

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK PASANG SURUT AIR LAUT

Ferry Johnny Sangari

Abstrak: Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan rancangan pembangkit listrik pasang surut air laut di Mangatasik Minahasa. Data didapat melalui pengamatan dan pengukuran menggunakan GPS, serta dianalisis menggunakan program komputer. Selanjutnya, hasil analisis digunakan untuk merancang pembangkit listrik. Hasil penelitian menunjukkan potensi gelombang pasang surut di Sulawesi Utara mempunyai tinggi maksimum 207,68 cm. Gelombang pasang surut ini memiliki potensi energi listrik mencapai 85,57 kilo Joule dan daya listrik 30,38 kilo Watt. Rancangan dam/bendungan menggunakan buis beton yang diisi dengan sirtu padat dan ditutup dengan campuran beton dan dilengkapi dengan 3 pintu air. Rancangan turbin air menggunakan model turbin propeller tipe *undershot* dan terbuat dari bahan *fiberglass* atau baja tahan karat.

Kata-kata kunci: pembangkit listrik pasang surut, turbin model propeller

Abstract: *Designing a Tidal Power Plant in Mangatasik Minahasa. This research aims to design a tidal powerplant in Mangatasik Minahasa. Data is collected through observations and measurements using GPS, and analyzed using a computer program. Then, the analysis of data is used to design a tidal power plant. The results show that the potential tidal wave in North Sulawesi has a maximum height of 207.68 cm. This tidal wave has a potential electrical energy of 85.57 kilo Joule and potential electrical power of 30.38 kilo Watt. The dam is designed using concrete buis filled with gravel and covered with a mixture of concrete and equipped with a three water gate. The water turbin is designed using a propeller turbine model type of undershot and made from fiberglass or stainless steel material.*

Keywords: *tidal power plant, propeller turbine model*

Krisis energi merupakan masalah yang sangat fundamental di Indonesia, khususnya masalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan bagi manusia modern. Tidak bisa dibayangkan pada peristiwa tersebut

apa yang terjadi kalau tiba-tiba listrik padam, maka semua kegiatan yang terkait dengan listrik dapat terhenti seketika. Di Sulawesi Utara krisis ini lebih terasa, karena PLN sebagai pemasok energi listrik sering dilakukan secara bergiliran

Ferry Johnny Sangari adalah Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado. Alamat Kampus: Kampus UNIMA Tondano. E-mail: ferry_sangari@yahoo.com.

pemadaman listrik pada berbagai wilayah/tempat, dikarenakan ketidakmampuan daya yang tersedia lebih kecil dari pada kebutuhan beban puncak.

Sampai saat ini di Sulawesi Utara hanya memanfaatkan tenaga air, mesin diesel, dan panas bumi sebagai pembangkit listrik utama. Beberapa pembangkit listrik yang ada diantaranya: PLTA Tonsealama, PLTA Tanggari I, PLTA Tanggari II, PLTD Bitung, PLTD Kotamobagu, dan PLTP Lahendong. Namun dari beberapa pembangkit yang ada kadangkala tidak semuanya beroperasi, karena ada kerusakan atau perbaikan tahunan.

Suatu inovasi baru dengan cara memanfaatkan sumber energi alternatif yang sampai sekarang belum dimanfaatkan sebagai solusi untuk mengatasi masalah ke-listrikan dikembangkan melalui penelitian ini. Salah satu sumber energi yang melimpah dan tidak akan pernah habis adalah energi lautan, diantaranya energi pasang surut, yang banyak ditemukan di wilayah perairan Indonesia.

Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya permukaan laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Demikian juga menurut Dronkers (1964) pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi, dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh, dan ukurannya lebih kecil.

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan kearah luar pusat rotasi. Gravitasi berbanding lurus dengan massa, tetapi berbanding terbalik dengan jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari pada mata-

hari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut. Hal ini karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari (Gross, 1990).

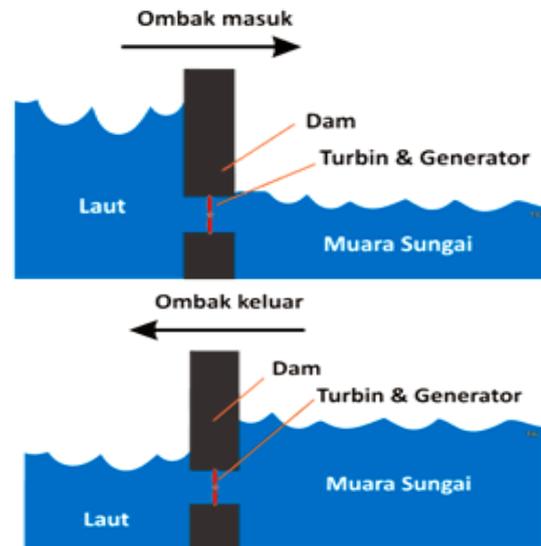
Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pasang surut berdasarkan teori kesetimbangan adalah rotasi bumi pada sumbunya, dan revolusi bulan terhadap matahari, revolusi bumi terhadap matahari. Sedangkan berdasarkan teori dinamis adalah kedalaman dan keluasan perairan, pengaruh rotasi bumi (*gaya coriolis*), dan gesekan dasar. Selain itu juga terdapat beberapa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasang surut disuatu perairan seperti, topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya, sehingga berbagai lokasi memiliki ciri pasang surut yang berlainan (Wyrski, 1961). Menurut Wyrski (1961), pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu: pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*), pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*), pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*), dan pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*)

Pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*) Merupakan pasang surut yang hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, ini terdapat di Selat Karimata. Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*) merupakan pasang surut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tingginya hampir sama dalam satu hari, ini terdapat di Selat Malaka hingga laut Andaman. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*) me-

rupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu, ini terdapat di Pantai Selatan Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat. Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*) merupakan pasang surut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda, ini terdapat di Pantai Selatan Jawa dan Indonesia Bagian Timur.

Pasang surut laut adalah gerak relatif dari materi suatu planet, bintang dan benda angkasa lainnya yang disebabkan gaya gravitasi benda angkasa dari luar materi itu berada, sehingga terjadi peristiwa naik turun permukaan air laut disertai gerakan horizontal massa air. Faktor-faktor non-Astronomis yang mempengaruhi tinggi gelombang pasang surut adalah kedalaman perairan dan keadaan meteorologi serta faktor hidrografis lainnya. Pasang surut tidak hanya fenomena naik turunnya air laut secara vertikal tetapi juga merupakan fenomena gerakan air laut secara horizontal (Haryono, dkk., 2007:10–11).

Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang relatif besar. Dalam sehari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Oleh karena waktu siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), maka suplai listriknya pun lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak. Prinsip dasar pembangkit listrik pasang surut adalah dinamika pergerakan turbin yang dipasang secara teknis pada pertemuan muara sungai dan laut, pemanfaatan energi potensial dari pasang ke surut dan sebaliknya dipakai menggerakkan turbin tersebut, yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Pembangkit Listrik Pasang Surut

Listrik tenaga pasang surut memiliki beberapa keunggulan. Diantaranya adalah bahwa tenaga pasang surut merupakan sumber energi terbarukan karena pasang surut di planet kita disebabkan oleh interaksi gaya gravitasi antara Bulan dan Matahari, serta rotasi bumi, yang berarti bahwa listrik tenaga pasang surut tidak akan habis.

Satu keunggulan besar yang dimiliki tenaga pasang surut dibandingkan beberapa sumber energi terbarukan lainnya (terutama energi angin) adalah bahwa tenaga pasang surut merupakan sumber energi yang sangat handal. Hal ini dapat dipahami karena kita bisa memprediksi kapan air pasang akan naik dan kemudian surut, karena pasang-surutnya air laut jauh lebih siklik daripada pola cuaca yang acak. Dan juga, listrik tenaga pasang surut tidak menghasilkan gas rumah kaca seperti bahan bakar fosil. Limbah berbahaya seperti ini juga dikhawatirkan terjadi pada penggunaan energi nuklir.

Waduk dan bendungan kecil yang diperlukan untuk memanfaatkan tenaga pasang surut juga dapat memainkan peran yang sangat penting dalam melindungi kota-kota terdekat atau pelabuhan dari gelombang berbahaya pada saat terjadi

badai. Listrik tenaga pasang surut merupakan sumber energi yang sangat efisien, dengan efisiensi 80,00%, ini berarti bahwa efisiensi energi pasang surut hampir tiga kali lebih besar dari batubara dan minyak bumi yang memiliki efisiensi 30,00%. Demikian juga secara signifikan lebih tinggi dari efisiensi energi surya dan angin.

Kelemahan utama energi pasang surut adalah pembangkit listrik pasang surut sangat mahal untuk dibangun. Listrik tenaga pasang surut jika dibandingkan dengan pembangunan listrik pembangkit/bahan bakar fosil biayanya lebih mahal. Namun begitu, pembangkit listrik pasang surut dibangun hanya sekali dan biaya pemeliharaannya relatif rendah.

Begitu pula di kehidupan nyata, energi pasang surut hanya dapat dilakukan di pantai dengan diferensial pasang surut yang baik, artinya tidak banyak lokasi yang benar-benar cocok untuk jenis pembangkit listrik tenaga pasang surut, dan hanya menghasilkan listrik selama ada gelombang pasang yang merata terjadi sekitar 10 jam setiap hari (Sumotarto, 2012).

Bila tinggi jatuh air, yaitu selisih antara tinggi air laut dan tinggi air waduk pasang surut adalah H dan debit air Q, maka besar daya yang akan dihasilkan adalah Q kali H atau QH. Bila selanjutnya luas waduk pada ketinggian h adalah S(h), yaitu S sebagai fungsi h, maka jumlah energi yang dibangkitkan dengan mengosongkan sebagian dh dari ketinggian h adalah berbanding lurus dengan volume S(h).h.dh. Dengan demikian maka energi yang dihasilkan per siklus berbanding lurus dengan waktu mengosongkan waduk (persamaan 1) dan waktu mengisi waduk (persamaan 2).

$$\int_0^H S(h).h.dh \triangleq E_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$\int_0^H S(h).(H-h).dh \triangleq E_2 \dots \dots (2)$$

Dalam hal tersebut diasumsikan bahwa pengisian atau pengosongan waduk dilakukan pada pergantian pasang dan surut, untuk mendapatkan penyederhanaan rumus. Dengan demikian maka energi yang dibangkitkan per siklus berjumlah E, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan 3.

$$E = E_1 + E_2 \triangleq H \int_0^H S(h) = dh = H.V \quad (3)$$

dengan pengertian: E = energi yang dibangkitkan per siklus, H = selisih tinggi permukaan air laut antara pasang surut, dan V = volume waduk pasang surut.

Upaya untuk mendapatkan besaran energi, pada persamaan 1, 2, dan 3 besaran V masih perlu diganti dengan besaran massa air laut, sehingga dapat ditulis sebagaimana persamaan 4.

$$E_{maks} = b g H^2 S \dots \dots \dots (4)$$

$$P = f Q H$$

dengan pengertian: E_{maks} = jumlah energi yang maksimal dapat diperoleh per siklus, b = berat jenis air laut, g = gravitasi, H = tinggi pasang surut terbesar, S = luas waduk merata antara pasang dan surut, Q = debit air, F = faktor efisiensi, dan P = daya.

Oleh karena besaran H terdapat dalam pangkat dua, maka tinggi pasang surut ini merupakan variabel yang sangat penting. Pada umumnya H yang kurang dari dua meter tidak diperhatikan karena dianggap tidak cukup memenuhi syarat/efisiensi.

Dalam penelitian ini yang menjadi kajian adalah energi pasang surut laut dikonversi menjadi energi listrik. Pasokan energi yang terbatas tentunya akan menghambat laju pertumbuhan industri di suatu daerah. Dengan teratasinya masalah energi listrik di Sulawesi Utara, diharapkan provinsi ini dapat lebih berkembang, terutama dalam aspek industri dan perdagangan. Lebih jauh setelah industri maju, diharapkan taraf hidup masyarakat di

daerah ini akan lebih meningkat. Tujuan penelitian adalah untuk menghasilkan rancangan pembangkit listrik pasang surut air laut di Mangatasik Minahasa.

METODE

Metode yang dipakai adalah penelitian lapangan yang didasarkan pada data pengamatan dan pengukuran di lapangan pada daerah pesisir pantai yang menjadi lokasi penelitian. Data lokasi dibuat melalui pengukuran dengan alat GPS dan lain-lain kemudian dimasukkan dalam program komputer yang menghasilkan peta lokasi. Data pasang surut laut diambil melalui pengamatan setiap jam dengan memasang bak ukur selama 15 hari. Kemudian data hasil pengamatan dimasukkan dalam program komputer untuk memperoleh tabel perhitungan dari nilai pasang tertinggi dan terendah. Berdasarkan data pengamatan dan pengukuran dibuat rancangan dam/bendungan dan pintu air, serta rancangan turbin dan generator.

HASIL

Hasil pengamatan dan pengukuran antara lain dengan alat GPS (*Global Positioning System*) seperti pada Gambar 2.

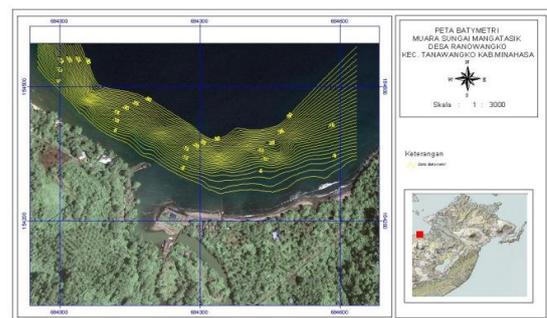


Gambar 2. Pengukuran dengan Alat GPS

Lokasi penelitian berada di jalan raya antara Tanawangko-Poopoh dengan jarak dari Tanawangko kurang lebih 1 km. Kondisi topografi memiliki kemiringan tanah antara 24° sampai 80° dan

berada tepat di muara sungai Mangatasik dengan lebar muara sungai 60 meter. Lokasi muara terletak kurang lebih 30 meter dari jalan raya, sehingga mudah diakses untuk pembangunan konstruksi dam. Pada musim angin utara, tinggi gelombang sekitar 1–2 meter, sedangkan pada musim angin barat dan selatan, relatif terlindung dari hantaman ombak. Sementara pada musim angin timur, tinggi gelombang sekitar 1–1,5 meter.

Lokasi ini merupakan salah satu objek wisata pantai di Kabupaten Minahasa, yang banyak dikunjungi oleh turis lokal untuk melakukan kegiatan ibadah pantai, perkemahan, mandi dan rekreasi lainnya. Gambar peta lokasi seperti terlihat pada Gambar 3. Sedangkan foto lokasi dilihat dari laut terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Peta Lokasi



Gambar 4. Foto Lokasi Dilihat dari Laut

Pengamatan dan pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari, mulai dari tanggal 6 Agustus 2010 sampai dengan tanggal 20 Agustus 2010. Pengukuran dilakukan dengan memasang bak ukur didalam air kemudian diamati dan dicatat setiap jam selama 24 jam sehari. Peng-

amatan dilakukan oleh dua orang secara bergantian baik siang maupun malam. Data pengamatan secara lengkap diinputkan pada program komputer untuk mendapatkan data hasil perhitungan untuk mengetahui nilai pasang tertinggi dan terendah, seperti pada Gambar 5.

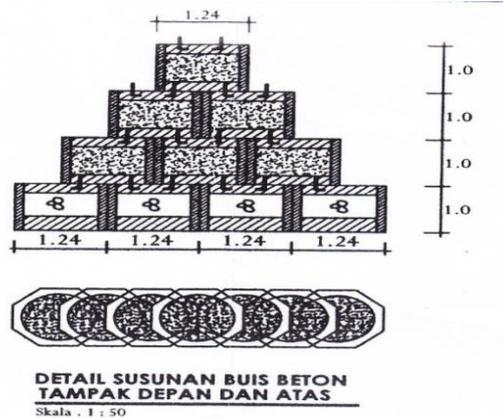


Gambar 5. Pengukuran Tinggi Pasang Surut

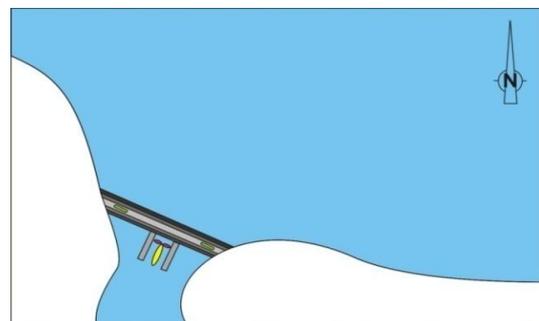
Perancangan bendungan didasarkan pada lebar muara dan kedalaman air pasang surut laut dan kecepatan aliran air di muara sungai serta data topografi lokasi penelitian. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengumpulan data lapangan diperoleh data sebagai berikut: (1) lebar muara sungai 60 m, (2) air pasang surut tertinggi 207,68 cm, (3) kecepatan aliran air di muara 2 m/detik, dan (4) kemiringan permukaan tanah antara $24^{\circ} - 80^{\circ}$.

Volume air yang dapat ditampung adalah $60 \times 2,07 \times 50 \times 1 \text{ m}^3 = 6,510 \text{ m}^3$. Guna menampung volume air tersebut digunakan dam dengan sistem kaison yaitu menggunakan bus beton dengan ukuran $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ yang disusun seperti gambar detail secara horizontal dan vertikal. Setiap bus beton diisi dengan sirtu padat dan ditutup dengan campuran beton 1:2:3 sebagai perekat konstruksi, yang dapat dilihat pada Gambar 6. Bendungan ini dilengkapi dengan 3 buah pintu air yaitu 2 pintu air masuk yang terletak dibagian samping dan 1 pintu air keluar di bagian tengah. Secara lengkap rancangan bendungan dapat dilihat pada Gambar 7.

Perancangan turbin didasarkan pada perilaku fluida cair yang meliputi teori



Gambar 6. Detail Rancangan Bendungan

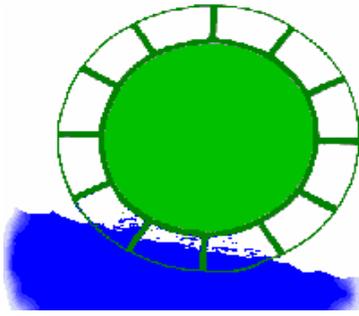


Gambar 7. Rancangan Dam Pembangkit Pasang Surut di Muara Sungai Mangatasik

hidrosttika dan hidrodinamika. Besaran fluida yang terlibat dalam perhitungan turbin air adalah tekanan, massa jenis, dan viskositas. Viskositas terbagi atas 2 jenis yaitu: viskositas kinematik (ν) dan viskositas absolut/dinamik (μ). Teori hidrostatika seperti distribusi tekanan dan gradien tekanan benda dalam air, gaya hidrostatika pada permukaan bidang datar atau permukaan yang tidak datar, serta gaya apung banyak diterapkan pada konstruksi statis dari turbin air seperti bendungan, pintu air dan konstruksi sejenis lainnya. Turbin air dan bagian yang bergerak menggunakan teori hidrodinamika, untuk aliran tunak menggunakan persamaan kontinuitas yang diturunkan dari hukum konservasi massa, untuk penghitungan fluida tak kompresibel aliran satu dimensi menggunakan persamaan 5.

$$G = \rho \cdot A \cdot v = \text{konstan} \dots \dots \dots (5)$$

Dalam kaitan dengan penelitian ini untuk beda tinggi yang kurang dari 35 m dengan arah aliran yang searah dengan arah poros turbin lebih cocok digunakan turbin jenis *propeller* dengan sudu gerak 8 buah yang bersifat tetap. Dibandingkan jenis turbin lain turbin *propeller* lebih murah dan efisien. Adapun konstruksi dari turbin jenis *propeller* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Turbin Air Propeller Tipe Undershot

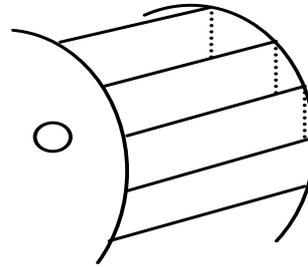
(<http://osv.org/education/WaterPower>)

Turbin air *propeller* tipe *undershot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari turbin air. Turbin air tipe *undershot* tidak mempunyai tambahan keuntungan dari *head*. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Di sini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir. Bentuk detail pembuatan turbin seperti Gambar 9.

Bentuk sudu adalah model lengkung dengan penampang lebar 30 cm dan panjang 50 cm dan tebal tergantung jenis bahan apakah *fiberglass* atau baja tahan karat, bila dari baja maka tebal 2 mm dan bila dari *fiberglass* tebal 5 mm. Dengan diameter turbin satu meter maka jumlah sudu lengkung sebanyak 15 buah.

Material untuk turbin harus dibuat dari bahan yang tahan terhadap air laut misalnya dari bahan *fiberglass* atau dari baja tahan karat. Agar supaya turbin dapat tahan lama. Jenis dan ukuran genera-

tor yang akan digunakan disesuaikan dengan besarnya putaran turbin dan debit air sesuai rancangan.



Gambar 9. Detail Turbin Model Propeller

Perhitungan Energi dan Daya Listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Jumlah energi yang dibangkitkan persiklus, seperti pada persamaan (6) dan (7).

$$E = E_1 + E_2 \triangleq H \int_0^H S(h) = dh = H.V \dots (6)$$

Dengan pengertian: E = energi yang dibangkitkan per siklus, H = selisih tinggi permukaan antara pasang surut, dan V = volume waduk pasang surut.

$$E_{maks} = b g H^2 S \dots \dots \dots (7)$$

$$\begin{aligned} E_{maks} &= 1,03 \times 9,8 \times (2,07)^2 \times (60 \times 30) \\ &= 85556,94588 \text{ Joule} \\ &= 85,57 \text{ k Joule} \end{aligned}$$

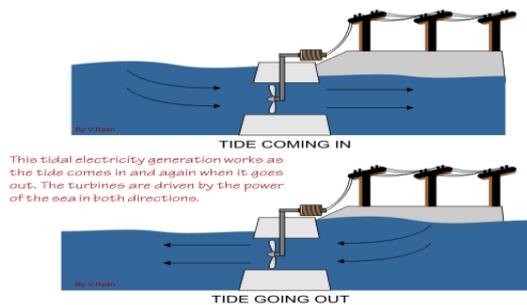
Jadi besar energi maksimum yang dapat dibangkitkan persiklus adalah 85,56 k Joule.

Perhitungan daya listrik dijelaskan menggunakan persamaan 8.

$$P = f Q H \dots \dots \dots (8)$$

Di mana: E_{maks} = jumlah energy yang maksimal per siklus, b: berat jenis air laut = 1,03, g: gravitasi = 9,8, H: tinggi pasang surut terbesar = 2,17 m, S: luas waduk rerata: 60 x 30 m = 1800 m², Q : debit air = 20 m³/detik, f : faktor efisiensi = 0,70 – 0,80, dan P = daya dalam kW, maka besarnya daya yang dibangkitkan: P = 0,7 x 20 x 2,17 = 30,38 kWatt.

Gambar 10 menunjukkan proses terjadinya pasang surut di mana turbin berputar yang dikopel secara langsung dengan generator, sehingga bila turbin berputar, maka generator akan membangkitkan listrik yang disalurkan melalui jaringan.



Gambar 10. Contoh Pembangkit Pasang Surut

PEMBAHASAN

Dari hasil analisis data tentang lokasi penelitian maka di muara sungai Mangatasik Minahasa dapat dibangun pembangkit listrik pasang surut karena untuk membangun dam lokasinya hanya sekitar 30 meter dari jalan raya, sehingga untuk pengadaan material bangunan dam tidak menyulitkan. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dengan penduduk sekitar, air yang mengalir pada sungai Mangatasik bersifat kontinu artinya tidak pernah mengalami kekeringan.

Selanjutnya, dengan dibangunnya pembangkit listrik pasang surut dapat memberikan energi listrik bagi beberapa pengusaha yang ada di sekitar lokasi tersebut seperti PT Minahasa Lagoon yang bergerak dibidang *diving* dan *cottage*. Juga ada pengusaha restoran di sekitar lokasi yang selama ini menggunakan genset sebagai pembangkit listrik untuk memperoleh penerangan dan kebutuhan listrik lainnya. Selain itu dapat mengundang pengusaha lainnya datang ke daerah tersebut.

Dari hasil analisis data tentang pasang surut menunjukkan bahwa nilai pa-

sang tertinggi sebesar 207,68 cm atau 2,08 m dan terendah adalah 19,21 cm. Dengan nilai pasang surut tertinggi tersebut, sesuai dengan teori dapat dibangun pembangkit listrik pasang surut dengan besar daya listrik sesuai dengan hasil perhitungan = 30,38 KWatt.

Pembangkit listrik tenaga pasang surut Kislaya Guba direncanakan sejak tahun 1966 dan mulai beroperasi sejak tahun 1968. Pembangkit listrik pasang surut Kislaya Guba memanfaatkan perbedaan tinggi pasang surut air laut rerata sebesar 2,3 m. Luas kolam penampung air yang digunakan adalah 1,1 km². Kapasitas yang terpasang pada pembangkit listrik ini adalah 0,4 MWatt. (Dandekar dan Sharma, 1991).

Dari hasil perhitungan jumlah energi dan daya listrik yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan daya listrik di lokasi tersebut baik bagi pengusaha ataupun bila ada masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi yang dimaksud. Di sekitar lokasi rencana pembuatan pembangkit pasang surut tidak ada masyarakat yang bermukim, hanya ada pedagang musiman yang berjualan pada saat banyak pengunjung yang datang di lokasi wisata itu.

Konversi energi pasang surut menjadi energi listrik diperlukan waduk/dam penampung air (Haryono, dkk., 2007). Waduk ini dapat dibuat di muara sungai Mangatasik. Konstruksi dam yang dirancang menggunakan sistem Kaison dengan menggunakan buis beton yang diisi dengan sirtu padat dan ditutup dengan campuran beton. Jenis konstruksi ini dipilih karena sering digunakan dalam pembuatan beton penangkal ombak. Panjang dam kurang lebih 60 meter dengan 3 buah pintu air yang dilengkapi dengan pelimpahan banjir. Pintu air menggunakan sistem putar menutup dan membuka pintu.

Dari hasil rancangan turbin air, maka akan digunakan turbin air model *Propeller tipe undershot* yang sesuai dengan

beda tinggi yang rendah dan debit air yang sedikit (Majari Magazine.com, 2008). Apabila waduk telah dibuat maka turbin ini akan dipasang pada salah satu pintu air dam. Material turbin menggunakan bahan dari *Fiberglass* atau baja tahan karat karena air yang digunakan untuk memutar turbin adalah campuran air laut dan air tawar.

Dalam uji coba pembangkit listrik digunakan turbin dengan rangka besi dan sudu dari papan dengan dudukan turbin terbuat balok kayu seperti Gambar 11.



Gambar 11. Ujicoba Pembangkit Listrik

Pelaksanaan ujicoba pada salah satu muara sungai kecil seperti Gambar 11 dengan memanfaatkan aliran sungai dan waduk alami, yaitu menutup sebagian muara sungai dengan karung berisi pasir. Selanjutnya uji coba dilakukan dengan dua jenis generator yaitu yang daya listrik besar 2000 Watt dan daya listrik kecil 500 Watt. Demikian juga dalam uji coba tersebut, yang pertama dilakukan dengan hanya satu *belt* sebagai transmisi putaran dan kedua dengan menggunakan 3 buah *belt* untuk transmisi putaran, yaitu untuk merubah putaran lebih cepat. Berdasarkan hasil uji coba *prototype* pembangkit diperoleh hasil sebagai berikut.

Generator dengan daya listrik besar 2000 Watt, keluaran tegangan dari generator seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan generator dengan daya listrik kecil 500 Watt, keluaran tegangan dari generator seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Keluaran Tegangan dari Generator 2000 Watt

No.	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Keterangan
1	80	20	2 pulley
2	240	60	4 pulley

Tabel 2. Keluaran Tegangan dari Generator 500 Watt

No.	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Keterangan
1.	80	20	2 pulley
2.	240	60	4 pulley

Dari hasil uji coba *prototype* pembangkit, hasil yang diharapkan belum tercapai karena kami kesulitan mencari generator yang putarannya sesuai dengan putaran turbin. Generator yang digunakan dalam ujin coba putarannya 1.000 rpm dan 1.500 rpm. Sedangkan putaran turbin hanya 80 rpm dan 240 rpm. Seharusnya tegangan listrik yang diinginkan sebesar 220 volt, tapi yang dihasilkan seperti pada Tabel 1 dan 2. Direncanakan pada penelitian lanjutan akan dibuat *prototype* model turbin yang lebih baik dan menggunakan generator dengan putaran rendah, sehingga dapat dihasilkan tegangan listrik sesuai dengan perancangan.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian rancangan pembangkit listrik energi pasang surut air laut di Sulawesi Utara dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. *Pertama*, energi pasang surut dapat dimanfaatkan dengan membangun bangunan waduk dengan kanal *outlet/inlet* yang dilengkapi dengan turbin dan generator pembangkit listrik. Waduk dikosongkan atau diisi dalam waktu satu atau kurang dari satu jam untuk mengantisipasi usainya saat puncak pasang atau puncak surut. *Kedua*, pembangunan wa-

duk (bendungan) pembangkit listrik tenaga pasang surut seluas 1.800 m² di muara sungai Mangatasik, bisa menghasilkan energi 85,56 kilo Joule tiap terjadi pasang surut dan daya listrik sebesar 30,38 kilo Watt. Jumlah ini sangat potensial untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga nantinya dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Mangatasik Minahasa dan sekitarnya. *Ketiga*, keuntungan menggunakan pembangkit listrik energi pasang surut antara lain karena energi ini tidak pernah habis, tidak menimbulkan polusi, mudah untuk mengkonversi energi listrik dari energi mekanik pada ombak, memiliki *intensitas energi kinetik* yang besar dibandingkan dengan energi terbarukan yang lain, dan tidak perlu perancangan struktur yang kekuatannya berlebihan. Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya dapat dihitung secara lebih rinci setiap detail rancangan termasuk biaya/RAB yang dibutuhkan.

DAFTAR RUJUKAN

Dandekar, M.M. & Sharma, K.N. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Pasang*

Surut. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Dronkers, J.J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Gross, M.G. 1990. *Oceanography; A View of Earth* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff. New Jersey.

Haryono, A., Gunawan, S., dan Hansen, M. 2007. Potensi Tenaga Pasang Surut sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Model Waduk Penampung Air di Bengkulu. *Jurnal Sains dan teknologi Indonesia BPPT/ANY*, 5 (5).

Majari Magazine.Com, 13 Januari 2008.

Pariwono, J.I. 1989. *Gaya Penggerak Pasang Surut, dalam Pasang Surut*. Ed. Ongkosongo, O.S.R. dan Suyarso. Jakarta:P3O-LIPI.

Sumotarto, U. 2012. Pemanfaatan Energi Pasang Surut. *Jurnal Sains dan Teknologi BPPT*, 5 (5): 11.

Wyrski, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters*. Naga Report Vol. 2 Scripps, Institute Oceanography, California.