

Pra-desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Generator Asinkron

Ingriany S. Mahaganti, Ir. Hans Tumaliang MT., Ir. A. F. Nelwan MT, Ir. Marthinus Pakiding MT.
Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115, Email: inggisazhy@gmail.com

Abstrack— Electricity is a basic need of society and it's been a supporting in all aspects and national development. The availability of electric energy to till the needs is not sufficient yet. It can be seen from the blackout which still happen alternately in some areas. This is understandable because the availability of electricity overtime is increasing.

The purpose of this study is to make a simple pre-design of sea current generator using asynchronous generators, and to know the voltage that can be generated from this pre-design on a pre-specified current rate.

Electric power obtained in the first experiment with the current speed 0.75 [m/s] in the amount of 7.7 [watt]. In the second experiment with the speed of sea current 0.43 [m/s] in the amount of 1.44 [watt], and in the third experiments with the speed of sea current 0.6 [m/s] in the amount of 5.9 [watt].

Keywords: *Asynchronous Generator, Electric Machines, Electric Power, Sea Current.*

Abstrak-- Listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat dan menjadi penunjang di segala aspek dan pembangunan nasional, termasuk peningkatan taraf hidup. Ketersediaan energi listrik untuk pemenuhan kebutuhan belum dapat mencukupi seperti dengan masih adanya pemadaman listrik secara bergilir di beberapa daerah. Hal ini dapat dipahami karena ketersediaan listrik dari waktu ke waktu lebih kecil dari kebutuhan listrik yang terus meningkat.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu pra-desain sederhana pembangkit listrik tenaga arus laut menggunakan generator asinkron, dan mengetahui besar tegangan yang dapat dihasilkan dari pra-desain ini pada kecepatan arus tertentu.

Daya listrik yang diperoleh pada percobaan pertama dengan kecepatan arus laut 0.75 [m/det] sebesar 7.7 [watt]. Pada percobaan kedua dengan kecepatan arus laut 0.43 [m/det] sebesar 1.44 [watt], dan pada percobaan ketiga dengan kecepatan arus laut 0.6 [m/det] sebesar 5.9 [watt]

Kata kunci: Arus Laut, Daya Listrik, Generator Asinkron, Mesin-Mesin Listrik.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat dan menjadi penunjang di segala aspek dan pembangunan nasional, termasuk peningkatan taraf hidup. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi krisis energi listrik dengan melakukan berbagai penelitian dan pengembangan teknologi alternatif baru dan terbarukan. Hal ini dapat dipahami karena

ketersediaan listrik dari waktu ke waktu selalu lebih kecil dari kebutuhan yang terus meningkat.

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai pemanfaatan energi arus laut yang terdapat pada perairan terutama pada selat-selat yang sempit, melalui suatu pra-desain sederhana. Penelitian ini mengupayakan sumber energi listrik dari arus laut dihasilkan dari tahanan air yang memutar baling-baling. Energi yang kontinu sepanjang siang dan malam akan dimanfaatkan untuk memutar turbin air di mana porosnya dihubungkan dengan generator asinkron. Sehingga judul penulisan ini yaitu "Pra-desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Generator Asinkron".

II. LANDASAN TEORI

Karena sumber dari energi fosil atau energi tambang semakin berkurang, maka sumber energi terbarukan menjadi alternatif dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik. Energi terbarukan yaitu energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti tenaga surya, tenaga angin, arus air, proses biologi, dan panas bumi.

A. Proses Pembangkitan

Pembangkitan merupakan suatu aktivitas yang bisa membangkitkan sesuatu, atau timbulnya efek (hasil) tertentu akibat adanya pembangkitan. Dalam suatu sistem tenaga listrik, yang dimaksudkan pembangkitan adalah pembangkit tenaga listrik. Proses pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik. Pusat listrik adalah tempat dimana proses pembangkitan tenaga listrik dilakukan. Dimana proses pembangkitan tenaga listrik merupakan proses konvensi energi primer menjadi energi mekanik penggerak generator, yang selanjutnya energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik.

B. Arus Laut (Sea Current)

Arus laut (*sea current*) adalah pergerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping) menuju kesetimbangan, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air ini adalah vektor yang mempunyai besaran kecepatan dan arah.

Jenis Arus Laut

Berdasarkan temperaturnya arus laut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu arus panas dan arus dingin.

Arus panas. Yaitu bila temperatur air pada arus tersebut lebih tinggi daripada temperatur air laut yang didatanginya atau arus laut yang bergerak dari daerah lintang rendah (daerah panas) ke daerah lintang tinggi (daerah rendah).

Arus dingin. Yaitu bila temperatur arus itu lebih rendah dari temperatur air laut yang didatanginya atau arus yang bergerak dari daerah dingin ke daerah panas.

Jadi istilah panas dan dingin ini mempunyai arti yang relatif. Sebab kemungkinan arus dingin di suatu tempat, temperaturnya lebih tinggi daripada arus panas di tempat lain, atau sebaliknya.

Berdasarkan letaknya arus laut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu arus permukaan laut di samudera dan arus di kedalaman samudera.

Arus Permukaan Laut di Samudera (Surface Circulation)

Penyebab utama arus ini adalah tiupan angin yang bertiup melintasi permukaan bumi melintasi zona – zona lintang yang berbeda. Ketika angin melintasi permukaan samudera, maka massa air laut tertekan sesuai dengan arah angin.

Arus di Kedalaman Samudera (Deep-water Circulation)

Faktor utama yang mengendalikan gerakan massa air laut di kedalaman samudera adalah densitas air laut. Perbedaan densitas diantara dua massa air laut yang berdampan menyebabkan gerakan vertikal air laut dan menciptakan gerakan massa air laut-dalam (*deep-water masses*) yang bergerak melintasi samudera secara perlahan. Perbedaan densitas air disebabkan oleh perbedaan temperatur dan salinitas air laut. Gerakan massa air laut-dalam ini disebut sebagai sirkulasi termohalin. Sirkulasi termohalin adalah gerak massa air yang dibangkitkan oleh adanya perbedaan densitas yang dikontrol oleh adanya variasi suhu (*thermal*).

Berdasarkan proses terjadi arus laut dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu arus karena tiupan angin, arus pasang surut, arus sepanjang pantai dan arus rip.

Arus karena pengaruh tiupan angin.

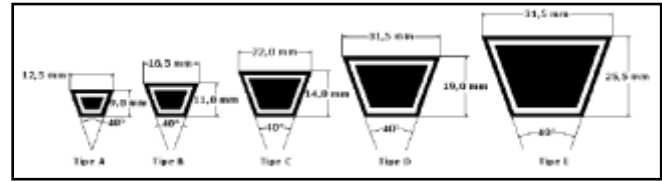
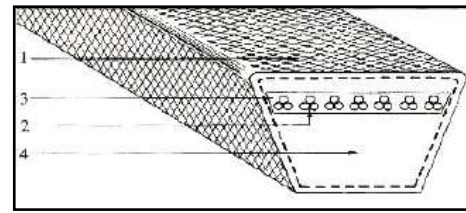
Angin adalah faktor yang membangkitkan arus, arus yang ditimbulkan oleh angin mempunyai kecepatan yang berbeda menurut kedalaman. Kecepatan arus yang dibangkitkan oleh angin memiliki perubahan yang kecil seiring pertambahan kedalaman hingga tidak berpengaruh sama sekali.

Arus Pasang Surut (Tidal Current)

Arus pasang surut merupakan gerakan air vertikal yang berhubungan dengan naik dan turunnya pasang surut, diiringi oleh gerakan air horizontal disebut dengan arus pasang surut. Pasang surut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi.

Arus Sepanjang Pantai (Longshore Current) dan Arus Rip (Rip Current)

Kedua macam arus ini terjadi di perairan pesisir dekat pantai, dan terjadi karena gelombang mendekat dan memukul ke pantai dengan arah yang miring atau tegak lurus garis pantai. Arus sepanjang pantai bergerak menyusuri pantai,



Gambar 1. Konstruksi dan ukuran penampang sabuk-V

sedang arus rip bergerak menjauhi pantai dengan arah tegak lurus atau miring terhadap garis pantai.

C. Sabuk dan Puli

Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi. Dalam hal demikian, cara transmisi putaran atau daya yang lain dapat diterapkan, dimana sebuah sabuk luwes dibelitkan sekeliling puli. Sabuk dengan penampang trapesium dipasang pada puli dengan alur dan meneruskan momen antara dua poros yang jaraknya dapat sampai 5 m.

Sabuk-V dibelitkan di keliling alur puli yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang sedang membelit pada puli ini mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar. Gaya gesekan juga akan bertambah karena pengaruh bentuk baji, yang akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah. Konstruksi dan ukuran penampang sabuk-V dapat dilihat pada gambar 1.

Puli atau *Pulley* digunakan untuk mentransmisikan daya dan putaran poros yang satu ke poros yang lain dengan bantuan sabuk. Kecepatan putaran merupakan perbandingan dari diameter puli penggerak dan puli yang digerakkan.

D. Mesin Listrik

Mesin listrik adalah suatu alat konversi yang berputar yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik atau sebaliknya mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Bila energi mekanik diubah menjadi energi listrik, maka mesin bekerja sebagai generator. Dan sebaliknya bila energi listrik diubah menjadi energi mekanik, maka mesin bekerja sebagai motor. Pada dasarnya energi listrik dan mekanik mempunyai sifat yang berbeda. Energi listrik berhubungan dengan tegangan dan arus listrik, sedangkan energi mekanik berhubungan dengan torka (*torque*) dan kecepatan perputaran.

Mesin Arus Searah (DC)

Motor Arus Searah. Motor listrik arus searah adalah peralatan listrik yang berfungsi merubah energi listrik arus searah menjadi energi kinetik (mekanis gerak putar, rotasi). Konstruksi motor arus searah sama dengan generator arus searah, oleh karena itu mesin listrik ini dapat bekerja sebagai motor atau generator. Prinsip bekerja motor arus searah adalah bila melalui kumparan jangkar, mesin arus searah dialirkan arus dan kumparan medan diberi penguatan, maka timbul gaya

Lorenz pada tiap-tiap sisi kumparan jangkar tersebut. Besarnya gaya Lorenz yang timbul adalah perkalian silang fluksi dan arus. Gaya Lorenz ini akan menimbulkan suatu momen putar atau kopel, maka mesin akan berputar, besarnya momen putar ini adalah karena berubahnya energi elektrik pada jangkar menjadi energi mekanik.

Seperti halnya generator arus searah, hubungan motor arus searah ditinjau dari hubungan kumparan medan terhadap kumparan jangkar, terdapat 4 macam, yaitu motor dengan penguatan terpisah, seri, shunt, dan kompon.

Generator Arus Searah. Generator arus searah merupakan mesin yang energi masukan adalah daya energi gerak putar dan sebagai keluarannya adalah energi listrik arus searah. Bagian utama generator arus searah terdiri dari bagian yang tidak bergerak (stator), meliputi gandar, kutup, kumparan. Dan bagian yang bergerak (rotor) meliputi jangkar dan komutator. Prinsip kerja generator ini adalah berdasarkan pada hukum Faraday, yaitu apabila suatu konduktor memotong garis-garis fluksi kuat magnetik yang berubah-ubah, maka ggl akan dibangkitkan dalam konduktor tersebut. Berdasarkan penguatan atau cara memberikan fluksi pada kumparan ada dua macam yaitu penguatan bebas dan sendiri. Pada generator berpenguatan bebas atau terpisah, medan magnet generator diberi penguatan listrik berasal dari sumber yang terpisah. Pada generator berpenguatan sendiri, medan magnet generator ini mendapatkan penguatan berasal dari mesin itu sendiri. Generator penguatan sendiri dibagi menjadi tiga macam, yaitu; hubungan seri, hubungan paralel, dan hubungan kompon.

Mesin Arus Bolak-Balik (AC)

Mesin Sinkron.

Mesin sinkron termasuk mesin listrik arus bolak-balik yang dapat bekerja atau berfungsi sebagai generatos atau motor. Mesin sinkron atau mesin serempak merupakan mesin listrik yang memerlukan frekuensi dan putaran yang tetap.

Motor Sinkron

Konstruksi motor sinkron sama dengan konstruksi generator sinkron, perbedaan terletak pada penggunaannya. Generator sinkron diputar untuk menghasilkan tenaga listrik, sedangkan pada motor sinkron dimasukkan tenaga listrik untuk menghasilkan putaran. Tipe motor sinkron ada 2 macam, yaitu; rotor penuh dan rotor kutub. Rotor penuh merupakan tipe rotor yang di diberi alur-alur sebagaimana rotor motor slip ring, biasanya untuk putaran tinggi. Sedangkan rotor kutub terdiri dari inti-inti kutub dengan belitan-belitan penguat, biasanya kutubnya banyak dan untuk putaran rendah.

Generator Sinkron

Generator arus bolak-balik seperti halnya generator arus searah, mesin ini berfungsi menghasilkan keluaran yang arus dan tegangannya bolak-balik. Pada generator arus bolak-balik ini tidak terdapat sikat dan komutator seperti pada generator arus searah yang berfungsi sebagai penyearah, tapi dengan menempatkan sepasang cincin pada poros dan menghubungkan pada belitan jangkar maka akan diperoleh tegangan dan arus bolak-balik. Pada generator arus bolak-balik jangkarnya sebagai stator tidak bergerak sedangkan rotor adalah kutub-kutubnya. Prinsip pembangkitan generator

sinkron sama dengan generator arus searah, yaitu dengan induksi elektromagnetik.

Motor Asinkron

Motor asinkron adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor ini sering disebut juga motor tidak serempak atau motor induksi. Sama seperti halnya mesin sinkron, konstruksi motor asinkron atau motor induksi sama dengan konstruksi generator asinkron. Karakteristik motor asinkron yang penting adalah karakteristik momen dan karakteristik arus. Karakteristik momen adalah momen sebagai fungsi dari putaran slip, dengan tegangan jepit tetap. Sedangkan karakteristik arus adalah karakteristik yang memberikan koreasi antara arus stator sebagai fungsi dari putaran.

E. Generator Asinkron

Generator merupakan alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fasa maupun 3 fasa. Generator asinkron merupakan generator tidak serempak karena putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan magnet pada stator. Generator ini juga disebut generator induksi.

Konstruksi Generator Asinkron

Generator induksi terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian yang berputar disebut rotor, dan bagian yang tidak berputar yang disebut stator.

Stator

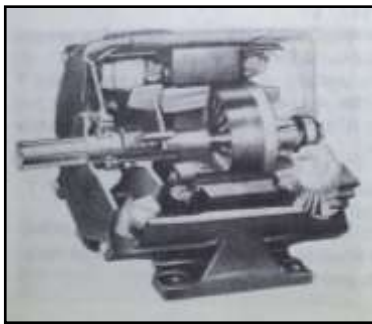
Stator adalah bagian terluar dari mesin yang merupakan gulungan kawat yang disusun sedemikian rupa dan ditempatkan pada alur-alur inti besi. Bagian stator dipisahkan dengan bagian rotor oleh celah udara yang sempit (air gap). Bagian stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat belitan dililitkan yang berbentuk silinder. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas, tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi. Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Kawat belitan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapisi dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silinder.

Rotor

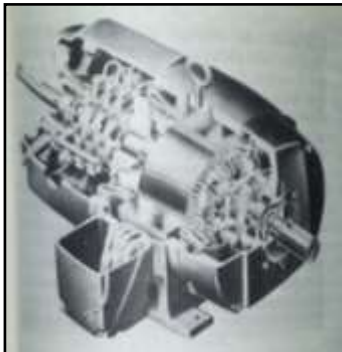
Rotor merupakan bagian yang bergerak pada generator. Ada dua jenis rotor yang biasanya digunakan, yaitu rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) dan rotor belitan (*wound rotor*).

Rotor Sangkar Tupai (squirrel cage rotor)

Generator induksi dengan rotor sangkar atau rotor kurungan (*Squirrel Cage*) adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus motor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan dengan cincin ujung. Konduktor rotor dan cincin ujung serupa



Gambar 2. Rotor sangkar tupai



Gambar 3. Rotor belitan

dengan sangkar tupai yang berputar sehingga dinamakan demikian. Rotor sangkar merupakan tipe rotor yang konstruksinya sangat sederhana sehingga harganya pun murah. Akan tetapi tipe rotor ini tidak dapat diberikan pengaturan tahanan luar, sehingga untuk mengatasinya diperlukan saklar Δ - λ yang digunakan untuk membatasi arus mula. Jenis rotor ini dapat dilihat pada gambar 2.

Rotor Cincin Geser (Wound Rotor)

Rotor cincin geser disebut juga rotor belitan atau rotor gelang seret. Pada rotor ini terdapat juga alur-alur yang bentuknya lebih dalam daripada alur-alur pada rotor sangkar. Dalam alur-alur terdapat kawat yang dibelitkan pada sebuah rotor dengan hubungan bintang ataupun hubungan segitiga seperti belitan kawat pada stator. Dengan adanya hubungan ini, maka belitan-belitan pada rotor mempunyai tiga ujung. Ujung belitan rotor dihubungkan dengan suatu tahanan awal melalui tiga buah cincin geser yang ada pada poros. Kemudian melalui cincin geser ini ujung-ujung kumparan jangkar dihubungkan dengan tahanan luar atau dihubungkan singkat.

Rotor jenis ini kurang banyak digunakan dibandingkan dengan rotor sangkar tupai karena harganya yang mahal dan biaya pemeliharaannya lebih besar. Kekurangan lainnya regulasi kecepatan jelek, apabila bekerja dengan tahanan pada rangkaian rotor. Akan tetapi konstruksi rotor seperti ini memungkinkan penambahan tahanan dari luar sehingga arus saat starting dapat dibatasi serta dapat menghasilkan kopel mula yang lebih besar. Kelebihan lainnya pengaturan kecepatan yang bagus selama bekerja dengan beban konstan. Rotor jenis ini dapat dilihat pada gambar 3.

Prinsip Kerja Generator Asinkron

Prinsip kerja generator induksi adalah kebalikan daripada saat mesin induksi bekerja sebagai motor. Ketika mesin bekerja sebagai motor, kumparan stator diberi tegangan tiga fasa sehingga akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron (n_s). Namun jika motor berfungsi generator, pada rotor motor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan lebih besar daripada kecepatan sinkronnya.

Namun jika motor berfungsi generator, pada rotor motor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan lebih besar daripada kecepatan sinkronnya. Bila suatu konduktor yang berputar didalam medan magnet (kumparan stator) akan membangkitkan tegangan sebesar :

$$e = B.l.v \quad (1)$$

dimana,

e = tegangan induksi yang dihasilkan [volt]

B = fluks magnetic [weber]

l = panjang konduktor yang dilewati medan magnet [m]

v = kecepatan medan magnet melewati konduktor [m/det]

dan bila dihubungkan ke beban akan mengalirkan arus. Arus pada rotor ini akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan stator sehingga timbul arus pada kumparan stator sebagai reaksi atas gaya mekanik yang diberikan. Pada proses perubahan motor induksi menjadi generator induksi dibutuhkan daya reaktif atau daya magnetisasi untuk membangkitkan tegangan pada terminal keluarannya. Dalam hal ini yang berfungsi sebagai penyedia daya reaktif adalah kapasitor yang besarnya disesuaikan dengan daya reaktif yang diperlukan.

Slip

Kecepatan berputarnya rotor tidak sama dengan kecepatan medan putar. Tetapi hal ini memang harus demikian, sebab bila rotor berputar sama cepatnya dengan medan putar, berarti dalam kawat-kawat rotor tidak akan timbul ggl dan dengan sendirinya tidak akan ada arus yang mengalir. Garis-garis gaya medan putar tidak akan dapat saling berpotongan dengan kawat-kawat rotor, bila masing-masing sama cepat putarannya. Slip adalah persentase selisih antara banyaknya putaran rotor dengan banyaknya putaran medan putar untuk tiap menit yang dinyatakan dengan:

$$S = \frac{(n_s - n_r)}{N_s} \times 100\% \quad (2)$$

dimana,

S = slip (%)

n_s = putaran medan stator

n_r = putaran rotor [rpm]

Nilai n_r diperoleh dari putaran rotor yang dihasilkan oleh *prime mover* sedangkan nilai n_s dihasilkan oleh kumparan yang dialiri oleh arus dengan frekuensi tertentu.

Besarnya n_s adalah :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (3)$$

dimana,

- n_s = kecepatan medan putar stator
- f = frekuensi pada stator
- P = jumlah kutub magnet

Berubah-ubahnya kecepatan rotor mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start mesin induksi ($n_r = 0$) menjadi 0% saat nilai $n_r = n_s$ atau saat kecepatan putar medan stator sama dengan kecepatan putar rotor. Hal ini terjadi jika nilai putaran rotor lebih besar daripada nilai medan putar stator.

Jenis Generator Asinkron

Dalam aplikasinya generator induksi dibagi menjadi dua jenis, yaitu generator induksi masukan ganda (*Doubly Fed Induction Generator* atau DFIG) dan generator induksi berpenguat sendiri (*Self Excited Induction Generator* atau SEIG). Pembagian jenis generator ini berdasarkan pada sumber eksitasi generator berasal.

Generator Induksi Masukan Ganda

Pada generator induksi masukan ganda, eksitasi diperoleh dari jaringan listrik yang telah terpasang. Generator induksi jenis ini menyerap daya reaktif dari jaringan listrik untuk membangkitkan medan magnet yang dibutuhkan. Pada generator ini, terminal keluaran generator dihubungkan dengan inverter yang kemudian dihubungkan dengan bagian rotor generator.

Keuntungan dari generator masukan ganda diantaranya adalah tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dapat tetap besarnya walaupun kecepatan putarnya berubah – ubah. Namun generator induksi jenis ini membutuhkan inverter sebagai pengatur tegangan pada rotor dan juga rotor jenis kumparan karena generator ini membutuhkan sumber pada rotornya. Sehingga tidak semua jenis mesin induksi dapat digunakan sebagai generator induksi jenis ini. Selain itu juga generator ini membutuhkan adanya jaringan listrik untuk dapat beroperasi, karena sumber daya reaktif yang dibutuhkan oleh generator berasal dari jaringan. Sehingga apabila tidak ada jaringan listrik atau generator lain yang memberikan daya reaktif maka generator jenis ini tidak dapat beroperasi. Selain itu jika terjadi gangguan pada jaringan atau blackout jaringan generator ini juga tidak dapat beroperasi.

Generator Induksi Berpenguat Sendiri

Pada generator induksi berpenguat sendiri, eksitasi diperoleh dari kapasitor yang dipasang paralel pada terminal keluaran generator. Generator induksi jenis ini bekerja seperti mesin induksi pada daerah saturasinya hanya saja terdapat bank kapasitor yang dipasang pada terminal statornya. Karena sumber eksitasi generator ini berasal dari kapasitor yang dipasang pada terminalnya maka mesin induksi dengan rotor

kumparan maupun sangkar bajing dapat digunakan sebagai generator induksi berpenguat sendiri.

Generator induksi jenis ini memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak membutuhkan pengaturan tegangan pada rotornya, tidak memerlukan inverter, desain peralatan yang tidak rumit, harga pembuatan lebih murah, perawatan yang diperlukan murah dan tidak sulit. Namun generator induksi berpenguat sendiri juga dapat beroperasi dalam suatu jaringan listrik dan tetap dapat beroperasi walaupun terdapat gangguan pada jaringan. Oleh karena itu generator induksi berpenguat sendiri lebih fleksibel dalam pengoperasiannya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan bertempat di Tanjung Pisot tepatnya di desa Tongkaina kecamatan Bunaken. Waktu penelitian disesuaikan dengan kondisi perairan di mana kondisi laut di lokasi penelitian tidak berombak sehingga pemasangan alat dapat dikerjakan dengan baik.

Konstruksi

Konstruksi rangka turbin yaitu poros tengah yang terbuat dari besi pipa dengan diameter berukuran 0.5 inci dan panjang 1.5 m. Poros ini dihubungkan dengan puli yang dihubungkan dengan generator. Untuk pelindung konstruksi dibuat rangka yang berbentuk kubus dengan panjang 0.9 m, lebar 0.9 m, dan tinggi 1.75 m. Pada tiap penyangga pelindung dihubungkan dengan laher yang bertujuan agar turbin berputar tanpa membuat konstruksi pelindung ikut berputar. Gambar 4 menunjukkan konstruksi pembangkit yang digunakan.

Turbin

Turbin yang digunakan pada penelitian ini merupakan turbin koloid. Diameter turbin 0.6 m, tinggi 0.6 m, dan lebar penampang turbin 0.1 m, sehingga didapat luas permukaan turbin 36 m².

Sudu yang digunakan terbuat dari kayu besi, dan rangka pelindung turbin digunakan besi siku. Bentuk turbin dapat dilihat pada gambar 5, sedangkan model sudu yang digunakan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 4. Rangka Pembangkit yang Digunakan



Gambar 5. Bentuk turbin



Gambar 6. Bentuk sudu



Gambar 7. Sabuk dan Puli



Gambar 8. Keadaan turbin pada saat mulai berputar (percobaan sore 1)



Gambar 9. Keadaan turbin pada saat mulai berputar (percobaan siang)



Gambar 10. Keadaan turbin pada saat mulai berputar (percobaan sore 2)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Percobaan

Kondisi turbin

Gambar 8 menunjukkan keadaan turbin saat mulai berputar dengan kecepatan arus 0.75 [m/det]. Gambar 9 menunjukkan keadaan turbin saat mulai berputar dengan kecepatan arus 0.43 [m/det], dan gambar 10 menunjukkan keadaan turbin saat mulai berputar dengan kecepatan arus 0.6 [m/det]. Percobaan 1 dan 3 dilakukan pada kondisi yang sama yaitu sore hari, dan percobaan 2 dilakukan pada siang hari.

Sabuk dan Puli

Puli yang digunakan adalah velek sepeda 18inci yang memiliki diameter 0.43 m. Digunakan velek sepeda karena ukuran puli untuk penampang tipe A yang terdapat di pasaran hanya memiliki diameter sampai 0.40 m.

Sabuk yang digunakan pada penelitian ini merupakan tipe sabuk-V penampang A dengan nomor nominal sabuk-V; No. 67 dengan panjang 1702 mm. Bentuk sabuk dan puli dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 11. Gambar lampu mulai menyala pada percobaan siang



Gambar 12. Gambar lampu mulai menyala pada percobaan sore

Kondisi Lampu

Untuk percobaan yang dilakukan pada siang hari, bagaimana kondisi lampu pada saat dijalankan dapat dilihat pada gambar 11. Dan untuk percobaan yang dilakukan pada sore kondisi lampu dapat dilihat pada gambar 12.

B. Pembahasan

Pengukuran kecepatan arus dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Pada percobaan 1 yang dilakukan pada sore hari, hasil yang tercatat pada *stopwatch* selama 4 [detik] sehingga $v = 3[m]/4[det] = 0.75[m/det]$. Pada percobaan 2 yang dilakukan pada siang hari, hasil yang tercatat pada *stopwatch* selama 7 [detik] sehingga diperoleh kecepatan arus sebesar $v = 3[m]/7[det] = 0.428[m/det]$ dibulatkan menjadi 0.43[m/det]. Dan pada percobaan 3 yang dilakukan pada sore hari untuk hari kedua, hasil pengukuran yang tercatat pada *stopwatch* selama 5 [detik] sehingga kecepatan arus diperoleh sebesar $v = 3[m]/5[det] = 0.6[m/det]$.

Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel I. Pada tabel ini bisa dilihat nilai tegangan, putaran, dan kecepatan arus pada setiap percobaan yang dilakukan.

Untuk menghitung besarnya daya listrik yang dihasilkan dari hasil penelitian ini, berdasarkan pada rumus berikut:

$$P = 0.593 \times 0.5 \rho A V^3 \quad (4)$$

dimana:

- P = daya listrik yang dihasilkan [Watt]
 0.593 = besaran efisiensi berdasarkan ketentuan Betz [Betz Law]
 ρ = berat jenis air laut yaitu 1.025 [kg/m³]
 A = luasan penampang piringan turbin [m²]
 v = kecepatan arus [m/det]

TABEL I. DATA HASIL PERCOBAAN

	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Tegangan [Volt]	1.29	0.58	0.95
Putaran [rpm]	482.5	289	393
Kecepatan Arus [m/det]	0.75	0.43	0.6

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus (4) untuk percobaan pertama diperoleh nilai daya listrik sebesar 7.7 [watt]. Pada percobaan kedua diperoleh nilai daya listrik sebesar 0.43 [watt], dan pada percobaan yang ketiga diperoleh daya listrik sebesar 5.9 [watt]. Dari hasil perhitungan di atas maka daya listrik yang diperoleh dari percobaan ini, yaitu sebesar 0.43 [watt] – 7.7 [watt].

V. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan arus sebesar 289 [rpm] sudah menghasilkan tegangan walaupun nilai tegangannya masih kecil.

Daya listrik yang diperoleh dari percobaan 1 dengan kecepatan arus laut 40.75 [m/det] sebesar 7.7 [watt], pada percobaan 2 dengan kecepatan arus laut 0.43 [m/det] sebesar 0.43 [watt], dan pada percobaan 3 dengan kecepatan arus laut 0.6 [m/det] sebesar 5.9 [watt].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Supangat, "Oseanografi", Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Nonhayati, Badan Riset Departemen Kelautan dan Perikanan.
- [2] A. Kadir, Prof. Ir., "Energi", Penerbit Universitas Indonesia, 1987.
- [3] A. Pudjanarsa, MT., Ir., dan Djati Nursuhud, MSME Prof., Ir., "Mesin Konversi Energi", Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [4] Dj. Marsudi, "Pembangkitan Energi Listrik", Penerbit Erlangga, Jakarta 2005.
- [5] E. Lister, "Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [6] Soebagio, Prof., Dr., Ir., "Teori Umum Mesin Elektrik", Penerbit Srikandi, Surabaya, 2008.
- [7] S. Chapman, "Second Edition Electric Machinery Fundamental, McGraw-Hill International Edition", Electrical Engineering Series.
- [8] Sumanto, MA., "Mesin Sinkron; Generator Sinkron Motor Sinkron", Penerbit Andi, Yogyakarta, 1992.
- [9] Sularso, dan K. Suga, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", Penerbit PT., Pradnya Paramita, Jakarta, 1983.
- [10] Sulasno Ir., "Dasar Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan", Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
- [11] Zuhail, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Penerbit Gramedia Pustaka, Jakarta, 1995.