

Simulasi Dan Analisa Sitem Offshore Hybrid Power Plant Berbasis Energi Angin Lepas Pantai Dan Arus Pasang Surut Air Laut

Rahmat Burmanjaya

¹Program Studi Teknik Sipil, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

rahmatburmanjaya1@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah daerah perairaan dengan berbagai potensi energi yang ada di lautan, namun Potensi energi di lautan yang masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Beberapa energi yang sangat potensial di lautan diantaranya energi angin, energi surya, energi gelombang dan arus laut. Dalam penelitian ini dilakukan analisa dari hasil simulasi sebuah sistem pembangkit hybrid menggunakan software HOMER dengan sumber energi angin lepas pantai dan arus air laut, bertujuan untuk memaksimalkan potensi lautan guna mencapai efisiensi enegi listrik sebaik mungkin. Data penelitian ini diambil di daerah offshore aceh besar di koordinat 5°31'32.8"LU 95°07'10.7"BT. Daerah ini mempunyai kecepatan rata-rata maksimal angin sebesar 4,9 m/s dan kecepatan rata-rata arus laut sebesar 0,37 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembangkit hybrid mampu menghasilkan energi listrik 5.437.333 kWh pertahun dengan konfigurasi 5 turbin angin dan 10 turbin hidrokinetik. kecepatan arus laut yang masih terlalu rendah membuat sistem pembangkit listrik ini belum terlalu optimal, turbin hidrokinetik hanya menghasilkan 17,6 % dari total produksi listrik, ini mengakibatkan tingginya harga cost of energy pembangkit yaitu sebesar Rp. 3.969 /kWh, dan jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN yaitu Rp.1.325 /kWh harga jual listrik dari sistem pmbangkit ini masih terlalu mahal dan belum efisien.

Kata Kunci: *offshore, hybrid, tubin, efisiensi, potensi*

1. PENDAHULUAN

Energi adalah kemampuan melakukan kerja. Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat.(Akbar et al., 2019). Selama ini kebutuhan energi masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi. Namun pada kenyataannya minyak bumi semakin langka dan mahal harganya sehingga pencarian energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi tersebut terus dikembangkan.

Dengan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat, maka diperlukan waktu yang tidak sedikit untuk membangun suatu pembangkit tenaga listrik. Para perencana sistem juga harus dapat melihat kemungkinan-kemungkinan perkembangan sistem tenaga listrik di tahun-tahun yang akan datang. Maka dari itu diperlukan pengembangan industri listrik yang meliputi perencanaan pembangkitan, sistem kontrol dan proteksi, serta sistem transmisi dan distribusi listrik yang akan disalurkan hingga sampai pada konsumen. Pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN secara umum menggunakan energi yang termasuk tidak terbarukan, contoh: batubara, BBM. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat itulah, diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada (energi terbarukan). PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dan PLTPS (pembangkit listrik energi pasang surut) adalah pembangkit tenaga listrik dengan sumber energi terbarukan. Hal ini dilihat dari segi ekonomis dan keamanan. Karena saat ini cadangan energi fosil semakin berkurang sedangkan kebutuhan konsumsi bahan bakar minyak terus meningkat, hal ini berdampak pada krisis energi.(Akhir & Nugraheni, 2010)

Energi yang ada di lautan bisa menjadi pilihan yang baik untuk melengkapi kekurangan energi yang ada. Laut dan samudra melingkupi dua per tiga dari luas permukaan bumi dan tentunya dapat memproduksi energi dalam jumlah yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan energi.(Khulna-, 2015). Dengan semakin majunya ilmu pengetahuan maka terciptalah peralatan modern yang dapat mengkonversi energi di lautan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan berbagai bentuk energi seperti gelombang laut, angin lepas pantai, energi pasang surut, energi matahari

Energi angin lepas pantai bukan sepenuhnya energi laut tetapi eksploitasi turbin angin di lingkungan laut mempunyai beberapa keunggulan yaitu angin di lautan lebih kuat dan lebih konstan dari pada angin yang ada di darat, sehingga tentunya dapat menghasilkan daya yang lebih besar, dan karena lautan memberikan ruang terbuka yang lebih luas maka turbin angin yang dapat dipasang juga memiliki kapasitas dan ukuran yang lebih besar.(Pierre et al., 2013)

Dalam mengkonversi energi dari arus laut turbin pasang surut memiliki prinsip kerja yang sama dengan turbin angin.(Jo et al., 2011) Dengan demikian maka teori dan pengalaman yang telah di dapat dari penggunaan turbin angin dapat diaplikasikan ke turbin pasang surut. Selain itu, baik turbin angin lepas pantai maupun turbin pasang surut keduanya terletak di lepas pantai sehingga memungkinkan untuk mewujudkan pembangkit listrik tenaga *hybrid* berbasis energi angin dan pasang surut air laut.

Berdasarkan pembahasan diatas maka pengembangan energi yang berbasis energi terbarukan lepas pantai sudah seharusnya di tingkatkan. Oleh karena itu dalam penelitian tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa sistem *offshore hybrid power plant* berbasis energi angin dan pasang surut dengan menggunakan *software* HOMER sebagai alat untuk menganalisis

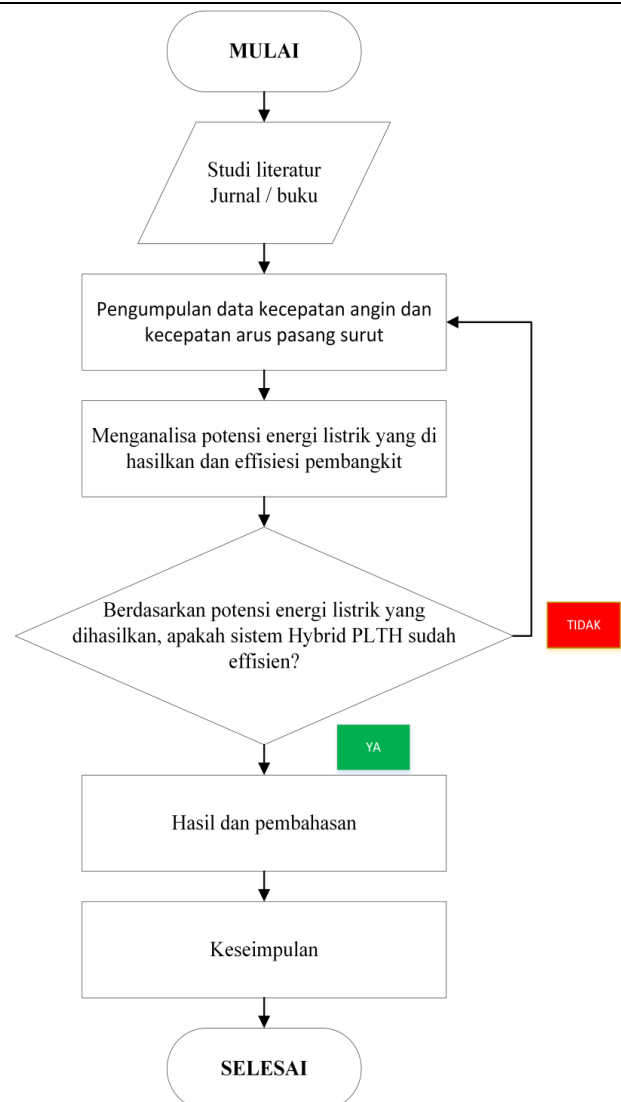
sistem *hybrid*.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara pengumpulan data literatur dari penelitian yang telah ada untuk selanjutnya dilakukannya simulasi menggunakan aplikasi HOMER untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari data penelitian sebelumnya. Dari simulasi yang diharapkan akan diperoleh konfigurasi pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin lepas pantai dan arus pasang surut air laut agar dapat diterapkan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Adapun metode penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengumpulan data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini yang didapat dalam jurnal maupun *software* HOMER :
 - a. Kecepatan angin
 - b. Kecepatan arus saat pasang surut
 - c. Data spesifikasi dan harga material konstruksi
 - d. Beban terpasang
2. Mengolah data yang sudah didapat dengan menggunakan *software* HOMER untuk menganalisa kelayakan sistem *hybrid*
3. Menarik kesimpulan dari hasil analisa agar dapat menentukan tingkat efisiensi tertinggi pada sistem pembangkit
4. Pembuatan laporan dari hasil seluruh penelitian ini akan dituliskan pada tugas akhir.

Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Sistem PLTB *Offshore*

Data energi angin

Data kecepatan angin dalam rentang waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2020 diambil dari website <https://power.larc.nasa.gov/>

| Bulan | Rata-rata (m/s) | Maximum (m/s) | Minimum (m/s) |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|
| Januari | 5,32 | 20,97 | 0,02 |
| Februari | 4,89 | 13,88 | 0,07 |
| Maret | 3,79 | 13,55 | 0,06 |
| April | 3,31 | 12,58 | 0,03 |
| Mei | 4,95 | 15,27 | 0,04 |
| Juni | 5,98 | 14,71 | 0,23 |
| Juli | 6,27 | 13,89 | 0,08 |
| Agustus | 6,10 | 13,26 | 0,21 |
| September | 5,22 | 11,67 | 0,18 |
| Oktober | 4,60 | 13,09 | 0,04 |
| November | 4,04 | 13,22 | 0,02 |
| Desember | 4,97 | 13,64 | 0,01 |

Tabel 4. 1 Data kecepatan angin

Berdasarkan tabel kecepatan angin di atas, diperoleh data kecepatan angin yaitu :

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| kecepatan angin rata | = 4,95 m/s |
| Kecepatan angin maksimal | = 20,97 m/s |
| Kecepatan angin minimum | = 0,01 m/s |
| Masa jenis udara | = 1,2 kg/m ³ |

Dari parameter tersebut, lokasi penelitian memiliki angin yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik dikarenakan kategori kecepatan rata-rata angin per tahun 4,95 m/s berada di kelas 4, dimana memenuhi syarat antara kelas 3 sampai dengan kelas 8 untuk kategori angin yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembangkitan energi listrik.

4.1.1 Pemilihan Turbin Angin

Dengan kecepatan angin rata-rata 4,95 m/s maka turbin yang sesuai menurut standar IEC 61400 dengan kecepatan angin rata-rata tersebut maka turbin angin yang paling cocok adalah turbin kelas IV (*Very Low Wind*) namun kecepatan angin tersebut dapat dimanfaatkan menggunakan turbin kelas 3 hingga 56 % dari kapasitas generator turbin. (Habibie et al., 2011)

a. Perhitungan Luas Rotor

Luas sapuan rotor pada turbin angin dihitung menggunakan persamaan

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

Turbin angin diharapkan dapat menghasilkan daya maksimal 850 kv. sehingga di dapat luas rotor yaitu :

$$A = \frac{2P}{\rho v^3} = \frac{2 \times 850000 \text{ W}}{1,2 \text{ kg} \times 4,95^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$
$$A = 11680,63 \text{ m}^2$$

b. Diameter Sudu Turbin

Dari luasan rotor tersebut ditentukan diameter sudu turbin yang sesuai dengan perhitungan

$$A = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d$$
$$d = \frac{2A}{4\pi} = \frac{2 \times 11680,63}{4 \times 3,14 \times 52}$$
$$d = 35,76 \text{ m}$$

c. Tip Speed Ratio

setelah didapat nilai diameter sudu maka dapat di hitung nilai tip speed ratio (λ) dengan persamaan

$$\lambda = \frac{\pi d}{v}$$
$$\lambda = \frac{3,14 \times 35,76 \text{ m}}{4,95 \text{ m/s}}$$
$$\lambda = 22,68$$

d. Putaan Turbin

Berdasarkan kecepatan angin dan diameter sudu dapat dihitung nilai dihasilkan turbin angin dengan persamaan

$$\text{RPM} = 60 \frac{\lambda v}{\pi d}$$

$$\text{RPM} = 60 \frac{22,68 \cdot 4,95 \text{ m/s}}{3,14 \cdot 35,76 \text{ m}}$$

$$\text{RPM} = 59,9 \text{ RPM}$$

e. Torsi turbin yang dihasilkan Setelah di dapat nilai RPM maka dapat di nilai torsi pada turbin menggunakan persamaan

$$T = \frac{30P}{\pi \cdot \text{RPM}}$$

$$T = \frac{30 \cdot 850000}{3,14 \cdot 59,9}$$

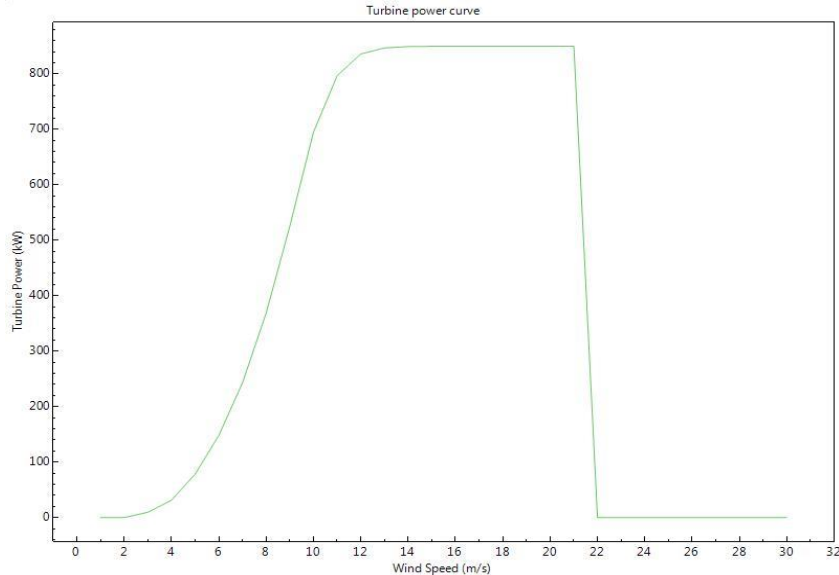
$$T = 135638,2 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka tipe turbin angin yang tepat dengan potensi energi angin adalah turbin angin jenis HAWT (*horizontal axis wind turbine*)pabrikan SIEMENS Gamesa G52 850 , dengan spesifikasi sebagai berikut

| Parameter | Value |
|--------------------|------------------------|
| Tipe | SIEMENS Gamesa G52 850 |
| Cut in wind speed | 4 m/s |
| Cut out wind speed | 25 m/s |
| Rate power | 850 Kw |
| Diameter rotor | 52 m |
| Tinggi hub | 65 m |

Tabel 4. 2 Spesifikasi Turbin Gamesa G52

Gambar berikut ini merupakan gtrafik produksi energi listrik turbin Gamesa G52 850 terhadap kecepatan angin yang mencapai maksimal output pada kecepatan 14 m/s



Gambar 4. 1 Produksi energi listrik turbin gamesa G52 850

Potensi Energi Listrik

potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan luas sapuan rotor dihitung menggunakan persamaan.

$$P = 0,5 \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0,5 \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 11680,63\text{m}^2 \cdot 4,95^3 \text{ m/s}$$

$$P = 850027,77 \text{ watt}$$

$$P = 850 \text{ kW}$$

sedangkan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan memperhitungkan faktor efisiensi maksimal turbin angin sebesar 59,3 % (konstanta betz) ialah.

$$P_{\eta} = P \cdot C(\text{konstanta betz})$$

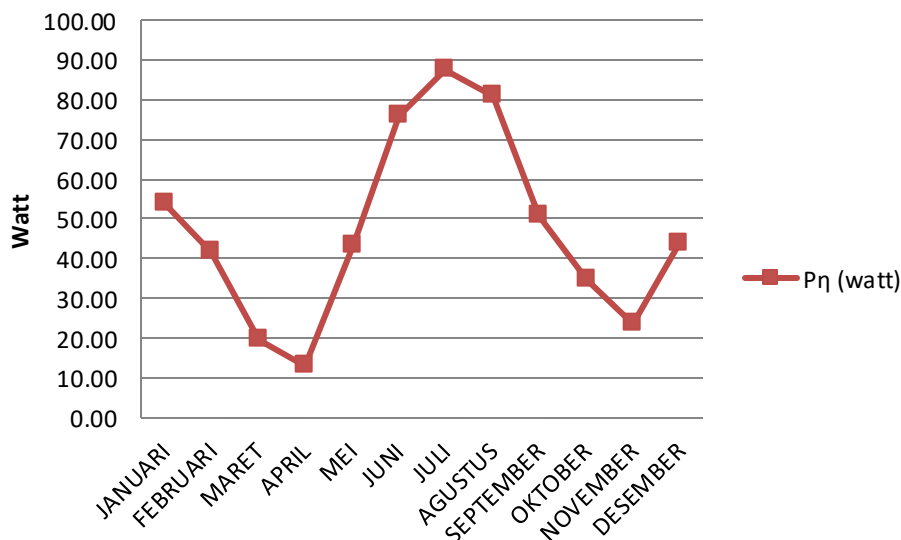
$$P_{\eta} = 850 \text{ kW} \cdot 59,3 \%$$

$$P_{\eta} = 504,05 \text{ kW}$$

Dengan output energi listrik 504,05 kW pembangkit ini berpotensi untuk dijadikan pembangkit listrik skala menengah yang mempunyai kapasitas 40 kW sampai 999 kW. Sedangkan potensi energi listrik sepanjang tahun dapat di lihat pada tabel dan grafik di bawah ini

| Bulan | P_{η} (watt) |
|-----------|-------------------|
| Januari | 625759 |
| Februari | 485958,1 |
| Maret | 226250,7 |
| April | 150714,9 |
| Mei | 504066,5 |
| Juni | 888742,1 |
| Juli | 1024412 |
| Agustus | 943325,8 |
| September | 591131 |
| Oktober | 404525,3 |
| November | 274041,5 |
| Desember | 510201,1 |

Tabel 4. 3 Potensi produksi energi listrik pertahun



Gambar 4. 2 grafik produksi energi listrik sepanjang tahun

Rata rata jumlah produksi energi listrik dalam satu bulan ialah

$$P_{out} = \frac{P_{\eta total}}{\text{jumlah}}$$

$$P_{out} = \frac{6629128}{12}$$

$$P_{out} = 552427,3 \text{ kW}$$

**Analisa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut
 Data Kecepatan Arus Laut**

Tabel 4.3 data kecepatan arus laut dalam rentan tahun 2015 – 2019 pada kedalaman 15 m

| Bulan | Rata-rata (m/s) | Maximum (m/s) |
|-----------|-----------------|---------------|
| Januari | 0,144 | 0,41 |
| Febuari | 0,1576 | 0,506 |
| Maret | 0,1418 | 0,385 |
| April | 0,1244 | 0,427 |
| Mei | 0,1404 | 0,445 |
| Juni | 0,1448 | 0,479 |
| Juli | 0,148 | 0,423 |
| Agustus | 0,165 | 0,851 |
| September | 0,2408 | 0,674 |
| Oktober | 0,1222 | 0,537 |
| November | 0,1528 | 0,479 |
| Desember | 0,1648 | 0,553 |

Tabel 4. 4 Data Kecepatan arus laut

Berdasarkan data di atas dapat di ketahui data kecepatan arus yaitu

Kecepatan arus rata-rata = 0,153 m/s

Kecepatan arus maksimal = 0,377 m/s

Nilai densitas air laut = 1025 kg/m³

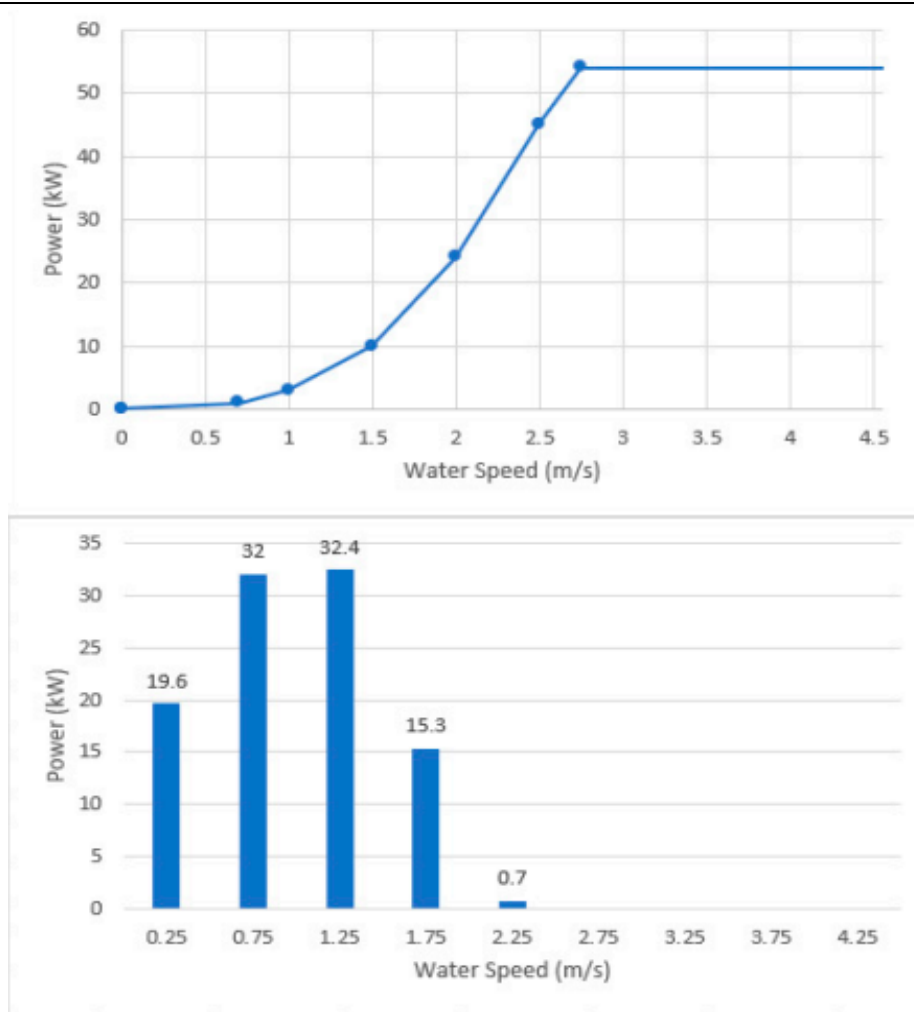
Turbin hidrokinetik

Data di atas menunjukkan bahwa kecepatan arus di lokasi penelitian termasuk kedalam arus dengan kecepatan rendah sehingga untuk pemilihan turbin di perlukan turbin dengan cut in di bawah 0,25 m/s agar dapat menghasilkan energi listrik.(Nasab & Kilby, 2021) Maka jenis turbin yang paling tepat adalah Schottel (Schottel, Spray, Germany) (54 kW) dengan spesifikasi

| Parameter | Value |
|---------------------|---------------------|
| Tipe | Schottel 54 KW |
| Cut in tidal speed | 0,7 m/s |
| Cut out tidal speed | 4,6 m/s |
| Rated power | 2,5 m/s |
| Luas sapuan turbin | 7,06 m ² |
| Diameter rotor | 3 m |

Tabel 4. 5 Spesifikasi Turbin Schottel 54 kW

Berikut ini merupakan grafik potensi yang dapat dibangkitkan turbin schottel 54 kW berdasarkan kecepatan arus laut



Gambar 4. 3 Produksi energi listrik turbin schottel 54 KW potensi energi yang dapat dibangkitkan

Berdasarkan data kecepatan arus laut dan spesifikasi turbin hidrokinetik diatas maka potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dicari menggunakan persamaan

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0,5 \cdot 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7,06 \text{ m}^2 \cdot v^3$$

$$P = 183,27 \text{ Watt}$$

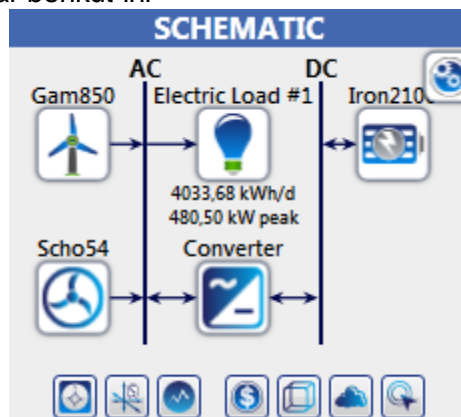
| BULAN | Potensi Energi (Watt) | |
|-------|-----------------------|---------|
| | Rata-Rata | Maximum |
| Jan | 10,80 | 249,37 |
| Feb | 14,16 | 468,76 |
| Mar | 10,32 | 206,48 |
| Apr | 6,97 | 281,70 |
| Mei | 10,01 | 318,84 |
| Jun | 10,99 | 397,65 |
| Jul | 11,73 | 273,85 |
| Aug | 16,25 | 2229,91 |

| | | |
|------|-------|---------|
| Sept | 50,52 | 1107,84 |
| Okt | 6,60 | 560,30 |
| Nov | 12,91 | 397,65 |
| Des | 16,19 | 611,89 |

Tabel 4. 6 Potensi energi listrik yang dibangkitkan

Simulasi HOMER

Desain pembangkit listrik *hybrid* serta data kecepatan angin dan arus laut dalam penelitian ini diinput dan disimulasikan ke dalam *software* HOMER menggunakan skema pembangkit seperti gambar berikut ini



Gambar 4. 4 Skema pembangkit *hybrida*

Parameter yang di input dalam penelitian ini meliputi beban terpasang, turbin angin, turbin hydrokinetic, converter, dan baterai. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini

| Input | Capital | O&M | Replacement | Salvage | Resource | Total |
|------------------------|---------|---------|-------------|-----------|----------|---------|
| Gamesa G52 850 | Rp31.0B | Rp28.0B | Rp18.3B | - Rp12.0B | Rp0.00 | Rp65.3B |
| Iron Edison LFP 2100Ah | Rp21.8B | Rp45.46 | Rp0.00 | - Rp9.40B | Rp0.00 | Rp12.4B |
| Schottel [54kW] | Rp7.68B | Rp6.93B | Rp10.4B | - Rp1.98B | Rp0.00 | Rp23.0B |
| System Converter | Rp1.41B | Rp2.55B | Rp949M | - Rp243M | Rp0.00 | Rp4.67B |
| System | Rp61.9B | Rp37.5B | Rp29.7B | - Rp23.6B | Rp0.00 | Rp105B |

5. KESIMPULAN

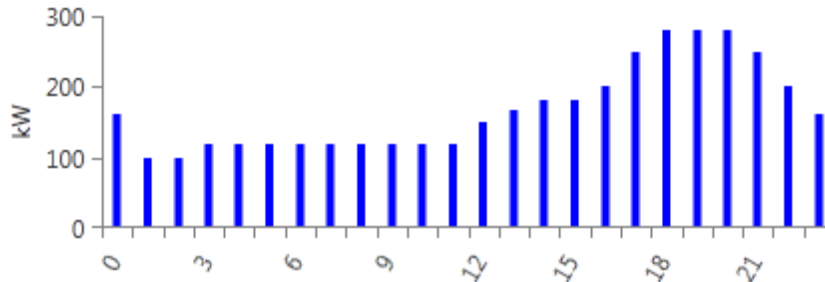
Tabel 4. 7 Parameter input HOMER

Berdasarkan analisa potensi angin, arus dan konfigurasi pembangkit diatas maka dapat di lakukan simulasi pembangkit menggunakan *software* HOMER sebagai berikut:

Profil beban

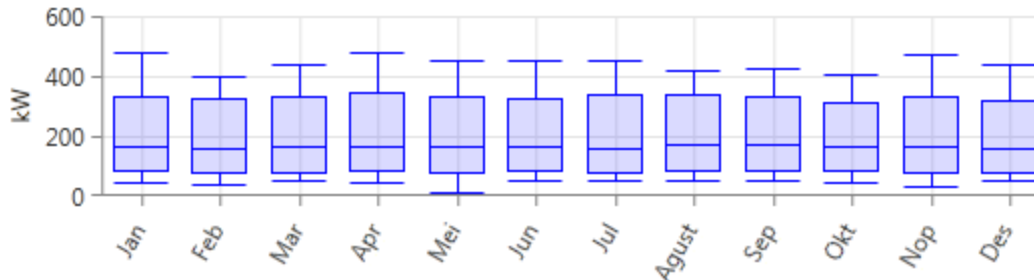
Profil beban yang digunakan dalam simulasi ini diambil berdasarkan kemampuan

pembangkit *hybrid* menghasilkan energi listrik. dari perhitungan diatas diketahui pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga arus laut masing masing mampu menghasilkan daya listrik sebesar 504,05 kWhour dan 0,18 kWhour maka daya yang dihasilkan kedua pembangkit ialah 504,23 kWhour. Dari kemampuan pembangkit tersebut disimulasikan profil beban ialah sepertiga dari kemampuan pembangkit yaitu 168,07 kWhour.



Gambar 4. 5 Profil beban harian

Dari grafik profil beban diatas diketahui konsumsi beban harian yaitu 4.018 kW per hari puncaknya pada pukul 18.00 sampai 20.00 yaitu 280 kWh



Gambar 4. 6 Profil beban bulan

Dari grafik profil beban diatas diketahui konsumsi beban harian yaitu 4.018 kW per hari puncaknya pada pukul 18.00 sampai 20.00 yaitu 280 kWh

Optimasi

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa opsi konfigurasi pembangkit untuk membandingkan efisiensi pembangkit. Yaitu dengan opsi turbin angin dan turbin hydra kinetik 1:2, 2:1, dan 1:2 Hasil dari simulasi homer menunjukkan konfigurasi sistem pemangkit yang efisien dan optimal ialah 1:2 dengan menggunakan 5 PLTB dan 10 PLTAL pada gambar berikut

| Architecture | | | | | | | Cost | | | |
|--------------|------|-------|----------------|----------|----------|----------|------------------------|----------------------|--|--|
| Turbine | Wind | Hydro | Converter (kW) | Dispatch | COE (Rp) | NPC (Rp) | Operating cost (Rp/yr) | Initial capital (Rp) | | |
| 5 | 107 | 10 | 684 | CC | Rp3.969 | Rp105B | Rp2,41B | Rp61,9B | | |

| Architecture | | | | | | | Cost | | | |
|--------------|------|-------|----------------|----------|----------|----------|------------------------|----------------------|--|--|
| Turbine | Wind | Hydro | Converter (kW) | Dispatch | COE (Rp) | NPC (Rp) | Operating cost (Rp/yr) | Initial capital (Rp) | | |
| 10 | 88 | 10 | 790 | LF | Rp6.377 | Rp170B | Rp4,44B | Rp89,3B | | |

| Architecture | | | | | | | Cost | | | |
|--------------|------|-------|----------------|----------|----------|----------|------------------------|----------------------|--|--|
| Turbine | Wind | Hydro | Converter (kW) | Dispatch | COE (Rp) | NPC (Rp) | Operating cost (Rp/yr) | Initial capital (Rp) | | |
| 20 | 101 | 10 | 922 | LF | Rp11.371 | Rp302B | Rp8,20B | Rp154B | | |

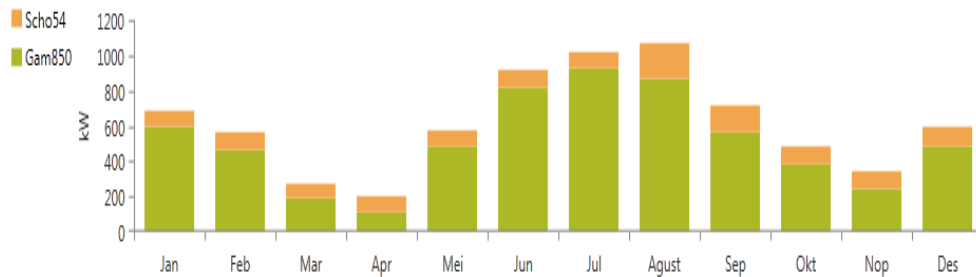
| Turbine | COE | NPC | O&M | Production/y (KW) |
|---------|-----|-----|-----|-------------------|
|---------|-----|-----|-----|-------------------|

| | | | | |
|----------|------------|-----------|------------|------------|
| 5W, 10T | Rp.4.969 | Rp. 105 M | Rp. 2,41 M | 5.437.333 |
| 10W, 10T | Rp. 6.377 | Rp. 170 M | Rp. 4,44 M | 9.917.388 |
| 20W, 10T | Rp. 11.371 | Rp. 302 M | Rp. 8.20 M | 18.877.497 |

Tabel 4. 8 Perbandingan konfigurasi turbin angin dan turbin hidrokinetik

Rata-rata Produksi Listrik

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* HOMER, produksi energi listrik pertahun yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik *hybrid* ialah 5.437.333 Kw pertahun, dengan masing-masing 4.480.055 kW untuk tenaga angin dan 957.278 kW untuk tenaga arus laut. Lebih jelasnya dilihat pada tabel berikut

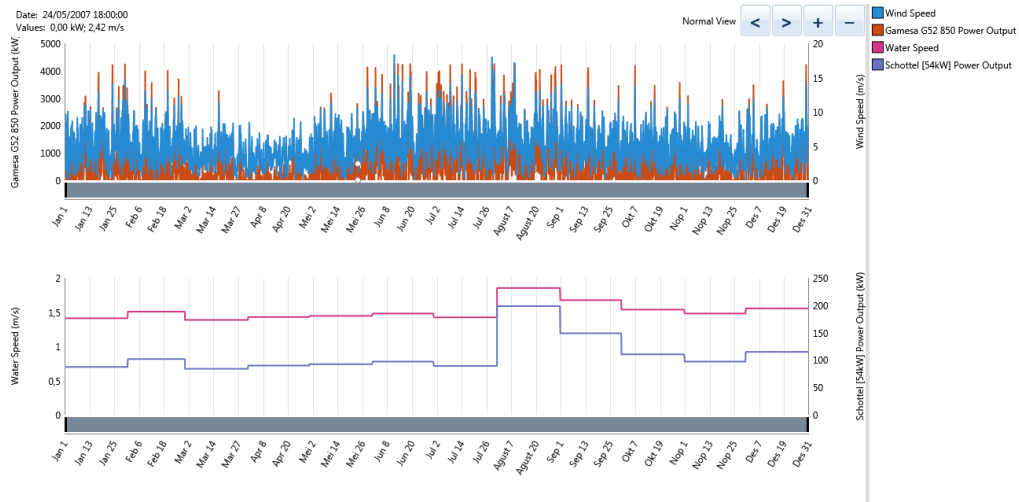


Gambar 4. 7 Rata-rata produksi listrik pertahun

Berdasarkan grafik produksi listrik pertahun diatas dapat dilihat bahwa produksi energi listrik tertinggi terjadi pada bulan agustus dan terendah pada bulan april

| Produksi listrik | Kwh/tahun | % |
|------------------|-----------|------|
| Gamesa G52 850 | 4.480.055 | 82,4 |
| Schottel [54kW] | 957.278 | 17,6 |
| Total | 5.437.333 | 100 |

Tabel 4. 9 Produksi energi listrik per tahun



Gambar 4. 8 Produksi energi listrik berdasarkan kecepatan angin dan arus

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan serta diskusi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai hasil dari penelitian ini. Saran dikemukakan dengan tujuan agar penelitian ini dapat dikembangkan dan dilanjutkan oleh peneliti lainnya. Dari hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Berdasarkan perencanaan beton umur 7 hari pada penambahan serat kulit pinang dan epoxy resin pada kuat tarik belah beton maka didapat nilai rata-rata pada setiap variasi:
 - a. (BN) = 2,86 MPa
 - b. (BSKP 1%) = 4,56 MPa
 - c. (BSKP 1,25%) = 3,71 MPa
 - d. (BSKP 1,50%) = 2,43 MPa
2. Berdasarkan perencanaan beton umur 28 hari pada penambahan serat kulit pinang dan epoxy resin pada kuat tarik belah beton maka didapat nilai rata-rata pada setiap variasi:
 - a. (BN) = 2,43 MPa
 - b. (BSKP 1%) = 2,76 MPa
 - c. (BSKP 1,25%) = 2,86 MPa
 - d. (BSKP 1,50%) = 2,54 MPa
3. Kadar optimum berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat diketahui bahwa untuk sampel beton 7 hari dengan variasi BSKP 1% mempunyai kuat tarik belah yang paling tinggi yakni sebesar 4,56 MPa. Sedangkan beton normal 7 hari mempunyai kuat tarik belah sebesar 2,86 MPa, maka beton BSKP 1% memperoleh kenaikan sebesar 1,7 MPa. Tetapi pada umur 7 hari BSKP 1,50% memperoleh penurunan sebesar 2,43 MPa, Sedangkan untuk sampel 28 hari dengan variasi BSKP 1,25% mempunyai kuat tarik belah yang paling tinggi yakni sebesar 2,86 MPa.

Effisiensi Finansial

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* homer dengan konfigurasi 5 turbin angin, 10 turbin hidrokinetik, 96 baterai, dan 921 konverter menghasilkan total biaya sebagai berikut.

a. Capital Cost

- Gamesa G52 850 kw (5 pcs)

Rp. 6.204.481.467 x 5 = Rp31.022.407.335

- Schottel [54kW] (10 pcs)

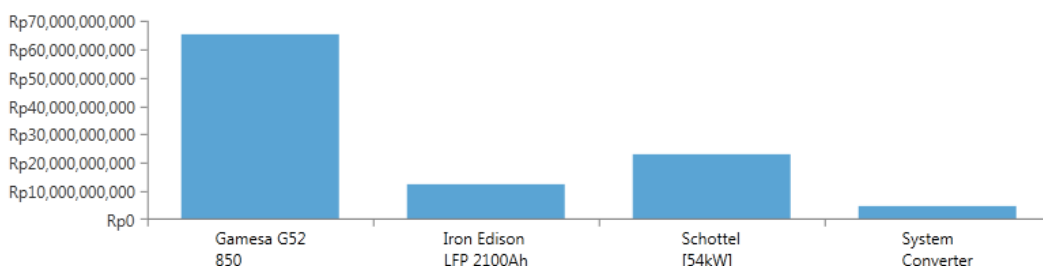
Rp. 767.712.600 x 10 = Rp7.677.126.000

- Iron Edison LFP 2100Ah (107 string)

Rp. 203.974.311 x 107 = Rp21,825,251,277.00

- System Converter (684 kW)

Rp. 2.062.509 x 684 = Rp1,411,493,023.01



Gambar 4. 9 Biaya capital cost sistem pembangkit

b. *Replacment Cost*

Merupakan biaya yang disiapkan melakukan penggantian perkalian faktor diskon dan biaya tahunan dari NPC

Dapat di hitung menggunakan

$$i = \frac{\text{discount rate} - \text{inflasi}}{1 + \text{inflasi}}$$

Mengutip data dari Bank Indonesia (BI) nominal *discount rate* pada 18-19 oktober 2021 ialah sebesar 3,50 % Adapun *expected inflation rate* (f) yang digunakan adalah 0.80 % sesuai dengan *inflation target* BI pada tahun 2021 sehingga didapat nilai *real dicount rate*

$$i = \frac{3,50 - 0,8}{1 + 0,8} = 2,68 \%$$

- Gamesa G52 850

Rp31,022,407,335.00 - Rp12,015,485,323.20
Rp18,284,333,847.02

- Schottel [54kW

Rp7,677,126,000.00 + (767.712.600 x 2,68%)
Rp10,418,699,670.57

- System Converter

Rp1,411,493,023.01 - Rp242,975,250.74
Rp949,470,488.52

c. *COE (cost of energy)*

Cost of energy adalah harga rata-rata per kWh untuk menggunakan energi listrik dari sistim pembangkit. *Cost of energy* dapat di hitung dengan

$$\text{CoE} = \frac{\text{Total Annualized Cost(Rp)}}{\text{konsumsi energi (kW)}}$$

Dengan *Total Annualized Cost* (TAC)

$$\text{Dimana CRF}(2,68\%, 25) = \frac{2,68\%(1+2,68\%)^{25}}{(1+2,68\%)^{24}} = 0,055 \text{ maka,}$$

$$\text{TAC} = 0,055 \times \text{Rp}105.434.240.163.02 \\ = \text{Rp}5.839.617.483$$

Dari nilai TAC dapat di cari nilai CoE

$$\text{CoE} = \frac{5839617483}{1.471.307} \\ = \text{Rp. } 3.969 / \text{kWh}$$

d. Efisiensi

- e. Berdasarkan nilai *cost of energy* (COE) penelitian diatas dengan harga jual listrik Rp. 3.969/ kWh Pembangkit listrik lepas pantai ini masih belum efisien jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN yang hanya Rp. 1.325 untuk 900 VA dan Rp. 1.467 untuk 1400 VA per bulan November 2021. Ini dikarenakan energi arus laut masih terlalu kecil untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pembangkit ini bisa menjadi alternatif untuk energi listrik di pertambangan lepas pantai (offshore mine)

REFERENSI

- Balisranislam, B., & Harahap, P. (2021, October). Efisiensi Kinerja Cleaning Service Dengan Menggunakan Robot Pembersih Kaca Luar Gedung
Balisranislam, B., Harahap, P., & Lubis, S. (2021). Perancangan Alat Inverter Energi Listrik

- Menggunakan Simulink Matlab. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 4(2), 91-98.
- Cholish, C., Rimbawati, R., & Syahputra, W. T. (2017). Perancangan Prototipe Switch Mode Power Supply (Smpps) Sebagai Power Supply Pada Audio Amplifier. *Prosiding Celscitech*, 2, Tech_9-Tech_9.
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (Scc) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. *Rele (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 89-93.
- Evalina, N., Abduh, R., & Arfis, A. (2019, October). Pembuatan Gantungan Kunci Dari Bahan Resin Di Desa Jaharun A. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, Pp. 251-256).
- Evalina, N., Azis, A., & Zulfikar, Z. (2018). Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller. *Jet (Journal Of Electrical Technology)*, 3(2), 73-80.
- Harahap, P. (2019, May). Implementasi Karakteristik Arus Dan Tegangan Plts Terhadap Peralatan Trainer Energi Baru Terbarukan. In *Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu* (Vol. 2, No. 1, Pp. 152-157).
- Harahap, P., & Adam, M. (2021). Efisiensi Daya Listrik Pada Dispenser Dengan Jenis Merk Yang Berbeda Menggunakan Inverter. *Resistor (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(1), 37-42.
- Harahap, P., Handoko, R., Oktrialdi, B., & Siregar, R. F. (2023, April). Analisa Perbandingan Plts Monocrystalline Dan Polycrystalline Terhadap Serapan Cahaya Matahari Menggunakan Kaca Film. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Uin Sunan Gunung Djati Bandung* (Pp. 159-167).
- Irwanto, M., Sihombing, P., & Pasaribu, F. I. (2022). Analysis Of Solar Radiation Against Solar Panel 50 Wp. *Journal Of Electronics, Telecommunication, Electrical, And Physics Science*, 1(2), 32-40.
- Ismail, R., Hasibuan, A., Nasution, E. S., Hardi, S., & Nrartha, I. M. A. (2020, September). Comparative Analysis Of Differential Relay Settings In Langsa Substation Transformer To Avoid Protection Failure. In *2020 4rd International Conference On Electrical, Telecommunication And Computer Engineering (Elticom)* (Pp. 52-56). IEEE.
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Damanik, W. S., Siregar, M. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). The Design And Qibla Direction By Using The Hmc 5883 L Sensor As A Compass Rhi In The Umsu Science Laboratory (Oif). *Budapest International Research In Exact Sciences (Birex) Journal*, 2(3), 376-381.
- Mardiyanto, R., Suhartono, A., & Siregar, R. F. (2020). Development Of Path Planning Of Line Follower Robot With Obstacles Avoidance Based On Particle Swarm Optimization. In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering* (Vol. 732, No. 1, P. 012098). Iop Publishing.
- Muharnif, M., & Nasution, E. S. (2018). Pembuatan Hydrofoil Turbin Darrieus. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 2(1).
- Nasution, E. S. (2016). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Rantauprapat-Padang Sidempuan. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, 5(2).
- Nasution, E. S., & Hasibuan, A. (2018). Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter Altivar 12p. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 2(1).
- Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., Yusniati, Y., & Arfianda, M. (2019). Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk. *Ready Star*, 2(1), 179-186.
- Pasaribu, F. I., & Adam, M. (2023). Implementasi Soft Starting Abb Pstx 570 Motor Tiga Fasa Mesin Hammernill Di Pt. Central Proteina Prima, Tbk. *Journal Of Electrical And System Control Engineering*, 6(2), 90-97.
- Pasaribu, F. I., Aziz, A., Evalina, N., Cholish, C., & Abdullah, A. (2021). Pelatihan Rancang Bangun Jam Sholat Otomatis Sumber Daya Solar Cell Pada Pemuda Muhammadiyah Cabang Pahlawan Perjuangan Dan Pulo Brayon Darat. *Abdi Sabha (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 2(2), 206-212.