

## DAFTAR ISI

|                                                  |      |
|--------------------------------------------------|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                             | i    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                        | ii   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b>                        | iii  |
| <b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b>                   | iv   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN HASIL UJIAN PENDADARAN</b> | v    |
| <b>HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b>             | vi   |
| <b>INTISARI</b>                                  | vii  |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                            | viii |
| <b>DAFTAR ISI</b>                                | x    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                             | xiii |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                              | xvi  |
| <b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>               | xvii |
| <br><b>BAB I      PENDAHULUAN</b>                |      |
| 1.1. Latar Belakang                              | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah                             | 3    |
| 1.3. Batasan Masalah                             | 3    |
| 1.4. Tujuan Penelitian                           | 3    |
| 1.5. Manfaat Penelitian                          | 3    |
| <br><b>BAB II      TINJAUAN PUSTAKA</b>          |      |
| 2.1. Sejarah Turbin                              | 5    |
| 2.2. Jenis Turbin Angin                          | 5    |
| 2.2.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal             | 7    |
| 2.2.2. Turbin Angin sumbu Vertikal               | 10   |
| <br><b>BAB III    DASAR TEORI</b>                |      |
| 3.1. Dasar Teori                                 | 17   |

|               |                                                                                                 |    |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.          | Teori Dasar Betz's Momentum                                                                     | 17 |
| 3.3.          | <i>Tip Speed</i>                                                                                | 21 |
| 3.4.          | <i>Cut In speed</i>                                                                             | 22 |
| 3.5.          | Volume Kontrol                                                                                  | 22 |
| 3.6.          | Penerapan Volume Control Turbin                                                                 | 26 |
| 3.7.          | Dynamometer Sederhana                                                                           | 27 |
| <b>BAB IV</b> | <b>METODOLOGI DAN PENELITIAN</b>                                                                |    |
| 4.1.          | Objek Pengujian                                                                                 | 30 |
| 4.2.          | Proses Manufaktur Turbin                                                                        | 32 |
| 4.3.          | Variasi Objek Pengujian                                                                         | 36 |
| 4.4.          | Alat-Alat Pengujian                                                                             | 36 |
| 4.5.          | Cara pengujian                                                                                  | 39 |
|               | 4.5.1. Pengukuran Kecepatan angin                                                               | 40 |
|               | 4.5.2. Pengukuran Putaran poros Turbin                                                          | 41 |
|               | 4.5.3. Perhitungan                                                                              | 42 |
|               | 4.5.4. Analisis Data                                                                            | 43 |
| <b>BAB V</b>  | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                                                     |    |
| 5.1.          | Kecepatan Angin Rata-Rata                                                                       | 44 |
|               | 5.1.1 Variasi Kecepatan angin ke-1                                                              | 44 |
|               | 5.1.2 Variasi Kecepatan angin ke-2                                                              | 45 |
|               | 5.1.3 Variasi Kecepatan angin ke-3                                                              | 45 |
| 5.2.          | Karakteristik Turbin Angin                                                                      | 46 |
|               | 5.2.1. Karakteristik Turbin Angin Model 12 <i>Blade</i>                                         | 47 |
|               | 5.2.2. Karakteristik Turbin Angin Model 10 <i>Blade</i>                                         | 50 |
|               | 5.2.3. Karakteristik Turbin Angin Model 8 <i>Blade</i>                                          | 53 |
|               | 5.2.4. Karakteristik Turbin Angin Model 6 <i>Blade</i>                                          | 56 |
| 5.3.          | Pembahasan Hasil Pengujian                                                                      | 59 |
|               | 5.3.1. Perbandingan Grafik <i>Power coefficient (Cp) - Tip speed ratio <math>\lambda</math></i> | 60 |
|               | 5.3.2. Hubungan Torsi ( <i>T</i> ) terhadap Putaran Turbin                                      | 63 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 5.3.3. Hubungan Daya ( $P$ ) terhadap Putaran Turbin | 65 |
| 5.4. Perhitungan Gaya Dorong Fluida Terhadap Turbin  | 66 |
| 5.4.1. Variasi Kecepatan Angin Keluar                | 66 |
| 5.4.2. Perhitungan Gaya <i>Drag</i> Pada Turbin      | 66 |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>                   | 69 |
| 6.1. Kesimpulan                                      | 69 |
| 6.2. Saran                                           | 71 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                | 72 |
| <b>LAMPIRAN</b>                                      | 74 |

## DAFTAR GAMBAR

|              |                                                                                                                            |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1.  | Berbagai jenis turbin angin (Anwar, 2008)                                                                                  | 6  |
| Gambar 2.2.  | Komponen dari sebuah turbin angin sumbu horizontal, <i>gearbox</i> , <i>rem rotor shaft</i> dan rakitan (Anderson, 2008)   | 7  |
| Gambar 2.3.  | <i>Doesburger</i> kincir angin (Ede, 2007)                                                                                 | 8  |
| Gambar 2.4.  | Tiga Berbilah Turbin Angin (Franke, 2005)                                                                                  | 9  |
| Gambar 2.5.  | Turbin Angin <i>Darrieus</i> (30 m) di Kepulauan Magdalen (Aarchiba, 2007)                                                 | 11 |
| Gambar 2.6.  | <i>Windmill</i> dengan rotasi layar di Osijek, Kroasia (12 m) (Tiho, 2007)                                                 | 12 |
| Gambar 2.7.  | <i>Savonius wind turbin</i> (Toshihiro Oimatsu, 2006)                                                                      | 13 |
| Gambar 2.8.  | <i>Verical axis wind</i> turbin dengan 5 blade (Kamal, 2008)                                                               | 14 |
| Gambar 2.9.  | Pengaruh sudut blade terhadap <i>power coefficient</i> dan <i>tip speed ratio</i> (Kamal, 2008)                            | 14 |
| Gambar 2.10. | Variasi karakteristik starting pada berbagai kecepatan udara terhadap ( <i>rpm</i> ) (Saha, 2005)                          | 15 |
| Gambar 3.1.  | Kondisi aliran saat energi kinetik pada angin berubah menjadi energi mekanis, menurut teori dasar momentum (Anthony, 2007) | 19 |
| Gambar 3.2.  | Hubungan <i>ideal power</i> koefisien terhadap <i>Tip speed ratio</i> (White, 1999)                                        | 21 |
| Gambar 3.3.  | Laju aliran udara                                                                                                          | 25 |
| Gambar 3.4.  | Kecepatan angin yang mengenai turbin                                                                                       | 26 |
| Gambar 3.5.  | Koefisien drag untuk berbagai macam bentuk                                                                                 | 26 |
| Gambar 3.6.  | Skema <i>friction brake</i>                                                                                                | 29 |
| Gambar 4.1.  | Turbin angin vertikal dengan rotor <i>savonius</i>                                                                         | 30 |
| Gambar 4.2.  | <i>Blade</i> yang dibuat dari pipa PVC                                                                                     | 31 |
| Gambar 4.3.  | Kayu ( <i>Plywood</i> )                                                                                                    | 31 |
| Gambar 4.4.  | Pipa galvanis                                                                                                              | 31 |

|              |                                                                                                                                                      |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.5.  | <i>Ball bearing</i> dan <i>tapered roller bearing</i>                                                                                                | 32 |
| Gambar 4.6.  | Besi siku lubang                                                                                                                                     | 32 |
| Gambar 4.7.  | <i>blade</i>                                                                                                                                         | 33 |
| Gambar 4.8.  | Penopang <i>blade</i>                                                                                                                                | 33 |
| Gambar 4.9.  | Poros                                                                                                                                                | 34 |
| Gambar 4.10. | Penopang turbin                                                                                                                                      | 34 |
| Gambar 4.11. | Rangka turbin                                                                                                                                        | 34 |
| Gambar 4.12. | Pemasangan <i>blade</i>                                                                                                                              | 35 |
| Gambar 4.13. | Turbin                                                                                                                                               | 35 |
| Gambar 4.14. | Penomoran model turbin                                                                                                                               | 36 |
| Gambar 4.15. | Skema pengukuran kecepatan angin                                                                                                                     | 37 |
| Gambar 4.16. | Anemometer type LT-LUTRON AM-4203                                                                                                                    | 37 |
| Gambar 4.17. | Skema pengukuran kecepatan putaran ( <i>rpm</i> )                                                                                                    | 38 |
| Gambar 4.18. | Tachometer type LT-LUTRON DT-2259                                                                                                                    | 38 |
| Gambar 4.19. | Diagram alir untuk proses pengujian dan pengukuran                                                                                                   | 39 |
| Gambar 4.20. | Instrumen pengukur putaran turbin terhadap variasi pembebanan                                                                                        | 41 |
| Gambar 5.1.  | Variasi kecepatan angin                                                                                                                              | 44 |
| Gambar 5.2.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 12 <i>blade</i> pada kecepatan 4,207 m/s | 47 |
| Gambar 5.3.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 12 <i>blade</i> pada kecepatan 5,093 m/s | 48 |
| Gambar 5.4.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 12 <i>blade</i> pada kecepatan 5,76 m/s  | 49 |
| Gambar 5.5.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 10 <i>blade</i> pada kecepatan 4,207 m/s | 50 |
| Gambar 5.6.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 10 <i>blade</i> pada kecepatan 5,093 m/s | 51 |
| Gambar 5.7.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 10 <i>blade</i> pada kecepatan 5,76 m/s  | 52 |

|              |                                                                                                                                                     |    |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 5.8.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 8 <i>blade</i> pada kecepatan 4,207 m/s | 53 |
| Gambar 5.9.  | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 8 <i>blade</i> pada kecepatan 5,093 m/s | 54 |
| Gambar 5.10. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 8 <i>blade</i> pada kecepatan 5,76 m/s  | 55 |
| Gambar 5.11. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 6 <i>blade</i> pada kecepatan 4,207 m/s | 57 |
| Gambar 5.12. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 6 <i>blade</i> pada kecepatan 5,093 m/s | 58 |
| Gambar 5.13. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) model 6 <i>blade</i> pada kecepatan 5,76 m/s  | 59 |
| Gambar 5.14. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) pada kecepatan 4,207 m/s                      | 60 |
| Gambar 5.15. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) pada kecepatan 5,093 m/s                      | 61 |
| Gambar 5.16. | Grafik hubungan antara <i>power coefficient</i> ( $C_p$ ) dengan <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) pada kecepatan 5,76 m/s                       | 61 |
| Gambar 5.17. | Grafik hubungan antara torsi dengan <i>rpm</i> pada turbin angin semua model dengan kecepatan 4,207 m/s                                             | 63 |
| Gambar 5.18. | Grafik hubungan antara torsi dengan <i>rpm</i> pada turbin angin semua model dengan kecepatan 5,093 m/s                                             | 64 |
| Gambar 5.19. | Grafik hubungan antara torsi dengan <i>rpm</i> pada turbin angin semua model dengan kecepatan 5,76 m/s                                              | 64 |
| Gambar 5.20. | Grafik hubungan daya dengan <i>rpm</i> turbin angin semua model dengan kecepatan 4,207 m/s                                                          | 65 |
| Gambar 5.21. | Grafik hubungan daya dengan <i>rpm</i> turbin angin semua model dengan kecepatan 5,093 m/s                                                          | 66 |
| Gambar 5.22. | Grafik hubungan daya dengan <i>rpm</i> turbin angin semua model dengan kecepatan 5,76 m/s                                                           | 66 |
| Gambar 5.23. | Skema perhitungan gaya pada turbin                                                                                                                  | 67 |



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**PENGARUH GEOMETRI DAN JUMLAH BLADE TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN ANGIN POROS  
VERTIKAL TIPE SAVONIUS**

Faisal Nizar, Ir. Hermawan, M.Si

xvi

Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                   |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 5.1. | Kecepatan angin pada variasi kecepatan angin ke 1                 | 44 |
| Tabel 5.2. | Kecepatan angin pada variasi kecepatan angin ke 2                 | 45 |
| Tabel 5.3. | Kecepatan angin pada variasi kecepatan angin ke 3                 | 46 |
| Tabel 5.4. | Kecepatan angin keluar pada variasi kecepatan angin 4,207 m/s     | 66 |
| Tabel 5.5. | Kecepatan angin keluar pada variasi kecepatan angin 5,093 m/s     | 66 |
| Tabel 5.6. | Kecepatan angin keluar pada variasi kecepatan angin 5,76 m/s      | 66 |
| Tabel 5.7. | Perhitungan Gaya <i>Drag</i> pada Turbin Pada Kecepatan 4,207 m/s | 67 |
| Tabel 5.8. | Perhitungan Gaya <i>Drag</i> pada Turbin Pada Kecepatan 5.093 m/s | 67 |
| Tabel 5.9. | Perhitungan Gaya <i>Drag</i> pada Turbin Pada Kecepatan 5,76 m/s  | 68 |

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

|           |                                        |
|-----------|----------------------------------------|
| $A$       | = Luasan $m^2$                         |
| $A_1$     | = Luasan penampang masuk $m^2$         |
| $A_2$     | = Luasan penampang keluar $m^2$        |
| $C_p$     | = <i>Power coefficient</i>             |
| $E$       | = Energi kinetik ( $Nm$ )              |
| $F$       | = Gaya ( $N$ )                         |
| $m$       | = Massa ( $kg$ )                       |
| $\dot{m}$ | = <i>Mass flow rate</i> ( $kg/s$ )     |
| $N$       | = Putaran rotor ( $rpm$ )              |
| $P$       | = Daya ( $W$ )                         |
| $P_o$     | = Daya mekanis angin ( $W$ )           |
| $p$       | = Tekanan                              |
| $rpm$     | = Radius per menit                     |
| $R_x$     | = Resultan gaya                        |
| $T$       | = Torsi ( $N-m$ )                      |
| $w$       | = Kecepatan sudut                      |
| $V$       | = Kecepatan angin ( $m/s$ )            |
| $v_1$     | = Kecepatan aliran masuk ( $m/s$ )     |
| $v_2$     | = Kecepatan aliran keluar ( $m/s$ )    |
| $\bar{v}$ | = Kecepatan aliran rata-rata ( $m/s$ ) |
| $v_r$     | = <i>Tip speed</i>                     |
| $\lambda$ | = <i>Tip speed ratio</i>               |