

Turbin Angin Vertikal Sudu Aerofoil NACA 0018 Series Berbasis Konstruksi Helical/Twist Terhadap Variasi Sudut Sudu

Yusuf Dewantoro Herlambang, Dwiana Hendrawati, Sudjito
 Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Semarang
 Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang Fax.(024) 7472396
 E-mail : masyusufdh@polines.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan turbin Gorlov dengan geometri sudu aerofoil NACA 0018 terhadap variasi sudut bukaan sudu untuk mendapatkan karakteristik unjukkerja turbin yang optimal. Secara spesifik penelitian ini bertujuan untuk : (1) merancang model-model sudu helical/twist turbin Gorlov menggunakan sudu aerofoil NACA 0018; (2) membuat model-model turbin Gorlov terhadap variasi sudut bukaan sudu 5° , 10° , 15° , dan 20° ; (3) menguji dan mengambil data turbin Gorlov terhadap variasi sudut sudu 5° , 10° , 15° , dan 20° ; (4) mengkaji optimasi sudut bukaan sudu turbin Gorlov dan analisis optimasi model turbin Gorlov tersebut yang difungsikan sebagai penggerak mula untuk mendapatkan karakteristik yang optimum; (5) mengkaji analisis pemodelan numerik/analisis modeling (analisis struktur menggunakan software ANSYS dan analisis aerodinamis menggunakan software Fluent, Computational Fluid Dynamics/CFD). Metode penelitian ini meliputi beberapa tahap mulai perancangan/desain, pembuatan, assembling dan installing, pengujian alat, dan analisis. Secara ringkas sebagai berikut, Tahap awal adalah menyiapkan cetakan sudu aerofoil NACA 0018 series dan mulai dibuat sudu aerofoil dengan ketebalan sudu/thickness maksimum 18% dari lebar sudu/chord. Material sudu dibuat dari campuran serat kayu, ram, resin epoksi dengan perbandingan tertentu.. Kemudian diameter turbin 550 mm dan tinggi/panjang turbin adalah 800 mm. Turbin Gorlov dibuat 4 model rotor masing-masing dengan sudut sudu tertentu. Rotor Gorlov dihubungkan dengan poros dan pronny break. Pada tahap dihasilkan 4 model penggerak turbin angin Gorlov. Tahap selanjutnya adalah uji karakteristik model dengan variabel penelitian sudut bukaan sudu 5° , 10° , 15° , 20° . Kinerja turbin yang paling baik adalah yang menghasilkan koefisien daya paling tinggi. Hasil pengujian diperoleh nilai Coefficient of Power tertinggi 0,0727 dengan tsr 0,263 daya turbin 7,059 watt pada putaran 195,5 rpm pada sudut bukaan sudu 15° . Nilai Tip Speed Ratio (TSR) tertinggi sebesar 0,3321 yang terdapat pada sudut bukaan sudu 20° . Coefficient of Toque (Ct) turbin tertinggi pada sudut sudu 15° sebesar 0,0830 dengan nilai Tip Speed Ratio (TSR) 0,263 pada putaran 239,3 rpm dengan torsi 0,075 Nm.

Kata kunci : NACA 0018, Sudut Bukaan Sudu, Sudu Heliks, Turbin Gorlov

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkurangnya persediaan bahan bakar fosil khususnya di Pulau Jawa dan terbatasnya kekayaan alam yang lain maka tenaga angin saat ini menjadi pilihan sebagai sumber energi

alternatif dan dalam rangka membantu penyediaan energi dunia. Angin merupakan salah satu sumber energi potensial yang kuantitasnya cukup banyak untuk daerah-daerah di Indonesia, tetapi belum banyak dimanfaatkan. Di Indonesia

pemanfaatan energi angin masih lebih kecil dibandingkan dengan sumber daya alam yang lain seperti minyak, gas, air dan sebagainya. Buktinya, pembangkit listrik tenaga angin pertama di Indonesia baru akan dibangun di Sukabumi, Jawa Barat pada tahun 2010 dan diperkirakan akan beroperasi pada pertengahan tahun 2011.

Sedangkan di Indonesia, 2/3 wilayahnya adalah perairan, di mana pada wilayah perairan terdapat potensi angin yang bertiup lebih stabil. Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang disediakan oleh alam yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), yaitu menggerakkan suatu alat untuk mengubah energi kinetik angin yang nantinya dapat dimanfaatkan sebagai penggerak generator, pompa air dan sebagainya. Rotor (sudu) pada turbin angin digunakan sebagai alat pengkonversi energi angin tersebut.

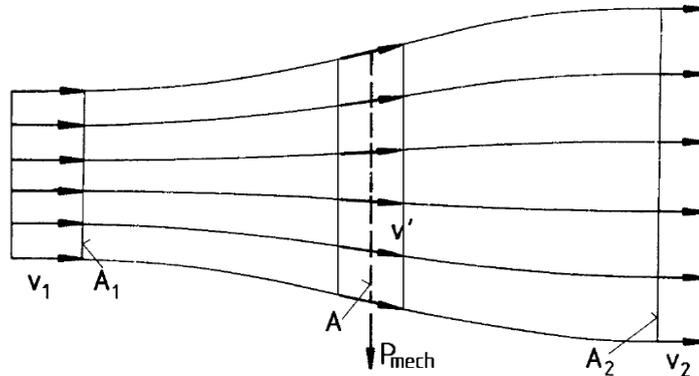
Untuk itu dalam penelitian ini diuji coba pembuatan turbin angin skala mikro.

Turbin angin yang berputar yang kemudian menggerakkan poros dengan transmisi belt (sabuk) yang menggerakkan poros generator. Generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari turbin angin VAWT dengan memanfaatkan angin yang berasal dari blower kemudian angin ditangkap oleh sudu-sudu turbin sehingga timbul energi mekanik yang berasal dari poros turbin selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik yang berasal dari generator. Energi kinetik dari massa udara m yang bergerak pada kecepatan v

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v^2$$

Mengacu pada luas potongan melintang tertentu A , yang dilewati lintasan udara pada kecepatan v , volume V mengalir melewati unit waktu tertentu, dinamakan aliran volume (**volume flow**) dan laju aliran massa disebut \dot{m} adalah:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_1 \cdot v_1$$



Gambar 1. Kondisi aliran karena pengeluaran energi mekanik dari arus bebas aliran udara, mengacu pada teori dasar momentum.

Energi mekanik yang mana dikeluarkan dari disk-shaped konverter dari aliran udara berkaitan dengan perbedaan daya dari arus udara sebelum dan sesudah konverter :

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3)$$

v_1 : kecepatan arus-bebas undelayed, kecepatan angin

v_2 : kecepatan aliran dibelakang konverter.

Persamaan kontinuitas yang diperlukan adalah:

$$\rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 (v_1^2 - v_2^2)$$

Dengan :

ρ : Massa jenis udara [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]

A : Luas sapuan angin [m^2]

v : Kecepatan angin [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]

indeks 1 merupakan arah masuk

indeks 2 merupakan arah masuk

Daya akan dapat mencapai maksimum bila kecepatan v_2 adalah nol. Akan tetapi, hasil ini tidak bisa dibuat secara fisik sebagaimana dapat diduga, secara fisik hasil berarti terdiri rasio kuantitatif (numerik) tertentu v_2/v_1 dimana daya yang dapat dikeluarkan mencapai maksimum dengan $v_2/v_1 = 16/27$ atau $c_p = 0,593$.

Memakai hukum konservasi momentum, gaya yang dikeluarkan udara pada konverter dapat dinyatakan sebagai:

$$F = \dot{m} (v_1 - v_2)$$

Daya mekanik keluar/output dari konverter dapat dinyatakan sebagai :

$$P_m = 0,25 \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

Daya dari arus udara bebas/free-air stream (energi kinetik) adalah:

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3$$

Dari persamaan (2.5) dapat diartikan sebagai berikut:

1. Daya angin adalah berbanding lurus terhadap massa jenis udara.
2. Daya angin adalah berbanding lurus dengan luas area sapuan dari rotor, hal ini berarti yang dihasilkan sebanding dengan kuadrat diameter rotor, sedangkan untuk rotor pada jenis turbin angin poros vertikal sebanding dengan luas proyeksi rotor turbin angin.
3. Daya angin berbanding lurus dengan pangkat tiga dari kecepatan angin, hal ini berarti bahwa pemilihan tempat baik akan sangat menentukan besarnya daya yang dihasilkan. Rasio antara daya mekanik yang dikeluarkan oleh konverter dan arus udara yang tidak terganggu (arus bebas) itu dinamakan "koefisien daya/ power coefficient" **C_p**:

$$C_p = \frac{P}{P_o} = (0,25 \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2))$$

$$(v_1 + v_2) : (0,5 \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3) \dots (2.9)$$

Koefisien daya dapat dinyatakan secara langsung sebagai fungsi rasio kecepatan,

$$C_p = \frac{P}{P_o} = \frac{1}{2} [1 - (\frac{v_2}{v_1})^2] [1 + \frac{v_2}{v_1}]$$

Koefisien daya, yaitu rasio daya mekanik yang dapat dikeluarkan dengan daya yang dikandung arus udara, oleh karena itu, sekarang hanya tergantung pada rasio kecepatan udara sebelum dan sesudah konverter.

2. Metode Penelitian

2.1. Tahap Pemilihan Bahan dan Perancangan

Tahap pemilihan bahan dengan melakukan pengadaan material uji. Pembelian profil baja U, profil baja L, lembaran stainless steel, poros pejal ST 60, mur baut, pipa air dll di Barito Semarang. Pembelian komponen: roda gigi, generator, dan komponen lainnya di Jurnatan Jl. KH. Agus Salim, Semarang.

Perancangan alat ini dilakukan untuk memperoleh desain dan alternatif yang terbaik. Kegiatan ini dilakukan dengan membuat sketsa gambar sudu rotor angin VAWT beserta mekanismenya, sehingga dihasilkan gambar konstruksi yang jelas. Besarnya daya turbin ditentukan oleh luas sapuan rotor dan kecepatan angin, setelah diperoleh besarnya daya turbin digunakan untuk menentukan besarnya kapasitas pompa. Kemudian menentukan spesifikasi tiap-tiap komponen maupun konstruksi secara keseluruhan pada desain turbin disertai pemilihan jenis material yang sesuai kebutuhan. Perhitungan biaya dilakukan untuk pembuatan alat dan peralatan penunjangnya. Merancang dan membuat turbin angin Maglev multiblade

konstruksi sudu curved terdiri dari 3 konstruksi sudu rotor turbin berdiameter 550 mm tinggi 800 mm yang dibuat dari campuran serat kayu, ram, resin epoksi dengan perbandingan tertentu. Bagian-bagian sudu turbin diperkuat atau

diperkokoh menggunakan besi poros pejal pada sisi lengkung luar dan sisi lengkung dalam sudu. Dalam pembuatan ini melibatkan proses pengerjaan *cutting, bending, welding, milling, bubut, dan forming*.



Gambar. Cetakan sudu turbin Gorlov NACA 0018

2.2. Tahap Pengerjaan dan Perakitan

Setelah diperoleh hasil perancangan yang terbaik, kemudian dilakukan pembuatan turbin Gorlov beserta instalasi pengujiannya. Rotor angin Gorlov terdiri dari rotor turbin, piringan penahan sudu, dan poros. **Rotor turbin**, berfungsi untuk merubah energi kinetik kecepatan angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Model rotor Gorlov yang dibuat berjumlah 4 buah dengan masing-masing bukaan sudut sudu adalah 5°, 10°, 15°, dan 20°. Sudu turbin dibuat dari fiberglas (resin polyester, wolver roffing, fiber cloth, serat gelas/mat, pewarna pigmen, katalis). Pemilihan bahan sudu menggunakan cetakan sudu. Diameter rotor Gorlov ini adalah 550 mm dan tinggi rotor 800 mm. Sudu turbin Gorlov ini terpasang pada suatu piringan/cakram sebagai penyangga sudu. **Rangka**, berfungsi untuk menopang atau menahan dan menempatkan peralatan pada alat uji seperti rotor turbin, piringan penahan

sudu, poros. Rangka dibuat dari baja St 37 profil L ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dan dibuat kokoh untuk meredam getaran. Kaki-kaki rangka diberi roda ukuran 4 inchi, berfungsi untuk menahan dorongan akibat kecepatan angin, sehingga turbin akan menjadi stabil disamping itu juga agar praktis dalam pemakaian. Ukuran rangka menyesuaikan kebutuhan ruang untuk penempatan peralatan. **Alat ukur**, digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang diperlukan dalam pengujian yang meliputi anemometer untuk mengukur kecepatan angin, Stopwatch untuk mengukur waktu, Torsi meter untuk mengukur torsi keluaran turbin, Tachometer untuk mengukur putaran poros turbin. **Instalasi pengujian**, komponen-komponen yang telah dibuat seperti telah disebutkan di atas dirangkai menjadi instalasi pengujian generator penggerak turbin angin Gorlov skala mikro. seperti pada Gambar 21.

Gambar 2. Model instalasi pengujian PLTB dengan penggerak turbin angin VAWT (Komponen-komponen : (Rangka, sudu/rotor, rumah rotor, Generator; inverter; Panel meter dan beban lampu).

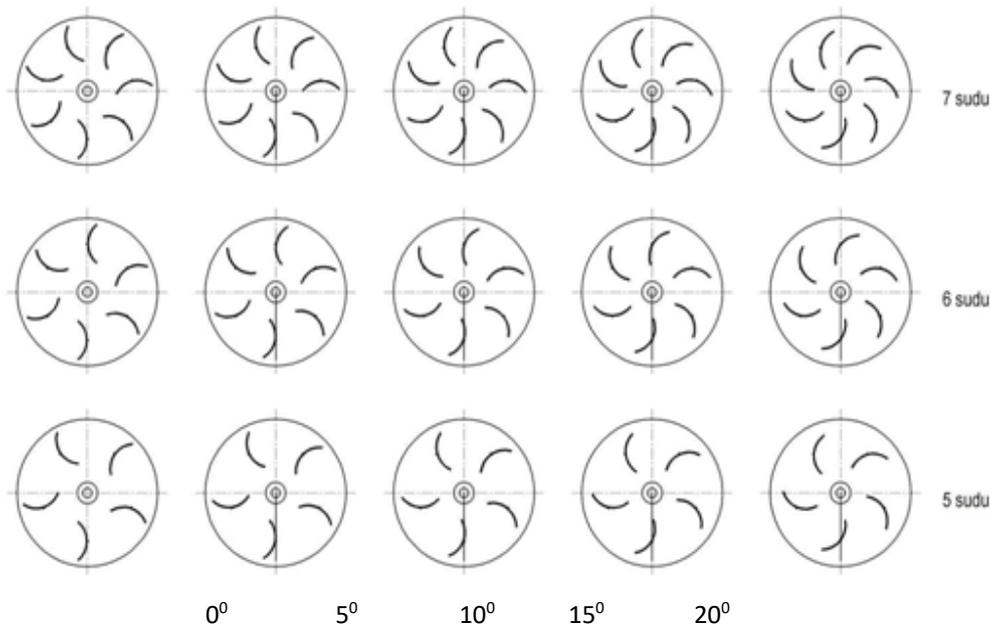
2.3. Tahap Pengujian

Uji yang dilakukan meliputi uji karakteristik rotor angin Gorlov yang dilakukan terhadap 4 rotor turbin, dimana jumlah sudu yaitu 4 buah dan bukaan sudut sudu divariasikan, yaitu 5° , 10° , 15° , dan 20° . Hasil uji berupa grafik karakteristik masing-masing rotor turbin dibandingkan dan dikaji unjuk kerjanya. Jika dari keempat rotor turbin Gorlov tersebut belum didapatkan hasil optimum, maka uji dilanjutkan terhadap rotor turbin dengan sudut sudu tertentu hingga didapatkan hasil optimum. Langkah-langkah pengujian meliputi

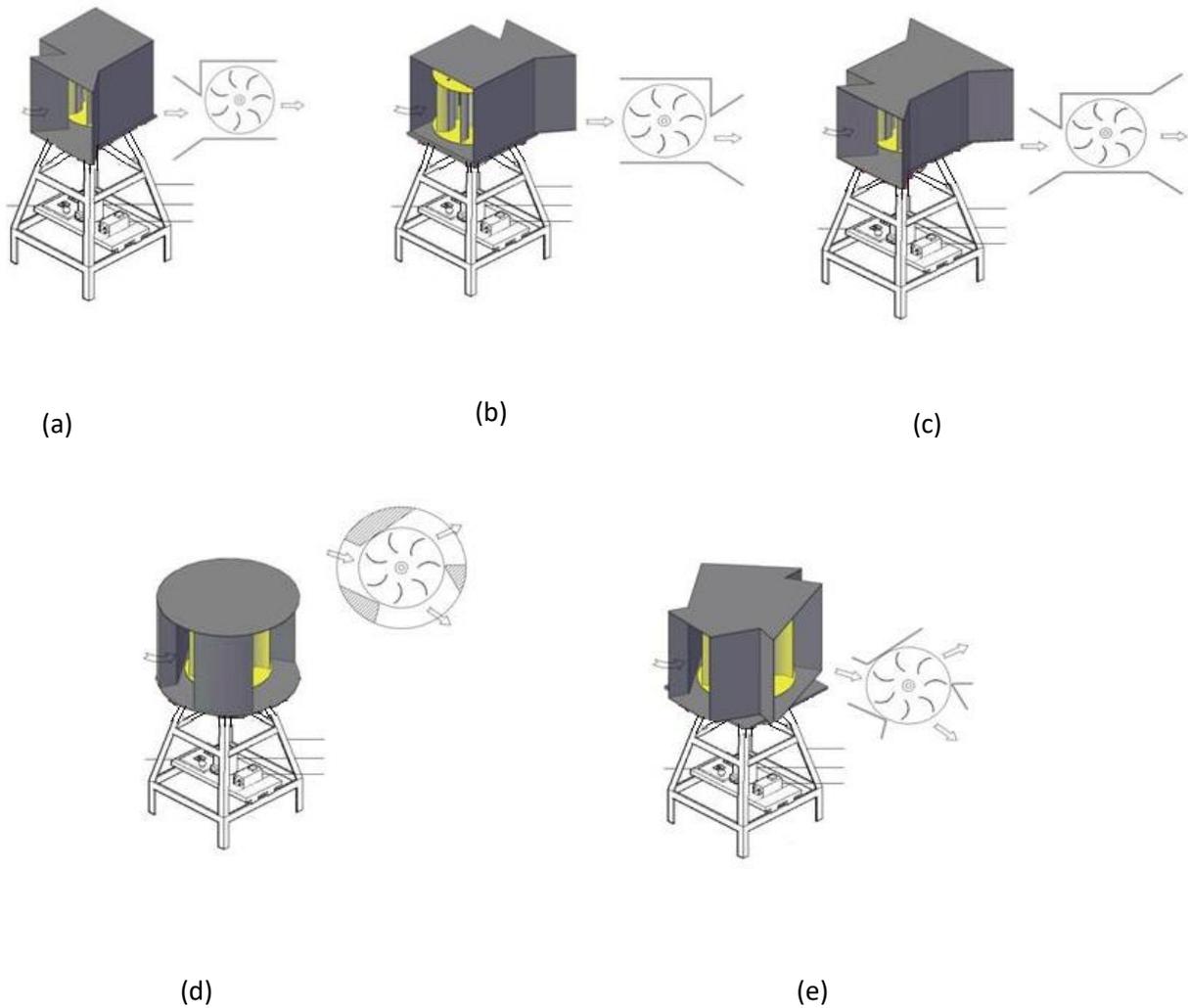
Persiapan, dilakukan untuk mengecek instalasi pengujian dan alat pembangkit tenaga angin (*blower*), mempersiapkan alat ukur dan mengkalibrasi, serta perlengkapan lain yang digunakan untuk pencatatan data.

Pelaksanaan pengujian, dimana pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah kecepatan angin (m/s) yang akan digunakan memutar sudu turbin; putaran poros (rpm), yaitu putaran yang dihasilkan oleh poros turbin setelah sudu turbin dikenai angin dengan kecepatan yang telah ditentukan; torsi (Nm), yaitu besarnya torsi yang dihasilkan dari putaran poros setelah sudu turbin dikenai angin dengan kecepatan yang telah ditentukan; daya turbin (watt), yaitu besarnya daya angin yang mampu dihasilkan oleh turbin angin; *Coefficient of Power Cp*, yaitu perbandingan antara daya turbin dengan daya angin. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah jumlah sudu rotor (*multi blade*) dan bukaan sudut sudu pada rotor turbin Gorlov yang divariasikan dan setiap variasi dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter diatas.

Optimasi daya turbin Gorlov terhadap variasi jumlah sudu dan variasi bukaan sudut sudu sebagai berikut :



Gambar 3. Uji optimasi daya terhadap variasi jumlah sudu (5, 6, dan 7 buah) dan variasi bukaan sudut sudu turbin (0° , 5° , 10° , 15° , dan 20°).



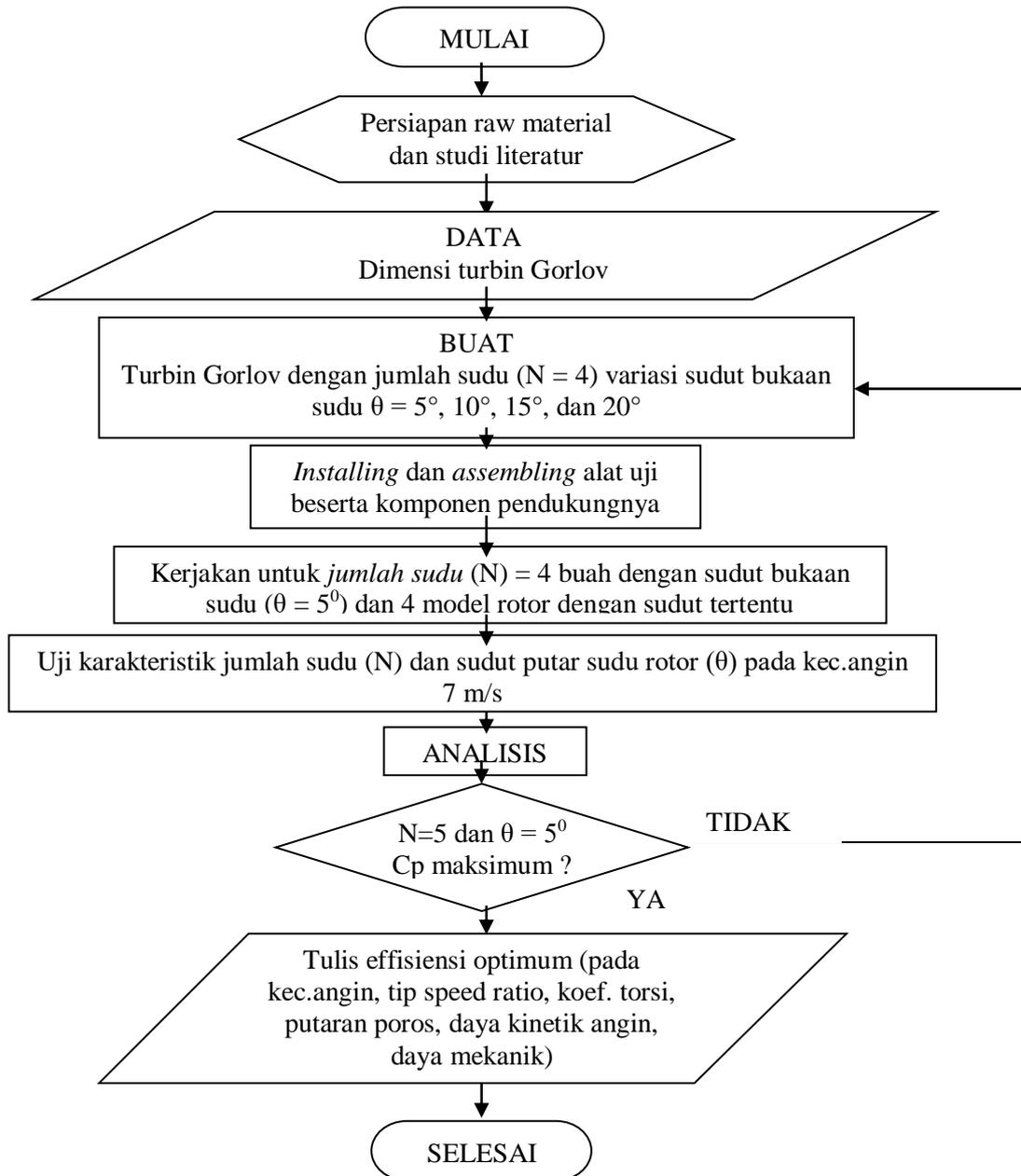
Gambar 4. Optimasi daya terhadap variasi rumah rotor (a. tipe pengarah dengan concentrator tanpa diffuser, b. tipe pengarah dengan diffuser tanpa concentrator, c. tipe pengarah dengan concentrator dan diffuser, d. tipe pengarah pejal dengan 1 masukan 2 keluaran serta, e. tipe pengarah pelat dengan 1 masukan 2 keluaran).

Pengolahan dan Analisis, Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan kecepatan angin, putaran poros, torsi, daya turbin, koefisien daya, koefisien torsi. Hasil pengolahan kemudian dipajangkan dalam bentuk grafik karakteristik turbin angin Gorlov dengan sudu dibuat dari galvalum. Unjuk kerja masing-masing turbin Gorlov tersebut dikaji dan dianalisis. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan pada turbin Gorlov dengan

variasi sudut sudu yang mempunyai unjuk kerja terbaik.

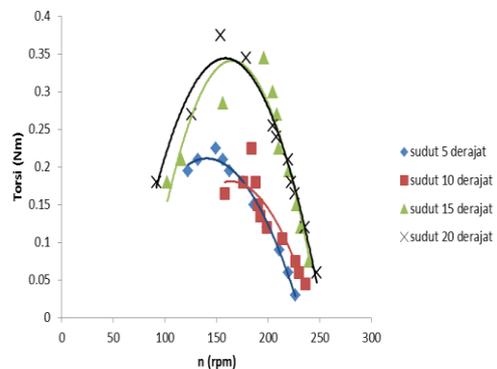
3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan kecepatan angin, putaran poros, torsi, daya turbin, koefisien daya, *tip speed ratio*, dan koefisien torsi. Hasil pengolahan kemudian dipajangkan dalam bentuk grafik karakteristik turbin angin Gorlov. Unjuk kerja masing-masing turbin Gorlov tersebut dikaji dan dianalisis



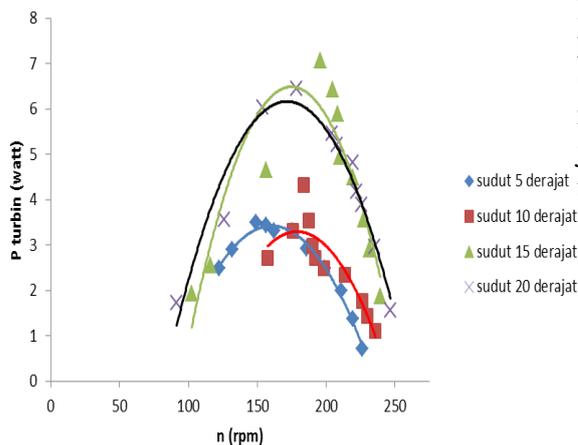
Gambar 5. Diagram alir penelitian

Sehingga akan menghasilkan kesimpulan pada turbin Gorlov dengan variasi bukaan sudut sudu (*blade pitch angle*), serta yang mempunyai unjuk kerja terbaik.



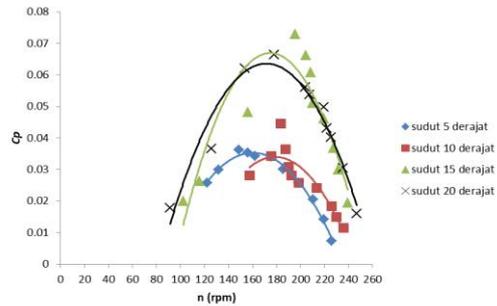
Gambar 6. Hasil uji kinerja Torsi terhadap Putaran Poros Turbin

Torsi tertinggi terdapat pada sudut 20° yaitu sebesar $0,375 \text{ Nm}$ dengan putaran $153,5 \text{ rpm}$ sehingga mempengaruhi P_{turbin} sebesar $6,024 \text{ watt}$ dengan nilai C_t sebesar $0,0902$. Sedangkan torsi terdapat pada sudut 5° yaitu sebesar $0,03 \text{ Nm}$ dengan putaran 226 rpm sehingga mempengaruhi P_{turbin} sebesar $0,709 \text{ watt}$ dengan nilai C_t sebesar $0,0072$. Dengan adanya penurunan putaran turbin disebabkan oleh peningkatan beban yang semakin besar sehingga menghasilkan torsi yang semakin besar sehingga mencapai titik jenuh torsi tersebut sehingga terjadi penurunan beban yang menyebabkan penurunan torsi.



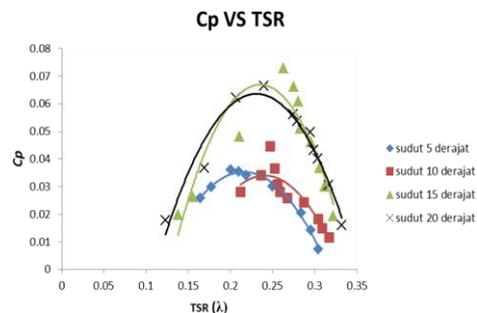
Gambar 7. Hasil uji kinerja Daya turbin, P_m vs n , Putaran poros turbin

Unjukkerja optimum dari P_{turbin} terdapat pada sudut sudu 15° yaitu $7,059 \text{ watt}$ dengan sebesar torsi $0,345 \text{ Nm}$ pada putaran $195,5 \text{ rpm}$. Sedangkan nilai terendah dari P_{turbin} terdapat pada sudut sudu 5° yaitu $0,709 \text{ watt}$ dengan torsi sebesar $0,03 \text{ Nm}$ pada putaran 226 rpm . Dengan adanya kenaikan P_{turbin} disebabkan oleh peningkatan beban dan menyebabkan putaran turun sampai titik tertinggi P_{turbin} sehingga mencapai titik jenuh dan beban akan kembali turun sehingga P_{turbin} juga akan turun.



Gambar 8. Hasil uji kinerja Coefficient of Power, C_p vs n , Putaran poros turbin

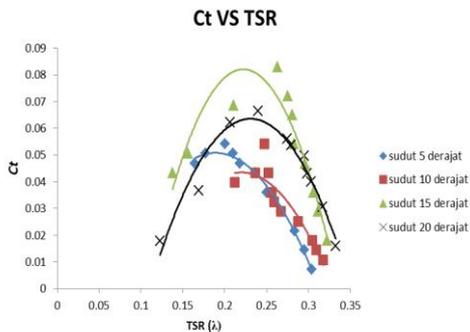
Unjukkerja optimum *Coefficient of Power* turbin sebesar $0,0721$ terdapat pada sudut 15° pada putaran turbin $204,4 \text{ rpm}$. Sedangkan nilai minimum *Coefficient of Power* turbin pada sudut 20° setelah melewati titik jenuh yaitu sebesar $0,0198$ pada putaran turbin $102,3 \text{ rpm}$. Seiring dengan adanya penurunan putaran turbin yang disebabkan oleh peningkatan pembebanan yang menyebabkan *Coefficient of Power* turbin semakin meningkat dan setelah mencapai titik jenuh maka nilai *Coefficient of Power* turbin akan menurun.



Gambar 9. Hasil uji kinerja Coefficient of Power, C_p vs λ Tip Speed Ratio

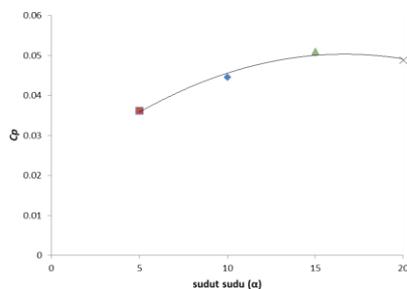
Unjukkerja optimum terdapat di sudut 15° dengan nilai *Coefficient of Power* (CP) $0,0727$ dengan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) $0,2630$ dengan P_{turbin} sebesar $7,059 \text{ watt}$ dan putaran turbin sebesar $195,5 \text{ rpm}$. Nilai optimal *Tip Speed Ratio* (TSR) terdapat pada sudut 20° sebesar $0,3321$ dengan nilai *Coefficient of Torsi* (C_t) $0,0144$. Sedangkan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR). Nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan

oleh turbin akan meningkat, jika nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) semakin rendah karena pengaruh penambahan beban pada putaran turbin, lalu setelah mencapai batas tertinggi (puncaknya), maka nilai *Coefficient of Power* turbin yang dihasilkan berangsur-angsur akan menurun.



Gambar 9. Hasil uji kinerja Coefficient of Torque C_t vs λ Tip Speed Ratio

Nilai optimum *Coefficient of Torque* (C_t) terdapat pada sudut 15° sebesar 0,0830 dengan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) 0,263. Sedangkan nilai terendah *Coefficient of Torque* (C_t) terdapat pada sudut bukaan sudu 5° sebesar 0,0072 dengan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) 0,3041.. Nilai tertinggi *Coefficient of Torsi* (C_t) didapatkan pada pembebanan tertinggi pada setiap sudut bukaan sudu sedangkan *Tip Speed Ratio* (TSR) tertinggi didapatkan pada pembebanan terendah pada setiap variasi sudut bukaan sudu. .



Gambar 9. Hasil uji kinerja Coefficient of Power C_p vs θ sudut bukaan sudu

Pada pembebanan yang sama yaitu 1,5 Newton dapat ditemukan nilai *Coefficient of Power* tertinggi adalah 0,0510 pada sudut sudu 15° . Sedangkan nilai

Coefficient of Power terendah adalah 0,0289 pada sudut sudu 5° .

Keunggulan Teknologi

a. Keunggulan Inovatif

- Merupakan pendekatan teknologi menggunakan rumah pengarah sudu.

- Jika diterapkan untuk pembangkit tenaga listrik, dapat didesain dengan dimensi

yang besar untuk menghasilkan daya sesuai kebutuhan.

b. Keunggulan Komparatif

- Jika diterapkan untuk pembangkit energy akan dapat menerima energy angin dari segala arah dan meningkatkan aliran udara menumbuk turbin, sehingga akan meningkatkan efisiensi dan daya turbin.

Material yang murah dan mudah didapatkan di pasaran akan menekan biaya produksi

Prospek Aplikasi

- Penerapan rumah rotor dan ekor pengarah akan meningkatkan efisiensi dan daya

turbin angin.

- Dukungan material yang murah dan mudah diperoleh dipasaran, akan menekan

biaya investasi pembangunan pembangkit.

- Desain turbin untuk kecepatan angin rendah bisa diaplikasikan di seluruh wilayah Indonesia yang memiliki potensi angin diatas 3,5 m/s.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menghasilkan kesimpulan :

1. Turbin angin Maglev (tipe *Savonius* multi *blade*) memiliki spesifikasi sebagai berikut : diameter turbin (d) sebesar 550 mm, tinggi turbin (h) sebesar 800 mm, jumlah sudu sebanyak 4 buah, sudut sudu masing-masing sebesar 5° , 10° , 15° , dan 20° , parameter uji kecepatan angin 7 m/s
2. *Coefficient of Power* terbaik adalah 0,0727 dengan tsr 0,263 daya turbin

- 7,059 watt pada putaran 195,5 rpm pada sudut sudu 15°.
3. Nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) tertinggi sebesar 0,3321 pada putaran poros turbin 246,8 rpm yang terjadi pada sudut sudu 20°.
 4. *Coefficient of Toque* (C_t) turbin tertinggi pada sudut sudu 15° sebesar 0,0830 dengan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) 0,263 pada putaran 239,3 rpm dengan torsi 0,075 Nm.
- Netherlands: Steering Committee Wind Energy, Developing Countries
- Soelaiman, Fauzi TA., Tandian NP., Rachmatulloh Rizki. 2010. *Optimasi Penambahan Selubung (Shroud) pada Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan Menggunakan Simulasi CFD 2 Dimensi*. SNTTM ke-9 Palembang.
- Sabzevari, A. 2007. *Power Augmentation in a Ducted Savonius Rotor*. Pahlavy University, Iran. *Second Int. Symposium Wind Energy Systems. BHRA Fluid Engineering, England.*

DAFTAR PUSTAKA

- AWEA. 2004. *The American Wind Energy Association*. <http://www.awea.org>.
- BWEA. 2002. *The British Wind Energy Association*. <http://www.bwea.com>. diakses tanggal 5 Oktober 2009
- Beri H, and Yao Y. 2011. *Effect of Chamber Airfoil on Self Starting of Vertical Axis Wind Turbine*. *Journal of Environment Science and Technology*. Vol. 4 (3), pp. 302-312
- Grant, A and Kelly N. 2003. *The Development of a Ducted Wind Turbine Simulation Model*. *Eight Int. IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands*. Pp. 407-414.
- Hau, Erich. 2006. *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. 2nd Edition. Springer-Verlag Berlin. Germany
- Hermawan. 2010. *Unjukkerja Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Posisi Sudut Turbin*. SNTTM ke-9 Palembang.
- Gupta R, Roy S, and Biswas A. 2010. *Computational Fluid Dynamics of Twisted Airfoil Shaped Two Bladed H-Darrieus Rotor Made From Fibreglass Reinforced Plastic (FRP)*. *International Journal of Energy and Environment*. Vol. 1. Pp. 953-968
- Leysen E.H. 1983, *Introduction to Wind Energy*. PO BOX 85/Amersfort/The