aliran air pada penelitian ini, karena titik ini tidak mungkin mengalami perubahan karena bangunan dibuat secara permanen.

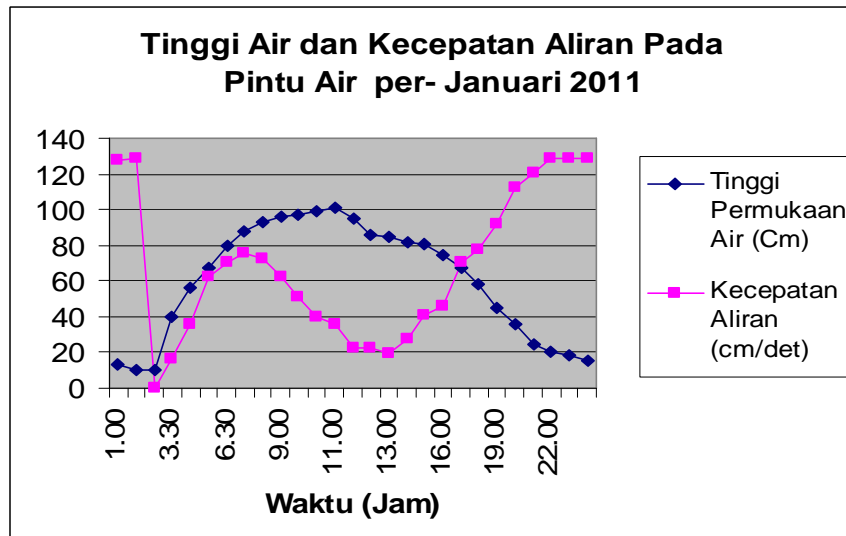
Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan dengan menggunakan Current Meter Valeport BFM001, sedangkan tinggi permukaan air diukur berdasarkan pengamatan terhadap mistar ukur yang dipasang pada pintu air. Pengukuran kecepatan aliran air dan ketinggian permukaan air selalu dilakukan secara bersamaan. Pada saat pengukuran ketinggian permukaan air, waktu itu juga diukur kecepatan aliran air, sehingga dapat dihitung debit aliran pada saat yang bersamaan.

Kecepatan aliran dan perilaku pasang berubah dari waktu ke waktu. Hal ini terkait posisi bulan dan matahari yang selalu berubah terhadap bumi, sehingga ketinggian pasang setiap hari diberbagai lokasi dibumi tidak pernah konstan. Tetapi

siklus pasang dalam satu tahun secara global memiliki kesamaan, dalam arti tidak mungkin kita mendapatkan perubahan atau perbedaan yang dramatis, kecuali terjadi hal-hal yang luar biasa diluar kaidah normal. Untuk Indonesia yang beriklim tropis dan memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim panas, profil pasang amat dipengaruhi oleh limpasan air hujan (*runoff*).

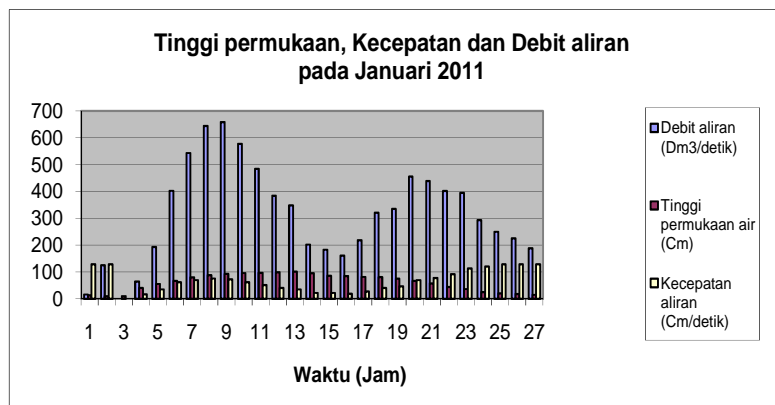
Pada musim hujan, tingkat curah hujan akan menambah ketinggian permukaan air pasang, sebaliknya pada musim kemarau ketinggian pasang akan berkurang karena tidak ada limpasan air hujan, sehingga semua air yang masuk saluran irigasi adalah air sungai yang terdorong oleh pasang dari laut. Bahkan pada puncak musim kemarau, air laut akan masuk ke saluran irigasi sekunder terbawa pasang karena volume air sungai yang ada sudah amat kecil sehingga terjadi keadaan sebaliknya, dimana air laut mengalir masuk ke daratan. Pada kondisi seperti ini air pada saluran akan berasa asin, dan hewan air yang berasal dari laut seperti ikan laut, udang satang yang hanya hidup di air asin juga akan masuk kesaluran, sesuatu yang pada saat musim hujan tidak dapat hidup disana.

Pada penelitian ini, akan ditampilkan tiga profil kecepatan dan sifat pasang pada musim hujan dan pada musim kemarau. Pada musim hujan, semua profil pasang menunjukkan sifat diurnal murni. Sifat diurnal murni ini didapati baik pada saat purnama maupun pada saat perbani. Tetapi seperti telah disinggung pada bab terdahulu, terdapat perubahan sifat pasang pada ujung musim kemarau. Pada ujung musim kemarau terdapat perubahan sifat pasang dari diurnal, yaitu satu bukit dan satu lembah perhari menjadi dua bukit dan dua lembah perhari, yaitu semi-diurnal. Bahkan pada ujung musim kemarau, yaitu pada ujung periode perbani, penulis mencatat terjadinya sifat pasang dimana terdapat tiga puncak dan dua lembah sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 42.

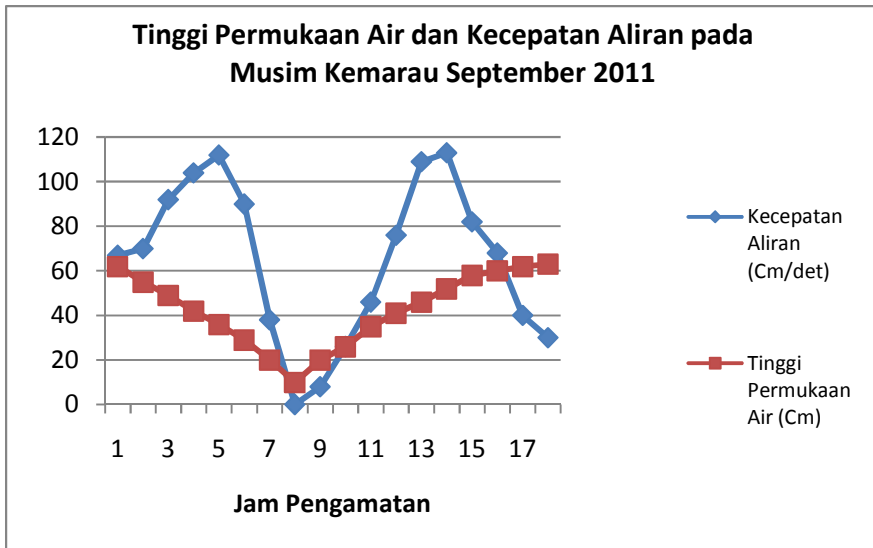


Gambar 38 . Tinggi dan Kecepatan aliran air pada pintu air pada musim hujan bulan Januari 2011

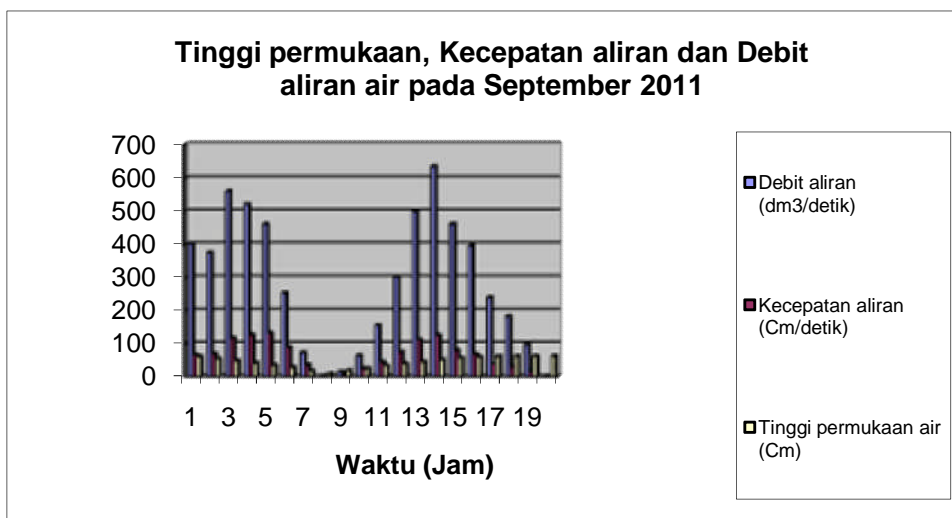
Tinggi permukaan air pada pintu air diukur terhadap dasar pintu air yang terbuat dari beton. Hal ini ditentukan untuk mencegah berubahnya titik referensi. Bila titik referensi diambil pada daerah lumpur, maka untuk pengukuran yang dilakukan berkali-kali terdapat kemungkinan perubahan posisi titik referensi.



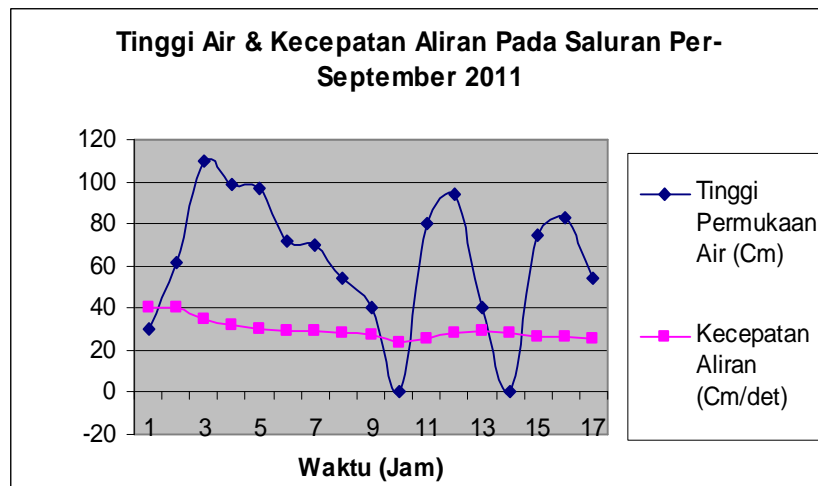
Gambar 39. Kecepatan aliran , Tinggi permukaan dan Debit aliran Pada saluran sekunder pada musim hujan dimana pasang bersifat Diurnal penuh.



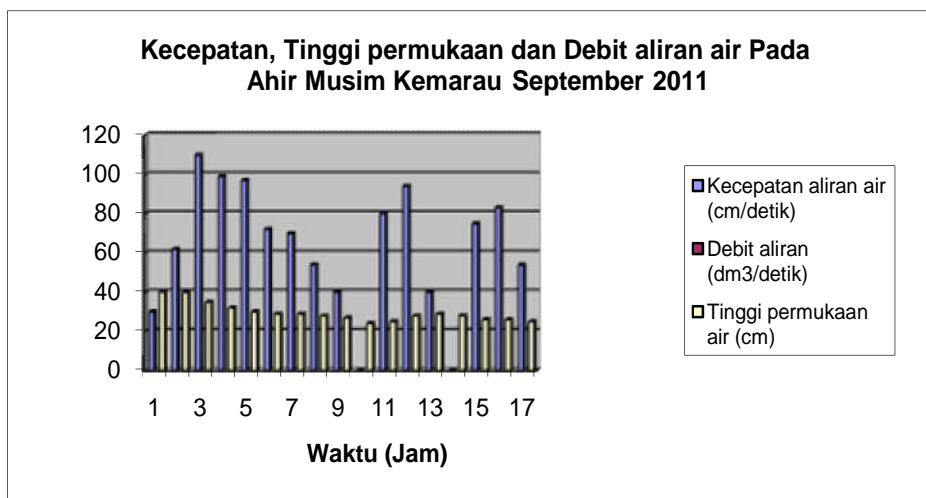
Gambar 40 . Kecepatan aliran dan Tinggi permukaan air pada saluran sekunder pada musim kemarau dimana pada minggu ke satu dan ketiga (Pasang Perbani) pasang bersifat Semi-Diurnal.



Gambar 41 . Kecepatan aliran , Tinggi permukaan dan Debit aliran Pada saluran sekunder pada musim kemarau dimana Pada minggu kesatu dan ketiga pasang bersifat Semi-Diurnal.



Gambar 42. Kecepatan aliran dan Tinggi permukaan air pada pintu air Desa Bangun Sari pada saat perbani pada ujung musim kemarau September 2011 dimana terjadi tiga puncak dan dua lembah dalam sehari semalam.



Gambar 43. Kecepatan aliran, Tinggi permukaan dan Debit aliran air pada saluran sekunder desa Bangun Sari di penghujung musim kemarau tahun 2011.

B. Perencanaan dan Perencanaan Kincir Air Apung

Rancangan kincir air apung dibuat dengan memperhatikan dan menganalisa rancangan yang sudah pernah dibuat untuk alat yang sama baik di dalam negeri maupun diluar negeri. Dewasa ini, terdapat banyak ujicoba hydropower apung di berbagai negara. Diantaranya Gorlov Floating Turbine yang dibuat dan di ujicoba di India, Spiral Hydro Turbine yang diujicoba di Ohio dan sekarang sudah mulai dipasarkan, Propeller Floating Turbine yang diujicobakan di Brazil dan sudah mulai dipasarkan. Kincir air apung dengan roda kincir seperti yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan di berbagai negara dengan berbagai bentuk dan ukuran diantaranya di Rumania, Australia, Jerman, Brazil, India.

1. Pilihan Material

Di dalam negeri, upaya pengembangan turbin air sudah dilakukan sejak lama sekalipun masih dalam skala laboratorium. Salah satu diantaranya adalah, kincir air apung yang pernah direncanakan dan dibuat di USU- Medan, dengan roda kincir berdiameter 75 cm dibuat dari baja ST-37 dengan tebal 2mm. Dari hasil pengujian, turbin ini menghasilkan daya sebesar 258 watt pada kecepatan aliran air 1,75 m/detik. (Jhon A. Glad Saragih, 2009). Penulis melihat masih ada hal yang dapat dilakukan sebagai bentuk pengembangan dan penyempurnaan dari yang sudah pernah dibuat itu. Diantaranya adalah material roda kincir yang menurut hemat penulis dapat dibuat dari material yang ringan tetapi memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan terpaan aliran air disamping kebutuhan lain, yaitu tahan terhadap korosi karena alat ini akan beroperasi di air. Baja memang cukup bagus dilihat dari aspek kekuatan, tetapi karena turbin ini harus beroperasi di permukaan air, maka aspek bobot konstruksi menjadi penting dalam penentuan material. Berat turbin air yang diteliti di USU-Medan antara

39 - 41 kilogram, belum termasuk konstruksi rangka penyangga sistem transmisi dan pelampung. Roda kincir dengan diameter 78 cm dan material aluminium pada penelitian ini beratnya hanya 5,2 kilogram.

Berat yang berlebihan tentu akan menyulitkan roda kincir tersebut untuk beroperasi diatas permukaan air. Berat yang berlebihan akan dapat menurunkan efisiensi turbin, sehingga amat perlu melakukan pemilihan material yang kuat, yang ringan dan tahan terhadap air. Pada masa-masa awal kelahiran kincir air, roda kincir kebanyakan terbuat dari kayu. Dewasa ini penggunaan kayu dikalahkan oleh adanya logam-logam ringan dan tahan korosi seperti Aluminium, Tembaga dan Kuningan. Gambar-gambar kincir air apung yang kami peroleh dari akses internet yang telah dibuat di luar negeri ahir-ahir ini menunjukkan material kayu sudah tidak digunakan lagi karena pertimbangan usia dan bobot yang besar. Material yang dipergunakan cenderung beragam sesuai perkembangan yang ada dewasa ini, diantaranya Acrylic, Fiberglass, Komposit, Plastik, PVC dan logam-logam ringan seperti Aluminium, Tembaga, Kuningan, Perunggu yang kesemuanya tahan terhadap korosi basah.

Kajian yang kami lakukan menunjukkan bahwa pilihan material baja untuk turbin air merupakan pilihan yang mahal menyangkut bobot dan biaya perawatan. Baja lebih berat dibandingkan aluminium atau logam ringan lainnya. Lebih sukar dikerjakan karena baja cukup keras dan biasanya pada proses penyambungan menggunakan sambungan las yang merupakan sambungan tetap. Sambungan tetap tidak memungkinkan pembongkaran tanpa merusak. Selain itu baja akan terkorosi dilingkungan air, lebih-lebih lagi pada air laut sehingga akan memerlukan perawatan periodik yang berarti konsumsi terhadap waktu dan biaya. Penggunaan material baja harus dilengkapi dengan bahan pelapis tahan air untuk mencegah proses korosi. Menimbang alasan-alasan diatas maka roda kincir pada penelitian ini dibuat dari

material aluminium, kecuali konstruksi rangka dan bagian-bagian lain seperti sistem transmisi yang meliputi roda gigi dan kopling yang harus terbuat dari baja karena membutuhkan kekuatan yang tinggi.. Sementara itu material kayu, sudah kurang relevan untuk saat ini berkenaan dengan perkembangan material yang cukup pesat dewasa ini. Untuk penelitian ini, material aluminium dinilai lebih tepat karena ringan, cukup kuat untuk menahan momentum aliran air dan tahan di lingkungan air.

2. Konstruksi Rangka Penyangga

Rangka konstruksi penyangga kincir air apung dibuat dari baja profil ST-37 dengan sambungan las. Dengan melihat kepada ukuran pintu air yang tersedia, maka keseluruhan konstruksi direncanakan memiliki ukuran panjang 200 sentimeter dan lebar 90 sentimeter.

Rangka terbuat dari baja strip satu setengah sentimeter dan baja profil L ukuran satu inchi dengan tebal 2 milimeter. Konstruksi dibuat berbentuk seperti pada gambar, dengan ukuran panjang total 200 sentimeter dan lebar total 90 sentimeter. Ukuran ini tidak dapat dibuat lebih besar atau lebih kecil karena mempertimbangkan bentuk dan ukuran pintu air.

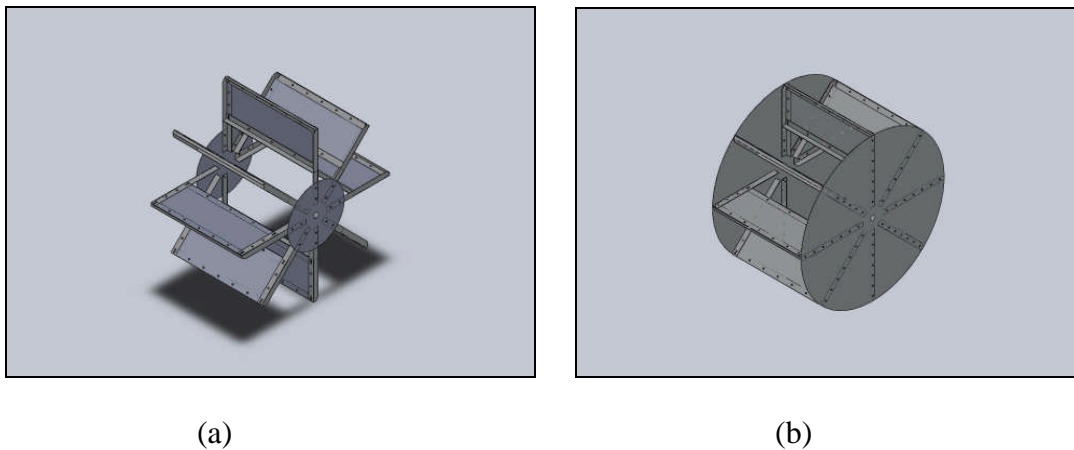
Pipa PVC dengan diameter lima sentimeter menjadi tabung hampa yang memberikan dorongan keatas pada sayap kiri dan kanan kincir sehingga sistem dapat mengapung secara keseluruhan diatas permukaan air. Pada kondisi ini, kedalaman tercelup sudu ke permukaan air dapat diatur dengan mengatur daya dorong dari pipa PVC. Pada penelitian ini, direncanakan sudu tercelup sedalam 20 sentimeter kedalam permukaan air dan dapat berputar bebas terhadap poros. Putaran dari poros ini diteruskan ke sistem transmisi gigi miring tingkat pertama, yang berfungsi untuk meningkatkan putaran poros sebanyak lima kali lipat. Putaran ini kemudian masuk ke

roda gigi planiter tingkat kedua yang meningkatkan putaran dari roda gigi tingkat pertama sebanyak delapan setengah kali lipat, sehingga total satu putaran yang masuk dari poros roda kincir akan keluar menjadi 42,5 putaran dari sistem transmisi roda gigi. Putaran keluar ini akan dikopel langsung ke poros alternator sehingga dapat menghasilkan daya listrik pada putaran tertentu.

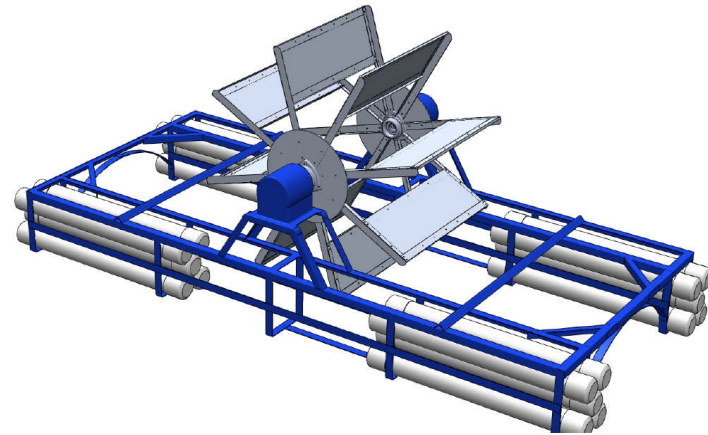
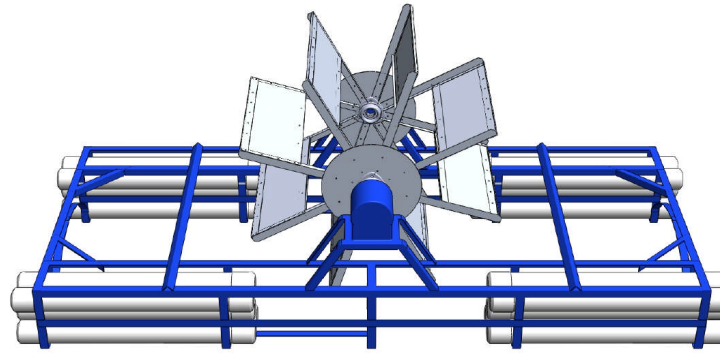
3. Roda Kincir

Roda kincir dibuat berdiameter 78 sentimeter dengan jumlah sudu delapan buah dengan material pokok aluminium. Material aluminium dipilih dengan pertimbangan tahan terhadap korosi dan bobot ringan. Material aluminium yang digunakan dalam bentuk flat dengan ketebalan satu milimeter dan dalam bentuk profil L dengan ukuran satu inchi.

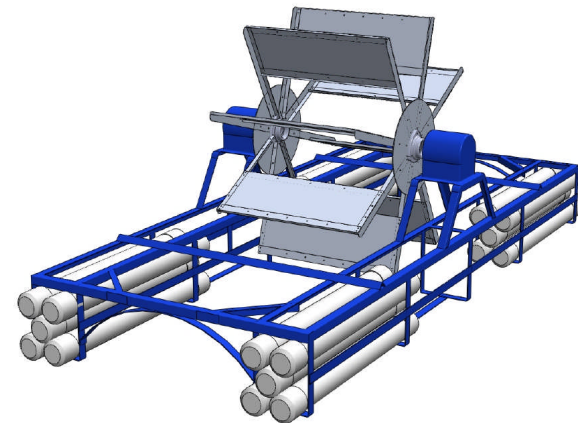
Aluminium yang dipergunakan adalah paduan Aluminium-Magnesium-Silikon



Gambar 44. (a) Roda kincir sisi terbuka
(b) Roda kincir sisi tertutup.



Gambar 45. Rancangan konstruksi Kincir Air Apung untuk saluran irigasi sekunder Telang II pada berbagai posisi pandangan.



(AlMgSiO) atau Alloy 6063 dengan komposisi kimia sbb:

Mg 0,35 – 0,55 %

Si 0,3 - 0,50 %

Fe 0,1 - 0,3 %

Cu 0,1 %

Zn 0,1 %

Ti 0,1 %

Mn 0,1 %

Al ± 99 %

Density $2,71 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$.

Ultimate Tensile strength: 130 Mpa.

Elongation 14%.

Aluminium profil L ukuran satu inchi dipergunakan untuk bagian-bagian konstruksi yang menahan beban lengkung dan momen puntir seperti lengan sudu, serta daun sudunya sendiri.

4. Sudu Kincir dan Lengan Sudu

Sudu kincir dibuat dengan lebar sudu 20 sentimeter dan panjang 50 sentimeter. Lebar sudu 20 sentimeter ditentukan dengan mempertimbangkan kedalaman minimal air pada saluran irigasi adalah 10 sentimeter, sedangkan panjang sudu 50 sentimeter ditentukan berdasarkan lebar pintu air yang tersedia dimana lebar total pintu air adalah 90 sentimeter. Sisa ruang pada sisi kiri dan sisi kanan roda kincir digunakan untuk ruang bagi sejumlah pipa penopang yang akan memberikan gaya keatas terhadap rangka sehingga semua konstruksi yang ada dapat mengapung diatas permukaan air.

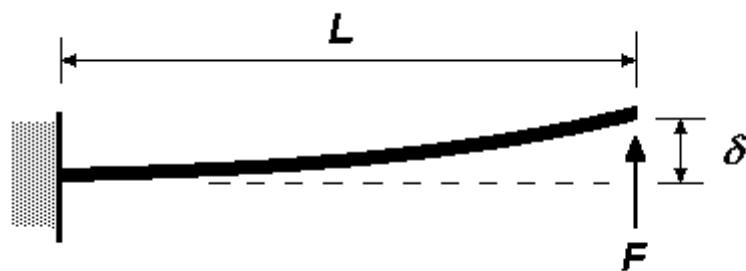
Dengan ukuran sudu ini maka berarti luas permukaan sudu yang akan menampung aliran arus adalah 20 cm x 50 cm atau sama dengan 0,1 meter persegi.

Untuk memberikan penguatan pada sudu agar mampu menahan beban lentur pada sudu, maka pada keempat sisi sudu dipasang penguat berupa aluminium profil L dengan ukuran lebar satu inci dan tinggi setengah inci yang diikat dengan paku keling terhadap lembaran sudu seperti terlihat pada Gambar 52.



Gambar 46. Sudu dan lengan sudu.

Untuk mengetahui bahwa lengan sudu aman terhadap momen lentur yang timbul akibat gaya dorong air pada permukaan sudu maka dapat dilakukan pengujian teoritis sebagai berikut. Lengan sudu berupa dua buah batang profil L dengan posisi tinggi sisi yang menahan beban 25 mm, tebal 1 mm. Panjang lengan adalah 30 cm. Gaya terpusat diperkirakan akan bekerja pada jarak 25 cm dari pangkal sudu.



Gambar 47. Ilustrasi gaya yang bekerja pada ujung sudu

Karena dua lengan yang menahan momen pada setiap sudu roda kincir, maka beban yang ditahan oleh satu lengan momen adalah setengah dari gaya yang bekerja pada permukaan sudu. Sifat gaya ini sebenarnya adalah gaya yang bekerja secara merata dipermukaan sudu, tetapi pada pemeriksaan teoritis ini, gaya dianggap bekerja secara terpusat pada ujung lengan sudu dan kecepatan arus adalah 1,5 m/detik. Besarnya gaya terpaan air adalah $F = A.V^2.\rho = 0,05 \text{ m}^2 \times (1,5 \text{ m/det})^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 112,5 \text{ N}$. Jadi gaya yang bekerja pada ujung satu lengan sudu adalah: 56,25 N.

Defleksi yang dialami batang adalah sebesar:

$$\delta = FL^3 / 3EI \dots\dots\dots(22)$$

Dimana: δ = Defleksi pada ujung lengan sudu

F = Gaya yang dianggap bekerja secara terpusat, 56,25 N.

L = Panjang lengan gaya pada sudu, 0,25 meter.

E = Modulus elastisitas Aluminium Alloy 6063, yaitu $69 \times 10^3 \text{ Mpa}$.
 $= 69 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

I = Momen inersia profil, $1/12 bh^3$. Dalam hal ini dianggap hanya bagian batang tegak saja yang menahan gaya, dimana $b = 0,001 \text{ meter}$, $h = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ meter}$.

$$I = 1,3 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

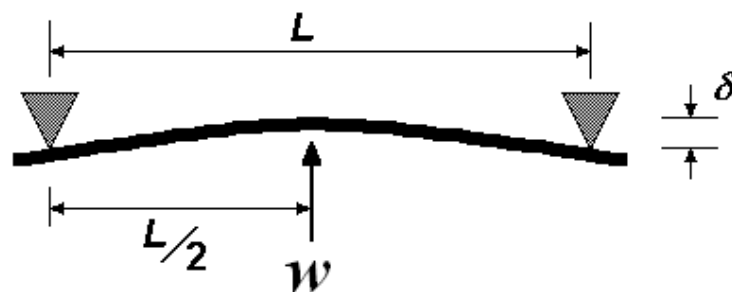
Didapat, defleksi lengan sudu adalah sebesar: $\delta = 3,266$ milimeter. Defleksi ini dihitung berdasarkan asumsi gaya pada sudu bekerja secara static pada kecepatan arus air 1,5 m/detik. Kenyataan yang sebenarnya, sudu bersifat dinamis dan kecepatan arus yang ada adalah sekitar 1,25 m/detik, sehingga defleksi yang sebenarnya terjadi adalah amat kecil dan masih dalam batas elastisitas aluminium yang mencapai 14 mm, sehingga masih dalam batas yang aman dan diperbolehkan.

Jenis daun sudu yang digunakan adalah sudu rata dengan ukuran 20 cm x 50 cm. Material daun sudu terbuat dari Aluminium Alloy 6063 dengan ketebalan satu

milimeter. Untuk memberikan penguatan pada daun sudu terhadap gaya tekanan arus air, maka pada sisi atas dan sisi bawah di pasang aluminium profil L yang diikat dengan pengikatan paku keling berdiameter 2,5 milimeter pada setiap delapan sentimeter. Untuk melihat kekuatan teoritis daun sudu terhadap gaya yang bekerja, maka diperiksa besar defleksi teoritis yang terjadi pada daun sudu jika air yang menerpanya bergerak dengan kecepatan 1,5 m/detik, maka besar gaya yang terjadi adalah: $F = A.V^2.\rho = 0,05 \text{ m}^2 \times (1,5\text{m/det})^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 112,5 \text{ N}$.

Karena profil L dipasang pada bagian sisi atas dan sisi bawah, maka setiap batang profil menahan separuh dari gaya ditimbulkan yang sebenarnya tersebar secara merata pada permukaan daun sudu.

Karena sifat pembebanan yang terbagi rata pada permukaan sudu, dan bentuk tumpuan yang identik dengan tumpuan sederhana pada kedua ujungnya, maka defleksi maksimum akan terjadi pada bagian pertengahan batang lintang daun sudu.



Gambar 48. Ilustrasi gaya merata yang bekerja pada bagian tengah permukaan sudu.

Besarnya lenturan maksimum untuk batang yang ditumpu secara sederhana pada kedua ujungnya, untuk beban terbagi rata dapat dicari sbb:

$$\delta = 5WL^3 / 384EI$$

Dimana: δ = Defleksi pada bagian tengah-tengah sudu

W = Gaya yang dianggap bekerja dengan beban terbagi rata, 56,25 N.

L = Panjang sudu, 0,5 meter.

$$E = \text{Modulus elastisitas Aluminium Alloy 6063, yaitu } 69 \times 10^3 \text{ Mpa.}$$

$$= 69 \times 10^9 \text{ N/m}^2.$$

$I = \text{Momen inersia profil, } 1/12 bh^3$. Dalam hal ini dianggap hanya bagian batang tegak saja yang menahan gaya, dimana $b = 0,001$ meter, $h = 12,5 \text{ mm} = 0,0125$ meter.

$$I = 1,58 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

Didapat, defleksi daun sudu adalah sebesar: $\delta = 1,678$ milimeter. Defleksi ini dihitung berdasarkan asumsi gaya bekerja secara static pada sudu dan kecepatan arus air 1,5 m/detik. Kenyataan yang sebenarnya kecepatan arus adalah sekitar 1,25 m/detik dan gaya bekerja pada sudu yang bergerak dinamis. Sehingga defleksi yang sebenarnya terjadi adalah jauh lebih kecil dari perhitungan teoritis diatas. Maka dapat disimpulkan bahwa defleksi sebesar 1,67 milimeter ini masih dalam batas elastisitas aluminium yang besarnya 14 mm, dan masih dalam batas aman. Jadi dapat dipastikan sudu akan beroperasi dengan aman. Sementara itu defleksi sudu pada roda kincir dengan sisi tertutup tidak perlu diuji, karena sangat aman, akibat dukungan yang solid dari dinding roda kincir. Beban yang ditahan oleh lengan sudu hampir semuanya ditahan oleh dinding roda kincir.

5.Poros Roda Kincir

Diameter poros roda kincir direncanakan berdasarkan beban yang berupa berat roda kincir dan momen puntir akibat gaya tekanan arus air terhadap permukaan sudu kincir. Material poros dipilih terbuat dari kuningan alpha (Alpha Brass) dimana:

Copper.....	70%
Zn	29%
Density	8,4 gram/cm ³ .
Modulus Elastisitas.....	103 Gpa atau 15×10^6 Psi.
Elongation	42%

Kekuatan tarik yielding..... 20 Ksi

Besar diameter minimum poros, jika momen puntir poros diambil maksimum pada kecepatan aliran 2 m/detik dan momen lentur akibat berat roda kincir diabaikan karena amat kecil, yaitu kurang dari enam kilogram. Diameter poros menurut formula (19) adalah:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{1/3}$$

Dimana: τ_a = Batas kelelahan puntir material yang besarnya adalah 18% dari kuat tarik material yang besarnya adalah 10 Ksi.
= 12409200 (N/m²).

K_t = Faktor beban kejut pada sistem transmisi roda gigi, diambil 1,2.

C_b = Faktor beban akibat adanya momen lentur akibat berat rod kincir, diambil 1,5.

T = Momen puntir diambil nilai maksimum pada saat roda kincir tidak berputar pada kecepatan 4 m/detik, yaitu 250 Nm.

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 250 \right]^{1/3}$$

$$d_s \approx 2mm$$

Diameter ini merupakan perhitungan teoritis yang hanya berlandaskan kekuatan material. Kondisi aktualnya disesuaikan dengan kebutuhan dan keserasian dengan ukuran roda kincir. Untuk itu diambil poros dengan ukuran sebagai berikut:

Diameter luar = 16,2 mm

Diameter dalam = 13,8 mm

Tebal pipa = 1,2 mm

Poros bentuk pipa diambil untuk mendapatkan efek perbesaran pada ukuran diameter dan tujuan untuk memperoleh bobot konstruksi yang ringan. Ukuran

diameter yang diambil ini lebih besar dari ukuran teoritis yang diperlukan, untuk mengantisipasi pelemahan poros akibat adanya pen pada tumpuan roda kincir dan pada transmisi kopling menuju roda gigi.

Kedua ujung poros ditumpu dengan bantalan gelinding (Roll Bearing) alur tunggal. Ukuran bantalan adalah sbb:

- Diameter dalam16,7 mm
- Diameter luar35 mm

Untuk memastikan bantalan dapat bekerja dengan baik, dibuat rumah-rumah bantalan dari karet sehingga selain dapat menyangga juga dapat meredam getaran poros.

Untuk mengikat hubungan antara roda kincir dengan poros, digunakan dua buah flens yang terbuat dari bahan plastik-steel yang dilapisi khromium. Flens dari bahan plastik-steel ini mengapit dari luar dan dari dalam dinding roda kincir dan diikat dengan tiga buah mur ukuran 3,5 mm sehingga putaran dari roda kincir dapat diteruskan ke poros melalui flens. Flens meneruskan putaran dari roda kincir ke poros melalui pen.

6. Sistim Transmisi

Sistem transmisi merupakan salah satu faktor penting dalam pengembangan hydro energy, dimana putaran yang dihasilkan pada umumnya rendah sehingga memerlukan sistem transmisi yang disamping dapat meneruskan daya juga dapat meningkatkan putaran. Persoalan pokok yang dihadapi pada sistem transmisi yang berfungsi untuk meningkatkan putaran (*step-up*) adalah bagaimana mendapatkan efisiensi transmisi yang tinggi pada saat rasio transmisi yang juga tinggi (Jaliu, 2011). Hingga saat ini sistem transmisi yang banyak dijual adalah untuk penurunan kecepatan (*speed reducer*). Sistem transmisi untuk peningkatan kecepatan (*speed multipliers*) belum umum dijual dipasaran karena teknologi energi hidro dan teknologi

energi angin pada saat ini memang baru pada tahap pengembangan. Pada dasarnya semua jenis sistem transmisi dapat digunakan untuk energi hidro, yang meliputi sistem transmisi Rantai, Roda Gigi dan Sabuk. (Jaliu, 2011).

Sistem transmisi yang digunakan pada turbin ini semuanya menggunakan roda gigi dengan pertimbangan pokok untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi dan menghindari slip. Roda gigi tingkat pertama berupa roda gigi miring (*straight bevel gear*) yang meningkatkan putaran yang berasal dari roda kincir hingga 5 kali. Roda gigi kedua merupakan roda gigi lurus planiter yang meningkatkan putaran dari tingkat pertama sebesar 8,5 kali lipat. Dengan memperhitungkan aspek slip dan rugi-rugi putaran pada gigi, maka total ratio transmisi menjadi 42,5

Disamping sistem transmisi roda gigi, terdapat tiga sambungan kopling yang masing-masing menghubungkan putaran dari roda kincir ke roda gigi pertama. Sambungan ini merupakan sambungan kopling tidak tetap, dengan maksud untuk memudahkan pemisahan hubungan dari roda kincir ke sistem transmisi keseluruhan. Kopling kedua menghubungkan poros yang merupakan output roda gigi tingkat pertama ke roda gigi tingkat kedua yang juga merupakan kopling fleksibel. Kopling ketiga menghubungkan poros yang merupakan output roda gigi tingkat kedua ke alternator. Kopling ini dibuat berupa kopling tidak tetap dengan maksud untuk memudahkan pemisahan dan penyambungan jika sewaktu-waktu diperlukan. Roda gigi ini tidak direncanakan dan tidak dibuat mengingat biaya yang besar dan proses tidak sederhana. Penulis memutuskan untuk memanfaatkan sistem roda gigi yang sudah ada yang beredar di pasaran. Roda gigi ini secara teknis diperkirakan cukup kuat untuk memenuhi kebutuhan mentransmisikan daya dari roda kincir ke alternator.

Secara teoritis, pada kecepatan keliling roda kincir 0,6 m/detik atau 36 m/menit. Jarak tempuh putaran roda kincir persatu putaran adalah $\pi \cdot D$ atau 245 sentimeter jika

diameter roda kincir 78 sentimeter. Jadi putaran roda kincir pada kecepatan arus 1 m/detik adalah 14,33 putaran, halmana berarti putaran alternator pada saat itu adalah $14,33 \times 42 = 601$ putaran. Dari hasil pengujian diatas, maka perkiraan teoritis, output daya alternator pada saat kecepatan aliran air 1 m/detik adalah kurang lebih 10,5 - 15 Volt.

Ukuran-ukuran roda gigi adalah sbb:

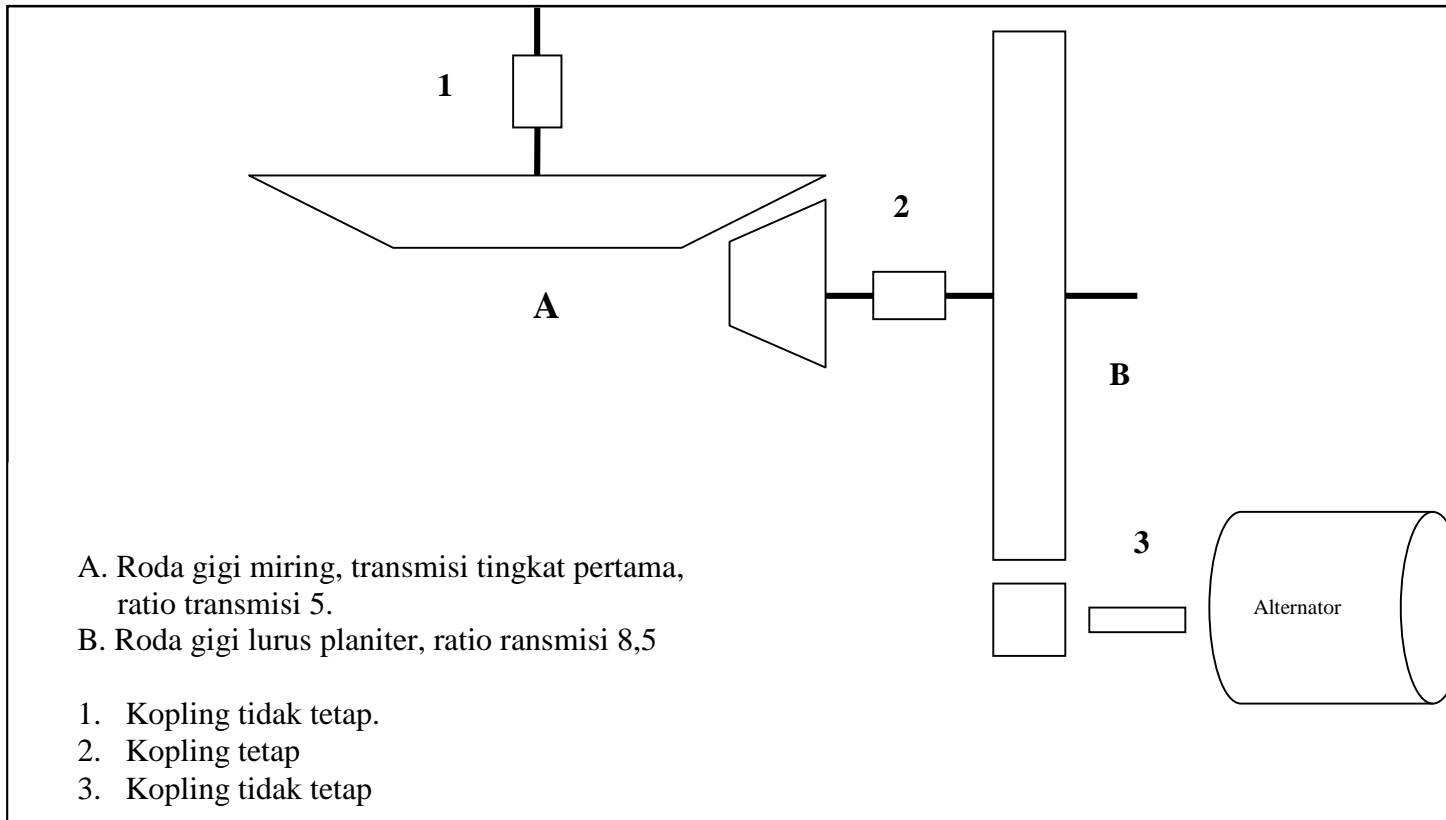
Roda gigi tingkat pertama disebut roda gigi penggerak:

- Lingkaran jarak bagi..... 69 mm
- Tinggi gigi..... 4 mm
- Diameter dalam..... 610 mm
- Diameter luar834 mm
- Jumlah gigi.....55 buah

Roda gigi yang digerakkan:

- Lingkaran jarak bagi18 mm
- Tinggi gigi..... 4 mm
- Diameter rata-rata..... 135 mm
- Jumlah gigi13 buah

Output putaran dari roda gigi tingkat pertama ini, masuk keroda gigi tingkat kedua yaitu berupa roda gigi lurus planiter yang juga berfungsi untuk meningkatkan putaran dengan ratio 8,5.



Gambar 49. Bagan Sistem Transmisi Roda Gigi dan Kopling pada Kincir Air Apung

Ukuran-ukuran roda gigi ini adalah sbb:

Roda gigi penggerak:

- Lingkaran jarak bagi.....121 mm
- Tinggi gigi.....3 mm
- Diameter dalam.....119 mm
- Diameter luar.....122 mm
- Jumlah gigi.....164 buah

Roda gigi yang digerakkan:

- Lingkaran jarak bagi.....14,0 mm
- Tinggi gigi3 mm
- Jumlah gigi.....19 buah
- Diameter luar.....14,3 mm

Kopling penghubung antara roda gigi tingkat pertama dan roda gigi tingkat kedua diambil dari jenis kopling tidak tetap dengan pertimbangan untuk memudahkan penyambungan dan untuk melepaskan sambungan bilaman diperlukan. Selain itu, kopling tidak tetap memungkinkan terdapat eksentrisitas yang cukup besar antara poros pertama dengan poros kedua, sehingga lebih memudahkan proses manufaktur. Kopling tidak tetap juga dipakai untuk menghubungkan putaran dari roda gigi tingkat kedua ke alternator dengan alasan yang sama.

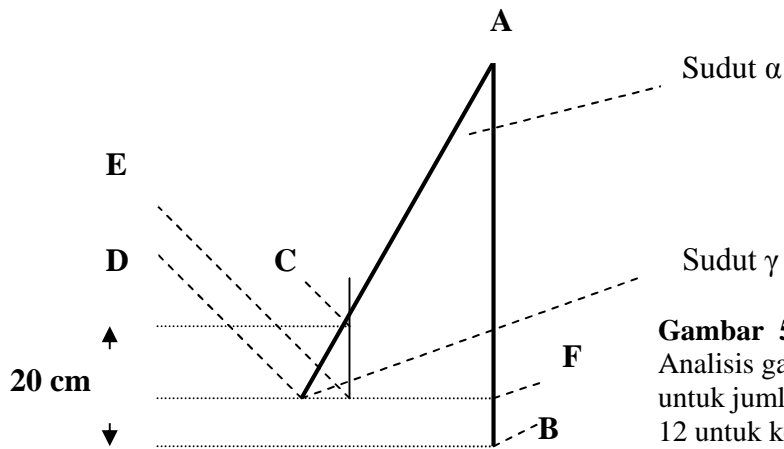
7. Bantalan Poros dan Pelumasan

Bantalan poros dan pelumasan merupakan bagian penting dari sistem konstruksi mesin yang bekerja secara dinamis. Bantalan poros menjadi amat penting mengingat bagian ini merupakan tumpuan dari beban yang bergerak dinamis. Bila bantalan tidak bekerja dengan baik, maka efisiensi mesin akan terpengaruh. Demikian juga

pelumasan menjadi faktor yang penting dalam kaitannya dengan fungsi bantalan karena bantalan ini berada dekat dengan permukaan air, sehingga bila terjadi kebocoran pada sistem pelumasan maka sistem akan bekerja kurang sempurna dan tetesan dari pelumas tersebut akan mencemari permukaan air. Harus diyakinkan bahwa KAA yang kita buat tidak akan terendam air, karena jika bantalan tercelup air, maka sebagian pelumas akan larut kedalam air dan menjadi pencemar lingkungan, disamping akan terjadi interaksi antara air dan logam yang akan menimbulkan korosi. Oleh sebab itu, posisi bantalan harus aman dari air, untuk itu maka ditetapkan posisi bantalan berada pada posisi 20 cm diatas permukaan air, dan bantalan yang digunakan adalah bantalan bola 'single row' dinding tertutup dengan maksud agar pelumas yang sudah ada di dalam bantalan tidak mudah tertumpah keluar.

C. Momen Statik Pada Poros Kincir dengan Jumlah Sudu 8 buah, 10 dan 12 buah pada kedalaman celup 20 cm.

Analisis gaya-gaya pada sudu secara statik diperlukan untuk melihat momen yang bekerja pada poros turbin air. Gaya pada sudu akan dihitung berdasarkan kedalaman celup sudu sedalam 20 cm dari permukaan air irigasi. Kedalaman 20 cm ini ditentukan dari kedalaman minimum air pada saluran irigasi pada saat pasang surut di musim kemarau. Kedalaman tersebut diperoleh dari hasil studi terdahulu yang menunjukkan bahwa kedalaman minimum air pada saluran irigasi adalah 20 cm. Berdasarkan data itu maka direncanakan lebar sudu 20 cm. Panjang sudu 50 cm ditentukan dari lebar pintu air yang tersedia yaitu 97 cm, dimana ruang dikiri dan kanan kincir air harus disediakan untuk pipa pengapung yang berguna untuk menopang keseluruhan konstruksi.



Gambar 50.
 Analisis gaya pada sudu
 untuk jumlah blade 8, 10 dan
 12 untuk kedalaman tercelup
 20 cm.

$AF = R \cos \alpha$, dimana R adalah raius kincir yang besarnya adalah 38 cm.

$$BF = R - AF$$

$$CE = 20 - BF$$

$$CD \cos \alpha = (20 - BF) = CE$$

$$\gamma = 90^\circ - \alpha$$

$$\alpha = 360^\circ \text{ dibagi jumlah blade.}$$

$$\text{Gaya yang ditimbulkan pada permukaan BF} = F_{BF} = A_{BF} \cdot V^2.$$

$$\text{Gaya yang ditimbulkan pada permukaan CD} = F_{CD} = A_{CD} \cdot V^2.$$

Untuk semua perhitungan dibawah ini berdasarkan:

$$V = 1 \text{ m/detik}$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3$$

Gaya yang menyebabkan momen pada poros turbin air dari permukaan sudu CD

$$\text{adalah komponen: } F_2 = F_{CD} \cos \alpha$$

Momen pada poros sudu turbin: $M_o = F_{BF} \cdot (r) + F_2 \cdot (r)$. Dimana r diambil 0,35 meter yang dianggap merupakan titik kerja gaya dorong air pada permukaan sudu.

Tabel 13. Tabel gaya statik dan momen puntir pada poros roda kincir pada kecepatan arus antara 0,5 m/detik - 2 m/detik untuk roda kincir dengan blade 8, 10 dan 12. ^{*)}

	α	γ	AF	BF	CE	CD	A_{BF} (cm ²)	A_{CD} (cm ²)	F_{BF} (N)	F_{CD} (N)	F_2 (N)	M_0 (Nm)
Kecepatan aliran air 0,5 m/det												
Blade 8	45	45	30,4	9,6	10,4	14,7	480	735	12	18,37	12,99	7,89
Blade 10	36	54	32,36	7,64	12,36	15,27	382	763,5	7,87	19,08	15,43	6,99
Blade 12	30	60	34,64	5,36	14,64	16,90	268	845	6,7	21,12	18,29	7,497
Kecepatan aliran air 0,75 m/det												
Blade 8	45	45	30,4	9,6	10,4	14,7	480	735	27	41,35	29,23	17,77
Blade 10	36	54	32,36	7,64	12,36	15,27	382	763,5	21,48	42,94	34,74	16,86
Blade 12	30	60	34,64	5,36	14,64	16,90	268	845	15,07	47,53	41,16	17,54
Kecepatan aliran air 1,0 m/det												
Blade 8	45	45	30,4	9,6	10,4	14,7	480	735	48	73,5	51,97	29,99
Blade 10	36	54	32,36	7,64	12,36	15,27	382	763,5	38,2	76,35	61,76	29,98
Blade 12	30	60	34,64	5,36	14,64	16,90	268	845	26,8	84,5	73,13	29,98
Kecepatan aliran air 1,5 m/det												
Blade 8	45	45	30,4	9,6	10,4	14,7	480	735	108	165,37	116,93	67,48
Blade 10	36	54	32,36	7,64	12,36	15,27	382	763,5	85,95	171,78	138,98	67,48
Blade 12	30	60	34,64	5,36	14,64	16,90	268	845	60,3	190,12	164,65	69,5
Kecepatan aliran air 2,0 m/det												
Blade 8	45	45	30,4	9,6	10,4	14,7	480	735	192	294	207,89	119,96
Blade 10	36	54	32,36	7,64	12,36	15,27	382	763,5	152,8	305,4	247,07	119,96
Blade 12	30	60	34,64	5,36	14,64	16,90	268	845	107,2	338	292,71	119,97

^{*)} Blade rata, ukuran 20 x 50 cm dan dalam kondisi tercelup sedalam 20 cm pada permukaan air.

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sudu berbeda-beda, tetapi momen yang ditimbulkan pada poros kincir hampir sama pada setiap kecepatan arus. Dengan alasan ini maka penelitian dikonsentrasikan pada roda kincir dengan delapan blade dengan memandang kepada beberapa keuntungan dimana roda kincir dengan delapan sudu lebih mudah dalam proses manufaktur dan lebih murah dalam biaya produksi. Lebih mudah karena sudut yang dibentuk antar sudu menjadi lebih besar yaitu 45⁰ sehingga memudahkan proses

pemasangan paku keling, sedangkan lebih murah karena memerlukan lebih sedikit material flat aluminium serta lebih sedikit siku aluminium.

Namun pada penelitian ini akan diuji dua jenis roda kincir, yaitu roda kincir delapan blade sisi terbuka dan roda kincir delapan blade sisi tertutup. Kedua jenis roda kincir ini secara praktis dapat dipergunakan pada KAA yang direncanakan ini, tetapi secara teoritis kedua bentuk roda kincir ini berpotensi menghasilkan daya yang berbeda, sehingga dalam rangka mendapatkan daya yang terbesar perlu dilakukan pengujian terhadap keduanya. Perbedaan daya itu terutama diperkirakan karena terdapat momentum massa air yang tidak termanfaatkan untuk mendorong permukaan sudu pada roda kincir sisi terbuka sehingga daya yang dihasilkan tidak maksimal.

D. Perekayasaan Konstruksi Kincir Air Apung

Guna merealisasikan rancangan konstruksi turbin air seperti tertuang pada sub-bab diatas, digunakan sebuah ruangan berukuran 6m x 8m dengan peralatan yang memungkinkan semua kerja mekanik dilaksanakan baik pada siang hari maupun pada malam hari. Untuk tujuan itu, maka perekayasaan konstruksi turbin air ini dilakukan diluar kampus Universitas Sriwijaya, yaitu di sebuah tempat dengan luas 40 m².

Peralatan yang tersedia untuk pengerjaan rekayasa diantaranya adalah: Satu buah meja untuk kerja bangku dengan ukuran 1m x 2 m; satu buah mesin bor tegak stasioner merek Modern, kapasitas bor 1 cm, 3 kecepatan; Satu buah mesin gerinda portable merek Ryu; Satu buah mesin bor portable merek Ryu; Satu buah ragam meja ukuran 3 inch merek Swordfish; Dua buah gunting flat baja merek Stanley ; Satu buah riveter merek Ryu; Satu buah mesin las listrik 900 Watt merek Weldercraft.; Satu buah mesin gerinda listrik stasioner; Peralatan pendukung seperti mistar baja, roll meter, busur baja, jangka baja.



(b)



(b)



(c)



(d)

Gambar 51. (a). Roda kincir dengan delapan buah sudu. (b). Kerangka penopang. (c). Pembuatan kerangka konstruksi penopang dengan sambungan las. (d) Roda kincir dan kerangka penopang.



Gambar 52. Roda kincir dengan Sisi Terbuka dan Sisi Tertutup.



Gambar 53. Kincir Air Apung dengan Roda Kincir Sisi Tertutup



Gambar 54. Kincir Air Apung dengan Roda Kincir Sisi Terbuka



Gambar 55. Sistem transmisi roda gigi dan kopling ke alternator.

E. Uji Apung Konstruksi dan Pengujian Kinerja Turbin Air

Untuk mendapatkan kepastian tentang kinerja dan prestasi turbin air serta alternator yang digunakan, maka dilakukan pengujian lapangan. Pengujian lapangan itu meliputi:

- Uji apung konstruksi.
- Uji kinerja alternator.
- Pengujian lapangan turbin air.

Uji apung dilaksanakan pada permukaan air yang tergenang tidak mengalir. Alternator diuji dengan mensimulasi putaran poros melalui hubungan langsung dengan putaran mesin bor listrik yang dapat diatur kecepatannya dan dapat pula berputar bolak balik. Sementara itu turbin air yang sudah siap dengan semua perlengkapannya, diuji pada dua lokasi yang berbeda masing-masing pengujian pertama dilakukan di Sungai Musi yang berada pada segmen Musi II - Gandus Palembang dan yang pengujian yang kedua dilakukan di Pintu Air Bangun Sari – Telang II Banyuasin. Pengujian yang pertama dimaksudkan untuk mengetahui

efisiensi KAA dan kinerja alternator, sedangkan pengujian yang kedua dimaksudkan untuk mengetahui kinerja KAA yang sebenarnya jika diterapkan dipintu air saluran sekunder Desa Bangun Sari – Telang II Banyuasin sebagaimana yang diisyaratkan dalam tujuan utama penelitian ini.

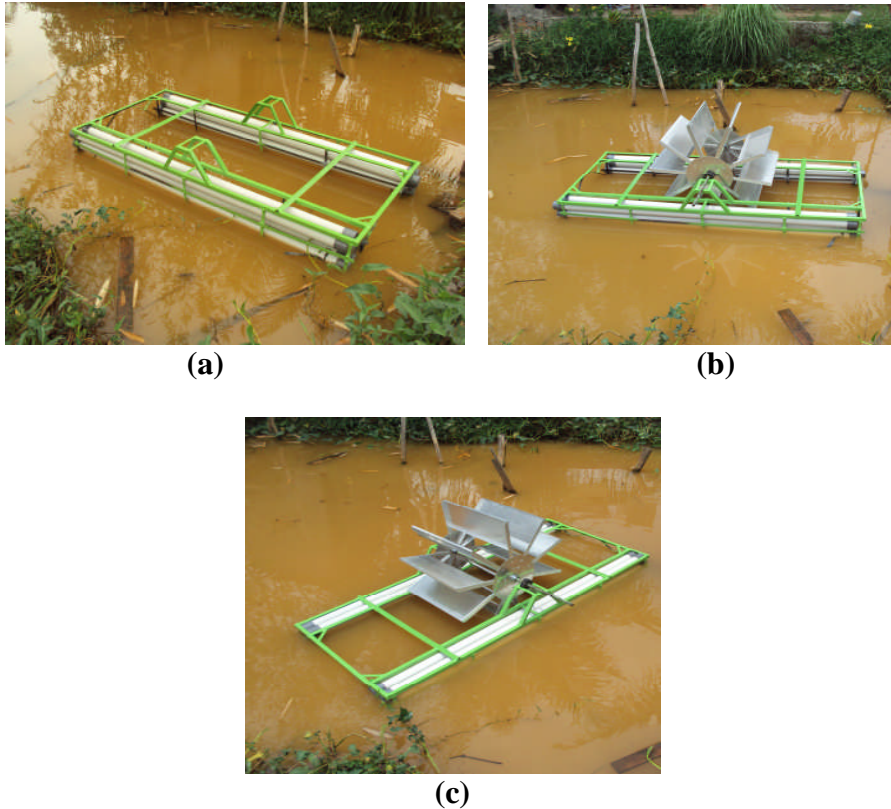
Untuk mendukung pengujian tersebut disiapkan alat-alat ukur sebagai berikut, antara lain: Mistar geser baja dengan ketelitian hingga 10^{-3} Cm, Multimeter digital, Tachometer digital, Timbangan digital kapasitas 20 kg, Stopwatch Digital, Current Meter Type Propeller LS 1206B dan sebuah Hand Counter.

1. Uji Apung Konstruksi

Untuk memastikan konstruksi dapat bekerja sesuai yang diharapkan maka perlu dilakukan pengujian apung (floating test). Pengujian apung ini berguna untuk melihat kinerja pipa pengapung yang berdiameter 6 cm dan panjang 200 cm. Total berat konstruksi adalah 67,2 kg yang terdiri dari berat rangka baja 22 kg, berat roda kincir 5,2 Kg; berat sistem transmisi 8 kg; berat pipa pengapung 10 kg, berat pipa pengapung 20 kg dan lain-lain 2 kg. Berat ini setara dengan 67200 cm^3 air.

Volume air yang dipindahkan oleh 1 pipa = $\pi \cdot R^2 \cdot L = 22608 \text{ cm}^3$. Maka sesuai dengan kaidah yang berlaku pada Hukum Archimedes, maka jumlah pipa yang diperlukan untuk membuat semua konstruksi berada pada keadaan setimbang pada permukaan air adalah: $67200 : 22608 = 2,97$ buah.

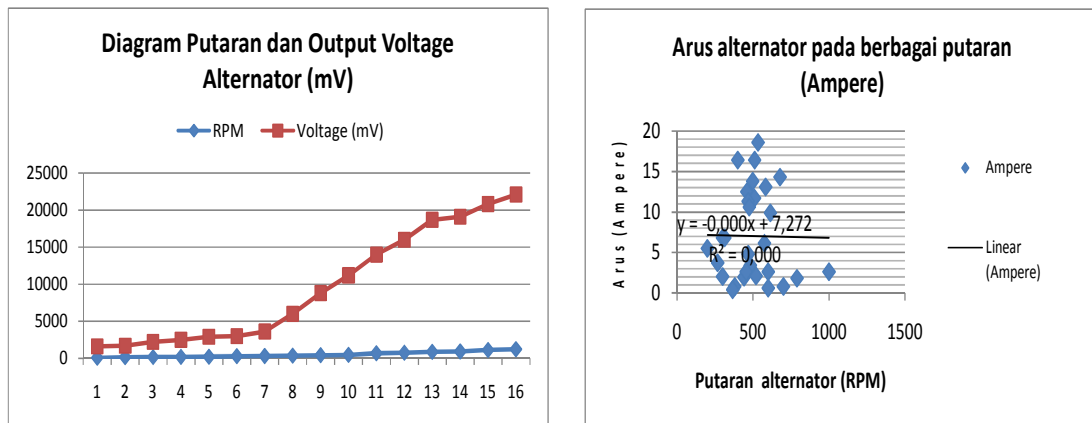
Untuk memastikan semua konstruksi terapung dan masih memiliki resultan gaya keatas, maka digunakan pipa sebanyak delapan buah, masing-masing empat buah pada sisi kiri dan empat buah pada sisi kanan.



Gambar 56 . (a) Pengapungan konstruksi dengan 14 pipa diameter 6 cm panjang 200 cm. (b) Pengapungan konstruksi setelah roda kincir dipasang (c) Pengapungan konstruksi dengan 8 pipa berdiameter 6 cm dan panjang 200 cm.

2. Pengujian Simulatif Alternator

Alternator yang digunakan pada penelitian ini adalah ‘Low RPM Permanent Magnet Alternator’ merk NaiEr (China) dengan output daya 12 Volt dan 100 Watt. Alternator ini perlu diuji, dalam rangka memastikan kinerja aktualnya agar dapat dibandingkan dengan kinerja yang berasal dari informasi brosur. Output dari putaran alternator tersebut adalah voltage dalam arus listrik DC. Dari pengujian didapatkan hasil-hasil sebagaimana tertera pada Gambar 57. Data arus keluar dari alternator sangat acak. Regresi linear menunjukkan arus rata-rata 7,27 Ampere pada semua putaran.



Gambar 57 . Kinerja alternator berdasarkan pengujian simulatif.

3. Pengujian Lapangan Kincir Air Apung

Pada penelitian ini, pengujian lapangan dilakukan pada dua tempat guna mendapatkan hasil-hasil yang sinergi dan saling melengkapi. Pengujian pertama dilakukan dengan kecepatan aliran air yang disimulasi dengan cara konstruksi turbin air digandengkan pada perahu motor. Dengan cara ini maka kecepatan aliran akan tercipta melalui gerakan perahu motor, dimana kecepatan aliran diukur dengan Current Meter Type Propeller LS 1206B. Pengukuran ini dilakukan pada saat air tenang, dimana gerakan air sungai hampir nol. Kondisi ini terjadi pada saat terjadi transisi antara pasang naik dan pasang surut. Angka yang tertera pada alat ukur dijamin tidak dipengaruhi oleh adanya aliran sungai bagaimanapun kecilnya, karena yang ditunjukkan oleh alat ukur adalah kecepatan aliran air yang membentur permukaan sudu.

Pengukuran yang kedua dilakukan langsung di lokasi penelitian yaitu pada saluran irigasi sekunder di desa Bangun Sari dimana alat ini direncanakan akan dioperasikan. Pengukuran dilakukan untuk melihat kinerja alat secara langsung dengan aliran air yang sebenarnya terjadi pada saluran dari waktu ke waktu.

Pengujian lapangan Turbin Air dilakukan untuk mendapatkan kinerja turbin air yang telah direncanakan dan dibuat dalam bentuk yang nyata. Kinerja turbin air ini diukur dengan melakukan simulasi kecepatan aliran air dengan cara menggandengkan konstruksi turbin air dengan perahu yang bergerak dengan kecepatan tertentu. Kecepatan air yang menerpa sudu kincir akan terukur pada Current Meter yang dipasang pada bagian depan perahu motor.



Gambar 58. Pengujian dengan simulasi kecepatan aliran pada anak Sungai Musi.

Pada saat perahu bergerak, dilakukan secara bersamaan pengukuran terhadap kecepatan aliran air dengan menggunakan Current Meter Type Propeller LS 1206B yang akan mengukur kecepatan bersih (net speed) air yang menerpa sudu kincir. Pada saat yang sama dihitung putaran roda kincir dengan menggunakan Hand Counter dan pengukuran rentang waktu dengan menggunakan Stopwatch Digital. Dari pengukuran itu dapat dihitung RPM roda kincir, Kecepatan tangensial roda kincir (U) dalam satuan m/detik, Kecepatan keliling roda kincir (ω) dalam satuan radial/detik, Gaya yang bekerja pada sudu (F) dalam satuan Newton, Momen puntir pada poros (T)

dalam satuan Newton- meter, Daya yang ditimbulkan (P) dalam satuan Watt, dan Daya terukur pada alternator dalam satuan Volt.

Untuk mendapatkan efisiensi roda kincir, efisiensi sistem transmisi dan efisiensi alternator, maka pengukuran dilakukan dalam tiga keadaan, yaitu masing-masing:

- a. Roda kincir berputar pada keadaan tidak terhubung dengan sistem transmisi
- b. Roda kincir berputar dalam keadaan terhubung dengan sistem transmisi tetapi tidak terhubung dengan alternator.
- c. Roda kincir berputar pada keadaan terhubung dengan sistem transmisi dan alternator.

Efisiensi pada penelitian ini diukur berdasarkan kemampuan sistem yang diukur dalam menyerap energi yang masuk dan menyalurkannya menjadi energi yang berguna yang dimanifestasikan dalam bentuk putaran. Untuk itu, parameter yang diukur adalah waktu, kecepatan arus air membentur sudu dan putaran roda kincir.

Dari pengukuran yang dilakukan didapat hasil-hasil sbb:

Tabel 14. Hasil Pengujian Kinerja Kincir Air Apung dengan roda kincir sisi tertutup

<i>Kecepatan aliran (m/det)</i>	<i>Waktu</i>	<i>Putaran</i>	<i>Rpm</i>	$U = (\phi \cdot D \cdot n) / 60$ <i>m/det.</i>	$\Omega = U : r$ (rad/det)	$F = AV^2$. <i>Rho. (N)</i>	$T = F \cdot r$ (Nm)	$P = T \cdot \Omega$ <i>(Watt)</i>	<i>Tegangan output terukur</i>
Tanpa Hubungan dengan Sistem Transmisi dan Alternator									
1,128	14	6	25,71	1,062	2,688	127,009	50,168	134,853	-
1,235	9	4	26,66	1,102	2,789	152,247	60,137	167,724	-
1,715	12	8	40	1,653	4,184	293,593	115,969	485,215	-
Dikopel dengan sistem transmisi									
1,128	20	8	24	0,992	2,511	127,238	50,259	126,2	-
1,208	15	6	24	0,992	2,511	145,926	57,64	166,925	-
1,422	15	7	28	1,157	2,929	202,208	79,872	233,945	-
2,083	10	7	42	1,736	4,394	433,888	171,385	753,06	-
2,008	15	8	32	1,322	3,349	403,206	159,266	533,381	-
Dikopel dengan sistem transmisi dan alternator									
0,808	11	3	16,3636	0,59	1,493	65,286	25,788	38,501	1280 mV
0,687	17	4	14,117	0,583	1,475	47,197	18,642	27,496	1680 mV
1,231	14	5	21,428	0,773	1,956	151,536	59,856	117,078	1880 mV

*) Kedalaman tercelup sudu 20 cm.

Analisis Kinerja KAA Dengan Roda Kincir Sisi Tertutup

Efisiensi roda kincir:

$$\eta_{rk} = \frac{\text{Kecepatan aliran}}{\text{Kecepatan tan gensialrodakincir}}$$

Pada kecepatan 1,128 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{1,062}{1,128} = 0,941$

Pada kecepatan 1,235 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{1,102}{1,235} = 0,892$

Pada kecepatan 1,715 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{1,653}{1,715} = 0,963$

Efisiensi roda kincir rata-rata: $\eta_{rk} = 0,932$

Efisiensi kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi:

Pada kecepatan 1,128 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,992}{1,128} = 0,879$

Pada kecepatan 1,208 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,992}{1,208} = 0,821$

Pada kecepatan 1,422 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{1,157}{1,422} = 0,813$

Pada kecepatan 2,083 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{1,736}{2,083} = 0,833$

Pada kecepatan 2,008 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{1,322}{2,008} = 0,658$

Efisiensi kincir rata-rata pada saat terhubung dengan sistem transmisi:

$$\eta_{kincir} = 0,8008$$

Efisiensi kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi dan alternator

Pada kecepatan 0,808 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,059}{0,808} = 0,73$

Pada kecepatan 0,687 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,583}{0,687} = 0,849$

Pada kecepatan 1,231 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,773}{1,231} = 0,627$

Efisiensi total rata-rata kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi dan

alternator: $\eta_{kincir} = 0,735$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan efisiensi masing-masing bagian kincir adalah sbb:

$$\eta_{rodakincir} = 0,932$$

$$\eta_{sistemtransmisi} = \frac{0,8008}{0,932} = 0,859$$

$$\eta_{alternator} = \frac{0,735}{0,932 \times 0,859} = 0,918$$

Efisiensi sistem keseluruhan dihitung berdasarkan perbandingan daya yang tersedia pada poros kincir dengan daya yang keluar dari alternator dalam satuan watt.

$$\eta_{sistemkeseluruhan} = 0,457 \times 100 \% = 45,7\%$$

Tabel 15. Hasil Pengujian Kinerja Kincir Air Apung dengan roda kincir sisi terbuka

<i>Kecepatan aliran (m/det)</i>	<i>Waktu</i>	<i>Putaran</i>	<i>Rpm</i>	<i>U= (phi.D.n)/60</i>	<i>Omega= U:r (rad/det)</i>	<i>F=AV². Rho. (N)</i>	<i>T= F.r (Nm)</i>	<i>P=T.Omega (Watt)</i>	<i>Tegangan output terukur</i>
Tanpa Hubungan dengan Sistem Transmisi dan Alternator									
0,591	33	6	9,09	0,37	0,936	34,928	13,796	12,913	-
0,654	23	6	15,65	0,64	1,638	42,77	16,894	27,638	-
1,068	33	14	25,45	1,052	2,66	112,996	44,633	118,723	-
Dikopel dengan sistem transmisi									
1,021	28	8	17,14	0,708	1,792	104,244	41,176	73,788	-
1,075	32	13	24,375	1,0077	2,551	115,562	45,646	116,449	-
1,261	19	7	22,105	0,913	2,313	159,012	62,809	145,32	-
1,395	18	9	33,33	1,3779	3,488	194,602	76,867	268,112	-
Dikopel dengan sistem transmisi dan alternator									
1,235	14	4	17,14	0,708	1,792	152,522	60,246	107,961	1400 mV
0,755	17	4	14,117	0,583	1,475	57,002	22,515	33,209	1300 mV
0,808	12	3	15	0,62	1,569	65,286	25,787	40,459	1300 mV
1,288	15	5	20	0,826	2,091	165,894	65,528	137,019	1860 mV
1,208	16	6	22,5	0,93	2,354	145,926	57,64	135,684	1950 mV

*)Kedalaman tercelup sudu 20 cm

Analisis Kinerja KAA Dengan Roda Kincir Sisi Terbuka

Efisiensi roda kincir:

$$\eta_{rk} = \frac{\text{Kecepatan aliran}}{\text{Kecepatan tan gensial rodakincir}}$$

Pada kecepatan 0,591 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{0,370}{0,591} = 0,626$

Pada kecepatan 0,654 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{0,64}{0,654} = 0,978$

Pada kecepatan 1,068 m/detik: $\eta_{rk} = \frac{1,052}{1,068} = 0,985$

Efisiensi roda kincir rata-rata: $\eta_{rk} = 0,863$

Efisiensi kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi:

Pada kecepatan 1,021 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,708}{1,021} = 0,693$

Pada kecepatan 0,755 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,583}{0,755} = 0,772$

Pada kecepatan 1,262 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,913}{1,261} = 0,724$

Pada kecepatan 1,395 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{1,3779}{1,395} = 0,987$

Efisiensi kincir rata-rata pada saat terhubung dengan sistem transmisi: $\eta_{kincir} = 0,794$

Efisiensi kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi dan alternator

Pada kecepatan 1,235 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,708}{1,235} = 0,573$

Pada kecepatan 0,755 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,583}{0,755} = 0,772$

Pada kecepatan 0,808 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,62}{0,808} = 0,767$

Pada kecepatan 1,288 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,826}{1,288} = 0,641$

Pada kecepatan 1,208 m/detik: $\eta_{kincir} = \frac{0,93}{1,208} = 0,769$

Efisiensi rata-rata kincir pada saat terhubung dengan sistem transmisi dan alternator:

$$\eta_{kincir} = 0,737$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan efisiensi masing-masing bagian kincir adalah sbb:

$$\eta_{rodakincir} = 0,863$$

$$\eta_{sistemtransmisi} = \frac{0,794}{0,863} = 0,92$$

$$\eta_{alternator} = \frac{0,737}{0,863 \times 0,92} = 0,928$$

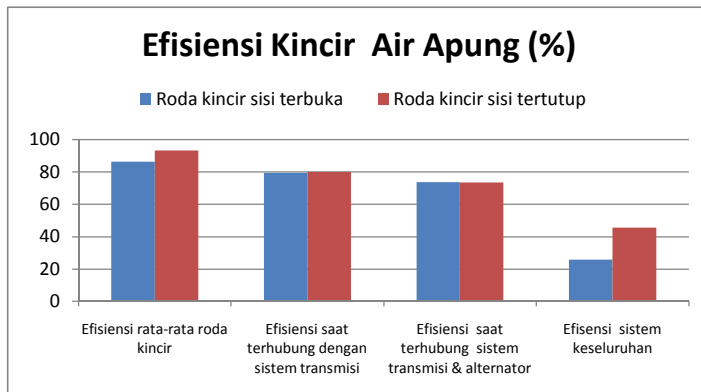
Efisiensi sistem keseluruhan dihitung berdasarkan perbandingan daya yang tersedia pada poros kincir dengan daya yang keluar dari alternator dalam satuan watt.

$$\eta_{sistemkeseluruhan} = 0,259 \times 100 \% = 25,9\%$$

Dari perhitungan diatas dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Tabel 16. Efisiensi Roda Kincir Sisi Terbuka dan Sisi Tertutup

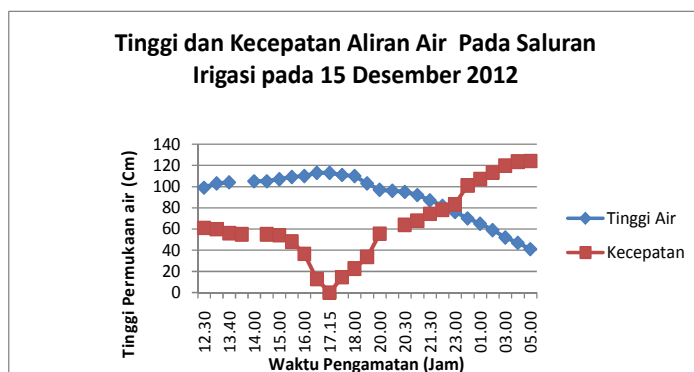
	Efisiensi rata-rata roda kincir (%)	Efisiensi pada saat terhubung dengan sistem transmisi (%)	Efisiensi pada saat terhubung dengan sistem transmisi dan alternator (%)	Efisiensi sistem keseluruhan (%)
Roda kincir sisi terbuka	86,3	79,4	73,7	25,9
Roda kincir sisi tertutup	93,2	80,08	73,5	45,7



Gambar 59. Efisiensi Turbin Air dengan roda kincir sisi terbuka dan sisi tertutup

4. Pengujian Pada Pintu Air Bangun Sari – Telang II

Untuk mendapatkan data tentang kondisi aliran air pada saluran sekunder pada hari pengujian, dilakukan pengukuran terhadap tinggi permukaan air dan kecepatan aliran air pada tinggi yang terkait. Tinggi permukaan air diukur dalam satuan sentimeter terhadap permukaan dasar dari pintu air. Garis referensi ini diambil karena tidak akan berubah terhadap waktu, karena sudah dibuat permanen. Kecepatan aliran air diukur pada ketinggian air terkait, dengan alat ukur Current Meter Type Propoller HT-B LS 1206B. Hasil pengukuran terhadap tinggi permukaan air dan kecepatan aliran terlukis pada Gambar 60.

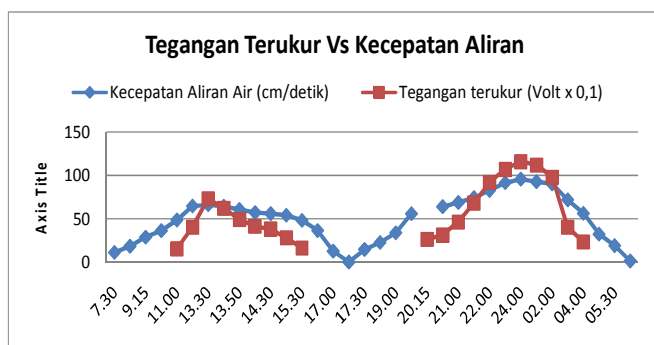


Gambar 60. Tinggi permukaan air pada saluran dan Kecepatan aliran pada saat yang sama pada musim hujan 2012.

Daya yang dihasilkan alternator:

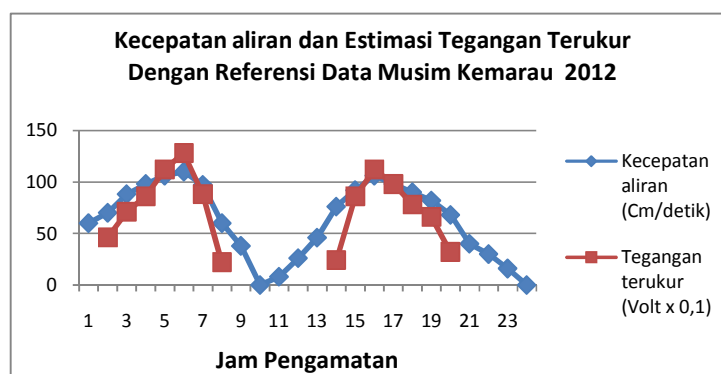
Pada saat rod kincir mulai berputar, pengamatan terhadap daya yang dihasilkan dari alternator diukur dengan multimeter digital yang dihubungkan langsung dengan alternator. Data yang keluar pada multimeter digital sangat fluktuatif, tetapi dapat diambil harga rata-ratanya.

Dalam bentuk grafik, data ini dapat digambarkan sebagaimana terlukis pada Gambar 61.



Gambar 61. Kecepatan aliran air dan tegangan yang dihasilkan pada alternator

Dari hasil pengujian diperoleh hasil dimana pada musim hujan turbin air menghasilkan daya selama sebelas jam dalam sehari semalam. Terdiri dari empat jam pada saat pasang naik, atau pada saat aliran masuk saluran, yaitu dari jam 11.30 pagi hingga jam 15.30 sore dan selama tujuh jam pada saat pasang surut atau pada saat aliran keluar, yaitu dari jam 8.30 malam hingga jam 3.30 pagi dimana pada rentang waktu itu aliran air adalah keluar saluran irigasi. Daya yang dihasilkan ini bervariasi dari 1,5 volt hingga 11,6 Volt.



Gambar 62. Kecepatan aliran dan estimasi tegangan yang dihasilkan pada alternator dengan referensi data pada musim kemarau Juli 2012

Berdasarkan estimasi diatas, pada musim kemarau alternator dapat menghasilkan daya selama 13 jam. Terdiri dari tujuh jam pada saat pasang naik, atau pada saat aliran masuk saluran, yaitu dari jam 2.00 hingga jam 8.00 pagi dan selama tujuh jam pada saat pasang surut atau pada saat aliran keluar, yaitu dari jam 2.00 siang hingga jam 8.00 malam dimana pada rentang waktu itu aliran air adalah keluar saluran irigasi. Daya yang dihasilkan ini bervariasi dari 2,2 volt hingga 12,8 Volt.

F. Rona Lingkungan

Untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat kegiatan pemanfaatan arus keluar masuk pintu air pada saluran irigasi pasang surut sekunder desa Bangun Sari -

Telang II, maka perlu dilakukan pengujian terhadap badan air sebelum turbin air dan sesudah turbin air sebagai acuan dasar. Rona lingkungan badan air terdiri dari beberapa komponen lingkungan yang meliputi aspek fisik-kimia dari tanah, air dan udara; biologi, sosial ekonomi, sosial budaya, teknologi terapan dan kesehatan masyarakat. Komponen lingkungan yang akan dikaji pada pembahasan ini, hanya komponen lingkungan yang diperkirakan akan mengalami perubahan secara nyata dan akan menyebabkan dampak perubahan pada komponen lingkungan lainnya terkait penerapan hydro energy berupa pico hydropower pada pintu air, yaitu dalam hal ini kualitas badan air.

Kualitas badan air diukur berdasarkan analisis laboratorium yang diambil pada dua titik yaitu pada pintu air saluran irigasi sekunder tempat pengujian Kincir Air Apung berlangsung. Hasil pengukuran kualitas badan air sebelum dan sesudah pengujian ini akan dibandingkan satu sama lain sehingga dapat diketahui pada komponen mana dari badan air terjadi perubahan secara signifikan. Hasil akhir dari kualitas badan air ini akan dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Gubernur Sumatera Selatan melalui Keputusan Nomor 16 Tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai di Propinsi Sumatera Selatan.

Parameter lingkungan dari kualitas badan air yang akan menjadi perhatian meliputi parameter fisika yang meliputi Temperatur, Zat padat terlarut, Zat padat tersuspensi. Parameter kimia meliputi pH, Minyak dan lemak, Oksigen Terlarut, COD, BOD dari air saluran.

Hasil pengukuran yang dilakukan pada wilayah sekitar pintu air disajikan secara lengkap dalam Tabel 17.

1. Karakteristik Fisik

Karakter fisik yang diukur meliputi Temperatur, Zat Pada Terlarut dan Zat Padat Tersuspensi. Ketiga unsur ini dianggap penting karena memiliki dampak langsung terhadap kehidupan biota di dalam air.

a. Temperatur

Temperatur air berpengaruh terhadap kecepatan reaksi kimia serta tata kehidupan dalam air. Pada temperature tinggi reaksi-reaksi kimia dan biologis cenderung lebih cepat dan kehidupan biota di dalam air akan terganggu karena tidak sesuai dengan suhu yang mereka perlukan. Temperatur air pada saluran khususnya dipintu air diperkirakan akan berubah akibat adanya putaran kincir air apung. Putaran kincir akan merubah entropy air yang berdampak pada perubahan temperatur walaupun perubahan itu diperkirakan sangat kecil, tetapi perlu diantisipasi agar perubahan yang terjadi tidak melampaui baku mutu.

b. Total Zat Padat Terlarut dan Total Zat Padat Tersuspensi

Total Zat padat Terlarut (Total Dissolved Solids) didefinisikan sebagai padatan dengan ukuran cukup kecil sehingga dapat melewati ayakan (filtrasi) dengan ukuran 1,2 mikrometer.(U.S. EPA, 1998). Total Zat Padat Terlarut (TDS) dalam air terdiri dari bahan padat organik maupun yang anorganik, yang mengendap maupun yang tersuspensi. Bahan ini akan mengendap didasar saluran yang lama kelamaan akan menyebabkan pendangkalan. Zat padat terlarut juga dapat menyebabkan tumbuhnya tanaman air tertentu dan dapat menjadi racun pada mahluk lain. Banyaknya padatan dalam air ditunjukkan oleh banyaknya lumpur terkandung dalam air. Zat padatan terlarut ini menjadi salah satu perhatian dalam telaah lingkungan pada penelitian ini karena diperkirakan air akan mengalami perubahan akibat adanya putaran roda kincir pada aliran air. Menurut World Health Organization (WHO, 1996), senyawa dan unsur-

unsur yang tidak lolos ayakan biasanya adalah Ca, MG, Sodium Potassium, Carbonate, Bicarbonat, Chlorida, Sulfat, Silika dan Nitrat-n. Tinginya TDS dalam air akan mempengaruhi rasa dan bau air. Umumnya tingkat cemaran hingga 1200 mg/liter sudah tak dapat diterima konsumen sekalipun standard baku mutu membolehkan hingga 1500 mg/liter.

Tabel 17. Analisis Kualitas Badan Air di Pintu Air Bangun Sari – Telang II Sebelum dan Sesudah Kincir Air Apung

No:	Parameter	Satuan	Lokasi Saluran Irigasi Desa Bangun Sari (LS:2 ^o 38' BT: 104 ^o 42')		Baku Mutu ^{*)}
			Sebelum Kincir Air Apung ^{**)}	Sesudah Kincir Air Apung ^{**)}	
I Karakteristik Fisika					
1	Temperatur	^o C	28,2	28,2	Dev ±3
2	Zat Padat Terlarut	mg/l	112	407	1500
3	Zat Padat Tersuspensi	mg/l	18	21	50
II Karakteristik Kimia					
1	BOD _s	mg/l	1,80	0,90	2
2	COD	mg/l	2	1	10
3	Oksigen terlarut	mg/l	4,48	4,58	6
4	pH	Unit	3,60	2,56	6-9
5	Minyak dan Lemak	µg/l	0,163	0,126	1000

^{*)}Peraturan Gubernur Propinsi Sumatera Selatan No:16 Tahun 2005 tentang Baku Mutu Air Kelas I.

^{**)}Hasil pengujian dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan & Pengendalian Penyakit Palembang.

Total Zat Padat Tersuspensi (TSS) merupakan zat padatan terlarut yang mempunyai ukuran lebih besar dari Padatan Terlarut sehingga tidak lolos dari ayakan dengan ukuran 1,2 mikrometer. TSS yang tinggi dapat mengurangi kejernihan air, merusak habitat, menyumbat insang ikan, mengurangi aktifitas fotosintetik dan meningkatkan temperatur air. Batas baku mutu TSS untuk Provinsi Sumatera Selatan adalah 50 mg/liter.

2. Karakteristik Kimia

a. Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD)

Nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk metabolisme mikrobial dari senyawa-senyawa organik di dalam air dalam satu periode waktu. BOD total adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik seluruhnya menjadi CO₂ dan air. Makin tinggi nilai BOD dari suatu air permukaan, maka kualitas air permukaan tersebut makin buruk. Didalam air permukaan terdapat zat organik yang terdiri dari unsur karbon, hydrogen, oksigen, belerang dan lain-lain yang cenderung menyerap oksigen. Oksigen-oksigen tersebut dipergunakan untuk menguraikan senyawa organik yang merupakan kontaminan didalam air. Untuk kontaminan-kontaminan yang tidak bisa dioksidasi secara biologis, seperti bakteri dan mikroba, pengukuran dilakukan dengan dasar kebutuhan oksigen secara kimiawi, atau COD. Terkait adanya pemasangan kincir air pada pintu air, oksigen di dalam air diperkirakan akan meningkat berkenaan dengan adanya putaran roda kincir pada pintu air yang memungkinkan oksigen masuk kedalam air lebih banyak, halmana cenderung menguntungkan ikan dan biota yang ada di dalam air dan lebih memudahkan proses degradasi bahan organik didalamnya.

b. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)

Nilai COD menunjukkan kandungan bahan organik dan anorganik yang dapat didegradasi, yang dinyatakan dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses degradasinya. Makin tinggi nilai COD dalam air maka kualitas air tersebut makin buruk. Nilai COD yang tinggi akan menyebabkan terjadinya defisit oksigen terlarut dalam air karena tidak seimbang antara kecepatan konsumsi oksigen dalam air dengan pelarutan oksigen dari atmosfer kedalam air. Pada gilirannya hal ini akan menyebabkan kekurangan oksigen terlarut di dalam air dan berdampak negatif

terhadap ikan dan serangga air yang ada didalamnya. Maksimum COD untuk air permukaan yang diperbolehkan adalah 10 mg/l. Dari data yang diperoleh dari pengukuran nilai yang terukur masih dibawah baku mutu yang diperbolehkan.

c. Oksigen Terlarut

Gas oksigen (O_2) terlarut merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan tanaman dan hewan di dalam air. Kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupan biota didalamnya amat menentukan kehidupan hewan dan tanaman air. Ikan merupakan mahluk air yang memerlukan oksigen tertinggi, kemudian invertebra yaitu hewan yang tidak bertulang belakang seperti cacing, serangga, kerang, oktopus; lalu bakteri yang kebutuhan oksigennya lebih kecil. Konsentrasi oksigen terlarut minimal untuk kehidupan biota tidak boleh kurang dari 6 ppm. Dibawah level itu, ikan-ikan akan mengalami kondisi tidak nyaman. Pada level yang lebih rendah yaitu 1 – 2 ppm akan menyebabkan ikan-ikan mati. Konsentrasi oksigen di dalam air juga tidak boleh terlalu tinggi, atau melebihi 110% dari normal. Kadar oksigen yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ikan-ikan mengalami syndrome penyakit gelembung gas (gas bubble disease). Gelembung gas itu akan menyumbat pembuluh darah ikan dan dapat menyebabkan kematian. Gejala lain adalah emphysema yang merupakan gelembung luar yang dapat terjadi pada sirip ikan, kulit dan jaringan lainnya. Selain itu oksigen yang kaya dalam air akan memudahkan proses oksidasi terhadap logam.

Oksigen terlarut dapat berasal dari proses difusi dari atmosfer dan dari proses fotosintesis tanaman air. Oksigen yang berasal dari fotosintesis, jumlahnya tidak tetap tergantung pada jumlah tanamannya, dan oksigen dari udara atmosfer yang terlarut kedalam air dengan kecepatan terbatas tergantung pada temperatur air . Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh tergantung pada suhu dan tekanan atmosfer saat

itu. Pada suhu 20⁰C dengan tekanan satu atmosfer konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh 9,2 ppm, sedangkan pada suhu 50⁰C dengan tekanan atmosfer yang sama tingkat kejenuhannya 5,6 ppm. Makin tinggi suhu air, makin rendah tingkat kejenuhan oksigen terlarut. Pengukuran kadar oksigen terlarut dalam air disekitar pintu air dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar perubahan oksigen terlarut dalam air akibat adanya penerapan kincir air disitu. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi oksigen terlarut dalam badan air masih dibawah baku mutu lingkungan

d. Tingkat Keasaman (pH)

Nilai pH air yang normal adalah berkisar antara 6 – 8 pada temperatur 25⁰C. Air yang terpolusi berbeda-beda tergantung pada jenis polusi yang terkandung di dalam air. Nilai pH air mencerminkan tingkat kadar ion H⁺ dalam air. Semakin tinggi kadar H⁺ dalam air makin asam air dan akan makin rendah pH air, sebaliknya makin rendah kadar H⁺ dalam air makin tinggi pH makin alkali air. Perubahan pH kearah asam (pH turun) atau perubahan kearah alkali (pH naik) akan mengganggu kesetimbangan kehidupan hewan dan tanaman air . Penerapan pico hydropower pada pintu air diperkirakan akan mempengaruhi nilai pH air. Hal ini disebabkan oleh adanya ion hydrogen yang diperkirakan akan ikut terlarut kedalam air melalui putaran roda kincir.

e. Minyak dan Lemak

Keberadaan minyak dan lemak dalam badan air akan membentuk lapisan tipis (olie film) yang akan menghambat kelarutan udara kedalam air. Keberadaan minyak dan lemak dipermukaan air juga akan menghambat masuknya cahaya matahari kedalam air sehingga akan menghambat proses fotosintesis dari tanaman dalam air. Sebagaimana diketahui, proses fotosintesis dalam badan air akan meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Penerapan pico hydropower pada saluran irigasi

diperkirakan akan mencemari badan air dengan minyak dan lemak terutama dari minyak pelumas yang ada pada system transmisi dan lemak yang berasal dari kulit dan tangan manusia.

BAB V PEMBAHASAN

Dari hasil-hasil yang sudah dicapai mulai dari tahap perencanaan, perancangan dan pengujian kincir di Sungai Musi maupun penerapan di pintu air Bangun Sari, didapat hasil-hasil berharga yang dapat menjadi pijakan bagi penelitian dan pengembangan hidroenergi selanjutnya. Sebuah langkah kecil di Telang II dapat menjadi sebuah langkah besar ditempat yang lain khususnya dalam konteks memanfaatkan aliran air menjadi energi.

A. Tinggi Permukaan Air, Kecepatan Aliran dan Runoff

Hasil pengamatan terhadap tinggi permukaan air dan pengukuran terhadap kecepatan aliran air yang dilakukan pada musim hujan dan pada musim kemarau menunjukkan adanya perbedaan. Pada musim kemarau, tinggi maksimum permukaan air di pintu air berkisar antara 50 - 70 cm, sedangkan pada musim hujan tinggi maksimum permukaan air berkisar antara 90 - 125 cm tergantung pada tinggi rendahnya curah hujan serta berapa besar 'runoff' pada tahun bersangkutan. Sementara ketinggian terendah pada saat musim hujan adalah 25-50 cm dan pada musim kemarau antara 10 – 25 cm.

Hasil pengukuran terhadap kecepatan aliran air pada saat masuk dan keluar pintu air menunjukkan pola yang sama, dimana pada saat air berada pada kecepatan terendah pada saat terjadi pergantian dari aliran masuk ke aliran keluar dan juga pada saat pergantian dari aliran keluar ke aliran masuk. Kecepatan aliran akan meningkat dengan cepat dari waktu ke waktu sehingga mencapai kecepatan maksimum pada saat

air mencapai separuh ketinggian dari ketinggian maksimum. Hal ini disebabkan karena setelah ketinggian termaksud, air pasang yang keluar sudah harus menghadapi aliran air pasang masuk kembali, sehingga perlahan-lahan kecepatannya menurun hingga akhirnya menjadi nol pada saat terjadi pergantian aliran dari aliran keluar kepada aliran masuk saluran.

Begitulah pola kecepatan aliran yang terjadi setiap hari dan sepanjang tahun. Namun hasil pengukuran menunjukkan perbedaan kecepatan yang besar antara kecepatan aliran masuk saluran dengan kecepatan pada saat aliran keluar saluran pada musim hujan Januari 2011. Dimana pada saat masuk, kecepatan aliran air hanya mencapai 75,5 cm/detik sedangkan pada saat keluar saluran, kecepatan aliran mencapai 128,8 cm/detik. Data juga menunjukkan pertambahan kecepatan aliran air masuk rata-rata pada musim hujan sebesar 6,29 cm/detik, pertambahan rata-rata kecepatan aliran air keluar rata-rata pada musim hujan sebesar 10,73 cm/detik.

Perbedaan kecepatan aliran pada saat masuk dan pada saat keluar ini sangat mengherankan, karena awalnya tidak terlintas perbedaan ini dalam pemikiran untuk debit aliran yang sama pada saluran yang sama. Kajian menunjukkan hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh limpasan air hujan (*runoff*). Limpasan air hujan yang berasal dari wilayah yang lebih tinggi memberikan pengaruh terhadap kecepatan aliran pada saat masuk dan keluar saluran. Pada saat masuk, air yang sudah ada dalam saluran akan menahan aliran air dari luar sehingga akan menyebabkan perlambatan, sedangkan pada saat keluar saluran, air yang ada dalam saluran tersebut akan membantu memberikan dorongan keluar, sehingga kecepatan aliran keluar saluran irigasi akan lebih cepat dibandingkan pada saat masuk. Inilah yang memungkinkan terjadinya perbedaan kecepatan aliran maksimum pada musim hujan

dari 75,5 cm/detik pada saat aliran masuk menjadi 128,8 cm/detik pada saat aliran keluar.

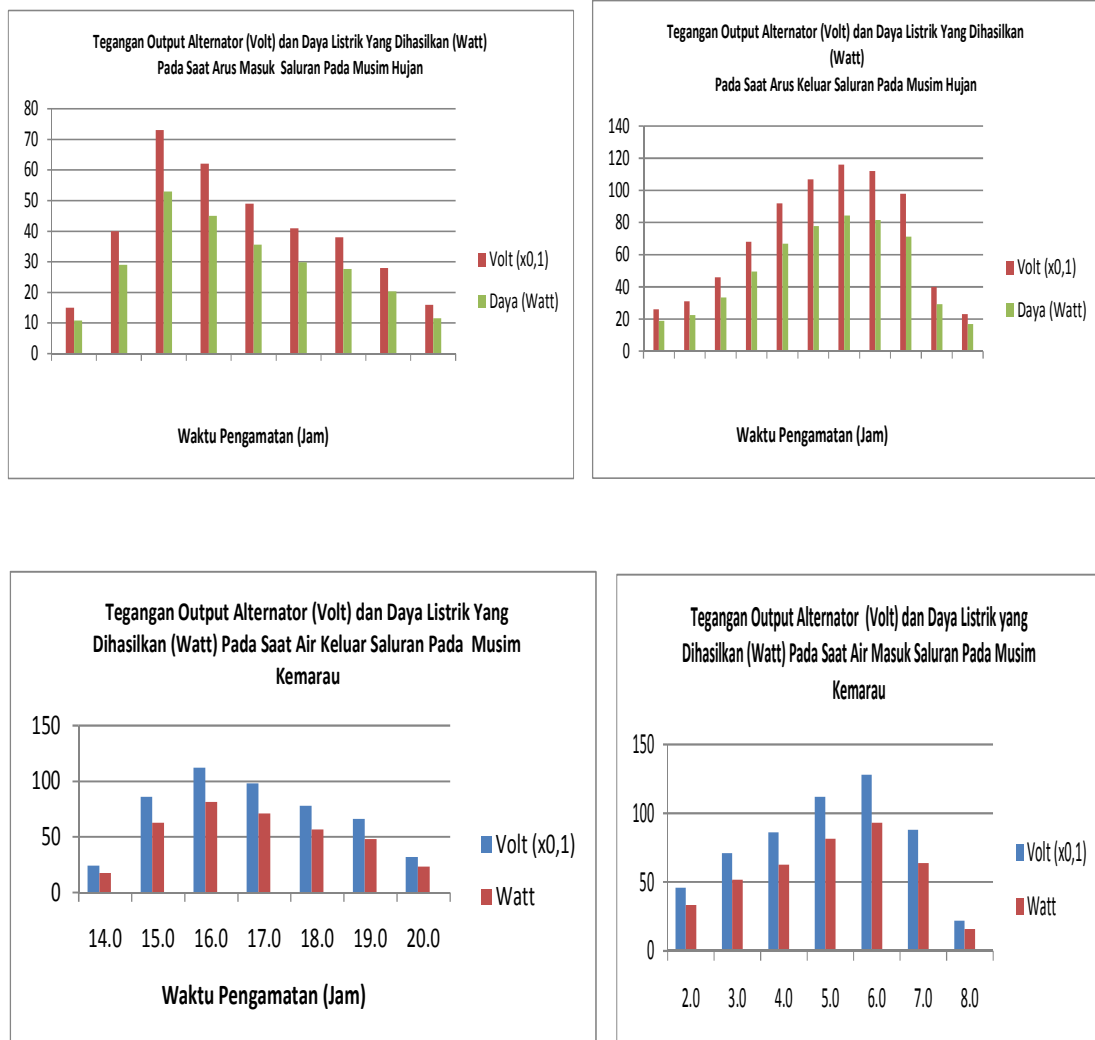
Hal yang berbeda terjadi pada pengamatan yang dilakukan pada musim kemarau September tahun 2011, dimana ketinggian permukaan air tertinggi hanya mencapai 62 cm dan ketinggian minimum adalah 10 sentimeter dimana, air pada saluran berada pada tingkat terendah. Hasil pengukuran kecepatan aliran maksimum pada saat masuk dan pada saat keluar saluran adalah sama yaitu 110 cm/detik. Hasil pengukuran ini memperlihatkan pola kecepatan pada aliran masuk dan pola kecepatan pada aliran keluar saluran cenderung sama. Hasil ini memperkuat kebenaran dugaan adanya pengaruh 'runoff' yang tertampung dalam saluran pada musim hujan terhadap kecepatan aliran keluar dan aliran masuk saluran irigasi.

Hasil-hasil yang diperoleh ini menunjukkan bahwa pada dasarnya perbedaan volume air dalam saluran tidak memberikan pengaruh terhadap kinerja turbin air. Yang memberikan pengaruh terhadap kinerja turbin air adalah kecepatan aliran air, karena kecepatan aliran akan menentukan besarnya momentum aliran, dan momentum aliran akan menentukan besarnya daya yang dihasilkan.

B. Daya Yang Dihasilkan dan Usaha-usaha Kedepan

Hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan di lapangan menunjukkan bahwa daya listrik baru dihasilkan pada saat kecepatan aliran mencapai 60 cm/detik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 61 dan Gambar 62. Dari catatan diperoleh pada musim hujan turbin air menghasilkan daya selama 11 jam dalam sehari semalam, yaitu 5 jam pada saat aliran masuk dan 6 jam pada saat aliran keluar saluran irigasi dengan tegangan yang bervariasi dari 1,5 volt hingga 11,6 Volt. Pada musim kemarau alternator dapat menghasilkan daya selama 12 jam. Terdiri dari enam jam pada saat

pasang naik, atau pada saat aliran masuk saluran dan selama enam jam pada saat pasang surut atau pada saat aliran keluar saluran irigasi. Tegangan yang dihasilkan bervariasi dari 2,2 volt hingga 12,8 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa melalui pemanfaatan kincir aliran air keluar dan masuk saluran irigasi sekunder Desa Bangun Sari – Telang II dapat menghasilkan listrik sekalipun daya yang dihasilkan tersebut relatif kecil jika dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini.



Gambar 63. Kinerja kincir pada musim hujan dan pada musim kemarau.

1. Daya Yang Dihasilkan Pada Musim Hujan

Daya yang dihasilkan kincir adalah: Output Voltage (Volt) x Arus (Amper) dalam satuan Volt-Amper (VA), dimana untuk alternator setara dengan Watt.

Daya kincir rata-rata yang dihasilkan kincir dengan arus 7,27 Amp dapat dihitung sbb:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Daya rata-rata perhari yang dihasilkan pada musim hujan adalah:

$$\bar{X} = \frac{10,9 + 29,0 + 53,0 + 45,0 + 35,62 + 29,8 + 27,62 + 20,35 + 11,63}{9} +$$
$$\frac{18,9 + 22,53 + 33,44 + 49,43 + 66,88 + 77,78 + 84,33 + 81,42 + 71,24 + 29,0 + 16,72}{11}$$

$$\bar{X} = (29,23 + 50,16) \approx 79,39 \text{ Watt}$$

Daya total yang dihasilkan dalam 11 jam adalah: 0,87 kWh atau dengan kata lain, jika semua energi tersebut dapat disimpan dalam sistem penyimpanan energi yang baik, maka daya listrik yang dapat digunakan dalam satu jam adalah sebesar 36,38 Watt-Jam.

2. Daya Yang Dihasilkan Pada Musim Kemarau

Daya rata-rata perhari yang dihasilkan pada musim kemarau adalah:

$$\bar{X} = \frac{33,44 + 51,61 + 62,52 + 81,42 + 93,05 + 63,97 + 15,99}{7} +$$
$$\frac{17,44 + 62,52 + 81,42 + 71,24 + 56,70 + 47,98 + 23,26}{7}$$

$$\bar{X} = (57,42 + 51,5) \approx 109 \text{ Watt.}$$

Daya total yang dihasilkan dalam 12 jam adalah: 1,3 kWh atau dengan kata lain, jika semua energi tersebut dapat disimpan dalam sistem penyimpanan energi yang baik, maka daya listrik yang dapat digunakan dalam satu jam adalah sebesar 54,16 Watt-Jam. Sebagai perbandingan, hasil penelitian KP3 Kementerian ESDM (2007) menyatakan bahwa sebuah alat setrika dengan kapasitas 300 Watt, dalam satu jam mengkonsumsi listrik antara 75 – 120 Watt-jam. Dapat disimpulkan bahwa potensi daya listrik yang dapat dimanfaatkan pada pintu air saluran sekunder kurang lebih cukup untuk penerangan sebuah rumah dengan enam titik lampu 8 Watt.

3. Kemandirian Energi Pedesaan dan Upaya-Upaya Kedepan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Sungai Musi pada bulan Desember 2012 menunjukkan Kincir Air Apung dengan 8 sudu sisi tertutup dengan luas permukaan sudu 1000 cm^2 pada kecepatan 2 m/detik dapat menghasilkan daya sebesar kurang lebih 97 Watt.

Efisiensi kincir dalam mentransmisikan daya pada penelitian ini adalah 45,7%. Efisiensi yang dicapai ini masih berada dibawah efisiensi yang pernah dicapai oleh Jean-Victor Poncelet (1788-1867) pada abad ke IX yaitu antara 60 – 70% untuk Turbin Air Aliran Bawah (Undershot). Efisiensi yang dicapai pada penelitian ini telah didukung oleh material roda kincir yang amat ringan serta bantalan bola yang sangat halus, sehingga hampir semua energi yang menerjang sudu ditransfer ke poros roda menjadi daya. Namun efisiensi keseluruhan sistem masih sangat rendah yaitu 25,9% untuk roda kincir sisi terbuka dan 45,7% untuk roda kincir sisi tertutup. Ini tentu saja masih perlu upaya dan masih perlu peningkatan lagi melalui penyempurnaan-penyempurnaan.

Efisiensi ini secara teknologi masih dapat disempurnakan lagi setidaknya untuk kasus ini melalui dua cara, yaitu pertama, penyempurnaan pada sistem transmisi dan yang kedua penyempurnaan pada sistem alternator. Sistem transmisi dirasa masih dapat dibuat lebih efisien lagi dalam mentransmisikan putaran dari roda kincir ke alternator. Tidak dapat dipungkiri, bahwa sistem transmisi daya yang dirakit sendiri dari roda gigi dan kopling yang dibuat tidak secara khusus untuk kegunaan itu akan menghasilkan performa yang kurang maksimal, jika dibandingkan dengan perangkat yang memang khusus dibuat untuk itu. Oleh karena itu layak diduga bahwa sebuah perencanaan sistem transmisi yang dilakukan khusus untuk itu akan meningkatkan performa dan efektifitas kincir air.

Cara yang kedua adalah kemungkinan dimana daya yang dihasilkan masih mungkin diperbesar jika kita dapat membuat alternator dengan jumlah kutub yang lebih banyak, sehingga daya listrik dapat dihasilkan pada putaran yang lebih rendah. Jika daya optimum dapat dihasilkan pada putaran yang lebih rendah maka momen yang tersedia akan lebih besar dan konstruksi sistem transmisi akan lebih sederhana. Hal ini dapat dilihat dari formula berikut dimana:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(21)$$

dimana:

n = jumlah putaran, dalam satuan rpm

f = frekuensi, dalam satuan Hz

p = jumlah kutub

Formula diatas menunjukkan bahwa dengan makin banyak jumlah kutub pada alternator maka jumlah putaran untuk menghasilkan daya dengan frekuensi tegangan yang sama akan makin rendah. Alternator yang dapat menghasilkan daya pada putaran rendah akan membantu meringankan kerja sistem transmisi, dimana ratio putaran yang diperlukan tidak perlu mencapai 42,5 seperti yang dibuat pada penelitian ini, melainkan bisa lebih rendah. Jika ratio transmisi lebih rendah maka sistem roda gigi akan menjadi lebih sederhana dan lebih kuat.

Jika sistem transmisi dapat dibuat lebih efisien dengan efisiensi lebih besar dari 0,73 untuk roda kincir sisi terbuka dan untuk roda kincir sisi tertutup seperti yang didapat pada penelitian ini dan alternator dapat menghasilkan daya pada putaran lebih rendah maka kincir air akan menghasilkan daya lebih besar dalam arti waktu menghasilkan daya itu bisa lebih panjang dan daya yang dihasilkan akan lebih besar sehingga jika daya yang dapat disimpan dalam battery juga akan lebih besar.

Hasil dialog dengan penduduk dilapangan menunjukkan bahwa salah satu masalah yang dihadapi petani adalah kebutuhan akan energi. Baik energi yang sudah diubah menjadi listrik maupun yang masih berupa energi mekanik. Ketersediaan energi mekanik diperlukan untuk mendukung usaha pertanian mulai dari masa tanam hingga ke masa pasca panen. Hal ini menjadi permasalahan yang cukup besar bagi para petani di Telang II - Kabupaten Banyuasin karena mengangkat air dari saluran irigasi ke lahan pertanian itu harus dilakukan setiap hari, terutama pada musim kemarau.

Energi diperlukan untuk mendukung pertanian dari masa tanam hingga masa pasca panen. Pada musim kemarau, persoalan mengangkat air dari dalam saluran ke lahan pertanian ini menjadi lebih berat karena pada saat ini jumlah air yang diperlukan untuk menyiram tanaman lebih besar sementara perbedaan ketinggian rata-rata antara

permukaan lahan pertanian dengan permukaan air pada saluran irigasi menjadi relatif lebih besar karena tidak ada curah hujan. Sehingga persoalan memindahkan air dari dalam saluran irigasi ke permukaan lahan persawahan menjadi lebih sulit dan lebih mahal dibanding masa sebelumnya.

Sejauh ini cara yang ditempuh petani, yaitu dengan menggunakan pompa berpengerak mesin Diesel. Persoalannya adalah penggunaan mesin Diesel ini membutuhkan biaya yang menyangkut biaya sewa dan biaya bahan bakar dalam pengoperasiannya, sehingga menyebabkan penambahan biaya dalam proses tanam dan perawatan. Dengan bertambahnya biaya tanam dan perawatan ini maka berarti pendapatan bersih (*net income*) petani semakin menurun bahkan bila hasil pertanian pada suatu musim tanam kurang maksimal sebagaimana yang diharapkan, maka petani berpotensi mengalami kerugian. Keadaan serupa ini sangat tidak diinginkan karena akan mendorong petani beralih kepada pekerjaan lain yang dianggap lebih menguntungkan. Salah satu manifestasinya adalah mengkonversi lahan pertanian untuk kegunaan non-pertanian, misalnya industri, perdagangan dan pemukiman. Untuk mencegah hal ini agar tidak terjadi maka perlu pengkajian lebih seksama untuk menggunakan energi air pada saluran sekunder untuk memompakan air dari saluran sekunder ke lahan persawahan sebagai salah satu solusi bagi petani.

Pengembangan hidropower dalam kapasitas kecil pada saat ini berlangsung hampir di semua negara Asia, diantaranya Cina, Korea, India, Filipina, Jepang, Indonesia, Malaysia, Nepal, Laos dan Srilangka. Dewasa ini, satu abad setelah Thomas Alva Edison menemukan listrik, masih sekitar 1,6 – 2 milyar penduduk dunia hidup tanpa penerangan (Zahnd, A., Kimber, H.M., 2009) sehingga sekecil apapun daya listrik yang tersedia harus kita manfaatkan. Nepal adalah sebuah negara di Asia tanpa sumber energi fosil dan 80% dari 28,5 juta penduduknya tinggal di daerah

terpencil. Sebuah pico-hidropower telah dikembangkan di Nepal dengan kapasitas 150 Watt dapat menerangi 30 buah rumah dengan tiga titik lampu WLED (White Light Emitting Diode) selama 6-7 jam perhari. WLED merupakan lampu hemat energi yang hanya mengkonsumsi satu Watt per-lampu (Zahnd,A.,Kimber, H.M.,2009). Di Indonesia sendiri sudah dikembangkan program Desa Mandiri Energi sebagai program nasional sehingga scope pemanfaatan sumber energi menjadi lebih luas dan lebih terbuka.

Upaya memperbesar potensi energi terbarukan telah dilakukan di banyak negara dengan cara mengkombinasikan hidropower dengan sumber energi lainnya seperti energi angin dan energi matahari. Melalui kombinasi energi ini, maka energi yang dihasilkan pada suatu titik akan lebih besar.

Potensi energi mekanik yang tergal dari saluran irigasi ini dapat digunakan bukan hanya untuk menjadi energi listrik, tetapi juga dapat dikembangkan untuk kegunaan lain yang dianggap perlu, misalnya untuk memompakan air dari saluran irigasi ke lahan pertanian yang berada di atasnya dengan cara menggerakkan pompa spiral, atau untuk aerasi air pada saluran irigasi dengan cara menggerakkan pompa udara yang sudah dirancang untuk itu (Darmawi et al., 2012). Aerasi merupakan sesuatu yang belum lazim dikenal penduduk Kecamatan Tanjung Lago. Aerasi merupakan usaha menginjeksikan oksigen kedalam badan air untuk memudahkan biota air yang hidup disana mendapatkan oksigen. Aerasi umumnya dilakukan pada usaha budidaya ikan dan udang yang banyak dilakukan di perairan pantai timur pulau Sumatra dan Lampung.

Penulis memperkirakan budidaya ikan dan udang akan berkembang di Kabupaten Banyuasin pada masa kedepan, karena pada masa mendatang rawa lebak akan makin banyak berubah menjadi areal industri dan pemukiman, sehingga

produksi ikan air tawar dan udang akan berkurang dan mendorong timbulnya budi daya ikan dan udang. Bila hal ini terjadi, maka energi pasang surut dapat dimanfaatkan untuk proses aerasi air.

Dalam masa kedepan perlu dilakukan kajian untuk upaya pemanfaatan saluran irigasi secara terpadu, yaitu untuk kepentingan irigasi disatu pihak dan untuk energi dipihak yang lain. Pintu air yang sudah dibangun dengan biaya yang mahal tersebut akan menjadi lebih berguna jika dalam perancangan sudah diarahkan untuk dua tujuan diatas, yaitu untuk kepentingan irigasi dan untuk mendapatkan energi. Bila hal ini dapat dilakukan maka total enegi yang tersimpan pada semua saluran irigasi pasang surut di Delta Telang II adalah $68 \times 148,3$ Watt atau sebesar 10,084 kW. Dengan potensi energi sebesar ini, banyak hal yang dapat dilakukan dan banyak manfaat yang dapat diperoleh.

C. Pilihan Material Kincir Air

Pemilihan material merupakan salah satu faktor penting didalam pembuatan kincir air apung. Dengan tingkat keasaman air yang tinggi dimana pH air berada antara 2,5 – 4 sangat diperlukan pemilihan material yang tepat dalam rangka mengantisipasi proses oksidasi yang cepat. Material yang dianjurkan adalah material yang tahan terhadap korosi dan ringan, karena alat harus beroperasi dengan terapung diatas permukaan air. Material yang memenuhi syarat untuk itu antara lain adalah Aluminium paduan, Kuningan, PVC, Plastik, Fiber, Acrylic dan Komposit. Material yang tahan terhadap korosi seperti Baja Stainless juga dapat digunakan tetapi tidak dianjurkan karena berat dan sukar dikerjakan. Baja Karbon Rendah dapat digunakan karena harga yang lebih murah, lebih mudah dikerjakan dan mudah diperoleh dimana-

mana. Namun penggunaan baja harus disertai dengan pelapis tahan air yang kuat agar didapat usia yang panjang.

Pada tahap perekayasaan, material Aluminium Paduan (Aluminium Alloy 6063 (AlMgSiO)), baik yang berupa flat maupun yang berbentuk profil dapat dipadukan menjadi konstruksi yang kuat. Penggunaan Aluminium Alloy dianggap sudah tepat karena alasan berikut:

- Tahan korosi, sehingga cocok untuk beroperasi dilingkungan air laut.
- Lebih ringan dibandingkan baja, sehingga diperoleh berat roda kincir dengan 8 sudu hanya 5,2 kg.
- Lebih mudah dibentuk karena lebih lembut dibanding baja sehingga lebih mudah dikerjakan..

D. Revisi-revisi Rancangan dan Catatan Lapangan

Revisi adalah perubahan rancangan yang dilakukan setelah suatu sistem dibuat dan diuji. Kincir Air Apung yang kita rancang dan kita buat ini tak luput dari proses revisi-revisi setelah pengujian.

Revisi yang *pertama* dilakukan pada rencana sistem transmisi, dimana pada awalnya direncanakan dua sistem transmisi untuk mengantisipasi putaran bolak-balik pada arus masuk dan arus keluar, menjadi satu sistem transmisi. Dua sistem transmisi ini dimaksudkan agar supaya arus bolak balik dapat dimanfaatkan tanpa harus membalik seluruh awak kincir. Namun diketahui, bahwa output daya pada alternator adalah sama untuk kedua arah putaran sehingga sistem dua transmisi tidak diperlukan.

Revisi *kedua* adalah pada ratio sistem transmisi, dimana rancangan awal adalah sistem transmisi dua tingkat. Tingkat pertama dengan ratio transmisi 1 : 8 dan pada tingkat kedua 1 : 6 sehingga ratio total sistem transmisi adalah 1 : 48. Pada ratio ini kincir air tidak dapat bekerja sebagaimana diharapkan karena momen yang diperlukan

untuk memutar roda kincir amat besar sehingga tidak cukup kuat untuk dihasilkan oleh air dengan kecepatan 1 m/detik pada sudu dengan luas 20 x 50 sentimeter. Revisi dilakukan dengan ratio transmisi 1 : 5 pada tingkat pertama dan 1 : 8,5 pada tingkat kedua. Kincir air dengan sistem transmisi total 1 : 42,5 lebih ringan dan dapat diadaptasi oleh roda kincir yang direncanakan dan akhirnya roda gigi dengan ratio ini menjadi model pada penelitian ini. Dari pengalaman yang didapat ternyata perhitungan teoritis memerlukan pengujian praktis untuk dapat berkompromi dengan penerapan dilapangan.

Revisi yang *ketiga* dilakukan pada pipa yang berfungsi sebagai pelampung untuk keseluruhan konstruksi. Pada awalnya direncanakan pipa-pipa ini terkonsentrasi pada keempat sudut awak kincir dengan perhitungan bahwa gaya pengapungan akan bekerja secara terkonsentrasi pada keempat sudut. Sekalipun perhitungan ini secara teoritis benar ternyata secara praktis menyulitkan operasi alat karena pipa yang terkonsentrasi di sudut akan memperbesar tahanan terhadap arus bahkan pipa-pipa tersebut menjadi tempat berhenti kotoran-kotoran yang ada di dalam air. Revisi berupa pemasangan pipa secara memanjang di sisi kiri dan sisi kanan roda kincir. Pemasangan dengan cara seperti ini ternyata masih memerlukan adaptasi, yaitu pada saat arus kencang, diperlukan penyesuaian dimana pipa pengapung diposisikan melebihi awak kincir agar didapat keseimbangan.

Revisi-revisi ini perlu untuk menjadi catatan bagi perencanaan dan pengujian tingkat lanjut, dimana Kincir Air Apung ini masih dapat dikembangkan dan disempurnakan baik dari aspek konstruksi, aspek kinerja maupun dari aspek kapasitas yang dihasilkan. Catatan-catatan revisi ini amat diperlukan bagi pengembangan pada tingkat selanjutnya, dengan maksud agar tidak mengulang berkali-kali sesuatu yang

sudah pernah dialami. Melalui catatan revisi ini, pengembangan dapat lebih focus, lebih cepat dan lebih ekonomis.

Selain revisi-revisi yang telah dilakukan, perlu juga diketengahkan catatan lapangan yang tak kalah penting untuk diketahui dalam rangka mengembangkan Kincir Air Apung dalam masa-masa selanjutnya. Catatan-catatan itu diantaranya adalah sebagai berikut:

1. KAA yang terlalu ringan akan terombang-ambing oleh ombak yang muncul akibat momen dari roda kincir dan dapat bergerak secara axial kekiri dan kekanan. Oleh sebab itu disamping perlu pengikatan dari depan dan belakang, perlu juga kendali agar awak kincir tidak bergerak kekiri dan kekanan.
2. KAA tidak bisa dibiarkan beroperasi tanpa pengawasan karena aspek-aspek berikut ini:
 - i. Saluran irigasi merupakan milik masyarakat banyak yang memiliki kepentingan berbeda-beda sehingga tidak dapat dilakukan hal-hal yang sifatnya fokus pada kincir air saja atau dengan kata lain perlu perencanaan pintu air yang dapat menjalankan kedua fungsi tersebut yaitu sebagai pengendali cadangan air irigasi dan sebagai sumber energi tanpa harus mengganggu satu sama lain.
 - ii. Alternator yang digunakan tidak tahan terhadap air, sehingga bila terendam atau tersiram air hujan akan cepat rusak, sehingga perlu pemeliharaan dan perawatan secara seksama.
 - iii. Kebocoran dapat terjadi sewaktu2 pada pipa pengapung sehingga KAA akan miring dan tenggelam, karenanya perlu pengawasan secara kontinyu agar hal itu tidak terjadi.

- iii. Alternator putaran rendah pada saat ini belum diproduksi didalam negeri, oleh karena itu harus diimpor. Berkaitan dengan itu maka harga alternator putaran rendah cukup mahal, karena terkena pajak dan bea-masuk. Oleh sebab itu, harus dijaga agar tidak hilang.
- iv. Sewaktu-waktu pada saat beroperasi, roda kincir dapat terganggu perputarannya karena adanya tanaman air dan mungkin juga sampah yang lolos dari filtrasi, sehingga operasi kincir akan terganggu atau bahkan terhenti sama sekali. Untuk itu semua maka perlu penjagaan dan pengawasan.

E. Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan dari beroperasinya sebuah kincir air pada saluran irigasi sekunder diukur pada badan air sebelum dan sesudah kincir air pada saat pengujian dilakukan. Pengujian terhadap badan air dilakukan pada jarak dua meter sebelum dan sesudah kincir air dengan objek pengujian dilakukan terhadap faktor fisik dan faktor kimiawi. Faktor fisik meliputi: Temperatur, Zat Padat Terlarut dan Zat Padat Tersuspensi. Sedangkan faktor kimiawi meliputi: BOD, COD, Oksigen terlarut, pH dan Minyak–Lemak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 17.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan pada Zat Padat Terlarut maupun pada Zat Padat Tersuspensi masing-masing dari 112 mg/l menjadi 407 mg/l dan dari 18 mg/l menjadi 21 mg/l. Peningkatan ini tentu tidak berasal dari kincir air secara langsung, tetapi lebih kepada dampak dari gerakan roda kincir. Putaran dari roda kincir pada permukaan air menyebabkan endapan pada pintu air dan lumpur pada dasar saluran bergerak ketitik sampling sehingga terjadi peningkatan kandungan pada titik pengujian. Hasil pengukuran terhadap BOD dan COD justeru menunjukkan

penurunan dari 1,8 mg/liter menjadi 0,9 mg/liter untuk BOD dan dari 2 mg/liter menjadi 1 mg/liter untuk COD. Hasil ini agak bertolak belakang dengan kenaikan yang terjadi pada Zat Padat Terlarut dan Zat Padat Tersuspensi. Kuat dugaan bahwa telah terjadi penguraian senyawa organik dan oksidasi secara biologis selama sampel air berada dalam pengangkutan dan masa menunggu pemeriksaan sehingga berdampak pada penurunan pada pengukuran BOD dan COD. Jadi penurunan ini bukan karena berkurangnya kontaminan biologis dan bakteri dalam air.

Hasil laboratorium juga menunjukkan peningkatan pada Oksigen Terlarut dalam air, yaitu dari 4,48 mg/l menjadi 4,58 mg/l. Peningkatan ini sudah diperkirakan dari awal dimana putaran roda kincir akan menambah oksigen yang terlarut di dalam air akibat adanya oksigen yang terjebak pada sudu kincir dan adanya turbulensi air disekitar sudu kincir sehingga menyebabkan oksigen terlarut kedalam air. Peningkatan kadar oksigen terlarut ini diikuti oleh peningkatan keasaman air dari 3,60 menjadi lebih asam lagi 2,56. Peningkatan keasaman ini dapat dipahami sebagai kemungkinan dari adanya penambahan kelarutah ion H^+ kedalam badan air akibat adanya distorbansi pada aliran air akibat adanya putaran roda kincir. Peningkatan keasaman air ini berakibat air tersebut makin korosif terhadap logam dan kurang layak dikonsumsi. Angka Baku Mutu Air kelas I yang ditentukan oleh pemerintah menurut Pergub No:16 Tahun 2005 angka ini jauh dibawah ambang batas baku mutu yang diperbolehkan yaitu antara 6-9.

Kadar Minyak dan Lemak turun dari 0,163 menjadi 0,126 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 17. Penurunan ini tidak seperti yang diperkirakan dari awal, dimana kemungkinan ada tetesan minyak pelumas yang terdapat pada bantalan dan pada sistem roda gigi yang jatuh ke permukaan air sehingga dapat meningkatkan kadar Minyak-Lemak pada air yang ada disekitar kincir air. Pada tahap ujicoba,

Minyak-Lemak dapat berasal dari bocoran pelumas pada roda gigi dan bantalan, tetapi juga berasal dari tubuh manusia yang berada di badan air. Peningkatan ini tidak terdeteksi pada pemeriksaan laboratorium, mungkin karena sampel diambil pada kedalaman lima sentimeter dibawah permukaan air, sehingga Minyak-Lemak yang terukur tidak merupakan angka yang sebenarnya. Namun demikian, walau terjadi peningkatan kadar Minyak-Lemak pada badan air, angka yang ada ini masih jauh dibawah ambang batas yang diperbolehkan menurut Pergub No: 16 Tahun 2005 yaitu 1000 µg/liter.

Hewan air khususnya ikan-ikan yang hidup di saluran sekunder merupakan salah satu aspek yang sangat dipertimbangkan dalam kegiatan penelitian Kincir Air Apung ini. Pada musim hujan, ikan air tawar akan hidup dalam saluran, karena tingginya volume air dalam saluran. Pada musim kemarau, air laut akan masuk kedalam saluran sekunder, karena tiadanya limpasan air hujan. Hewan lautpun akan masuk ke dalam saluran sekunder, misalnya udang laut dan ikan laut, sementara ikan air tawar akan mengikuti habitatnya di air tawar. Salah satu faktor pertimbangan dalam penentuan kedalaman celup sudu 20 sentimeter kedalam permukaan air adalah untuk memberikan ruang terbuka bagi pergerakan ikan-ikan keluar dan masuk saluran. Dengan kedalaman celup hanya 20 cm dari permukaan air, masih terdapat banyak ruang dibawah kincir bagi ikan-ikan untuk bergerak melewati pintu air.

F. Analisis Keekonomian Kincir Air Apung

Bila total energi listrik yang dihasilkan dapat disimpan dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya maka daya yang dihasilkan adalah 0,87 kWh perhari pada musim hujan dan 1,3 kWh perhari pada musim panas, dengan demikian maka ekivalensi biaya listrik PLN yang dihasilkan dalam setahun adalah sebagai berikut:

Musim hujan	$0,87 \text{ (kWh)} \times 180 \times 415 \text{ (Rp/kWh)}^{*)}$	Rp 64.989,-
Musim kemarau	<u>$1,3 \text{ (kWh)} \times 180 \times 415 \text{ (Rp/kWh)}$</u>	<u>Rp 97.110,-</u>
	Total	Rp 162.099,-

*) Tarif listrik R1/TR berdasarkan Permen ESDM No:30 Tahun 2012.

Biaya pembuatan alat berdasarkan harga pada tahun 2013 cukup besar yaitu kurang lebih sembilan juta rupiah (Rincian pada Lampiran 24). Sehingga untuk mengembalikan biaya modal yang sudah dikeluarkan perlu waktu kurang lebih lima puluh enam tahun. Agar biaya ini tidak menjadi beban petani, maka harus diupayakan pembiayaan pembuatan alat dari pemerintah atau dari sumber-sumber lain yang tidak mengikat.

Nilai keekonomian Kincir Air Apung diatas masih dapat ditingkatkan lagi melalui perbaikan dan penyempurnaan alat serta modifikasi pintu air. Pintu air tempat penelitian ini dilakukan dimaksudkan hanya untuk memenuhi kebutuhan irigasi sawah dan perkebunan disekitar saluran. Pintu air ini tidak dimaksudkan untuk energi. Oleh sebab itu seandainya terdapat kesempatan untuk merubah rancangan pintu air dari keadaan yang sudah ada pada saat ini kepada suatu bentuk yang baru yang dapat mengakomodir dua kebutuhan sekaligus, yaitu untuk irigasi dan untuk energi atau memodifikasi pintu air yang sudah ada sekarang untuk kedua kebutuhan itu tanpa tumpang tindih satu terhadap lainnya, maka energi yang dihasilkan akan lebih besar.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pengujian dan pembahasan terdahulu dapat disimpulkan hasil-hasil sebagai berikut:

1. Kincir Air Apung merupakan alat yang dapat digunakan untuk menuai energi dari air yang mengalir pada saluran irigasi pasang surut. Ketinggian permukaan air yang selalu berubah dapat diakomodasi dengan baik oleh KAA tanpa mengganggu kinerja.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aliran air pada pintu irigasi pasang surut dapat dimanfaatkan untuk menjadi energi listrik. Pada musim hujan turbin air menghasilkan daya selama 11 jam dalam sehari semalam, dengan energi listrik 0,87 kWh perhari. Pada musim kemarau alternator dapat menghasilkan daya selama 12 jam dengan energi listrik 1,3 kWh perhari.
3. Spesifikasi Kincir Air Apung yang digunakan pada saluran irigasi sekunder Desa Bangun Sari - Telang II Kabupaten Banyuasin adalah sbb:

Ukuran Overall	Lebar : 90 cm Panjang: 200 cm
Roda Kincir	Diameter : 78 cm Jumlah sudu: 8 buah Bentuk sudu: Rata Material : Aluminium Alloy 6062 Jenis Sambungan: Rivet Aluminium
Konstruksi Penyangga	Material : Baja ST-37 Bentuk profil : I dan L Jenis Sambungan: Las (Weld)
Pipa Pengapung	Material : PVC Ukuran : 6 cm Ø , 200 cm, 8 buah. Sambungan : Adhesive
Sistem Transmisi	Roda Gigi dan Kopling

Tingkat I : Roda gigi miring

Ratio 1 : 5

Tingkat II: Roda gigi lurus

Ratio 1 : 8,5

Sambungan kopling dari jenis Kopling Tidak Tetap

Alternator	Low RPM Permanent Magnet Alternator, 100 Watt AC, 12 Volt.
------------	---

4. Dari pengujian diperoleh hasil sebagai berikut:

	Efisiensi roda Kincir (%)	Efisiensi saat terhubung dengan sistem transmisi (%)	Efisiensi saat terhubung dengan sistem transmisi dan alternator (%)	Efisiensi sistem keseluruhan) (%)
Roda kincir sisi terbuka	86,3	79,4	73,7	25,9
Roda kincir sisi tertutup	93,2	80,08	73,5	45,7

4. Pengujian terhadap badan air sebelum dan sesudah kincir menunjukkan peningkatan komposisi Zat Padat Terlarut, Zat Padat Tersuspensi, Oksigen Terlarut dan Keasaman. Semua perubahan itu berhubungan dengan pergerakan roda Kincir Air Apung dan masih berada dibawah standard baku mutu lingkungan yang ditentukan di Sumatera Selatan.

B. Saran-saran

1. Dalam rangka menghindari tumpang tindih antara pemakaian untuk irigasi dan pemakaian untuk energi agar tidak mengganggu satu terhadap lainnya , maka perlu ada modifikasi rancangan pintu air agar kedua penggunaan ini dapat berjalan bersamaan tanpa mengganggu satu sama lain. Modifikasi itu dapat berupa rancangan pintu air yang baru sama sekali, dapat juga berupa perubahan terhadap pintu air yang sudah ada, sehingga kincir dapat bekerja tanpa mengganggu fungsi utama saluran sekunder sebagai saluran irigasi.

2. Hasil penelitian ini dapat dikembangkan dan diaplikasikan pada tempat-tempat lain dimana air memiliki arus dengan kecepatan aliran lebih dari 1 m/detik. Ukuran diameter roda kincir dan lebar sudu dapat dibuat lebih besar, sehingga daya yang dihasilkan akan lebih besar.
3. Dalam rangka optimalisasi energi yang dihasilkan, perlu ada kajian tentang pengkombinasian energi terbarukan antara Pico-hidropower dengan Solar Energy. Melalui hibrida antara Pico-hidropower dengan Solar Energy diharapkan serapan energi akan lebih besar terutama pada siang hari. Solar Energy merupakan sumber daya energi yang tersebar secara merata di Indonesia, mengingat wilayah yang membentang luas di sepanjang khatulistiwa.
4. Perlu ada kajian tentang pemanfaatan energi yang dihasilkan dari saluran irigasi ini kedalam bentuk bukan energi listrik. Energi mekanik yang dihasilkan oleh Kincir Air Apung ini dapat digunakan untuk tujuan aerasi air dan untuk menggerakkan pompa spiral ke lahan pertanian yang lebih tinggi.

Aerasi adalah suatu proses penginjeksian oksigen kedalam badan air untuk tujuan meningkatkan konsentrasi oksigen di dalam air. Umumnya aerasi dilakukan untuk membantu biota air dalam melakukan pernafasan. Biasanya aerasi dilakukan pada tempat dimana dilakukan budi daya ikan maupun udang. Aerasi diperkirakan dapat dilakukan dengan daya yang dihasilkan oleh kincir dengan memanfaatkan aliran air pada pintu irigasi. Jika kelak pada saluran sekunder irigasi pasang surut akan dilakukan budi daya ikan atau udang, maka daya yang tersedia diperkirakan mencukupi untuk digunakan menginjeksikan oksigen kedalam badan air. Berapa besar volume oksigen yang dapat diinjeksikan kedalam air persatuan waktu perlu pengkajian dan pengujian lebih seksama.

Pompa spiral, merupakan pompa yang dapat mengangkat air hingga suatu ketinggian dengan memanfaatkan aliran air yang lambat. Karakter pompa ini amat cocok untuk dimanfaatkan pada saluran irigasi pasang surut, dimana petani membutuhkan air untuk memelihara tanaman di lahan persawahan mulai dari saat tanam hingga pasca panen. Dimana pada umumnya permukaan lahan persawahan berada lebih tinggi antara satu hingga tiga meter diatas permukaan air pada saluran sekunder, sehingga membutuhkan energi untuk mengangkat dan mengangkut air dari saluran sekunder ke lahan pertanian. Dalam hal ini diperkirakan energi mekanik yang dihasilkan oleh kincir air apung dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan pompa spiral itu. Berapa besar kapasitas air yang dapat dipompakan ke lahan pertanian persatuan waktu merupakan hal yang masih perlu diuji dan diteliti lebih seksama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., 2011 “Small Hydro and the Environment Implications of its Expensive Utilization”. Elsevier International Journal, page 2134-2143.
- Baguenier, 1994, “Small Scale Hydropower”. Energy II, The potential of Renewable energy, Book of Abstracts, AEGEE, Delft, 29 April.
- British Hydropower Association, 2005, “A Guide To UK Mini-Hydro Developments”. Version 1.2. Halaman 22.
- Brockhaus, Maria, Obidzinski, Krystof, 2011 “An Overview of forest and land allocation policies in Indonesia: Is the current framework sufficient to meet the needs of REDD+?”. Forest Policy and Economics, Elsevier International Journal.
- British Petroleum, 2008, Annual Report.
- British Petroleum Statistical Review – Full Report 2009.
- Bryden, IG; Grinsted, T; Melville, G.T, 2004 Assessing the potential of a simple tidal channel to deliver useful energy, Applied Ocean Research, halaman 198-204
- Bryden, IG; Macfarlane, DM, 2000, “The utilisation of short term energy storage with tidal current generation systems”, Elsevier Energy Journal, halaman 893-907
- Bryden, IG; Couch, J Scott, 2007, “How much energy can be extracted from moving water with a free surface: A question of importance in the field of tidal current energy?”, Elsevier Renewable Energy Journal, Volume 32, halaman 1961-1966
- C. Jaliu, D. Diaconescu, R. Saulescu, “Speed Multipliers for Renewable Energy System-Hydro and Wind”. Departement of Product Design and Robotics, Transilvania University of Brasov, Romania.
- Darmawi, Firdaus, “Hydro Energy and Its Significant Role In the Future of Indonesian Energy. Case study: Telang – Banyuasin”. Article of The 4th Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology 2011, October 5-6, Palembang.
- Darmawi, Rimani Sipahutar, Siti Masreah Bernas, Momon Sodik Imanuddin, Hambatan dan Tantangan Pemanfaatan Aliran Air Pada Saluran Irigasi Sekunder Untuk Memompakan Air ke Lahan Persawahan Sebagai Dukungan Bagi Pengelolaan Lahan Sub-Optimal Di Desa Bangun Sari Telang II – Banyuasin, Artikel Seminar Nasional Perhimpunan Ekonomi Pertanian Indonesia (PERHEPI),

- 5-6 Juni 2012, Palembang.
- Data Lahan Rawa Indonesia, Departemen PU, 1996.
- Denny,M, 2004, “The efficiency of Overshot and Undershot waterwheels”, European Journal of Physics. 25 page 193-202
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 2011
- Dennis Best,Dennis,. Mulyana,Rida,.Jacobs,Brett,.Iskandar,P,Utomo,Beck, Brendan, 2011”Status of CCS Development in Indonesia”, Energy Procedia 4, Elsevier Journal, page 6152- 6156.
- Ditjen PMD Kemdagri Republik Indonesia, “Mengenal Desa Mandiri Energi”, Desember 2012.
- Environment News, 2009, Teusday 15 December
- Euroconsult, Biec and Trans Intra Asia, 1993. Programme and Set up of water management trials in Telang and Saleh Agricultural development, Project drainage development component, South Sumatra Province. Technical note 7-9, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
- Fritz, Jack J, 1984 Small and Mini Hydropower Systems, Resource Assessment and Project Feasibility, Mc. Graw Hill Book Company.
- <http://www.green-trust.org/hydro.htm>
- Haidar,Ahmed,M.A.,.Senan,MFM,. Noman,Abdulhakim,.Radman, Taha ,2011”Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads”, Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal.
- Hayes,David, 2004, ”Asian Renewables” Bimonthly magazine, page 48-51, reFocus, Elsevier Ltd.
- Hemel Hempstead, 2009 “Micro Hydropower” Journal Appropriate Technology, vol 36, Issue 2, halaman 60-66.
- IHA *et al*, 2000. Hydropower and The worlds Energy Future, Compton, West Sussex, United Kingdom.
- Indartono,Yuli Setyo 2010 “Energi dan Perubahan Iklim” Fakultas teknik Mesin dan Dirgantara, ITB
- Indonesias Roadmap for Biofuel Development 2025, 2010. www.indobiofuel.com
- Indonesia National Climate Change Council, 2009, “Indonesia has the Potential to reduce carbon emissions significantly by 2030 given the right set of policies and strong international support”, Press Release 27.08.09.
- International Hydropower Association, 2011 ”Advancing Sustainable

- Hydropower". IHA Activity Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, Fourth Assessment Report.
- Intimulya Multikencana,PT, 2009,"Review Desain Daerah Rawa Pasang Surut Delta Telang II Kabupaten Banyuasin Propinsi, Sumatera Selatan, Laporan Ahir.
- Jhon Aryanto Glad Saragih, 2009, "Perencanaan Serta Pembuatan Prototipe Turbin Air Terapung Bersudu Datar Dengan Memanfaatkan Kecepatan Air Sungai", Dept. Teknik Mesin, USU – Medan.
- Jupesta, Joni, Boer,Rizaldi,.Parayil, Govindan,.Harayama,Yuko,.Yurime, Masaru,. Jose. A.Puppim de Oliveira, Suneetha M.Subramanian,2011"Managing the transition to sustainability in an emerging economy: Evaluating green growth policies in Indonesia", Elsevier Journal, page 187-191.
- Kaldellis,2007,."The contribution of small hydropower stations to the electricity Generation in Greece: Technical and economic considerations, page 2187-2196
- Kaldellis,JK,.Kavadias,KosmasA,.Emilia, Kondili,2006" Energy and Clean Water Coproduction in Remote islands to face the intermittent character of wind energy". International journal of Global energy issues, Geneva Vol 25, Iss.3,4. page 298
- Kamarudin,Abdullah.2005 "Renewable Energy Conversion and Utilization in Asean Countries". Energy, Elsevier Journal, page 119 – 128.
- Khan a,MJ*, G. Bhuyan a, M.T. Iqbal b, J.E. Quaiocoe b, 2009, Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review, Applied Energy Elsevier Journal, page 1823-1835
- Kiho S, Shiono M, Suzuki K, 1996, "The Power Generation From Tidal Currents by Darrieus Turbine", WREC Journal, halaman 1242-1245
- Krisnamurthi, Bayu, 2010 "Program Desa Mandiri Energi Terganjal Dana", Vivanewes.com, 6 Mei.
- Megawaty, 2012, Model Pengelolaan Tata Air Jaringan Reklamasi Rawa pasang Surut Yang Berkelanjutan Untuk Tanaman Pangan Melalui Kegiatan Operasi dan Pemeliharaan (Studi Kasus Daerah Rawa Delta Telang II Kabupaten Banyuasin Propinsi Sumatera Selatan), Pasacasarjana Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Milton G Bassin, Stanley M Brodsky,Harold Wolkoff, 1988, "Statics and Strength of

- Materials”, Fifth Edition, Mc.Graw Hill, New York, halaman 314-342.
- Ministry of Agriculture, 2010. Area and Production by Category of Producers. <http://ditjenbun.deptan.go.id/cigraph/index.php/viewstat/komoditiutama/8-Kelapa%20Sawit>. [Accessed November 26, 2010]
- Monition,L,. Le Nir,M,. Roux,J. 1984 “MicroHydroelectric Power Stations”, A Willey- Interscience Publication, John Willey and Sons, Singapore Page 72-73
- Novak, P, 2005,”Developments in Hydraulic Engineering”, Elsevier Applied Science London and New York, halaman 5.
- Ocean Tides, 2010,. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8r.html>
- Peraturan Presiden No:5 Tahun 2006
- Petrich,Carl H, 1993 ”Indonesia and Global Climate Change Negotiations”, Global Environmental Change Journal, page 53 – 74.
- Pidato Kenegaraan Presiden Republik Indonesia, Tahun 2007
- Ponta,FL; Jacovkis,P.M, 2008 “Marine-current Power Generation by Diffuser-augmented Floating hydro-turbines, Renewable Energy Journal, Volume 33, halaman 665-673.
- Rourke,Fergal O *et al* ,2010,. “Tidal Energy Update 2009”, Applied Energy Elsevier Journal, page 398 – 409.
- Russell, Randy (16 May 2007). "The Greenhouse Effect & Greenhouse Gases". University Corporation for Atmospheric Research Windows to the Universe. Retrieved 27 December 2009.
- Satker SIRASS, Departemen PU 2005, Laporan Ahir Studi Pemantapan Operasi dan Pemeliharaan Daerah Rawa di Propinsi Sumatera Selatan. Kegiatan Pembinaan dan Perencanaan Satuan Kerja Sementara Irigasi dan Rawa Andalan Sumatera Selatan
- Schmidt, Gavin (6 April 2005). "Water vapour: feedback or forcing?". RealClimate. Retrieved, 21 April 2009.
- Shaw, TL, 1994 “Wave and Tidal Energy”, Energy II, The potential of Renewable energy, Book of Abstracts, AEGEE, Delft, 29 April.
- Siaran Pers Kementerian ESDM – RI, Nomor: 38/HUMAS KESDM/2010, ”Kunjungan Kerja Menteri ESDM Ke PLTH Cikatomas”, Tanggal 28 Juli 2010.
- Smits, M.,Bush S. R.,2010. A light left in the dark: The practice and politics of pico-hydropower in the Lao PDR, Elsevier Journal.
- Srenberg.R, 2008, “Hydropower:Dimensions of social and environmental

- coexistence” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier Jpurnal, page 1588-1621.
- Sularso;Kiyokatsu Suga, 2005, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen mesin, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Supriharyono, 2000 “Pelestarian dan Pengelolaan SDA Di Wilayah Pesisir Tropis” PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2000.
- Suryadi, F.X., P.H.J. Hollanders and R.H. Susanto, 2010, Mathematical Modelling on The Operation of Water Control Structures in a Secondary Block, Case Study: Delta Saleh, South Sumatra, Hosted by the Canadian Society for Bioengineering (CSBE/SCGAB), Quebec City, Canada, June 13-17 , 2010.
- Tidal Power, 2010,. Cause 2003 Final Project, Pete Clark, Rebecca Closner, Lawren Cologe, <http://www.ems.psu.edu/Nelsworth/courses/cause2003/finalprojects/canutepresentation.pdf>
- United States – Environment Protection Agency, “Health and Environment Effects of Ozone Layer Depletion”. 14 January 2011, <http://www.epa.gov/ozone/science/effects/index.html>
- Weart, Spencer (2008). "The Carbon Dioxide Greenhouse Effect". *The Discovery of Global Warming*. American Institute of Physics. Retrieved 21 April 2009.
- Zahnd, A. and Kimber H.M. 2009. Benefits from Renewable Energy Village Electrification System. Renewable Energy Journal of Elsevier, 34: 362-368

