

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu lubang adalah bukaan pada dinding atau dasar tangki di mana zat cair mengalir melaluinya. Biasanya lubang ini digunakan untuk mengukur debit aliran. Lubang tersebut bisa berbentuk segi empat, segi tiga ataupun lingkaran. Sisi hulu lubang tersebut bisa tajam atau dibulatkan. Karena kemudahan dalam pembuatan, lubang lingkaran dengan sisi tajam adalah yang paling banyak digunakan untuk pengukuran debit aliran. Menurut ukurannya lubang dapat dibedakan menjadi lubang kecil dan besar.

Pada lubang besar, apabila sisi atas dari lubang tersebut berada di atas permukaan air di dalam tangki, maka bukaan tersebut dikenal dengan peluap. Peluap ini juga berfungsi sebagai alat ukur debit aliran, dan banyak digunakan pada jaringan irigasi. Peluap dengan ukuran yang besar disebut bendung, yang selain sebagai pengukur debit, dalam jaringan irigasi juga berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air. Tinjauan hidraulis bendung adalah sama dengan peluap. Peluap biasanya terbuat dari plat, sedang bendung terbuat dari beton atau pasangan batu. Pengaturan aliran fluida inkompresibel sangat diperlukan pada suatu industri dan pengaturan ini dapat dilaksanakan dengan memasang suatu orifice yang telah ditentukan baik jenis, bentuk maupun letak posisinya.

Oleh karena itu diperlukan adanya suatu penelitian tentang koefisien hidrolika yang melewati suatu orifice. Sehingga nantinya dapat diketahui karakteristik suatu aliran dan selanjutnya kita dapat menentukan daerah mana yang memerlukan suatu pipa orifice.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terkait bagaimana menentukan koefisien-koefisien orifice dengan menggunakan variasi perubahan tinggi energi dan penulis tuangkan dalam penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Melalui Lubang dengan Variasi Debit dan Tinggi Energi”. Penggunaan energi di Indonesia saat ini masih mengacu pada eksploitasi energi tak terbarukan seperti batu bara, gas alam dan juga minyak bumi, padahal energi tersebut diyakini akan habis pada suatu waktu ke depan. Maka dari itu, perlunya mengelola sumber daya terbarukan seperti tenaga pasang surut air laut, tenaga panas matahari, tenaga angin dan juga tenaga panas bumi untuk dikelola menjadi sumber daya terbarukan demi mengurangi penggunaan energi tak terbarukan. Selain itu penggunaan energi tak terbarukan seperti batu bara dan gas alam dapat menambah emisi gas rumah kaca seperti gas karbon dioksida (CO₂) di atmosfer.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah pulau terbanyak di dunia. Berdasarkan hasil survei validasi dan verifikasi pulau yang dilakukan oleh Badan Informasi Geospasial bersama kementerian dan lembaga yang terkait sampai dengan Agustus 2019 diperoleh data 16.671 titik pulau yang telah bernama dan berkoordinat, dan telah diajukan ke United Nations Group of Experts on

Geographical Names (UNGEGN). Jumlah pulau tersebut berkaitan erat dengan panjang garis pantai Indonesia yang mencapai 108.000 kilometer.

Indonesia juga berada di lintang khatulistiwa yang menyebabkan kondisi pasang surut, angin, gelombang dan arus cukup besar. Beberapa lokasi di Indonesia memiliki potensi energi pasang surut besar terutama terutama perairan yang berada di area Provinsi Papua atau yang berhadapan dengan Laut Arafuru, area Kepulauan Sumatra dan di beberapa tempat di Indonesia lainnya.

Pasang surut merupakan peristiwa pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang diakibatkan oleh kombinasi gravitasi dan gaya tarik menarik benda- benda astronomi, terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pasang surut dan arus yang dihasilkan oleh pasang surut sangat dominan dalam proses sirkulasi massa air di perairan pantai (Duxbury et al., 2002).

Dengan wilayah pesisir yang sangat panjang dan juga potensi dari energi pasang surut yang ada di Indonesia, penerapan pembangkit listrik tenaga pasang surut di Indonesia bukanlah suatu hal yang mustahil untuk di lakukan. Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian yang judul **“ANALISIS DAYA PASANG SURUT TIPE CONDONG HARIAN GANDA (CHG)”**.

1.2 Perumusan Masalah

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

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

1.3 Tujuan dan Manfaat

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

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

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai besarnya potensi daya dari energi pasang surut. Dan juga dapat menjadi referensi dalam energi terbarukan khususnya pada pembangkit listrik tenaga pasang surut.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

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 penelitian ini belum melibatkan struktur dari pembangkit listrik tenaga pasang surut, sehingga perlu direncanakan struktur yang tepat untuk dapat menerapkan pembangkit listrik tenaga pasang surut.
4. Penggunaan metode susunan kolam tunggal dengan sistem daur air ganda hanya merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperhitungkan besarnya potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga pasang surut, untuk itu perlu adanya penerapan metode lain agar dapat diperoleh perbandingan besarnya energi yang dihasilkan.

1.5 Energi Terbarukan

Energi adalah sesuatu yang sangat melekat dalam setiap aktivitas kehidupan manusia. Secara sederhana, energi dapat diartikan sebagai kemampuan suatu benda untuk melakukan suatu usaha. Suatu benda dikatakan memiliki energi ketika benda tersebut mampu untuk menghasilkan gaya yang dapat bekerja (Muhammad, 2023).

Renewable Energy merupakan istilah global yang digunakan untuk mendeskripsikan tentang energi terbarukan. Energi terbarukan menggunakan sumber energi yang memiliki siklus pendek dan berkelanjutan. Energi terbarukan dinilai ramah lingkungan dibandingkan energi fosil. Hal ini dikarenakan bahan bakunya merupakan sumber yang disediakan oleh alam tanpa banyak menimbulkan polusi dan efek gas rumah kaca dalam penggunaannya untuk menghasilkan energi. Jenis energi terbarukan di antaranya energi matahari, angin, air, panas bumi, dan energi pasang surut (Arif, 2021).

Indonesia sangat potensial dengan kekayaan sumber daya, salah satunya sumber energi. Hal ini sesuai dengan letak geografis maupun samudera serta daratan dengan wilayah vulkanik dan hujan tropisnya. Mendayagunakan potensi tersebut untuk kesejahteraan rakyat merupakan tantangan bagi kita. Adapun beberapa potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia.

1.5.1 Energi Panas Bumi

Sebagai daerah vulkanik, wilayah Indonesia sebagian besar kaya akan sumber energi panas bumi. Jalur gunung berapi membentang di Indonesia dari ujung Pulau Sumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT, NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera, dan Pulau Sulawesi. Panjang jalur itu lebih dari 7.500 km dengan lebar berkisar 50-200 km dengan jumlah gunung api baik yang aktif maupun yang sudah tidak aktif berjumlah 150 buah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di sepanjang jalur itu, terdapat 217 daerah prospek panas bumi. Potensi energi panas bumi total adalah 19.658 MW dengan rincian di Pulau Jawa 8.100 MW, Pulau Sumatera 4.885 MW, dan sisanya tersebar di Pulau Sulawesi dan kepulauan lainnya. Sumber panas bumi yang sudah dimanfaatkan saat ini adalah 803 MW. Biasanya data energi panas bumi dapat dikelompokkan ke dalam data energi cadangan dan energi sumber. (Kholiq, 2015)

1.5.2 Energi Air

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Itu disebabkan kondisi topografi Indonesia bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai dan daerah-daerah tertentu mempunyai danau/waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti, tidak merusak lingkungan, menunjang diversifikasi energi dengan memanfaatkan energi terbarukan, menunjang program pengurangan pemanfaatan BBM, dan sebagian besar memakai kandungan lokal. Besar potensi energi air di Indonesia adalah 74.976 MW, sebanyak 70.776 MW ada di luar Jawa, yang sudah dimanfaatkan adalah sebesar 3.105,76 MW sebagian besar berada di Pulau Jawa. Pembangunan setiap jenis pembangkit listrik didasarkan pada kelayakan teknis dan ekonomis dari pusat listrik serta hasil studi analisis mengenai dampak lingkungan. Sebagai pertimbangan adalah tersedianya sumber energi tertentu, adanya kebutuhan (permintaan) energi listrik, biaya pembangkitan rendah, serta karakteristik spesifik dari setiap jenis pembangkit untuk mendukung beban dasar (base load) atau beban puncak (peak load). Selain PLTA, energi mikrohidro (PLTMH) sangat layak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerah pedesaan di pedalaman yang terpencil ataupun pedesaan di pulau-pulau kecil dengan daerah aliran sungai yang sempit. (Kholiq, 2015)

1.5.3 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak sejajar dengan permukaan bumi yang bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Angin memiliki besaran fisis yaitu arah dan kecepatan yang mengakibatkan perbedaan tekanan udara. Menurut (Suwarti, 2017) kecepatan angin adalah kecepatan dari udara yang bergerak secara horizontal yang dipengaruhi oleh tinggi dari suatu daerah, keadaan geografi daerah, topografi daerah, dan geometris daerah. Arah angin adalah arah dari mana angin tersebut berhembus yang dinyatakan dalam direction degree. Angin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu angin global dan angin lokal. Angin global disebabkan karena adanya pemanasan matahari dengan intensitas yang besar di dekat khatulistiwa, dan hal ini menyebabkan peningkatan suhu udara pada daerah tropis yang selanjutnya mengalir melalui atmosfer atas ke arah kutub dan udara dingin dari kutub mengalir kembali ke daerah khatulistiwa (Saputra, 2015)

Menurut (Abdullah, 2015) angin dapat dibedakan dalam beberapa jenis yaitu angin darat, angin laut, angin gunung, angin lembah, angin muson, angin fohn, angin musim timur dan barat. Alat yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan angin adalah Anemometer. Prinsip kerja dari anemometer yaitu dengan adanya hembusan angin yang mengenai baling-baling pada anemometer. Selanjutnya putaran dari baling-baling tersebut akan dikonversi menjadi sebuah besaran. Setelah baling-baling tersebut berputar maka akan menggerakkan alat pengukur kecepatan angin yang berhembus dari putaran baling-baling.

Turbin angin digunakan untuk menghasilkan energi dari energi kinetik menjadi energi listrik, yang mana semakin meningkatnya kecepatan angin akan membuat energi yang dihasilkan juga meningkat. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memiliki prinsip kerja yaitu menggunakan kincir angin untuk mengubah energi angin menjadi energi kinetik, faktor dari daya turbin yaitu seperti densitas, volume, dan kecepatan angin (Adistia, 2020)

1.5.4 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 ke 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 ke pengaruh gaya coriolis dikenal dengan spiral ekman (Hutabarat & Evans, 2008)

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

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.

1.5.5 Energi Pasang Surut

Energi pasang surut (Tidal Energy) merupakan energi yang terbarukan. Prinsip kerjanya sama dengan pembangkit listrik tenaga air, dimana 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 (OEC, 2014)

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, 2012). 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, 2012)

1.5.6 Energi Surya

Energi matahari dijalkan ke permukaan dan diradiasikan ke dalam ruang angkasa. Dalam perjalanannya ke permukaan, 30% energi matahari akan direfleksikan dan disebar kembali ke angkasa, memberikan bumi dan atmosfer albedo sekitar 30%, sementara itu sebanyak 19% diabsorpsi oleh atmosfer dan awan serta 51% diabsorpsi oleh permukaan (Septiadi, 2009)

Pantulan kembali dari permukaan bumi ke angkasa berupa energi panas-sinar inframerah (longwave radiation), energi panas tersebut sebagian besar tidak dapat menembus kembali lapisan gas-gas atmosfer hanya sebagian kecil yang dapat lolos keluar. Tidak semua gelombang panjang yang dipantulkan kembali oleh bumi dapat menembus atmosfer menuju angkasa luar karena sebagian dihalang dan diserap oleh gas rumah kaca.

1.6 Pasang Surut Air Laut

Ketika kita berdiri di pantai dalam waktu yang cukup lama, maka kita akan merasakan bahwa kedalaman air pada tempat kita berdiri akan berubah. Yang awalnya kedalaman muka airnya rendah akan berangsur-angsur tinggi, begitupun sebaliknya ketika awalnya kedalaman muka airnya tinggi akan berangsur-angsur rendah seiring waktu. Perubahan elevasi muka air laut sebagai fungsi waktu tersebut disebabkan oleh adanya pasang surut (Triatmodjo, Teknik Pantai, 2016).

Pasang surut laut juga merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi berbanding lurus dengan massa, tetapi berbanding terbalik dengan jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari pada matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar dari pada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut. Hal ini karena jarak bulan lebih dekat dari pada 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)

Menurut (Triatmodjo, Teknik Pantai, 2016), "Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut dan bumi.". Walaupun massa bulan lebih kecil daripada matahari, tetapi karena jarak bulan ke bumi lebih dekat dari matahari ke bumi, maka pengaruh dari gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada gaya tarik matahari terhadap bumi. Adapun gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut di bumi adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari (Triatmodjo, Teknik Pantai, 2016).

Pada kenyataannya di permukaan bumi terdapat pulau-pulau dan benua-benua. Selain itu dasar laut juga tidak rata, karena terdapat palung, perairan dangkal, selat, teluk, gunung bawah laut, dan lain sebagainya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya penyimpangan keadaan pasang surut dari kondisi ideal, dan dapat menimbulkan ciri-ciri pasang surut yang berbeda dari pada setiap lokasi. Kedudukan bulan dan matahari juga mempengaruhi ketinggian pasang surut dalam satu periode (Triatmodjo, Teknik Pantai, 2016).

Pasang surut erat kaitannya dengan gaya gravitasi oleh bulan dan matahari. Pasang tertinggi terjadi pada saat bulan purnama, karena gravitasi bulan memiliki pengaruh yang lebih besar daripada gravitasi matahari. Walaupun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, namun jarak bulan ke bumi jauh lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi.

1.6.1 Arus Pasang Surut

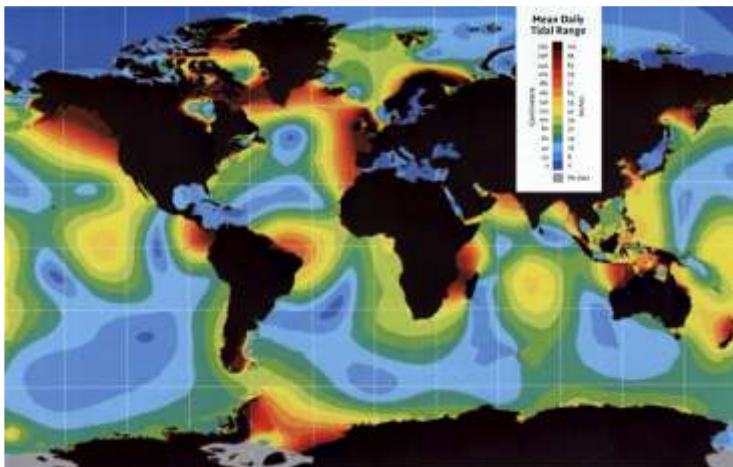
Arus pasut adalah pergerakan air secara horizontal yang disebabkan oleh pasang surut akan tetapi, antara arus pasut dengan pasut tidak selalu memiliki hubungan yang dapat dikaitkan satu dengan yang lainnya. Terkadang di beberapa pesisir perairan tidak memiliki arus pasut, dan yang lainnya memiliki arus pasut tetapi tidak ada pasut (Gross, 1990). Arus 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 (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. 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, 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

1.6.2 Siklus Pasang Surut

Air di ujung pantai yang berbatasan dengan lautan selalu bergerak naik dan turun sesuai dengan siklusnya. Permukaan air laut naik perlahan-lahan sampai mencapai ketinggian tertingginya, yang disebut pasang tinggi. Setelah itu, permukaan air turun sampai ketinggian minimum, yang disebut pasang rendah (Surinanti, 2007). Permukaan air akan mulai bergerak kembali. Perbedaan ketinggian antara pasang tertinggi dan terendah disebut tinggi pasang. Fenomena naik turunnya permukaan air ini terjadi dua kali dalam sehari, yang berarti ada dua periode pasang tinggi dan dua periode pasang rendah setiap hari. Pasang dengan ketinggian maksimum disebut spring tide, yang terjadi pada saat bulan baru (new moon) dan bulan purnama, sementara pasang dengan ketinggian minimum disebut neap tide, yang terjadi pada saat perempatan bulan pertama dan perempatan bulan ketiga. Biasanya, dua siklus penuh terjadi setiap bulan seiring dengan fase-fase bulan.

Bulan berputar mengelilingi bumi sekali dalam 24 jam 51 menit. Jika faktor-faktor lain diabaikan maka suatu lokasi di bumi akan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari. Dengan demikian tiap siklus pasang surut akan bergeser mundur tiap 51 menit tiap hari. Apabila bulan dan matahari berada kurang lebih pada satu garis lurus dengan bumi, seperti pada saat bulan muda atau pada saat bulan purnama, maka gaya Tarik keduanya akan saling memperkuat. Dalam keadaan demikian terjadilah pasang surut purnama (spring tide) dengan tinggi air yang luar biasa, melebihi tinggi pasang yang umum. Sebaliknya, surutnya pun sangat rendah, hingga lokasi tertentu dengan pantai yang landai bisa menjadi kering sampai jauh ke laut.

Terdapat dua jenis pasang yaitu pasang purnama (spring tide) dan pasang perbani (neap tide). Pada pasang purnama, faktor yang paling dominan bekerja adalah gaya gravitasi bulan. Besarnya dua kali lipat gaya gravitasi yang disebabkan oleh matahari. Hal ini dikarenakan posisi bulan yang lebih dekat dengan bumi. Gaya gravitasi menyebabkan tarikan air laut ke arah bulan dan matahari sehingga menghasilkan dua tonjolan keluar (bulge) air laut. Berikut merupakan ilustrasi fenomena pasang laut purnama.



Gambar 2. Ilustrasi Pasang Laut Purnama

Berdasarkan **Gambar 2** terlihat bahwa 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).



Gambar 3. Ilustrasi Fenomena Pasang Laut Perbani

Pada pasang perbani 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 kuartal pertama dan kuartal ketiga. Berikut merupakan ilustrasi fenomena pasang laut perbani.

Menurut (Triatmodjo, Teknik Pantai, 2016), penampilan pasut jenis campuran condong ke harian ganda diidentifikasi mendominasi perairan Indonesia Bagian Timur. Sifat pasut yang merambat dari Samudera Pasifik ini terjadi menurut

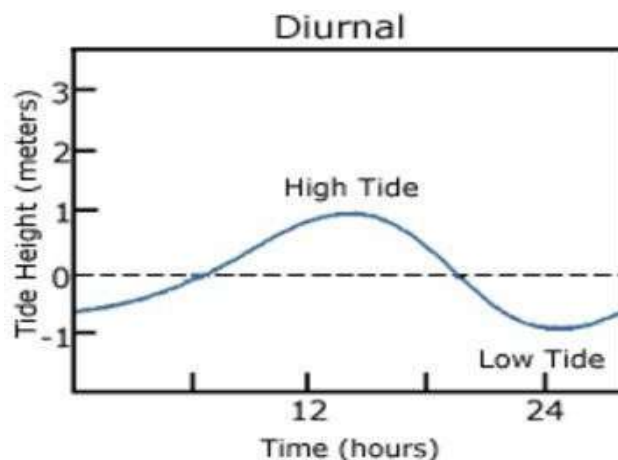
konstanta pasutnya yang telah dipengaruhi oleh konfigurasi garis pantai dan topografi perairan di kawasan tersebut.

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

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 (Surinanti, 2007)

Bentuk pasang surut di berbagai daerah berbeda-beda, ada daerah yang terjadi satu kali ataupun dua kali siklus pasang surut dalam satu hari. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan ke dalam empat tipe pasang surut, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.

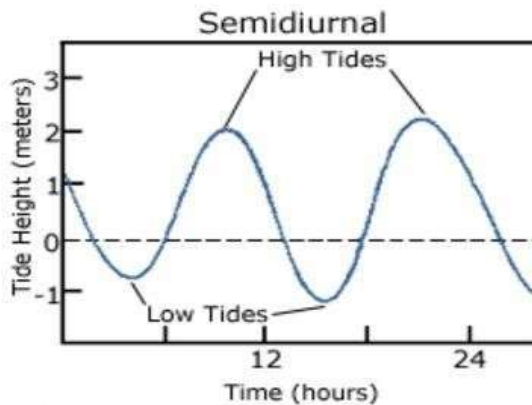
Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*) merupakan pasang surut yang terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dalam satu hari. Periode pasang surutnya adalah sekitar 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.



Gambar 4. Tipe pasang surut harian tunggal

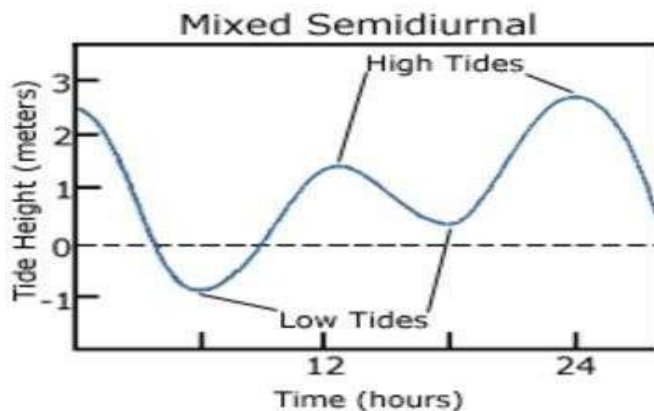
Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*) merupakan pasang surut yang terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam satu hari. Periode pasang

surutnya adalah sekitar 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terjadi di selat Malaka hingga laut Andaman.



Gambar 5. Tipe pasang surut harian ganda

Selanjutnya ada pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) yang terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan juga periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terjadi di perairan Indonesia Timur.



Gambar 6. Tipe pasang surut campuran condong harian ganda

Dan yang terakhir ada pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*miced tide prevailing diurnal*) yang terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi terkadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda jauh. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Kalimantan dan juga pantai utara Jawa Barat.

Gerak horizontal massa air laut ini disebut arus pasang surut (*tidal current*). Mekanisme terbentuknya *tidal current* dapat dijelaskan dari teori pasang surut

seimbang (*equilibrium tide*). Dalam teori pasut seimbang ini, bumi dianggap seluruhnya tertutupi oleh laut dan laut memberikan respon yang segera terhadap gaya tarik benda-benda langit. Gaya-gaya yang bekerja dalam pembentukan pasut adalah gaya tarik bulan dan gaya sentrifugal. Gerakan yang penting dalam sistem bumi-bulan adalah berevolusi mengelilingi sumbu bersamanya, bumi berotasi pada sumbunya, dan revolusi bulan mengelilingi bumi. Akibat revolusi bumi-bulan mengelilingi sumbu bersamanya, maka setiap titik di permukaan bumi mengalami gaya sentrifugal yang arahnya menjauhi revolusi (besarnya konstan di setiap titik). Gaya tarik bulan ini arahnya menuju bulan, makin dekat jarak titik di permukaan bumi dengan bulan makin besar gaya tarik bulan (Abdulsamad, 2015)

1.7 Energi Pasang Surut

Pasang surut adalah naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang disebabkan oleh aksi matahari dan bulan di atas air di bumi. Mereka terutama disebabkan oleh tarikan gravitasi bulan & Matahari di atas air tanah yang padat & Samudra. 70% pasang surut dihasilkan oleh gaya karena bulan. Bulan adalah faktor utama dalam pasang. Dua siklus pasang surut terjadi selama hari lunar 24 jam 50 menit. Waktu antara pasang naik & pasang surut di lokasi tertentu sedikit di atas 6 jam. Air pasang akan dialami pada titik yang langsung di bawah bulan. Pada saat yang sama, titik yang berlawanan secara diametris pada permukaan bumi juga mengalami gelombang tinggi karena keseimbangan dinamis. Oleh karena itu bulan purnama serta bulan tidak menghasilkan air pasang. Naik & Turunnya permukaan air mengikuti kurva Sinusoidal. Pasang surut adalah fenomena berkala. Tidak ada dua pasang yang sama, karena posisi relatif matahari & bulan dan jaraknya terus berubah. Ketika air di atas permukaan laut rata-rata, itu disebut air pasang dan ketika permukaan air di bawah permukaan rata-rata, itu disebut pasang surut. Pasang surut ini dapat digunakan untuk menghasilkan daya listrik yang dikenal sebagai daya pasang surut.

Energi pasang surut merupakan bentuk energi dengan memanfaatkan beda ketinggian pada waktu air laut pasang dan air laut surut. Pasang surut akan bervariasi dengan waktu dan tingginya tergantung pada posisi relative matahari, bulan dan bumi. Topografi dan kedalaman laut pada keadaan tertentu dapat bertindak sebagai resonator atau konsentrator pasang surut dan dapat menyebabkan tinggi pasang mencapai 15 m. Tidak kurang dari 100 lokasi di dunia yang dinilai sebagai tempat yang cocok bagi pembangunan pembangkit energi pasang surut (Soepardjo, 2005)

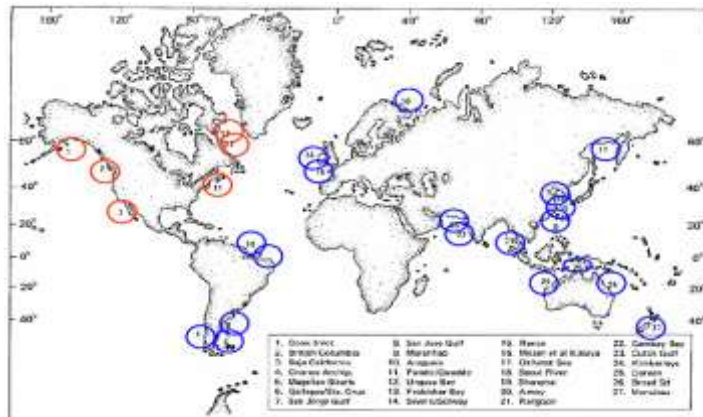
Saat ini ada 3 jenis teknologi pembangkit listrik tenaga arus pasut yaitu, Tidal Power, Tidal Fence dan Tidal Turbine . Seluruh wilayah pantai secara teratur mengalami periode pasang surut dalam sehari dan untuk Tidal Power perbedaan pasang-surut minimal 5 meter. Teknologi yang diterapkan sebenarnya adalah Teknik tradisional hydroelectric, dengan adanya dam (bendungan) yang melewati suatu teluk atau daerah estuari. Kemudian dilengkapi pintu air dan turbin dipasang sepanjang dam yang memisahkan kolam dan laut. Teluk yang ujungnya sempit sangat cocok diterapkan. Ketika air pasang menghasilkan tingkat air yang berbeda

di dalam dan di luar dam, pintu-pintu air akan terbuka, air yang mengalir melewati turbin akan menjalankan generator untuk menghasilkan listrik. Pemanfaatan energi ini memerlukan daerah yang cukup luas untuk menampung air laut (reservoir area) dan bangunan dam bisa dijadikan jembatan transportasi. Tidal Power dibedakan menjadi dua yaitu kolam tunggal dan kolam ganda. Pada sistem pertama, energi dimanfaatkan hanya pada saat periode air surut atau air naik. Sedangkan sistem kolam ganda memanfaatkan aliran dalam dua arah. Perbedaan tinggi antara permukaan air di kolam dan permukaan air laut pada instalasi ini semakin tinggi semakin baik. Di Jepang, sistem ini telah dikembangkan dengan pembukaan instalasi baru di Laut Ariake, Kyushu. Di Muara Sungai Severn, Inggris juga telah mulai direncanakan instalasi berskala besar untuk 12 GW listrik.

Sebuah bendungan dibangun sedemikian rupa sehingga sebuah baskom terpisah dari laut dan perbedaan dalam tingkat air diperoleh antara cekungan dan laut. Cekungan yang dibangun diisi selama air pasang dan dikosongkan masing-masing saat air surut melewati pintu air dan turbin. Energi potensial air yang tersimpan di dalam baskom digunakan untuk menggerakkan turbin yang pada gilirannya menghasilkan listrik karena langsung digabungkan ke alternator.

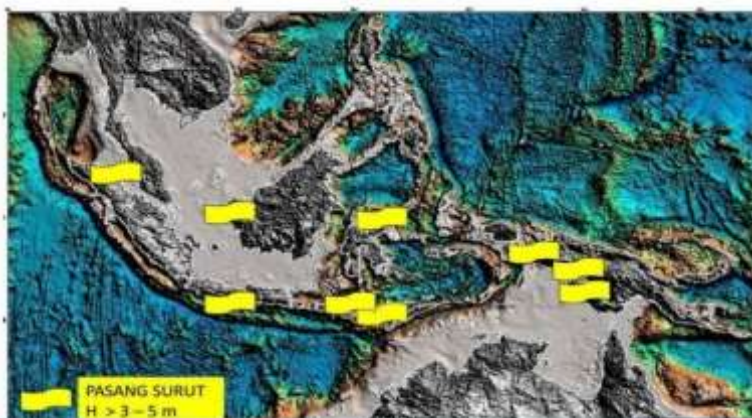
Prinsip kerja turbin arus pasang surut mirip dengan turbin angin, kecuali bahwa turbin arus pasang surut digerakkan oleh aliran laut, bukan angin. Biasanya, turbin arus pasang surut terdiri dari beberapa bilah (biasanya tiga hingga lima), poros, dan beberapa komponen tambahan lainnya (misalnya, generator, 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, 2008)

Di seluruh dunia, terdapat beberapa lokasi pasang surut dengan potensi daya yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7**. Pada gambar ini, lingkaran merah menempatkan lokasi potensial di Amerika Utara, sedangkan lingkaran biru menempatkan lokasi potensial di seluruh dunia.



Gambar 7. Potensi lokasi pembangkit listrik pasang surut di seluruh dunia

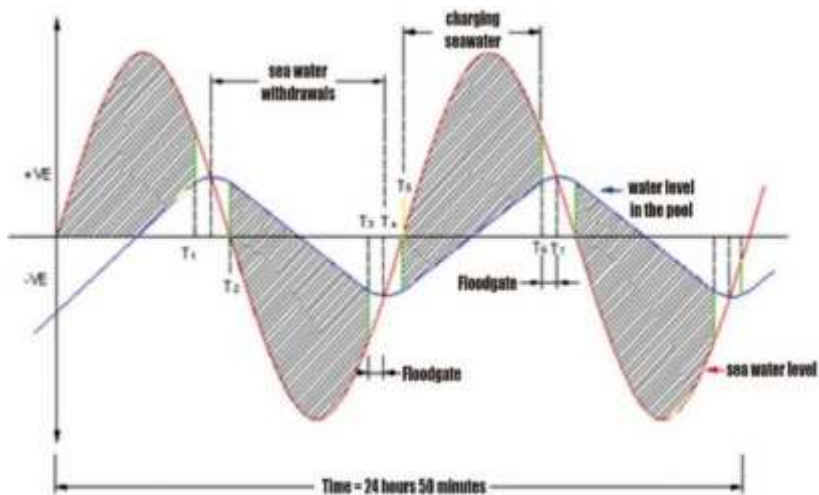
Kanada, sebagai negara samudra, memiliki empat lokasi tenaga pasang surut yang paling melimpah. Dengan sumber daya yang melimpah tersebut, beberapa perusahaan tenaga pasang surut memilih pantai Kanada untuk menguji turbin arus pasang surut mereka. Lokasi pembangkit pasang surut akan menentukan operasi 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



Gambar 8. Potensi energi pasang surut di Indonesia

1.7.1 Sistem Daur Ganda Pembangkit Pasang Surut

Potensi Energi Pasang Surut di peroleh dengan menggunakan simulasi sistem kolam tunggal dan sistem daur ganda. Sistem kolam tunggal ini merupakan gabungan dari sistem daur tunggal pasang dan daur surut (Dandekar & Sharma, 1991). Pada saat T_1 - T_2 laut sedang mengalami surut, pintu-pintu air dibuka agar air yang berada dalam kolam dapat keluar bersamaan dengan surutnya air laut, sehingga mencapai titik terendah. Pada saat permukaan air laut dan kolam penampung sama yaitu pada saat T_2 pintu air ditutup agar kolam tetap dalam keadaan kosong. T_2 - T_3 merupakan selang waktu tunggu agar air mempunyai perbedaan tinggi minimal (H_{min}) yang dianggap mampu untuk menggerakkan turbin, setelah beda tinggi minimal tercapai maka pada T_3 air mulai dimasukkan kedalam kolam melalui turbin, sehingga listrik akan dibangkitkan selama T_3 - T_4 . Pada saat T_4 pintu air ditutup karena ketinggian air sudah tidak mampu memutar. T_4 - T_5 merupakan selang waktu tunggu agar permukaan air dalam kolam menjadi sama dengan laut yang sedang mengalami surut, pada saat T_5 pintu air dibuka untuk membuang air dari dalam kolam menuju laut yang sedang surut. Untuk selanjutnya, pembangkitan listrik pada siklus berikutnya akan sama seperti siklus sebelumnya, lihat **Gambar 9** di bawah.



Gambar 9. Sistem daur ganda

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. Asumsi yang ketiga luasan kolam yang dipakai ditetapkan 1 hektar (10.000 meter persegi). 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 (Tantrawati & Ruzardi, 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

Volume aliran masuk kolam

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

dengan :

A = luas kolam (m²)

Δh = beda tinggi pasang dan surut (m)

Debit air rerata; Q (m³/detik);

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

dengan :

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

Besarnya tenaga yang dapat dihasilkan, P (kWh);

$$P = \frac{\eta \times hp \times Q \times \gamma}{75} \quad (3)$$

dengan :

hp = beda tinggi pasang surut rata-rata (m)

γ = Berat jenis air (Kg/m³)

η = Efisiensi turbin (diambil 0,75)

Daya dan energi listrik dalam hubungannya dengan debit dapat dirumuskan

1.8 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, Resnick, & Walker, 2013)

Rumus Energi Potensial Gravitasi :

$$V = m \times g \times h \quad (4)$$

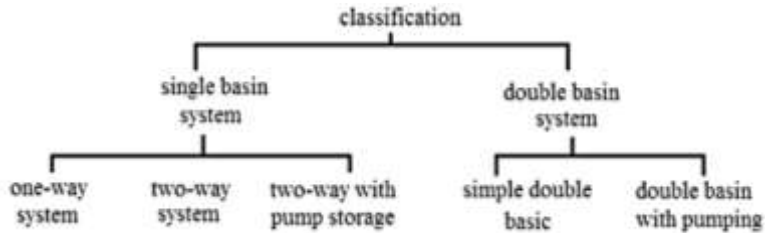
U = energi potensial gravitasi (Joule)

M = massa objek (kg)

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

h = ketinggian objek dari permukaan referensi (m)

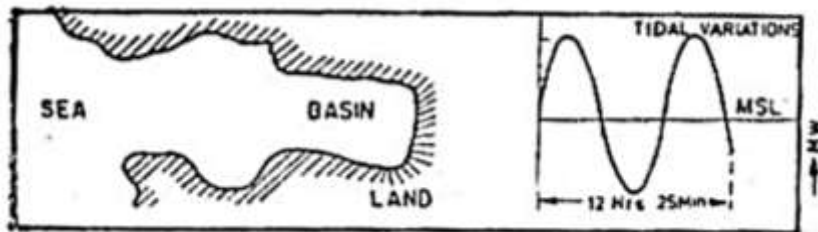
1.9 Sistem Kerja Pembangkit Pasang Surut



Gambar 10. Klasifikasi skema pembangkit pasang surut

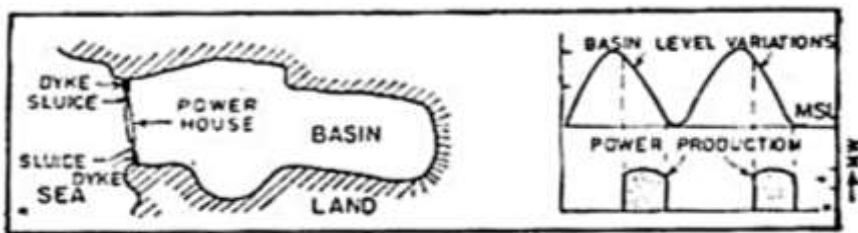
1.9.1 Single Basin One Way Cycle

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 11. Kolam tunggal pembangkit pasang surut

Gambar 11 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.

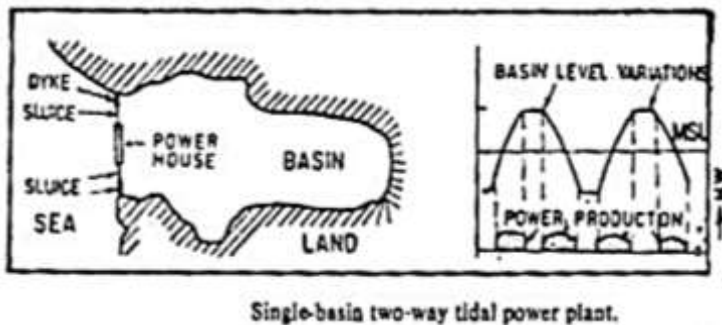


Gambar 12. Skema kolam tunggal sistem satu arah

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 **Gambar 13**

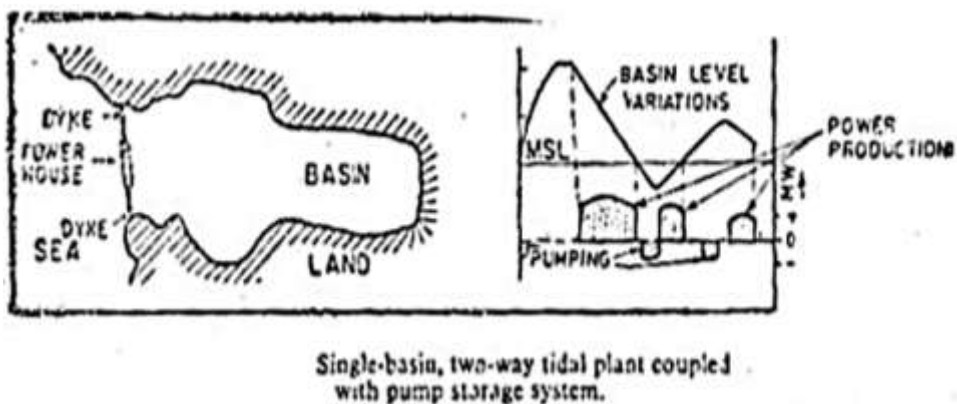


Gambar 13. Skema kolam tunggal sistem dua arah

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

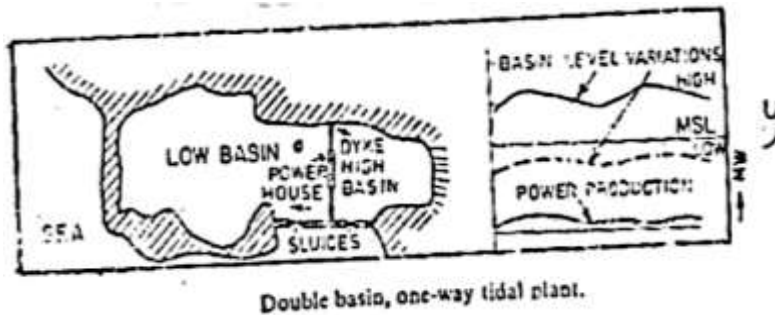
Pembangkit listrik tenaga pasang surut Rance di Prancis menerapkan sistem ini. Sistem tersebut menghasilkan listrik baik pada saat pasang maupun surut. Mesin yang digunakan dapat menghasilkan tenaga dan memompa air ke dua arah. Sebagian energi yang dihasilkan digunakan untuk menciptakan perbedaan tingkat air antara kolam dan laut pada setiap pasang surut, dengan cara memompa air ke kolam atas atau bawah. Periode produksi listrik dengan sistem ini jauh lebih lama dibandingkan dua sistem lainnya yang telah dijelaskan sebelumnya. Siklus operasi ditampilkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Skema kolam tunggal sistem dua arah dengan pompa

1.9.4 Double Basin Type

Dalam sistem ini, turbin dipasang di antara dua kolam seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 15**. 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 15**. Kerugian utama dari sistem ini adalah bahwa 50% dari energi Potensial dikorbankan dalam memperkenalkan variasi ketinggian air di dua cekungan.



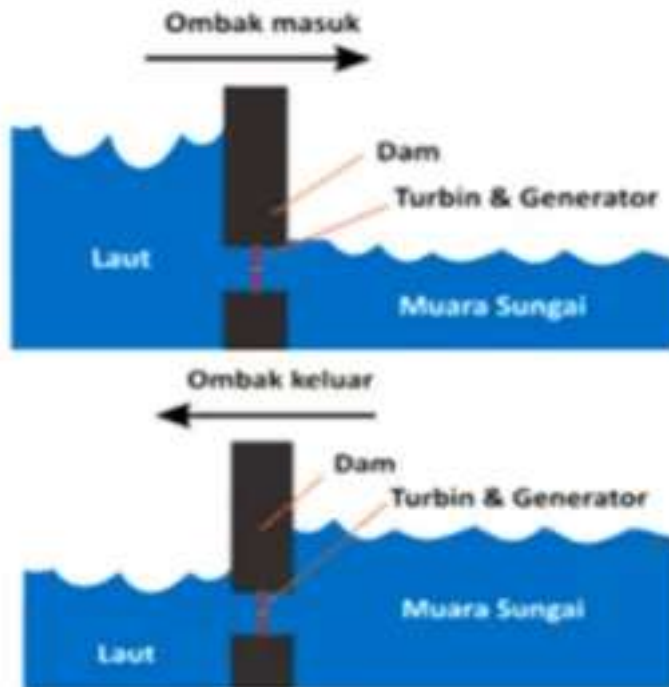
Gambar 15. Skema dua kolam sistem dua arah

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 16. Prinsip pembangkit listrik tenaga pasang surut

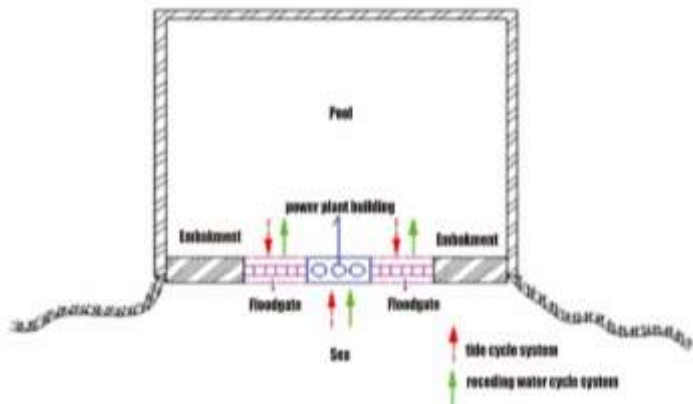
Karena energi pasang surut sangat dapat diandalkan, energi ini memiliki keunggulan signifikan dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Pasang surut laut yang mengikuti pola yang lebih teratur dibandingkan dengan cuaca yang acak menjadikannya sumber energi yang stabil. Selain itu, pembangkit listrik tenaga pasang surut tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti halnya bahan bakar fosil. Penggunaan energi nuklir pun menimbulkan limbah berbahaya. Di samping itu, untuk melindungi kota atau pelabuhan dari gelombang besar saat badai, struktur seperti waduk dan bendungan kecil yang diperlukan untuk memanfaatkan energi pasang surut juga bisa sangat berguna. Energi pasang surut merupakan sumber energi yang sangat efisien, dengan efisiensi mencapai 80 persen, hampir tiga kali lipat lebih efisien dibandingkan dengan batubara dan minyak bumi yang hanya

memiliki efisiensi 30 persen, serta jauh lebih unggul dibandingkan energi angin dan surya (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 hanya sekali dan biaya pemeliharaannya relatif 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 yang merata terjadi sekitar 10 jam (Putranto, 2018)

1.10.1 Sistem Kolam Tunggal

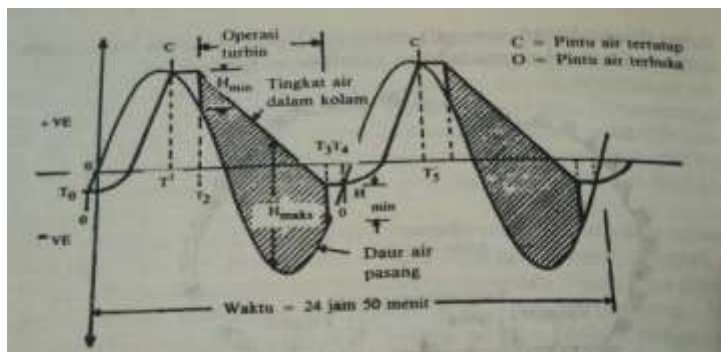
Ada hanya satu kolam dalam susunan kolam yang saling berhubungan dengan laut; tanggul memisahkan keduanya, dan aliran antara keduanya mengalir melalui pintu air yang terlihat di sepanjang tanggul. Di Rance (bagian kolam tunggal), pintu air diletakkan pada kedua ujung tanggul. Cara ini memudahkan pembuatan tanggul (Ramadhan, 2020)



Gambar 17. Sistem Kolam Tunggal

1.10.2 Sistem Daur Air Surut Tunggal

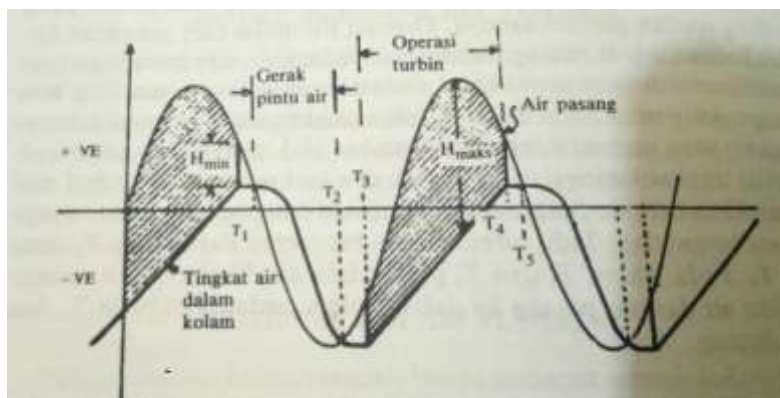
Dalam sistem ini, pembangkit tenaga dihasilkan oleh air laut surut. Air mengalir dari kolam melalui turbin-turbin ke laut yang sedang rendah permukaannya setelah air laut pasang melalui pintu-pintu air. Kemudian, menunggu tingkat permukaan air minimum antara kolam dan laut yang sedang surut meningkat, dan kemudian mulai menghasilkan tenaga sampai ketinggian air yang memadai tercapai. **Gambar 18** 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, 2020)



Gambar 18. 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 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, 2020)



Gambar 19. Sistem daur air pasang kolam tunggal

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, 2020)

1.11 Studi Model

Studi model digunakan untuk mendukung perencanaan bangunan air. Terdapat dua tipe model yaitu model matematik dan model fisik. Untuk model matematik biasanya digunakan apabila permasalahan yang ada dapat dirumuskan secara matematis. Lalu persamaan matematis tersebut dapat diselesaikan secara numeris dengan bantuan komputer. Sedangkan model fisik digunakan apabila fenomena fisik dapat direproduksi dengan kesamaan yang cukup dengan memperkecil dimensi bangunan yang sesungguhnya (Triatmodjo, HIDRAULIKA 2 , 2010).

Model fisik diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu model tak distorsi dan model distorsi. Pada model tak distorsi bentuk geometri antara model dan prototip adalah sama tetapi berbeda ukuran dengan suatu perbandingan ukuran atau skal tertentu. Model tak distorsi relatif mudah dan juga hasil-hasil yang diperoleh dari model tersebut dapat dengan mudah diaplikasikan pada prototip. Sedangkan pada model distorsi bentuk geometri antara model dan prototip tidaklah sama. Model distorsi ini banyak digunakan apabila prototip mempunyai dimensi horisontal jauh lebih besar dari dimensi vertikal, seperti pada sungai, pelabuhan dan lainnya. Dalam hal ini apabila skala horisontal dan vertikalnya sama, maka kedalaman air pada model akan menjadi sangat kecil sehingga sangat sulit melakukan pengukuran disamping itu juga sifat dari aliran juga bisa jadi tidak sama. Untuk menghindari hal tersebut maka skala horisontal dan skala vertikal pada model dibuat tidak sama, di mana skala horisontal dibuat lebih kecil daripada skala vertikalnya. Studi model distorsi lebih sulit untuk diterapkan pada prototip.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan waktu rencana penelitian 3 bulan.



Gambar 20. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

2.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data

2.2.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian yang bersifat eksperimental, kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur yang berkaitan dengan penelitian yang sama dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Kemudian peneliti membuat pemodelan fisik berupa replika yang telah diskalakan dan nantinya akan dilakukan simulasi yang dilakukan secara terkontrol.

2.2.2 Sumber Data

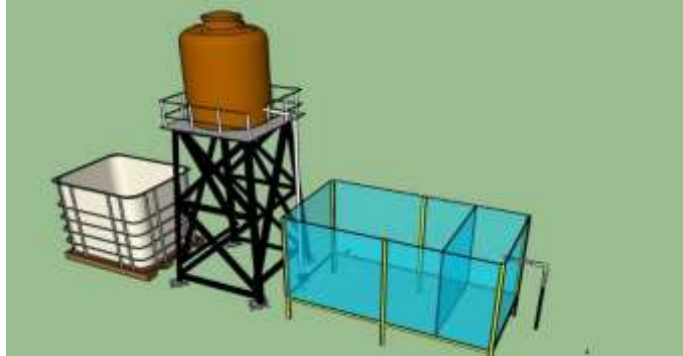
Pada penelitian ini, digunakan dua sumber data yaitu sebagai berikut:

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

2.3.1 Benda Uji

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



Gambar 20. Model 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.

2.3.2 Alat dan Bahan

Alat yang dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Bak penampungan air.



Gambar 21. Bak Penampungan

2. Mesin pompa.



Gambar 22. Mesin Pompa

3. Pipa PVC $\frac{1}{2}$ " sebagai jaringan sirkulasi air.
4. Stop kran untuk mengatur debit air.



Gambar 23. Stop Kran

5. *Stopwatch* untuk menghitung waktu dalam pengambilan data.

6. Penggaris untuk mencatat ketinggian kolam darat dan kolam laut.



Gambar 24. Penggaris

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

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Tahapan Persiapan

Persiapan meliputi kegiatan diantaranya 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 prototip. 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 prototip adalah 150 m dan panjang kolam reservoir pada model adalah 150 cm dan untuk kedalaman perairan pada prototip 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 :

Skala Horisontal

$$nL = L_p / L_m \quad (5)$$

$$= 150 / 1,5 = 100$$

Dimana :

nL = skala horisontal

L_p = panjang di prototip (m)

L_m = panjang di model (m)

Skala Vertikal

$$n_h = h_p / h_m \quad (6)$$

$$= 600 / 60 = 10$$

Dimana :

n_h = skala vertikal

h_p = tinggi di prototip (m)

h_m = tinggi di model (m)

Skala Waktu

Pada penelitian ini direncanakan periode pasang pada protipe nantinya selama 9 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 :

$$nT = \sqrt{n_h} \quad (7)$$

$$= \sqrt{10} = 3,1623$$

Dimana :

nT = skala waktu

n_h = 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 :

$$T_m = T_p / nT \quad (8)$$

$$= 32400 / 3,1623 = 10246 \text{ detik} = 2 \text{ jam } 50 \text{ menit } 46 \text{ detik}$$

Pada percobaan ini akan diasumsikan ketinggian awal pasang sebelum dilakukan pengujian yaitu 1,5 m pada prototipe atau 15 cm pada pada model pengujian. Sehingga berdasarkan persamaan 3.4 periode pasang untuk mencapai ketinggian 60 cm dengan ketinggian pasang awal 15 cm yaitu :

$$T_m = 45 / 60 \times T_p / nT = 7684 \text{ detik} = 2 \text{ jam } 8 \text{ menit } 4 \text{ detik}$$

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.

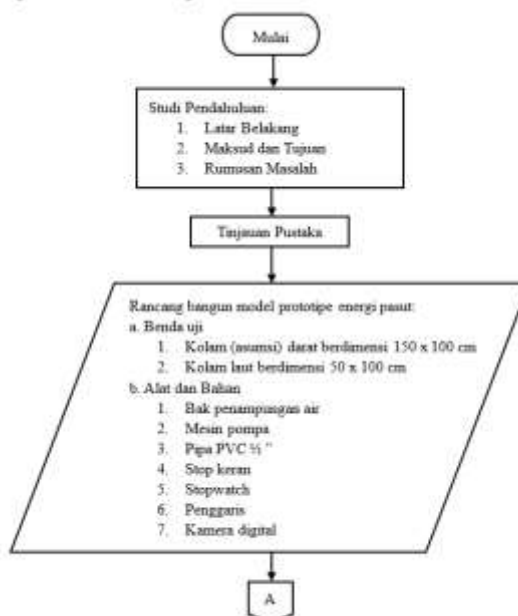
2.4.2 Pengambilan Data

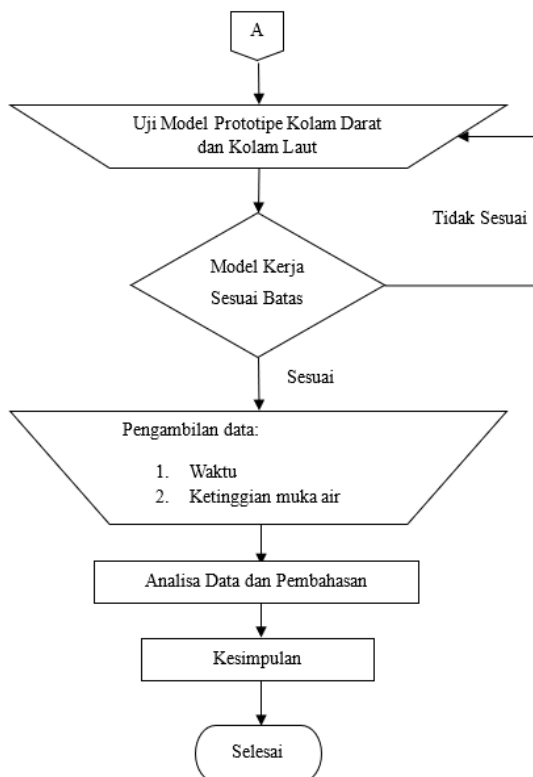
Prosedur penelitian yang dilakukan yakni sebagai berikut :

1. Mengisi kolam laut hingga ketinggian 15 cm
2. Membuka penutup lubang antara kolam laut dan kolam darat
3. Lalu pencatat ketinggian air kolam laut (h_1) dan juga waktunya per ketinggian 5 cm pada kolam darat menggunakan *stopwatch*, dan mencatat ketinggian kolam darat (h_2) dan juga waktu yang didapatkan ke tabel pengamatan
4. Ketika ketinggian kolam laut telah mencapai 60 cm pada waktu rencana yaitu 2 jam 8 menit 4 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 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 Error! Reference source not found. sebagai berikut.





Gambar 26. Bagan Alur Penelitian