

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi global semakin mendorong pencarian sumber energi alternatif yang tidak berpacu kepada eksploitasi sumber daya alam dengan cara konvensional. Sumber daya dari tenaga uap, tenaga disel, dan tenaga nuklir merupakan sumber daya yang akan habis pada suatu waktu tertentu. Maka dari itu, perlunya mengelola sumber daya yang terbarukan seperti tenaga pasang surut air laut, tenaga panas matahari, tenaga panas bumi, tenaga angin, dan medan hidrodinamika untuk dikelola menjadi sumber daya demi menghemat sumber daya yang tidak terbarukan sehingga penggunaan sumber daya tidak terbarukan akan lebih lama penggunaannya

Perancis merupakan negara yang menggunakan tenaga pasang surut air laut sebagai pembangkit listrik sejak tahun 1991. Energi yang dihasilkan cukup besar berkisar 240 MW, pembangkit listrik di *Kuala Rance* seperti di Saint Maro dan *Dinard, Brittny* ((Dandekar & Sharma., 1991). Indonesia mempunyai potensi yang besar untuk tenaga pasang surut air laut, mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan yang dikelilingi oleh lautan, dua lautan yang mengelilingi Indonesia yaitu samudra Hindia dan samudra Pasifik.

Mengelola tenaga pasang surut menjadi tenaga pembangkit listrik merupakan sesuatu yang sangat berpotensi melihat hampir wilayah 60% dari total luas wilayah Indonesia merupakan lautan. Jumlah wilayah Indonesia sebesar 1.929.317 km², dengan luas lautan sekitar 1.157.590,20 km². Garis Pantai yang membentang dari barat ke timur sepanjang 5.150 Km, sedangkan garis Pantai yang membentang dari utara ke selatan sepanjang 1.930 Km (Cristian Tobing, 2001).

Meningkatkan kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari, membuat sebagian besar masyarakat Indonesia menggunakan energi yang konvensional. Energi yang konvensional merupakan energi yang tidak terbarukan (*unrenewable*). Oleh karena itu, jika digunakan terus-menerus maka akan habis seperti minyak bumi. Selain itu, juga berdampak pada krisis lingkungan hidup karena tidak dapat diperbaharui. Energi pasang surut menjadi alternatif yang dapat dimanfaatkan yang memiliki energi yang potensial berada dalam setiap aliran air (Manuaba dkk., 2008).

Energi listrik adalah kebutuhan pokok masyarakat sehari-hari dan menjadi penunjang di semua aspek kehidupan masyarakat, seiring berjalannya waktu dan berkembangnya teknologi, ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik semakin tinggi. Sedangkan sumber energi listrik di Indonesia selama ini banyak menggunakan hasil konversi dari energi fosil seperti Batubara, gas, minyak bumi sebagai sumber energi utamanya. Sebagaimana diketahui, bahwa persediaan sumber energi fosil semakin menipis, sehingga semakin lama semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui lagi (Supian dkk., 2015). Penggunaan energi pasang surut di Indonesia sangatlah potensial. Selain, mempunyai lautan yang luas, energi pasang surut juga tidak menimbulkan pencemaran (*pollution-free*) sehingga perlu

adanya pengembangan dan pemanfaatan energi pasang surut untuk menunjang pembangunan ekonomi juga meminimalisir kerusakan lingkungan (Sumartarto, 2012). Indonesia yang berada di lintang khatulistiwa menjadikan kondisi pasang surut angin, gelombang dan arus laut cukup besar. Selain itu, Indonesia juga memiliki panjang pantai kurang lebih 80.000 KM, di beberapa lokasi mempunyai perbedaan yang signifikan antara tinggi pasang dan surut air laut yang cukup besar, terutama perairan yang berada di area provinsi Papua atau yang berhadapan dengan laut Arafura, area Kepulauan Sumatra dan di beberapa tempat di Indonesia tentunya.

Penelitian mengenai tenaga pasang surut untuk pembangkit listrik telah dilakukan di berbagai negara seperti Prancis, Rusia, Amerika Serikat dan Kanada sejak tahun 1920. Sejauh ini penelitian yang dilakukan oleh negara tersebut telah menghasilkan pembangkit listrik tenaga pasang surut yang cukup besar (Endang Tantrawati, 2007). Maka dari itu, penerapan pembangkit listrik terbarukan ini bisa dilakukan di Indonesia mengingat wilayah pesisir yang sangat panjang dan juga potensi energinya. Berdasarkan hal tersebut penulis ingin melakukan sebuah penelitian dengan judul **“Analisis Daya Pasang Surut Tipe Harian Tunggal”**. Penelitian ini hendak menggambarkan pola dan besaran daya yang dimiliki oleh tenaga pasang surut yang digunakan sebagai tenaga pembangkit listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat diuraikan dalam rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengestimasi daya pasang surut condong harian tunggal yang bisa dimanfaatkan
2. Bagaimana pola dan besaran daya pasang surut yang bisa dimanfaatkan

1.3 Tujuan dan Manfaat

Setelah dirumuskan permasalahan yang ada pada latar belakang maka tujuan dari penelitian adalah:

1. Dapat mengestimasi daya pasang surut tipe condong harian tunggal yang bisa dimanfaatkan.
2. Untuk mengetahui pola dan besaran daya pasang surut yang bisa dimanfaatkan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat dijadikan referensi dalam pemberian informasi yang efektif, efisien, dan berkelanjutan dalam menentukan kecepatan aliran dalam kehidupan sehari-hari..

1.4 Ruang Lingkup

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar penelitian terarah dan lingkup masalah tidak terlalu meluas. Maka, diperlukan suatu pembatasan masalah. Oleh karena itu, penelitian ini terbatas pada hal-hal berikut:

1. Menggunakan air tawar untuk pengujian laboratorium
2. Menggunakan model dengan skala 1 : 100
3. Dalam model laboratorium hanya menggunakan model pasang surut diurnal

1.5 Penelitian terdahulu

Beberapa hasil riset dari luar dan dalam negeri dapat ditemukan melalui artikel-artikel dalam jurnal internasional. Perancis pada tahun 1968 telah berhasil membangun pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga pasang surut air laut, energi yang dibangkitkan dari pembangkit listrik ini cukup besar yaitu mencapai 240 MW, pembangkit listrik ini tepatnya berada di Kuala Rance yaitu antara Saint Maro dan DINARD, Brittany, Perancis. Sejak tahun 1980 (L.S. Blunden, & Bahaj, A. S., 2007). Pembangkit listrik tenaga pasang surut Jiangxia telah beroperasi dengan luas 1,4 km², kolam penampung air yang digunakan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 3,9 MW. dengan perbedaan tinggi pasang surut rata-rata 5,08 meter (Google Answers, 2004) pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut Jiagxia di Cina juga memiliki beberapa stasiun pembangkit listrik pasang surut air laut lainnya, tetapi masing-masing memiliki kapasitas yang lebih kecil (Google Answers, 2004). Membahas tentang potensi energi kinetik yang bisa dihasilkan dari aliran pasang surut di lokasi-lokasi tertentu. Seperti, Selat Pentland. Menunjukkan bahwa energi arus pasang surut dapat menghasilkan energi dalam jumlah besar, dengan kapasitas yang dapat diprediksi secara akurat dibandingkan energi angin atau matahari. Penelitian global mengenai potensi energi pasang surut terus berkembang pada dekade 2010-an. (Neill dkk., 2018), melakukan pemetaan potensi energi pasang surut di seluruh dunia, menunjukkan bahwa wilayah dengan selisih pasang surut yang besar, seperti Kanada (Teluk Fundy), Inggris (Selat Pentland), dan Korea Selatan, memiliki potensi yang sangat besar untuk pengembangan anergi pasang surut.

Di Indonesia, penelitian mengenai pasang surut telah dilakukan di beberapa wilayah. Pembangkit listrik tenaga pasang surut sistem daur ganda dengan kolam tunggal di Sumatra, untuk mengetahui perkiraan besarnya energi listrik di kawasan tersebut (Endang Tantrawati, 2007). Melakukan kajian potensi energi pasang surut di kawasan Timur Indonesia, terutama di wilayah Nusa Tenggara Timur dan Papua, yang memiliki perbedaan pasang surut yang signifikan, penelitian ini menyoroti potensi besar energi terbarukan di wilayah-wilayah tersebut (R. Widiastuti dkk., 2005).

1.6 Tinjaun Klasifikasi Energi Samudra

Energi dan sumber daya mineral terutama terdiri dari sumber daya yang tidak dapat diperbaharui atau fosil, yang akan habis setelah digunakan. Namun, ada juga sumber daya energi yang dapat diperbaharui atau digunakan secara terus menerus sebagai energi terbarukan. Konversi gaya mekanik, gaya potensial, dan perbedaan suhu air laut menyebabkan energi kelautan (Salfauqi Nurman dkk., t.t.).

Potensi energi kelautan yang cukup tinggi diantara-Nya energi arus laut (ocean current power), energi ombak yang disebabkan oleh tujan tiupan angin (wave power), energi osmosis yang dihasilkan dari perbedaan tingkat salinitas (osmotic power), dan energi panas laut yang dihasilkan oleh perbedaan suhu antara permukaan laut dan dasar laut (Kari. Burman & Walker, 2009).

1.6.1 Energi Arus Laut

Arus adalah proses pergerakan massa air menuju keseimbangan yang menyebabkan perpindahan horizontal dan vertikal massa air. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Arus laut (sea current) adalah gerakan massa air laut dari satu tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping). Contoh-contoh gerakan itu seperti gaya coriolis, yaitu gaya yang membelok arah arus dari tenaga rotasi bumi. Pembelokan itu akan mengarah ke kanan di belahan bumi utara dan mengarah ke kiri di belahan bumi selatan. Gaya ini yang mengakibatkan adanya aliran gyre yang searah jarum jam (ke kanan) pada belahan bumi utara dan berlawanan dengan arah jarum jam di belahan bumi selatan. Perubahan arah arus dari pengaruh angin (H. Sahala & Hutabarat, S. M. E., 2008). Beberapa faktor memengaruhi arus laut, termasuk arah angin, perbedaan tekanan air, perbedaan densitas air, arus permukaan, upwelling, dan downwelling. Arus laut juga didefinisikan sebagai pergerakan mengalir suatu massa air yang disebabkan oleh tiupan angin (Irawan dkk., 2018).

Laut memiliki dua tipe energi yaitu energi termal dari panas matahari dan energi mekanik dari pasang-surut dan gelombang. Lebih dari 70% bagian permukaan bumi adalah lautan, hal ini menjadikan lautan sebagai pengumpul sinar matahari terbesar di bumi. Matahari menghangatkan permukaan air lebih banyak dari pada di bagian laut yang lebih dalam, dan perbedaan temperatur ini menyimpan energi panas/termal. Energi termal ini dapat digunakan untuk banyak hal, termasuk sebagai pembangkit tenaga listrik. Ada tiga tipe sistem konversi yang biasa digunakan dalam pemanfaatan energi termal yaitu siklus tertutup, siklus terbuka dan hibrid (A. Setiawan, 2006).

Konversi energi termal lautan OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) adalah metode untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan perbedaan suhu yang ada di antara laut dalam dan perairan dekat permukaan. Seperti halnya mesin kalor, perbedaan suhu yang paling besar menghasilkan efisiensi dan energi yang paling banyak. Perbedaan suhu antara laut dalam dan perairan dekat permukaan umumnya meningkat seiring berjalannya waktu ke arah ekuator. Pada awalnya, masalah perancangan OTEC adalah menghasilkan energi yang paling banyak dengan perbedaan temperatur yang paling sedikit (Finney & Karen Anne, 2008).

Permukaan laut terus dipanaskan oleh sinar matahari, dan lautan menempati kurang lebih 70% permukaan Bumi. Dengan perbedaan temperatur ini, banyak energi matahari dapat diekstrak untuk digunakan oleh manusia. OTEC mampu menyediakan sumber energi terbarukan yang diperlukan untuk menutupi berbagai masalah energi. Jika hal ini dapat dilakukan dengan biaya murah dan dalam skala yang besar (Finney & Karen Anne, 2008).

Energi mekanik laut tidak sama dengan energi termal. Meskipun seluruh aktivitas laut dipengaruhi oleh matahari, gaya tarik gravitasi bulan adalah gaya pembangkit utama pasang surut laut dan gaya angin adalah gaya pembangkit utama gelombang laut. Bendungan biasanya digunakan untuk mengubah energi pasang

surut menjadi energi listrik dengan memaksa air melewati turbin dan menghidupkan generator. Untuk mengubah energi gelombang, ada tiga sistem dasar: sistem kanal yang menyalurkan gelombang ke dalam reservoir atau kolam, sistem pelampung yang menggerakkan pompa hidrolik, dan sistem osilasi kolam air yang menggunakan gelombang untuk menekan udara di dalam wadah. Ada kemungkinan bahwa tenaga mekanik yang dihasilkan oleh sistem-sistem tersebut akan mengaktifkan generator secara langsung, atau ia dapat ditransfer ke dalam fluida kerja, air, atau udara, yang selanjutnya akan digunakan sebagai fluida kerja (A. Setiawan, 2006).

1.6.2 Energi Pasang Surut

Energi pasang surut (Tidal Energy) merupakan energi yang terbarukan. Prinsip kerjanya sama dengan pembangkit listrik tenaga air, di mana air dimanfaatkan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik. Energi diperoleh dari pemanfaatan variasi permukaan laut terutama disebabkan oleh efek gravitasi bulan, dikombinasikan dengan rotasi bumi dengan menangkap energi yang terkandung dalam perpindahan massa air akibat pasang surut (rick, 2014). Energi pasang surut dihasilkan dari perbedaan ketinggian antara air laut pasang dan air laut surut sepanjang waktu, yang dipengaruhi oleh posisi relatif matahari, bulan, dan bumi. Pada kondisi tertentu, topografi dan kedalaman laut dapat berfungsi sebagai resonator atau konsentrator pasang surut, yang dapat mencapai tinggi 15 meter. Tidak kurang dari seratus tempat di seluruh dunia dianggap sesuai untuk membangun pembangkit energi pasang surut (Soepardjo, A. H., 2005).

Listrik tenaga pasang surut adalah salah satu teknologi yang sedang berkembang saat ini, yang memanfaatkan energi potensial kinetik dan gravitasi pada aliran pasang surut. Jika dibandingkan dengan sumber-sumber energi terbarukan lainnya, aliran pasang surut merupakan sumber energi yang relatif dapat diandalkan, pergerakan pasang surut dapat diprediksi secara akurat dalam arah, waktu dan besarnya (Sangari, t.t.). Jika dibandingkan dengan energi angin dan surya, energi tidal memiliki sejumlah keunggulan antara lain: energi listrik yang dihasilkan bisa dimanfaatkan secara gratis, tidak membutuhkan bahan bakar, tidak menimbulkan efek rumah kaca, produksi listrik stabil karena pasang surut air laut bisa diprediksi, lebih hemat ruang dan tidak membutuhkan teknologi konversi yang rumit. Tetapi energi pasang surut memiliki kelemahan diantaranya adalah membutuhkan alat konversi yang handal yang mampu bertahan dengan kondisi lingkungan laut yang keras yang disebabkan antara lain oleh tingginya tingkat korosi dan kuatnya arus laut (Sangari, t.t.).

1.6.3 Energi Osmosis

Ketika air tawar Sungai mengalir ke laut dan bercampur dengan air asin ada energi yang dilepaskan. Konsep ini telah diperkenalkan pertama kali oleh Patle pada tahun 1954 (T. Wanga dkk., 2012). Memanfaatkan energi osmosis ini bergantung pada proses osmosis alam, yang memungkinkan pohon mengisap air dari daunnya. Kemudian, prinsip ini diterapkan pada pembangkit listrik baru ini dengan menyalurkan air tawar dan air laut dengan kandungan garam tinggi ke bilik yang dipisahkan oleh membran buatan. Meskipun membran tipis itu dapat dilewati air,

molekul garam dalam air laut menarik air tawar menembus membran, meningkatkan tekanan pada bilik air laut. Hal ini disebabkan oleh aliran air dari konsentrasi garam yang lebih rendah ke konsentrasi yang lebih tinggi. Tekanan tangki air laut menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Bouquet et. Mengembangkan penggerak listrik tenaga osmosis pertama di dunia (M. Bouquet, 2013). Kini hampir semua negara yang berbatasan dengan laut dapat memanfaatkan energi osmosis ini. Karena, yang diperlukan hanyalah pertemuan air tawar dan air laut. Pembangkit energi osmosis dapat dilakukan asalkan ada sungai yang mengalir ke laut. Potensi energi osmosis global diperkirakan mencapai 1.700 terawat hour (TWh) per tahun, ini setara dengan separuh produksi energi uni Eropa atau sama dengan konsumsi listrik Cina pada tahun 2002 (M. Bouquet, 2013).

1.6.4 Energi Ombak

Energi ombak adalah energi yang dibawa oleh ombak pada permukaan laut dan energi tersebut ditangkap untuk melakukan pekerjaan yang bermanfaat misalnya pembangkit listrik, desalinasi air laut dan sebagai penggerak pompa air. Peralatan yang digunakan untuk merubah energi ombak disebut *wave energy converter (WEC)* yang sudah dikenal sejak abad ke-19 (Miller, 2004). Potensi energi ombak sangat besar dan sangat melimpah untuk di manfaatkan. Penelitian dalam bidang ini merupakan salah satu upaya untuk mendapatkan energi terbarukan yang murah dan tidak merusak lingkungan (Thomas, 2012).

1.7 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut (pasut) merupakan suatu gerakan vertikal dari seluruh partikel massa air laut dari permukaan sampai bagian terdalam dari dasar laut yang disebabkan pengaruh dari gaya tarik menarik antara bumi dan benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan. Pasut merupakan suatu fenomena gerakan naik turunnya muka laut yang disertai oleh adanya gerakan horizontal dari massa air laut secara periodik secara berirama karena adanya gaya tarik bulan dan matahari (A. Nontji, 2005). 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 (J.I. Pariwono, 1989). Pergerakan naik turun permukaan air laut yang berkala disebabkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi, terutama matahari, bumi, dan bulan. Karena benda angkasa lainnya lebih kecil dan jauh, pengaruh mereka dapat diabaikan (J.J. Dronkers, 1964).

Gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal menyebabkan pasang surut laut. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Meskipun gravitasi berbanding terbalik dengan jarak, ia berbanding lurus dengan massa. Gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar dari gaya tarik gravitasi matahari untuk menghasilkan pasang surut laut, meskipun bulan lebih dekat ke bumi. Akibatnya, gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari, menyebabkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut

gravitasional ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bulan (Gross, 1990).

Arus pasang surut, atau tidal *current*, adalah gerakan horizontal massa air laut ini. Teori pasut seimbang (*equilibrium tide*) dapat menjelaskan bagaimana tidal *current* terbentuk. Menurut teori pasut seimbang ini, laut dianggap menutup bumi sepenuhnya, dan laut menanggapi gaya tarik objek di langit dengan cepat. Gaya tarik bulan dan gaya sentrifugal adalah gaya terbaik untuk membentuk pasut. Dalam sistem bumi-bulan, gerakan yang paling penting adalah berevolusi mengelilingi sumbu bersamanya, bumi berotasi pada sumbunya, dan revolusi bulan mengelilingi bumi. Akibat revolusi bumi-bulan mengelilingi sumbu bersamanya, setiap titik di permukaan bumi mengalami gaya sentrifugal yang arahnya menjauhi revolusi (besarnya konstan di setiap titik). Gaya tarik bulan ini menuju bulan semakin dekat dengan titik di permukaan bumi (Abdulsamad, 2015).

Pasut tidak hanya mempengaruhi lapisan di bagian teratas saja melainkan seluruh massa air dan energinya sangat besar. Di perairan pantai terutama di teluk-teluk atau selat yang sempit, gerakan naik turunnya muka air menyebabkan terjadinya arus pasut, dan biasanya arah kurang lebih bolak balik (A. Nontji, 2005). Gaya pembangkit pasut dapat menimbulkan air tinggi pada dua lokasi dan air rendah pada dua lokasi. Apabila di tinjau sistem bumi-bulan yang berotasi pada sumbunya dalam periode 24 jam dan bulan berevolusi mengelilingi bumi dalam waktu 1 bulan, maka akan terlihat bahwa setiap tempat di bumi ini akan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi pasut yang relatif bervariasi dari waktu ke waktu. Orbit bulan mengelilingi bumi tidak paralel dengan ekuator bumi tetapi membentuk sudut 28° . Sudut ini disebut deklinasi bulan terhadap bidang ekuator bumi. Setiap bulan, bulan bergerak dari 28° U ke 28° S dan kembali lagi ke 28° U dalam pergerakannya mengelilingi bumi. Akibat deklinasi bulan terhadap bidang ekuator bumi ini, maka tinggi pasut dalam satu hari tidak sama atau disebut tidak samaan harian (*dually Inequality*).

Sistem matahari bumi-bulan menunjukkan bahwa bila posisi matahari-bumi-bulan berada pada suatu garis (pada bulan baru dan bulan purnama) maka pasut akibat gaya tarik bulan dan pasut gaya tarik matahari saling memperkuat. Pada waktu ini tinggi pasut adalah maksimum dan pasut di sebut pasang purnama (*spring tides*). Sebaiknya pada posisi matahari-bumi-bulan berada dalam suatu garis lurus yaitu pada perempat pertama (1 quater) dan perempat terakhir atau ke tiga (3 quarter), maka pasut bulan akan dikurangi pasut oleh matahari. Pada waktu ini tinggi pasut adalah paling rendah yang di sebut pasang perbani (*neap tide*). Dalam satu bulan terdapat 2 kali *spring tide* dan 2 kali *neap tides* dengan periode 15 hari. Untuk menganalisis pasut di suatu lokasi perlu data pasut paling sedikit 15 agar didapat kondisi *spring* dan *neap tides*, namun untuk keperluan studi pendahuluan, cukup diperlukan pengamatan pasut selama 39 jam sesuai dengan metode Doodson untuk memperoleh rata-rata muka laut MSL (A. Nontji, 2005).

Sampai saat ini, jumlah tunggang pasang surut maksimum yang telah terekam di Indonesia mencapai sekitar 6 m di Muara Sungai Digul, Irian Jaya. Selain lokasinya yang saat ini tidak menguntungkan, pemanfaatannya masih sangat tidak

mungkin. Namun demikian, sumber daya energi pasut ini merupakan cadangan energi yang berpotensi, yang harus dipertimbangkan untuk dimanfaatkan di wilayah tersebut saat migrasi mulai berkembang (ONGKOSONGO, O. S. R., 1989). Potensi energi pasang-surut samudera global tercatat sebesar 3.106 MW. Di Indonesia, pasang-surut rata-rata sekitar 5 meter, terutama di beberapa wilayah Pulau Sumatera, Pulau Sulawesi, Nusa Tenggara Barat (NTB), Kalimantan Barat, Irian, dan pantai selatan Pulau Jawa (Soepardjo, A. H., 2005).

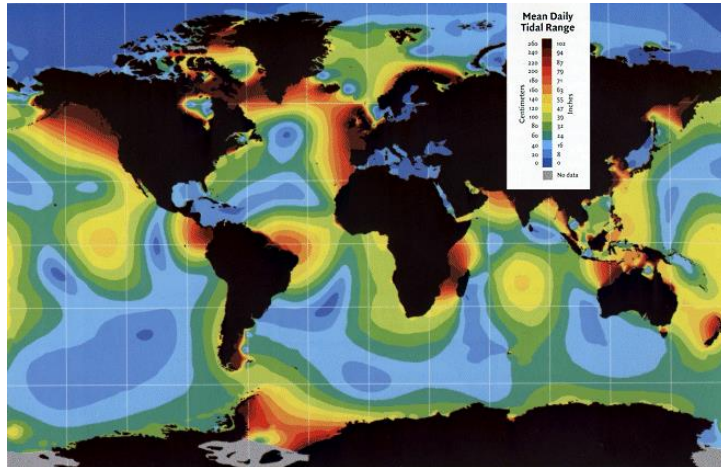
1.7.1 Arus Pasang Surut

Arus pasut adalah pergerakan air secara horizontal yang disebabkan oleh pasang surut akan tetapi, antara arus pasut dengan pasut tidak selalu memiliki hubungan yang dapat dikaitkan satu dengan yang lainnya. Terkadang di beberapa pesisir perairan tidak memiliki arus pasut, dan yang lainnya memiliki arus pasut tetapi tidak ada pasut (Gross, 1990). Arus pasut terjadi pada daerah perairan yang umumnya semi tertutup (Ali, M., 1994). Arus pasang surut terbentuk dari tarikan gravitasi bulan dan matahari. Arus pasang surut bergerak dalam dua arah dan berbalik arah empat kali sehari. Perangkat konversi energi arus pasang surut adalah yang paling umum dari dua teknologi arus laut (Kari. Burman & Walker, 2009).

Arus pasut memiliki fenomena yang lebih rumit dibandingkan dengan gelombang pasang surut karena arus pasut secara umum mewakili proses yang dua dimensi, sedangkan gelombang pasut hanya mewakili proses yang satu dimensi. Proses dua dimensi dari arus pasut yang merambat di suatu wilayah, mewakili pergerakan arus terhadap luasan perairan dan waktu. Hanya dalam kasus-kasus tertentu arus pasut dapat bersifat satu dimensi, contohnya pada sungai (Dietrich, G., 1963). Daerah lautan terbuka arus pasut bersifat lebih rumit. Posisi relatif terhadap titik *amphidromic* , bentuk dari basin, dan *magnitude* dari gaya gravitasi dan *inertia*, semua hal tersebut harus diperhitungkan dalam perhitungan kecepatan dan arah dari arus pasut dibandingkan faktor kedalaman dasar laut. Kecepatan arus pasut pada lautan terbuka diukur dalam sentimeter per detik dan umumnya kecepatannya berkurang seiring dengan semakin dalamnya perairan (Garrison & Tom, 2006). Salah satu arus pasut yang terkenal adalah arus pasut yang bolak-balik. Hal ini umumnya terjadi di daerah pelabuhan. Bila gelombang pasut datang dan masuk ke dalam pelabuhan maka akan terjadi kenaikan muka air laut di pelabuhan, hal ini disebut *flood current*. Sewaktu gelombang air bergerak kembali pergi keluar dari pelabuhan maka akan terjadi penyusutan tinggi muka air laut yang disebut *ebb current*. Ketika arus berganti arah maka akan menimbulkan waktu dimana ketika tidak terjadi arus sama sekali di perairan, dinamakan *slack water* (Gross, 1990).

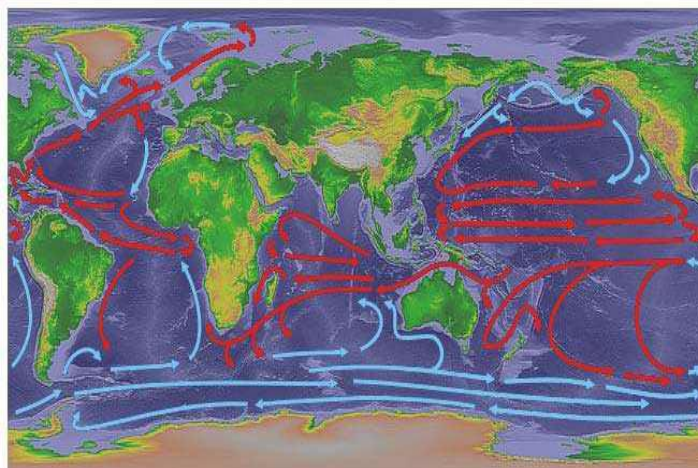
Arus pasut dapat dipengaruhi oleh *runoff* dari sungai dan angin. Masukan dari sungai dapat juga memperbesar arus pasut yang terjadi. Misal ketika terjadi *ebb current*. Maka, masukan dari sungai ini dapat memperbesar dan mempercepat pergerakan massa air meninggalkan pesisir. Kekuatan dari arus pasut ini bergantung dari volume air yang dibawanya dan bukaan mulut dari suatu perairan yang semi tertutup. Ada beberapa hal yang tidak mungkin dilakukan antara lain ialah memperkirakan besarnya kekuatan dari arus pasut ini, namun dapat dilihat dari

besarnya *tidal range* yang ada. Semakin besar tunggang pasut yang terjadi maka arus pasut yang terbentuk akan semakin lemah dan begitu pula sebaliknya. Pada saat pasang purnama memiliki arus pasut yang lebih kuat dibanding pada saat pasang perbani. Secara umum, arus pasut merupakan arus berkekuatan besar di daerah pesisir (Gross, 1990).



Gambar 1. Distribusi Global Rentang Pasang Surut Rata-rata (Kari. Burman & Walker, 2009)

Gambar 1 menunjukkan sumber daya arus pasang surut yang tersedia. Gambar 2 menunjukkan sumber daya arus laut yang tersedia. Sumber daya arus pasang surut tertinggi di AS terletak di timur laut bagian atas, barat laut, dan Alaska. Sumber daya arus laut tertinggi di AS terutama berada di Gulf Coast di sekitar ujung Florida. Konversi energi dari Gulf Stream berpotensi memasok Florida dengan 35 persen kebutuhan listriknya.

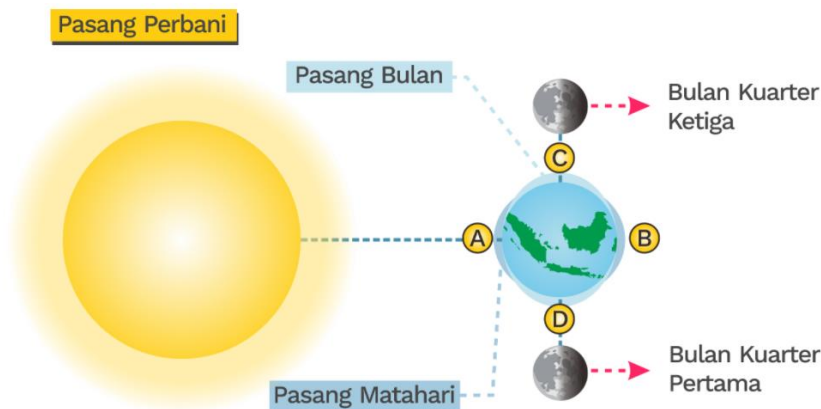


Gambar 2. Arus Laut Utama Atas Izin National Oceanic and Atmospheric (Kari. Burman & Walker, 2009)

sehingga menghasilkan dua tonjolan keluar (bulge) air laut. Terdapat dua jenis pasang yaitu pasang purnama (spring tide) dan pasang perbani (neap tide). Berikut merupakan ilustrasi fenomena pasang laut purnama.

Terlihat dari gambar fenomena air laut pasang purnama terjadi dua kali dalam sebulan yaitu saat bulan baru (*new moon*) dan bulan purnama (*full moon*). Hal ini terjadi saat matahari, bumi dan bulan berada pada satu garis lurus. Pada saat ini permukaan air laut pada daerah yang mengalami purnama akan pasang pada titik tertinggi (titik A dan B), dan daerah yang tidak mengalami purnama akan surut pada titik terendah (titik C dan D).

Sedangkan pada pasang perbani (neap tide) terjadi saat bumi, bulan dan Matahari membentuk sudut tegak lurus satu sama lain. Pada saat ini permukaan air laut mengalami pasang naik yang tidak terlalu tinggi (titik A dan B) dan surut yang tidak terlalu rendah (titik C dan D). Pasang laut perbani ini terjadi pada saat bulan kuartier pertama dan kuartier ketiga. Berikut merupakan ilustrasi fenomena pasang laut perbani.



Gambar 4. Fenomena pasut laut perbani (Muda, 2024)

Menurut Triadmodjo (1996), penampilan pasut jenis campuran condong ke harian ganda diidentifikasi mendominasi perairan Indonesia Bagian Timur. Sifat pasut yang merambat dari Samudera Pasifik ini terjadi menurut konstanta pasutnya yang telah dipengaruhi oleh konfigurasi garis pantai dan topografi perairan di kawasan tersebut.

Pasut tidak hanya mempengaruhi lapisan di bagian teratas saja melainkan seluruh massa air dan energinya sangat besar. Di perairan pantai terutama di teluk-teluk atau selat yang sempit, gerakan naik turunnya muka air menyebabkan terjadinya arus pasut, dan biasanya arah kurang lebih bolak balik (Nontji, 1987).

Gaya keduanya akan saling meniadakan jika bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi. Karena itu, pasang-surut perbani, atau pasang-surut perbani, terjadi ketika ada sedikit perbedaan tinggi air antara pasang dan surut. Selain itu, orbit bulan dan matahari terhadap bumi tidak benar-benar sirkuler, sehingga kadang-kadang mereka mendekat atau menjauh dari bumi. Jika bulan atau

matahari berada pada jarak terdekat terhadap bumi, pengaruhnya akan paling besar terhadap pasang surut. Karena orbit bulan dan matahari tidak tegak lurus di atas khatulistiwa, tetapi condong, sisi bumi yang langsung menghadap ke bulan dan sisi bumi yang lain terdapat tonjolan air akibat gaya tarik gravitasi bulan. Situasi ini membuatnya lebih kompleks (Surinati, D., 2007).

1.7.3 Tenaga Pembangkit Pasang Surut

Sumber penggerak pasut adalah benda-benda astronomis di luar bumi, tetapi penampilan pasut itu sendiri yang dapat kita saksikan di pantai sudah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lokal, seperti topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk dan sebagainya, sehingga dalam kenyataannya berbagai lokasi bisa mempunyai diri pasang surut yang berbeda. Saat bumi, bulan, dan matahari berputar mengelilingi satu sama lain di luar angkasa, gerakan gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi, menyebabkan jutaan galon air mengalir di sekitar lautan bumi yang menciptakan pergeseran berkala pada badan air yang bergerak ini. Pergeseran vertikal air inilah yang kita sebut dengan pasang surut. Air pada bagian ujung pantai yang berbatasan dengan lautan tidak pernah diam pada suatu ketinggian yang tetap, tetapi selalu bergerak naik dan turun (dinamis) sesuai dengan siklus pasang, Permukaan air laut perlahan-lahan naik sampai pada ketinggian maksimum, peristiwa ini di namakan pasang tinggi (*high water*), setelah itu kemudian turun sampai kepada suatu ketinggian minimum yang di sebut pasang rendah dikenal sebagai pasang rendah (*low water*) (*Tidal Energy and How Tidal Power Creates Electricity*, 2024).

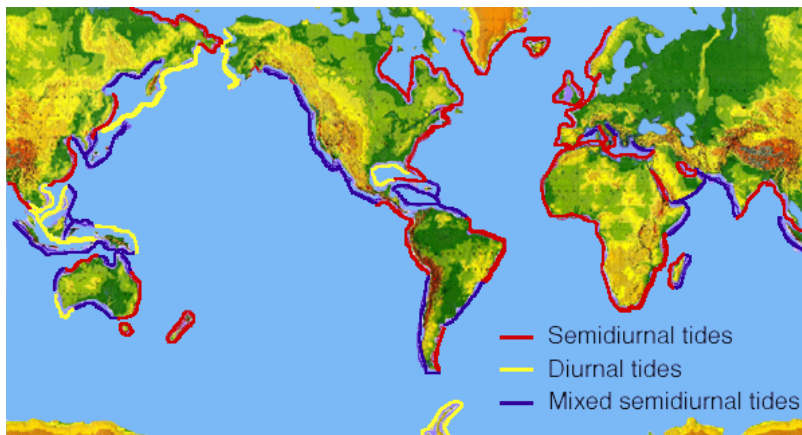
Dari sini permukaan air akan mulai bergerak lagi. Perbedaan ketinggian permukaan antara pasang tinggi dan pasang rendah dikenal sebagai tinggi pasang. Sifat khas dari naik turunnya permukaan air ini terjadi 2 kali setiap hari sehingga terdapat 2 periode pasang tinggi dan 2 kali setiap hari sehingga terdapat 2 periode pasang tinggi dan 2 periode pasang rendah. Pasang yang mempunyai tinggi maksimum dikenal sebagai spring tide, yang terjadi pada waktu bulan baru/purnama (*new moon*) dan bulan penuh, sedangkan yang mempunyai tinggi minimum dikenal sebagai neap tide, yang terjadi pada waktu perempatan bulan pertama dan perempatan bulan ketiga. Biasanya terjadi dua siklus lengkap setiap bulan yang berhubungan dengan fase bulan (*Tidal Energy and How Tidal Power Creates Electricity*, 2024).

Bumi berputar pada porosnya. Maka, pasang tinggi yang terjadi pun akan bergerak bergantian secara perlahan-lahan dari satu tempat lain di permukaan bumi. Gaya tarik gravitasi matahari juga mempengaruhi terjadinya pasang walaupun tenaga yang di timbulkan terhadap lautan hanya sekitar 47% dari tenaga yang dihasilkan oleh gaya gravitasi bulan. Matahari mempunyai massa 27 kali lebih besar dari massa bulan, tetapi jaraknya pun sangat jauh dari bumi (rata-rata 149,6 juta Km) sedangkan bulan sebagai satelit kecil, jaraknya sangat dekat ke bumi (rata-rata 381,160 Km). Dalam mekanika alam semesta, jarak lebih menentukan daripada massa. Mengingat jarak antara bumi dan matahari lebih jauh daripada jarak antara

bumi dan bulan, maka gaya tarik-menarik antara bumi dan matahari di perkirakan hanya sebesar 46% sedangkan 54% merupakan gaya tarik menarik antara bumi dan bulan. Dengan demikian, fenomena pasang surut di bumi lebih dominan dipengaruhi oleh gaya tarik terhadap bulan. Karena adanya gaya tarik bulan yang kuat, maka bagian bumi yang terdekat ke bulan akan tertarik membengkak hingga perairan samudera di situ akan naik dan menimbulkan pasang. Pada saat yang sama, bagian bola bumi dibalikannya akan mengalami keadaan serupa atau pasang pula. Sementara itu pada sisi lainnya yang tegak lurus terhadap poros bumi-bulan, air samudera akan bergerak ke samping hingga menyebabkan terjadinya keadaan surut (Pugh, D. T., 1987).

1.7.4 Metode Analisis Data Pasang Surut

Di seluruh dunia air laut tidak dapat bergerak dengan bebas, pasang menetapkan pola kompleks dalam setiap cekungan samudera yang menjadikan perbedaan ketinggian pasang surut yang berbeda di tempat yang berbeda. Perbedaan ketinggian pasang surut juga terjadi di beberapa daerah di Indonesia, hal ini menjadikan periodisasi tipe pasang surut yang bergantung pada cekungan samudera di Indonesia (Sumich, J.L., 1996)

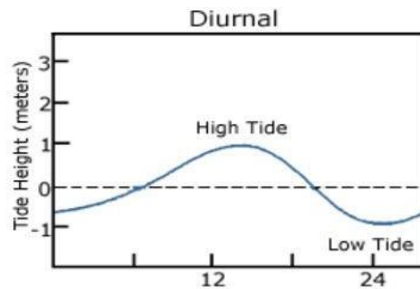


Gambar 5. Terjadi perbedaan tipe pasang surut di berbagai benua (US Department of Commerce, t.t.)

Menurut teori kesetimbangan, rotasi bumi pada sumbunya, revolusi bulan terhadap matahari, dan revolusi bumi terhadap matahari adalah faktor-faktor yang menyebabkan pasang surut. Menurut teori dinamis, bagaimanapun, kedalaman dan keluasan perairan, efek rotasi bumi (gaya coriolis), dan gesekan dasar adalah faktor-faktor yang menyebabkan pasang surut. Selain itu, batimetri dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan lainnya adalah beberapa variabel lokal yang dapat memengaruhi pasang surut di perairan. Akibatnya, pasang surut di berbagai tempat berbeda (Wyrtki, 1961). Di Indonesia, pasang surut terdiri dari empat jenis: pasang surut harian tunggal (Tide Diurnal), pasang surut harian ganda (Tide Semi Diurnal), pasang

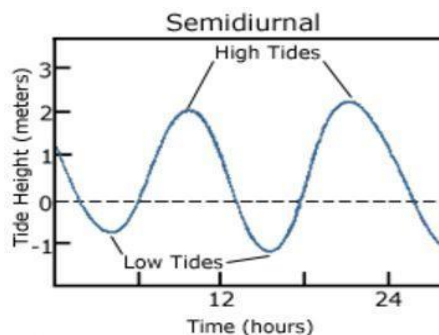
surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*), dan pasang surut campuran condong harian ganda. Ada empat jenis (tipe) utama pasang surut, yaitu :

1. 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.



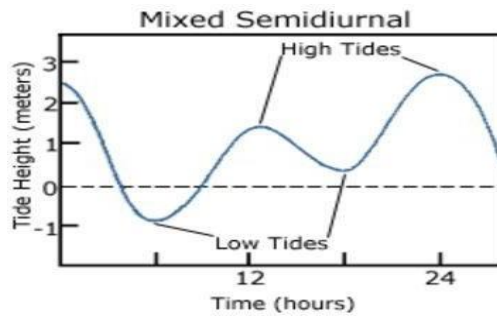
Gambar 6. Tipe pasang surut harian tunggal US Department of Commerce, t.t)

2. 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.



Gambar 7. Tipe pasang surut harian ganda (US Department of Commerce, t.t.)

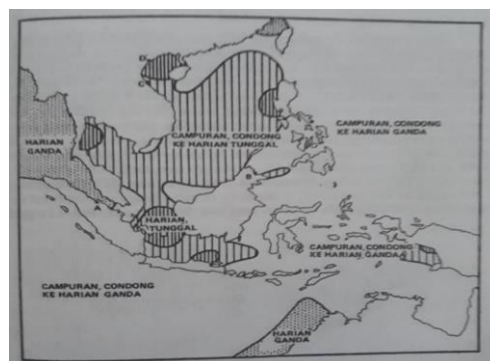
3. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Revailing Diurnal*) merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu, ini terdapat di Pantai Selatan Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat.
4. 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.



Gambar 8. Tipe pasang surut campuran harian ganda (US Department of Commerce, t.t)

Pasang surut laut terjadi ketika materi planet, bintang, atau benda angkasa lainnya bergerak dari luar materinya, menyebabkan permukaan air laut naik turun bersamaan dengan gerakan horizontal massa air. Kedalaman perairan, kondisi meteorologi, dan faktor hidrografi lainnya adalah faktor non-meteorologis yang mempengaruhi tinggi gelombang pasang surut. Pasang surut adalah fenomena gerakan air laut horizontal dan vertikal (A., Haryono. dkk., 2007).

Gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal, atau dorongan ke arah luar pusat rotasi, menyebabkan pasang-surut laut. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa, tetapi berbanding terbalik dengan jarak, dan hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa setiap massa benda tarik menarik satu sama lain. Gaya ini tergantung pada besar massa benda dan jarak di antara mereka. Sejalan dengan hukum di atas, dapat dipahami bahwa gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada gaya tarik matahari terhadap bumi, meskipun massa bulan lebih kecil dari massa matahari. Karena gerakan pasang air laut bergantung pada rotasi Bumi, angin, arus laut, dan kondisi lokal lainnya, faktanya sangat tidak jelas. gaya gravitasi (Wardiyatmoko, K. & H.R. Bintarto, 1994)



Gambar 9. Sebaran Pasang Surut di Perairan Indonesia (Ramadhan, t.t.)

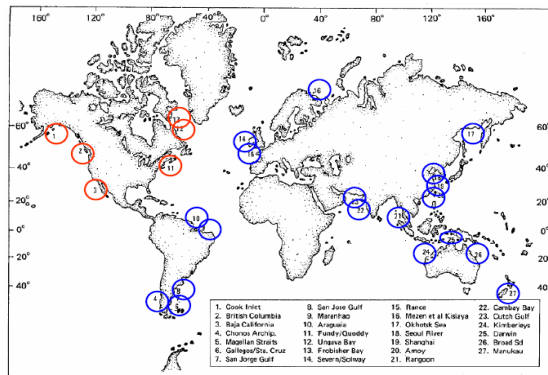
1.8 Potensi Tenaga Pasang Surut

Terdapat dua jenis teknologi tenaga pasang surut, yang satu memanfaatkan energi potensial dari pasang surut dengan menggunakan bendungan semipermeabel dan yang lainnya memanfaatkan energi kinetik dari aliran arus pasang surut dengan menggunakan turbin arus pasang surut. Upaya pertama untuk memanfaatkan energi pasang surut dapat ditelusuri kembali ke ribuan tahun yang lalu, ketika orang Persia membangun kincir air pertama mereka untuk mengekstraksi energi kinetik dari aliran air. Pada abad ke-20, banyak negara kepulauan, seperti Kanada, Tiongkok, Prancis, India, Rusia, Inggris, dan Amerika Serikat, mulai mengembangkan perangkat modern mereka untuk mengekstraksi energi pasang surut. Teknologi tenaga pasang surut modern yang paling awal adalah teknologi bendungan. Bendungan mahal dalam skala kecil dan berdampak negatif pada populasi ikan dan lingkungan (Rulifson, R. & Dadswell, M., 1987).

Akibatnya, evolusi teknologi tenaga pasang surut melambat dan akhirnya terhenti pada tahun 1980-an. Pada tahun 1990-an, teknologi turbin arus pasang surut kembali menarik perhatian orang dalam mengeksplorasi arus pasang surut sebagai sumber energi alternatif (Lang 2003). Secara umum, memanfaatkan energi dari arus pasang surut dengan turbin arus pasang surut memiliki beberapa keuntungan yang membuatnya menarik. Meliputi, tenaga pasang surut ramah lingkungan dan tidak menghasilkan bahan kimia beracun atau mengeluarkan gas rumah kaca, tenaga pasang surut terbarukan karena arus pasang surut secara alami dapat mengisi sendiri, tenaga pasang surut sangat dapat diprediksi sehingga dengan fluktuasi rendah ketika integrasi listrik diperhatikan, dan ladang turbin arus pasang surut memiliki dampak visual yang kecil karena turbin arus pasang surut dan fasilitas tambahannya memiliki bagian utama yang terendam di bawah air atau di dalam struktur lepas pantai lainnya seperti anjungan terapung dan jembatan terapung (Li, 2008).

Prinsip kerja turbin arus pasang surut mirip dengan turbin angin, kecuali bahwa turbin arus pasang surut digerakkan oleh aliran laut, bukan angin. Biasanya, turbin arus pasang surut terdiri dari beberapa bilah (biasanya tiga hingga lima), poros, dan beberapa komponen tambahan lainnya (misalnya, generator, rem, dan peredam) dengan bilah yang dihubungkan ke poros. Aliran pasang surut memaksa bilah untuk berputar di sekitar poros pusat yang berputar. Gerakan berputar ini menghasilkan daya hidrodinamik dari aliran laut. Generator mengubah daya hidrodinamik menjadi daya mekanis, kemudian menjadi daya listrik yang akan disalurkan ke pusat-pusat pemuatan listrik lokal melalui kabel bawah laut dan darat. Turbin arus pasang surut sumbu horizontal memiliki poros yang terletak pada bidang horizontal dan turbin arus pasang surut sumbu vertikal memiliki poros yang terletak pada bidang vertikal (Li, t.t.).

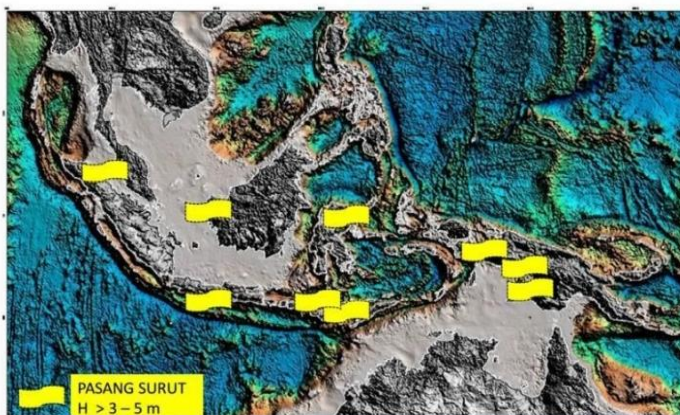
Di seluruh dunia, terdapat beberapa lokasi pasang surut dengan potensi daya yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada gambar ini, lingkaran merah menempatkan lokasi potensial di Amerika Utara, sedangkan lingkaran biru menempatkan lokasi potensial di seluruh dunia.



Gambar 10. Potensi lokasi pembangkit listrik pasang surut di seluruh dunia (Charlier, R., 1993)

Kanada, sebagai negara samudra, memiliki empat lokasi tenaga pasang surut yang paling melimpah. Dengan sumber daya yang melimpah tersebut, beberapa perusahaan tenaga pasang surut memilih pantai Kanada untuk menguji turbin arus pasang surut mereka (Nova Scotia Power, 2007).

Lokasi pembangkit pasang surut akan menentukan operasi keadaan lingkungan. Lokasi juga menentukan bagaimana energi dapat digunakan atau ditransmisikan. Beberapa wilayah di Indonesia dengan potensi sumber daya pasang surut terbaik termasuk Sumatra, Kalimantan, Nusa Tenggara dan Papua. Dari beberapa wilayah tersebut Papua dan Nusa Tenggara memiliki potensi yang besar untuk pembangkit tenaga pasang surut. Karena, ukuran gelembung wilayah tersebut mewakili produksi energi potensial tahunan. Papua bagian selatan yang memiliki sumber daya terbesar, memiliki kedalaman air rata-rata lebih dari 60 m dan kurang dari 8 km dar daratan terdekat. Lebih dari 85% dari area potensial berjarak 10 km dari pantai di perairan yang rata-rata kurang dari 80 m (Albertus Endry Putranto, 2018).



Gambar 11. Potensi energi pasang surut di Indonesia (SISTEM KONVERSI DAYA TERPILIH UNTUK PEMBANGKIT PASANG SURUT DI INDONESIA, t.t.)

Dalam metode penghitungan perkiraan potensi tenaga listrik, digunakan 3 metode. Dalam ketiga metode ini menggunakan asumsi yang pertama bahwa cara

pengaliran air bersifat tetap (steady flow). Hal ini bertentangan dengan kenyataan di lapangan bahwasanya pengaliran air laut ke kolam atau air kolam ke laut di suatu titik tertentu besarnya tekanan dan kecepatan selalu berubah dengan waktu (unsteady flow). Asumsi yang kedua penghitungan ketersediaan energi yang dianalisis hanya untuk produksi air pasang saja. Penghitungan perkiraan energi listrik dilakukan dengan pertimbangan bahwa untuk perkiraan potensi tenaga listrik pasang surut, besaran nilai yang didapat hanya untuk mengetahui potensi ketersediaan energi secara kasar. Untuk kepentingan yang lebih mendalam data ketersediaan energi ini dapat digunakan sebagai acuan pemetaan besaran energi yang dikandung untuk wilayah tinjauan (Endang Tantrawati, 2007). Energi listrik dapat dihasilkan saat mengisi kolam (saat air pasang) atau mengosongkan kolam (saat air surut). Dalam metode ini, energi listrik yang dihasilkan tergantung pada lamanya waktu digunakan untuk produksi. Estimasi energi listrik yang dihitung dapat dihitung dari besar kecilnya fungsi luas kolam dan selisih tinggi pasang surut dan debit yang dihasilkan

1. Volume aliran masuk kolam

$$V = A \times \Delta h \quad (1)$$

Ket :

A = luas kolam (m²)

Δh = beda tinggi pasang dan surut (m)

2. Debit air rerata; Q (m³/detik);

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Ket :

t = lamanya pembangkit dalam satu kali operasi produksi (detik)

3. Besarnya tenaga yang dapat dihasilkan, P (kWh);

$$P = \rho \times Q \times g \times h \quad (3)$$

Ket :

ρ = Massa jenis air tawar (Kg/m³)

Q = Debit air (m³/detik)

h = Beda tinggi pasang dan surut (m)

g = Gravitasi

Dalam siklus pasang surut (24 jam) maka, energi yang dihasilkan E dalam untuk tipe pasang surut harian tunggal (*Diurnal tide*) akan diperoleh :

$$E = \frac{1}{2} \times (\rho \times g \times A \times \Delta h^2) \quad (4)$$

1.9 Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki oleh suatu objek karena posisinya dalam medan gravitasi. Ini tergantung pada massa objek, percepatan gravitasi, dan ketinggian objek dari titik referensi tertentu. Energi ini tersimpan dalam objek dan bisa diubah menjadi bentuk energi lain, seperti energi kinetik, ketika objek jatuh atau berpindah dari ketinggian (Halliday, D. dkk., 2013).

Rumus Energi Potensial Gravitasi:

$$U = mgh \quad (5)$$

Ket:

U = energi potensial gravitasi (Joule)

m = massa objek (kg)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s² di bumi)

h = ketinggian objek dari permukaan referensi (meter)

1.8.1 Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi adalah gaya tarik menarik yang terjadi antara dua massa. Hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa gravitasi F antara dua objek dengan massa m_1 dan m_2 adalah (Tipler, P. A. & Mosca, G., 2007).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (6)$$

Ket;

G : konstanta gravitasi universal ($6.674 \times 10^{-11} \text{N.m}^2/\text{kg}^2$)

r : jarak antar pusat kedua objek

m_1, m_2 : massa dua objek (kg)

1.8.2 Konservasi Energi Dalam Sistem Gravitasi

Dalam sistem tertutup, energi mekanik total (energi kinetik + energi potensial) tetap konstan jika hanya gaya gravitasi yang bekerja. Ketika sebuah benda bergerak turun dari ketinggian, energi potensial gravitasi berkurang dan berubah menjadi energi kinetik. Proses ini sesuai dengan prinsip kekekalan energi mekanik (Young, H. D. & Freedman, R. A., 2012)

$$E_{\text{total}} = U + K \quad (7)$$

Ket:

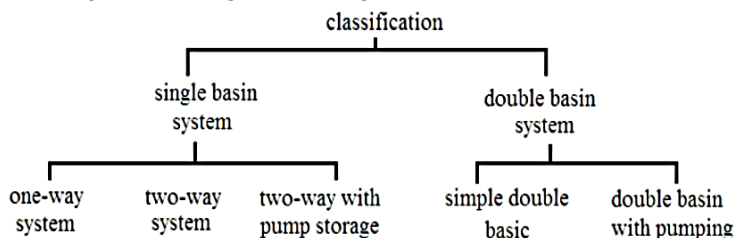
U = energi potensial

K = energi kinetik

1.8.3 Energi Potensial Gravitasi dalam Pasang Surut Laut

Dalam sistem pasang surut, energi potensial gravitasi disebabkan oleh interaksi gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari. Ketika air laut naik selama pasang tinggi, energi potensial gravitasi tersimpan dalam air yang terangkat. Energi ini kemudian dilepaskan selama pasang surut, dan dalam beberapa kasus dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan teknologi seperti pembangkit listrik pasang surut (Pugh, D. T. & Woodworth, P. L., 2014)

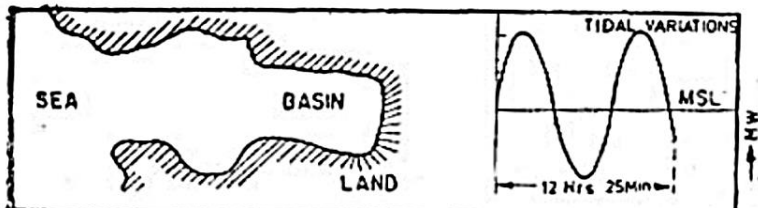
1.9 Sistem Kerja Pembangkit Pasang Surut



Gambar 12. klasifikasi skema pembangkit pasang surut (Tidal Energy, 2015)

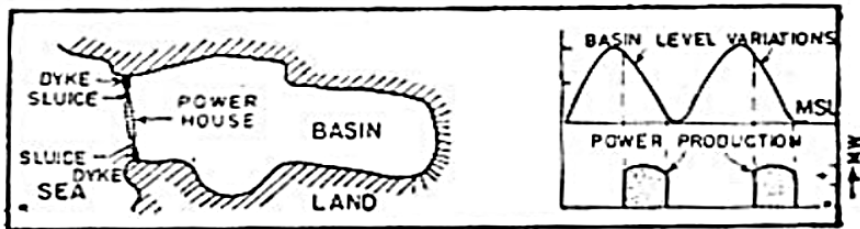
1.9.1 Single Basin One Way Cycle

Single basin-One-way cycle adalah bentuk pembangkit listrik pasang surut yang paling sederhana. Dalam sistem ini, sebuah cekungan dibiarkan terisi selama air pasang dan selama pasang surut. Air mengalir dari cekungan ke laut melewati turbin dan menghasilkan tenaga. Daya tersedia untuk durasi singkat selama pasang surut.



Gambar 13. kolam tunggal pembangkit pasang surut (Tidal Energy, 2015)

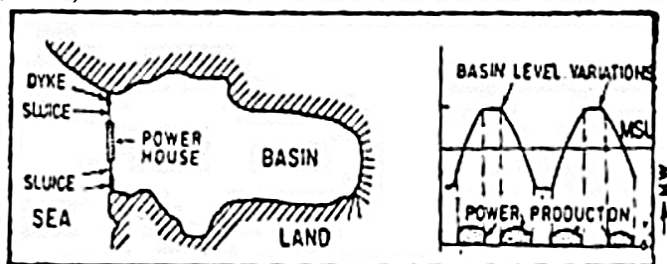
Gambar di atas menunjukkan satu cekungan pasang sebelum pembangunan bendungan dan di bawah menunjukkan representasi diagram dari bendungan di muara cekungan dan pembangkit listrik selama air pasang turun.



Gambar 14. kolam tunggal pembangkit pasang surut (Tidal Energy, 2015)

1.9.2 Single Basin Two Way Cycle

Dalam sistem ini daya dihasilkan baik saat air pasang maupun pasang surut juga. Pembangkit listrik hanya sebentar tetapi periode pembangkitan meningkat dibandingkan dengan siklus satu arah. Namun daya puncak yang diperoleh lebih kecil dari siklus satu arah. Susunan bak dan siklus daya ditunjukkan pada dibawah (Tidal Energy, 2015)



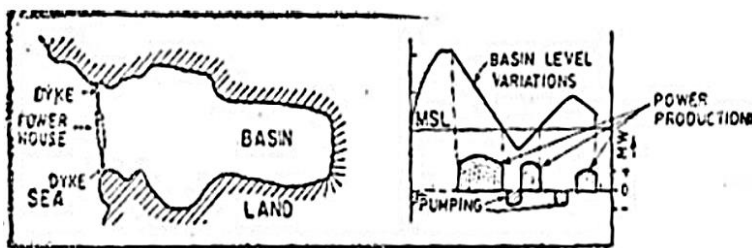
Single-basin two-way tidal power plant.

Gambar 15. skema kolam tunggal sistem dua arah (Tidal Energy, 2015)

Kesulitan utama dengan sistem ini, turbin yang sama harus digunakan sebagai penggerak utama karena arus pasang surut melewati turbin dalam arah yang berlawanan. Turbin dan generator rotasi ganda digunakan untuk skema tersebut.

1.9.3 Single Basin Two Way Cycle Pump Stronge

Pembangkit listrik tenaga pasang surut Rance di Prancis menggunakan sistem ini. Dalam sistem ini, listrik dihasilkan baik saat kondisi pasang maupun kondisi surut. Mesin mampu menghasilkan tenaga dan memompa air di kedua arah digunakan. Sebuah bagian dari energi yang dihasilkan digunakan untuk memperkenalkan perbedaan dalam tingkat air antara kolam dan laut setiap saat air pasang dan ini dilakukan dengan memompa air ke kolam atas atau bawah. Periode produksi listrik dengan sistem ini jauh lebih lama dari dua lainnya yang dijelaskan sebelumnya. Siklus operasi ditunjukkan pada Gambar dibawah (Tidal Energy, 2015)

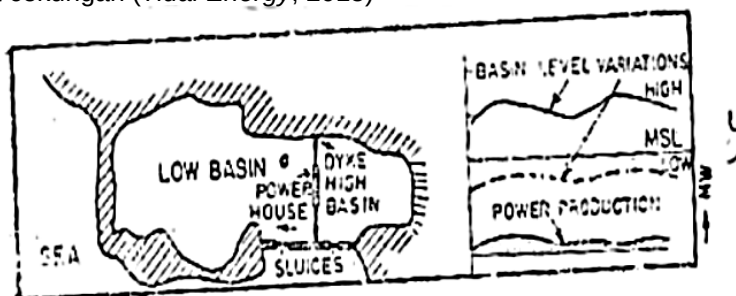


Single-basin, two-way tidal plant coupled with pump storage system.

Gambar 16. skema kolam tunggal sistem dua arah dengan pompa (Tidal Energy, 2015)

1.9.4 Double Basin Type

Dalam sistem ini, turbin dipasang di antara dua kolam seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah. satu kolam kadang-kadang terisi oleh air pasang dan yang lainnya kadang-kadang dikeringkan oleh pasang surut. Oleh karena itu kapasitas kecil tetapi daya berkelanjutan tersedia dengan sistem ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah. Kerugian utama dari sistem ini adalah bahwa 50% dari energi Potensial dikorbankan dalam memperkenalkan variasi ketinggian air di dua cekungan (Tidal Energy, 2015)



Double basin, one-way tidal plant.

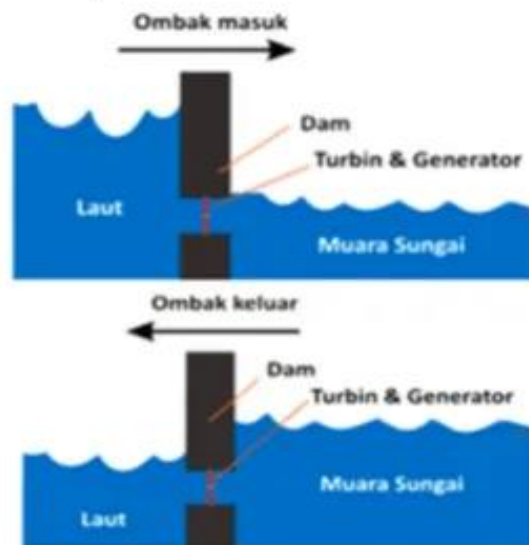
Gambar 16. skema dua kolam sistem dua arah (Tidal Energy, 2015)

1.9.5 Double Basin With Pumping

Dalam hal ini, aliran listrik puncak dari tanaman beban dasar dalam sistem transmisi interkoneksi digunakan baik untuk memompa air ke atas cekungan tinggi. Penguatan energi bersih dimungkinkan dengan sistem seperti itu jika kepala pompa lebih rendah dari kepala pembangkit turbin kolam ke kolam.

1.10 Dam Pasang Surut (Barrage Tidal System)

Pembangkit listrik hidro-elektrik di dam dan waduk penampung air sungai mirip dengan metode ini. Namun, dam air sungai biasanya tidak sebesar dam yang dibangun untuk memanfaatkan siklus pasang surut. Biasanya, dam ini dibangun di tempat di mana air sungai berkumpul dengan air laut. Air mengalir melalui trowongan di dam saat ombak masuk atau keluar (pasang atau surut). Kekurangan terbesar dari pemangkit listrik tenaga pasang surut adalah mereka hanya dapat menghasilkan listrik selama ombak pasang atau surut



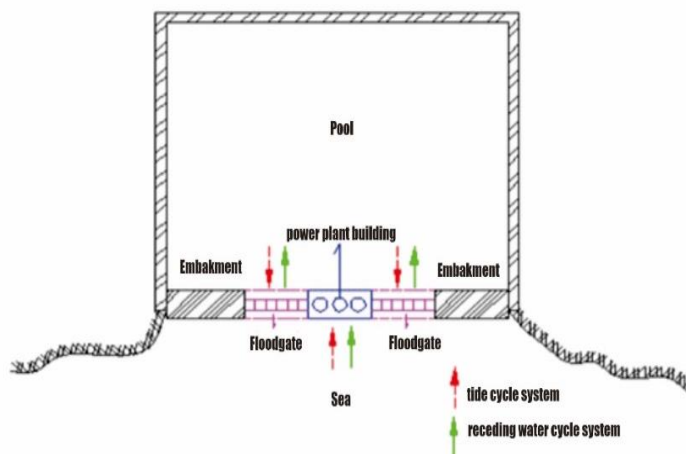
Gambar 17. Prinsip pembangkit listrik tenaga pasang surut
(Albertus Endry Putranto, 2018)

Karena tenaga pasang surut adalah sumber energi yang sangat handal, itu memiliki keunggulan besar dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Karena pasang-surutnya air laut lebih siklik daripada pola cuaca yang acak, hal ini dapat dipahami. Selain itu, listrik tenaga pasang surut tidak mengakibatkan emisi gas rumah kaca. Bahan bakar fosil, misalnya. Selain itu, penggunaan energi nuklir menyebabkan limbah berbahaya ini. Untuk melindungi kota atau pelabuhan terdekat dari gelombang berbahaya saat terjadi badai, wadung dan bendungan kecil yang diperlukan untuk memanfaatkan tenaga pasang surut juga dapat sangat penting. Energi pasang surut adalah sumber energi yang efisien. Dengan efisiensi 80 persen, energi pasang surut hampir tiga kali lebih efisien daripada batubara dan minyak bumi, yang hanya 30 persen, dan jauh lebih baik daripada energi angin dan surya (Albertus Endry Putranto, 2018).

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 biasanya lebih mahal. Namun begitu, pembangkit listrik pasang surut dibangun hana sekali dan biaya pemeliharannya relative rendah. Begitu pula di kehidupan nyata, artinya tidak banyak lokasi yang benar benar cocok untuk jenis pembangkit listrik tenaga pasang surut, dan hanya menghasilkan listrik selama ada gelombang pasang yag rata-rata terjadi sekitar 10 jam (Sumartarto, 2012).

1.10.1 Sistem Kolam Tunggol

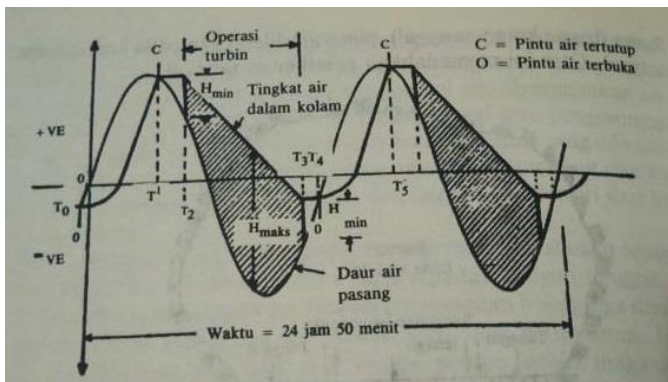
Ada hanya satu kolam dalam susunan kolam yang saling berhubungan dengan laut; tanggul memisahkan keduanya, dan aliran antara keduanya mengalir melalui pintu air yang terlihat di sepanjang tanggul. Di Rance (bagan kolam tunggal), pintu air diletakkan pada kedua ujung tanggul. Cara ini memudahkan pembuatan tanggul (Ramadhan, t.t.)



Gambar 18. Sitem Kolam Tunggol
(M.M. Dandekar & Sharma, K.N., 1991)

1.10.2 Sistem Daur Air Surut Tunggol

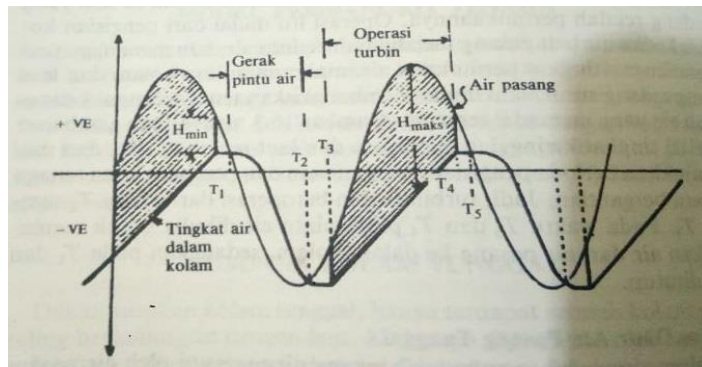
Dalam sistem ini, pembangkit tenaga dihasilkan oleh air laut surut. Air mengalir dari kolam melalui turbin-turbin ke laut yang sedang rendah permukaannya setelah air laut pasang melalui pintu-pintu air. Kemudian, menunggu tingkat permukaan air minimum antara kolam dan laut yang sedang surut meningkat, dan kemudian mulai menghasilkan tenaga sampai ketinggian air yang memadai tercapai. **Gambar 21** menunjukkan grafik variasi tingkat ketinggian air kolam dan laut serta periode pengisian, penggunaan, dan pembangkit tenaga. Jadi, dari T2 sampai T3, turbin beroperasi. Pada T0 dan T4, pintu air dibuka untuk memasukkan air pasang ke kolam, sedangkan pada T1 dan T5, pintu air ditutup (Ramadhan, t.t.)



Gambar 19. Sistem daur air surut kolam tunggal

1.10.3 Sistem Daur Air Pasang Tunggal

Sistem pembangkit tenaga ini dipengaruhi oleh air pasang laut, yang dimasukkan ke dalam kolam melalui turbin. Periode air pasang berhenti dan tingkat permukaan laut turun lagi. Setelah kolam kosong, airnya dialirkan ke laut melalui



Gambar 20. Sistem daur air pasang kolam tunggal

pintu air. Gambar 22 menunjukkan pengisian kolam, pembangkit tenaga, dan periode penantian, serta tingkat tinggi air relatif di laut dan di kolam. Gambar itu menunjukkan dengan jelas bahwa waktu pembangkit tenaga yang sebenarnya bergantung pada tinggi air minimum antara kedua belas massa air. Jika perbedaan tingkat makin kurang daripada batas ini, turbin harus ditutup. Karena itu, jelas bahwa jika air dilepaskan segera ke turbin pada saat pasang mulai jatuh, tidak ada yang disebut sebagai "tingkat ketinggian air". khususnya ketika pembukaan turbin (Ramadhan, t.t.)

Ada kemungkinan bahwa sistem daur air surut memiliki lebih banyak keuntungan daripada sistem daur air pasang, meskipun keduanya tampak serupa. Masa air surut lebih lama daripada masa air pasang karena proyek air pasang berada di kuala atau estuarium. Selain itu, kolam alami memiliki kemampuan untuk meningkat tajam dalam tingginya, meskipun luasnya tidak tetap untuk berbagai ketinggian tingkat air. Ini memengaruhi cara sistem daur air surut tunggal, daur air pasang, atau daur ganda bekerja. Pembangunan daur air pasang membutuhkan waduk yang lebih dalam untuk mengendapkan lumpur dari pintu air. Sistem daur air surut menghasilkan 1,5 kali lebih banyak tenaga daripada sistem daur air pasang (Ramadhan, t.t.)

1.11 Tidal Range (Amplitudo Pasang Surut)

Amplitudo pasang surut adalah salah satu faktor utama yang menentukan potensi daya pasang surut. Amplitudo pasang surut mengukur perbedaan ketinggian air laut antara pasang tinggi dan surut rendah. Semakin besar amplitudo, semakin besar potensi energi yang dapat dimanfaatkan. Wilayah seperti Teluk Fundy di Kanada memiliki amplitudo pasang surut yang tinggi, sehingga sangat potensial untuk pemanfaatan energi pasang surut (Pugh, D. T., 1987). Amplitudo pasang surut mempengaruhi potensi energi yang dapat dihasilkan dari sistem energi pasang surut. Semakin besar amplitudo pasang surut, semakin banyak energi yang dapat dipanen. Perhitungan amplitudo ini penting untuk desain dan evaluasi sistem pembangkit listrik tenaga pasang surut (Baker, A. C., 1991).

1.11.1 Posisi Bulan dan Matahari

Tidal range dipengaruhi oleh posisi relatif bulan, matahari, dan bumi. Ketika bulan dan matahari sejajar dengan bumi (saat bulan purnama atau bulan baru), pasang purnama (*spring tide*) terjadi, menghasilkan tidal range yang lebih besar. Sebaliknya, ketika posisi bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi (bulan separuh atau kuartal), terjadi pasang perbani (*neap tide*), di mana tidal range lebih kecil. (Pugh, D. T. & Woodworth, P. L., 2014).

1.11.2 Topografi Dasar Laut

Gerakan arus dapat dipengaruhi oleh bentuk relief (topografi) dasar laut yang berbeda di setiap perairan ini. Gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia disebut arus. Ini adalah pergerakan massa air secara horizontal dan vertikal sehingga menuju keseimbangannya. Beberapa faktor memengaruhi pergerakan arus, termasuk arah angin, perbedaan tekanan air, perbedaan densitas air, arus permukaan, topografi dasar laut, arus gaya *Coriolis* dan *Ekman*, dan *upwelling* dan *downwelling* (Hutabarat, Sahala & Evans, Stewart M., 1985)

Bentuk dan kedalaman dasar laut (bathymetry) sangat mempengaruhi tidal range. Di wilayah-wilayah dengan teluk atau estuari yang sempit, pasang surut bisa dipusatkan sehingga menghasilkan tidal range yang lebih besar. Contoh kasus ini adalah Teluk Fundy di Kanada, yang memiliki salah satu rentang pasang surut terbesar di dunia (Open University, 1989).

1.11.3 Bentuk Pesisir dan Garis Pantai

Bentuk dan orientasi garis pantai memainkan peran penting dalam memperkuat atau meredam tidal range. Pesisir dengan teluk yang sempit cenderung mengalami pasang surut yang lebih besar dibandingkan dengan pesisir terbuka. Pada pesisir terbuka, pasang surut lebih terdistribusi secara merata, sedangkan di teluk sempit, pasang surut dapat dipusatkan (Foreman, M. G. G & David, J. A., 2001). Daerah pesisir yang landai dan bertebing juga dipengaruhi oleh pasang surut. Di pantai dengan kontur landai, area yang terkena pasang surut cenderung lebih luas. Sebaliknya, di pantai bertebing, pengaruh pasang surut lebih terbatas, tetapi bisa menyebabkan pengikisan lebih cepat di bagian bawah tebing (Pugh, D. T. & Woodworth, P. L., 2014).

1.11.4 Resonansi

Jika dimensi alami suatu teluk atau laut dalam memungkinkan terjadinya resonansi dengan frekuensi pasang surut, tidal range bisa meningkat secara signifikan. Fenomena ini dikenal sebagai resonansi pasang surut dan terjadi ketika gelombang pasang surut beresonansi dengan panjang gelombang alami perairan, memperkuat gelombang tersebut (Pugh, D. T., 1987). terjadi ketika gelombang pasang surut berinteraksi dengan karakteristik fisik suatu wilayah laut, seperti teluk atau laut sempit, sehingga menghasilkan peningkatan tinggi gelombang. Fenomena ini serupa dengan resonansi akustik, di mana gelombang suara bisa diperkuat oleh pantulan di ruang tertutup. Dalam konteks pasang surut, resonansi terjadi ketika gelombang pasang surut bertemu dengan frekuensi alami dari cekungan laut atau teluk, sehingga memperkuat amplitudo pasang surut.

1.11.5 Perubahan Iklim dan Kenaikan Permukaan Laut

Kenaikan permukaan laut akibat perubahan iklim juga dapat mempengaruhi tidal range. Saat permukaan laut meningkat, dampak pasang surut pada wilayah pesisir bisa berubah, terutama di area dataran rendah yang mungkin mengalami banjir pasang yang lebih sering (Pugh, D. T. & Woodworth, P. L., 2014). Ketika suhu air laut meningkat, air memuai, menyebabkan peningkatan volume laut. Proses ini dikenal sebagai ekspansi termal, dan merupakan salah satu penyumbang utama kenaikan permukaan laut. Air hangat memiliki volume yang lebih besar dibandingkan air dingin, sehingga semakin panas air laut, semakin besar volume air laut yang menyebabkan naiknya permukaan laut.

1.11.6 Arus Pasang Surut dan Angin

Arus pasang surut yang kuat di beberapa wilayah juga dapat mempengaruhi tidal range. Selain itu, angin yang kuat, terutama angin darat yang bertiup menuju pesisir, dapat menyebabkan peningkatan ketinggian air saat pasang, memperkuat tidal range. Angin yang bertiup ke arah laut cenderung mengurangi tidal range dengan menekan air menjauh dari pantai.

1.11.7 Kecepatan Arus Pasang Surut

Kecepatan arus pasang surut merupakan komponen penting dalam menentukan potensi energi kinetik dari pasang surut. Potensi daya arus pasang surut dapat dihitung dengan mempertimbangkan volume air yang bergerak dalam waktu tertentu dan kecepatan arusnya. Lokasi dengan kecepatan arus yang tinggi, seperti selat atau muara, memiliki potensi energi pasang surut yang lebih besar (Bryden, I. G. & Melville, G. T., 2004).

1.12 Teori Aliran Arus Pasang Surut

Dalam Teori Aliran Arus Pasang Surut terdapat dua hukum. Pertama, *Continuity*: Menggambarkan bagaimana perubahan volume air yang masuk dan keluar dari suatu area berdampak pada kecepatan aliran. Pada saluran sempit, aliran yang meningkat dapat menyebabkan kecepatan yang lebih tinggi (Harris, R., 2013). Kedua, Hukum *Bernoulli*: Prinsip ini menjelaskan bahwa pada kecepatan tinggi, tekanan akan lebih rendah. Ini membantu menjelaskan fenomena di mana kecepatan arus tinggi sering terjadi di saluran yang sempit atau berbelok (Harris, R., 2013)

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.



Gambar 21. Benda Uji

2.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data

2.4.3 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilaksanakan berupa penelitian yang bersifat eksperimental, di mana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan penelitian-penelitian yang sama sebelumnya. Kemudian peneliti membuat pemodelan fisik sebagai sebuah replika yang nantinya akan dilakukan simulasi untuk mengetahui ada-tidaknya hubungan sebab akibat dari perlakuan yang diberikan, seberapa besar hubungan sebab akibat tersebut, serta perbandingannya yang dilakukan secara terkontrol.

2.4.4 Sumber Data

Pada penelitian ini, digunakan dua sumber data yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer, yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data Sekunder, yakni data yang diperoleh dari literatur-literatur dan hasil penelitian sebelumnya yang sudah ada baik penelitian dalam laboratorium maupun di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian Pengaruh diameter lubang terhadap kebutuhan debit pada fluidisasi penuh secara eksperimental.

2.3 Benda Uji dan Alat

Bagian Benda Uji dan Alat dalam penelitian ini menjelaskan secara spesifik mengenai objek penelitian (benda uji) serta peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran atau eksperimen.

2.3.1 Benda Uji

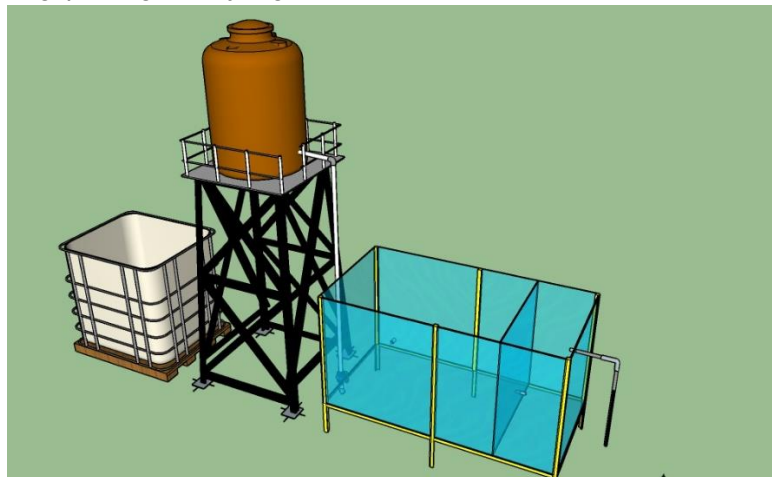
Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan pembentuk media uji (kolam) dan bahan uji (air), yaitu:

1. Air yang sesuai volume yang dibutuhkan oleh kolam uji
2. Amplas untuk menghaluskan penampang kolam uji
3. Bahan anti rembesan pada dinding bak kolam penampungan rangka besi
4. Akrilik untuk pembuatan model
5. Rangka besi

2.3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yakni:

1. Penelitian ini menggunakan benda uji model prototipe penangkapan energi pasang surut yang diskalakan.



Gambar 22. Desain 3D benda uji

Benda uji ini terdiri dari 2 bagian yaitu kolam (asumsi) darat dan kolam (asumsi) laut. Kolam darat mempunyai dimensi panjang 150 cm lebar 100 cm dan tinggi 80 cm. Kolam laut mempunyai dimensi panjang 50 cm lebar 100 cm dan tinggi 80 cm.

2. Bak penampungan air

Air masuk ke bak penampung melalui pipa atau saluran, bisa berasal dari sumber air. Aliran masuk ini bisa dikendalikan dengan pompa atau sistem gravitasi.



Gambar 23. Bak Penampungan

3. Mesin pompa

Mesin pompa digunakan untuk mengangkat air dari bak penampungan, ke tempat kolam laut.



Gambar 24. Mesin Pompa

4. Pipa PVC $\frac{1}{2}$ " sebagai jaringan sirkulasi air
5. Stop kran untuk mengatur debit air
6. Stopwatch untuk menghitung waktu dalam pengambilan data



Gambar 25. Stop kran

7. Penggaris untuk mencatat ketinggian kolam darat dan kolam laut



Gambar 26. Penggaris

8. Kamera digital untuk merekam (dalam bentuk foto & video)
9. Tabel untuk mencatat data penelitian

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dijelaskan secara terperinci melalui Tahapan Pendahuluan, Pengambilan Data, Analisis Dan Pengolahan Data, dan Bagan Alur Penelitian.

2.4.1 Tahapan Persiapan

Persiapan meliputi kegiatan di antaranya studi literatur, memperhatikan rekomendasi dan saran-saran dari peneliti terdahulu yang relevan, identifikasi parameter-parameter yang berpengaruh dalam proses penangkapan energi pasang surut persiapan area pembuatan model di laboratorium serta persiapan alat dan bahan.

Penentuan skala geometri disesuaikan dengan kemampuan dan kapasitas *wave flume* di laboratorium yang dibandingkan dengan ukuran prototipe. Pada penelitian ini akan digunakan model terdistorsi. Pada model terdistorsi mempunyai skala horizontal dan vertikal yang berbeda.

Pada penelitian ini direncanakan panjang kolam reservoir pada prototipe adalah 150 m dan panjang kolam reservoir pada model adalah 150 cm dan untuk kedalaman perairan pada prototipe diasumsikan yaitu 6 m dan kedalaman yang dioperasikan pada model yaitu 60 cm, dan untuk panjang dari asumsi ini didasarkan pada kemampuan yang dapat diakomodasi oleh peralatan laboratorium. Sehingga diperoleh skala percobaan yaitu :

1. Skala Horizontal

$$nL = \frac{L_p}{L_m} = \frac{150}{1,5} = 100 \quad (8)$$

Ket :

nL = skala horizontal

Lp = panjang di prototipe (m)
 Lm = panjang di model (m)

2. Skala Vertikal

$$nh = \frac{hp}{hm} = \frac{600}{60} = 10 \quad (9)$$

Ket :

nh = skala vertikal
 hp = tinggi di prototipe (m)
 hm = tinggi di model (m)

3. Skala Waktu

Pada penelitian ini direncanakan periode pasang pada prototipe nantinya selama 12 jam. Untuk menerapkannya pada model pengujian diperlukan skala waktu. Skala waktu digunakan untuk menentukan periode pasang untuk diterapkan pada model pengujian pasang surut nantinya. Sehingga untuk menentukan periode pasang pada model uji, diperlukan skala waktu yang dapat ditentukan dengan rumus :

$$nT = \sqrt{nh} = \sqrt{10} = 3,1623 \quad (10)$$

Ket :

nT = skala waktu
 nh = skala vertikal

Setelah didapat skala waktu yang dipakai untuk benda uji, bisa didapatkan periode pasang yang akan digunakan pada benda uji, berdasarkan persamaan periode yang dipakai pada benda uji adalah :

$$Tm = \frac{Tp}{nT} = \frac{43200}{3,1623} = 13661 \text{ detik} = 3 \text{ jam } 47 \text{ menit } 41 \text{ detik}$$

Pada percobaan ini akan diasumsikan ketinggian awal pasang sebelum dilakukan pengujian yaitu 1,5 m pada prototipe atau 15 cm pada model pengujian. Sehingga periode pasang untuk mencapai ketinggian 60 cm dengan ketinggian pasang awal 15 cm yaitu :

$$Tm = \frac{45}{60} \times \frac{Tp}{nT} = 10246 \text{ detik} = 2 \text{ jam } 50 \text{ menit } 46 \text{ detik}$$

Didapatkan periode pasang rencana dari pengujian ini yaitu 2 jam 8 menit 4 detik.

Lalu merangkai benda uji, merangkai pipa, pompa, dan juga stop kran agar dapat dilakukan pengujian.

2.4.2 Pengambilan Data

Prosedur penelitian yang dilakukan yakni sebagai berikut :

1. Mengisi kolam laut hingga ketinggian 15 cm
2. Setelah ketinggian 15 cm, buka penutup lubang antara kolam laut dan kolam darat
3. Lalu mencatat ketinggian air kolam laut dan juga waktunya per ketinggian 5 cm pada kolam darat menggunakan *stop watch*, dan mencatat ketinggian dan juga waktu yang didapatkan ke tabel pengamatan

4. Ketika ketinggian kolam laut telah mencapai 60 cm pada waktu rencana yaitu 2 jam 50 menit 46 detik, atur debit air masuk dengan menggunakan stop kran agar air pada kolam laut stabil pada ketinggian 60 cm
5. Lalu mencatat kembali waktu per ketinggian 5 cm pada kolam darat

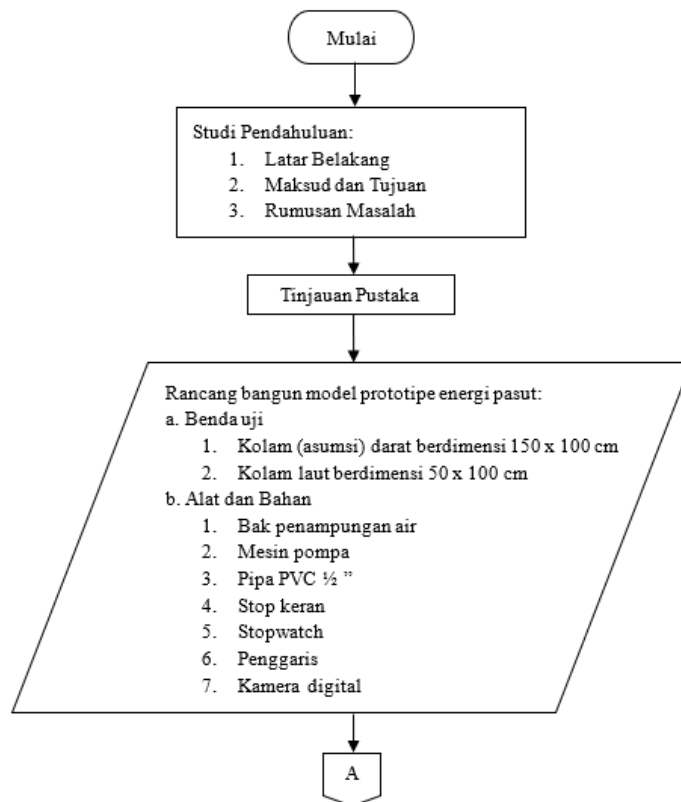
2.4.3 Analisis dan Pegolahan Data

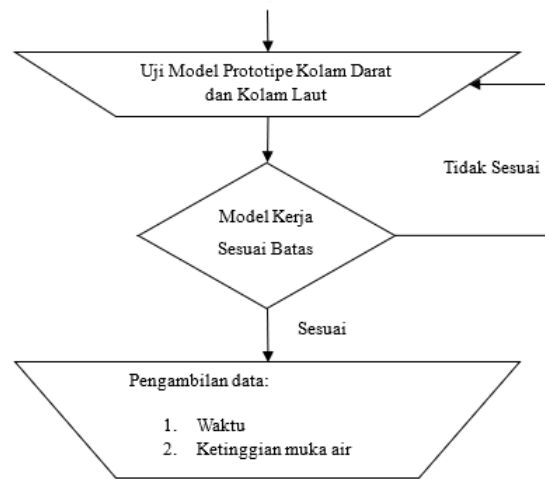
Data hasil penelitian yang diperoleh dari tahapan pendahuluan maupun tahap pengambilan data kemudian di olah menggunakan persamaan-persamaan empiris dari pendekatan para ahli. Untuk hasil olahan data yang diperoleh dari tahapan pendahuluan untuk menghasilkan nilai-nilai hasil analisis dan olah data akan menggambarkan pengaruh debit dan ketinggian serta hasil energi dan daya

Sehingga hasil dari nilai-nilai tersebut digunakan untuk penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan diharapkan mampu memenuhi tujuan dari penelitian ini.

2.4.4 Bagan Alur Penelitian

Bagan alur penelitian adalah visualisasi dari langkah-langkah atau tahapan yang dilakukan dalam sebuah penelitian, dari awal hingga akhir. Untuk Mempermudah dalam pelaksanaan penelitian maka dibuat prosedur penelitian secara sistematis yang dituangkan dalam bentuk bagan alur penelitian yang dapat dilihat pada gambar 29 sebagai berikut.





Gambar 27. Bagan Alur Penelitian