

PERANCANGAN PROPELER TURBIN ANGIN PADA GEDUNG HEMAT ENERGI

Peter Jonathan¹⁾, Fandi Dwiputra Suprianto²⁾, Sutrisno Teng³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2,3)}

Jalan. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2,3)}

Phone: +62-821-888-99-187¹⁾, +62-31-8439040^{2,3)}, Fax: +62-31-8417658^{2,3)}

E-mail : peterjonahan007@yahoo.com¹⁾, fandi@petra.ac.id²⁾, tengsutrisno@petra.ac.id³⁾

ABSTRAK

Turbin angin dapat menjadi salah satu solusi alat pembangkit tenaga listrik dengan mengkonversi energi angin menjadi listrik ditengah krisis energi global pada abad ke-21 ini. Kebutuhan energi didaerah perkotaan terus meningkat seiring berjalannya waktu yang tidak diikuti perkembangan sumber energi terbarukan. Dengan adanya gedung-gedung tinggi, semestinya meningkatkan potensi energi angin yang melewati sela-sela gedung yang merupakan konsentrator angin. Maka, perlu dirancang Propeler Turbin Angin yang optimal yang dapat menjawab kebutuhan energi di daerah perkotaan khususnya pada Gedung Hemat Energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain propeler yang paling optimum. Penelitian dilakukan dengan proses perhitungan dengan BEM, simulasi dengan menggunakan FLUENT, eksperimen dengan menggunakan Miniatur berskala 1:10, dan Pengujian dengan Prototype dengan ukuran sebenarnya. Berdasarkan hasil penelitian, Mixed Ideal Blade memiliki efisiensi sebesar 38,364%, unggul 1,244% dari Uniform Ideal Blade serta unggul 7,987% dari Uniform Linearised Blade. Dari hasil pengujian, Turbin angin mulai berputar pada kecepatan angin 2,6 m/s. Dari hasil penelitian tersebut, maka Mixed Ideal Blade dapat diaplikasikan pada Gedung P1 dan P2 UK. Petra yang merupakan Gedung Hemat Energi

Kata kunci: Horizontal Axis Wind Turbine, Blade Element Momentum, Gedung Hemat Energi, Blade Design, Wind Energy.

1. PENDAHULUAN

Masalah krisis energi di dunia sudah menjadi topik yang hangat pada era abad ke-21 ini. Hal ini dikarenakan semakin menipisnya persediaan stok bahan bakar fosil yang merupakan *Non-Renewable Energy* [1]. Kenaikan harga minyak dan ketidakstabilan geo-politik di Asia Timur [2] telah menjadi kekuatan utama yang memberikan kontribusi dalam peningkatan investasi global dibidang *Renewable Energy*. Salah satu contoh penggunaan *renewable energy* adalah penggunaan *wind energy*. Energi angin sangatlah banyak tersedia dan merupakan energi yang cukup murah untuk dimanfaatkan. Proses konversi energi ini tidak menimbulkan polusi. Dari data BMKG Juanda [3] maupun BMKG Perak Klas II [4] menunjukkan potensi angin di Surabaya yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi di berbagai sektor, antara lain : *agricultural*, perindustrian, pembangkit listrik, dan lain-lain. Kebutuhan akan energi di daerah perkotaan meningkat diiringi dengan penambahan jumlah gedung-gedung tinggi di Indonesia. Padahal dengan adanya penambahan jumlah gedung tinggi di Indonesia meningkatkan potensi pemanfaatan turbin angin dikarenakan tingginya kecepatan angin yang lewat diantara gedung-gedung tersebut yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit energi yang bebas polusi.

Penggunaan turbin angin poros horizontal (*HAWT*) belum banyak digunakan di Indonesia. Hal ini dikarenakan arah angin di Indonesia yang berubah-ubah sehingga lebih cocok bila digunakan turbin angin poros vertikal [5]. Padahal turbin angin poros horisontal

(*HAWT*) memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin poros vertikal (*VAWT*). Turbin angin poros horisontal bisa diterapkan apabila adanya pengarah aliran angin seperti pada Gedung Hemat Energi [6] Dengan adanya pengarah aliran angin pada gedung tersebut diharapkan penggunaan turbin angin poros horisontal bisa diaplikasikan.

Dalam mendesain *HAWT* digunakan metode *Blade Element Momentum (BEM)* yang dipelopori oleh Betz [7] dan Glauert [8] lalu dikembangkan dengan perhitungan komputasi untuk memperoleh desain yang optimal [9]. Pada kenyataannya *BEM* belum bisa dikatakan optimal karena analisisnya yang bersifat *steady state* serta adanya *wake* yang terdiri dari *near wake* dan *far wake* [10]. *Wake* ini disebabkan adanya *vortex* pada *blade trailing edge*, *hub vortices*, dan *tip vortices* [11]. Untuk itu perlu diteliti lebih lanjut dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* hasil perhitungan *BEM* yang akan diaplikasikan [12]. Hasil dari desain turbin angin ini diharapkan dapat diaplikasikan untuk Gedung Hemat Energi P1 dan P2 UK. Petra sebagai salah satu *Energy Saving Building*.

2. METODE PENELITIAN

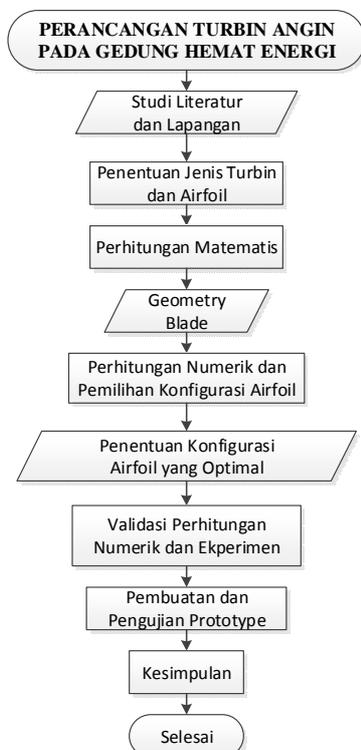
Studi literatur dan lapangan merupakan hal yang wajib sebelum mendesain sebuah turbin angin. Hal-hal yang perlu ditinjau antara lain : tempat dipasangnya turbin angin, kecepatan angin di Surabaya, informasi jenis turbin dan *airfoil* yang akan digunakan.

Selanjutnya dilakukan analisa perhitungan *BEM*

untuk mendapatkan dimensi *blade* untuk turbin angin berdiameter 3 meter dari berbagai desain *blade* antara lain : *Uniform Ideal Blade* dengan *airfoil NREL S-833* dan variasi *chord* yang ideal, *Uniform Linearised Blade* dengan *airfoil NREL S-833* dan variasi *chord* yang dilinearisasi, *Mixed Ideal Blade* dengan gabungan *airfoil NREL S-835, S-833, S-834* yang berkonfigurasi 0,4 ; 0,75 ; 0,95 [13] dan variasi *chord* ideal, serta *Mixed Linearised Blade* dengan gabungan *airfoil NREL S-835, S-833, S-834* yang berkonfigurasi 0,4 ; 0,75 ; 0,95 dan variasi *chord* yang dilinearisasi. Dimensi *blade* akan dievaluasi berdasarkan *CP (Coefficient of Performance)* yang teroptimal dengan perhitungan numerik *Computational Fluid Dynamics* yang terlebih dahulu dilakukan *modelling* dengan *Solidworks 2013* dan *re-modelling and meshing* dengan *GAMBIT*.

Simulasi *CFD* menggunakan *software FLUENT* dengan *viscous model RNG K-ε* serta *Moving Frame Reference* guna mengkondisikan turbin angin berputar saat adanya inputan angin 1-15 m/s. Data yang diambil adalah *total pressure* bagian *swept area* didepan dan dibelakang turbin guna menghitung *energy* yang diserap oleh turbin angin sebagai *wind-turbomachinery*. Hasil perhitungan *CFD* akan divalidasi pada *Wind Tunnel* dengan skala 1:10 untuk dikomparasi berdasarkan *static pressure* didepan dan dibelakang turbin, serta *shaft power* yang dihasilkan oleh turbin angin miniatur sebelum diujicoba *Prototype 1:1* pada *WTDNC 2012*.

Metodologi yang digunakan dalam mendesain Turbin Angin ini digambarkan dalam bentuk diagram yang sistematis pada Gambar 1. dibawah ini :



Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan *BEM* yang dihasilkan, dilakukan analisa terhadap *Tip Speed Ratio (TSR)* guna mencari *CP (Coefficient of Performance)* yang paling optimal dari masing-masing jenis *blade*. Hasil komparasi *CP* terhadap *TSR* dapat dilihat pada Gambar 2. sebagai berikut :



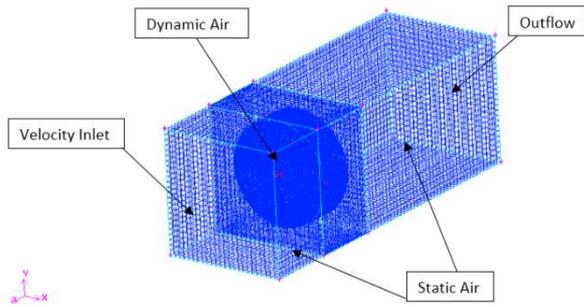
Gambar 2. Komparasi *CP-TSR Uniform Ideal Blade, Uniform Linearised Blade, Mixed Ideal Blade, dan Mixed Linearised Blade.*

Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa pada *TSR 8* memiliki *CP* yang teroptimal dengan *Mixed Ideal Blade* yang memiliki efisiensi sebesar 47,6%. Sedangkan *Uniform Ideal Blade* memiliki efisiensi sebesar 47,55%, *Uniform Linearised Blade* memiliki *CP* sebesar 43,74% dan *Mixed Linearised Blade* memiliki *CP* sebesar 43,79%. Berikut dimensi yang didapat dari perhitungan *BEM*. ditampilkan pada Gambar 3. dibawah ini.

Uniform Ideal Blade				Uniform Linearised Blade				Mixed Ideal Blade			
r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil	r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil	r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil
75	170.597	40.466	NREL S-833	75	168.680	40.466	NREL S-833	75	170.597	38.966	NREL S-835
150	197.843	29.227	NREL S-833	150	160.580	29.227	NREL S-833	150	197.843	27.727	NREL S-835
225	180.535	21.537	NREL S-833	225	152.480	21.537	NREL S-833	225	180.535	20.037	NREL S-835
300	156.607	16.337	NREL S-833	300	144.380	16.337	NREL S-833	300	156.607	14.837	NREL S-835
375	135.351	12.710	NREL S-833	375	136.280	12.710	NREL S-833	375	135.351	11.210	NREL S-835
450	118.019	10.080	NREL S-833	450	128.180	10.080	NREL S-833	450	118.019	8.580	NREL S-835
525	104.095	8.103	NREL S-833	525	120.080	8.103	NREL S-833	525	104.095	6.603	NREL S-835
600	92.842	6.569	NREL S-833	600	111.980	6.569	NREL S-833	600	92.842	6.569	NREL S-833
675	83.638	5.349	NREL S-833	675	103.880	5.349	NREL S-833	675	83.638	5.349	NREL S-833
750	76.009	4.357	NREL S-833	750	95.780	4.357	NREL S-833	750	76.009	4.357	NREL S-833
825	69.603	3.536	NREL S-833	825	87.680	3.536	NREL S-833	825	69.603	3.536	NREL S-833
900	64.159	2.846	NREL S-833	900	79.580	2.846	NREL S-833	900	64.159	2.846	NREL S-833
975	59.483	2.257	NREL S-833	975	71.480	2.257	NREL S-833	975	59.483	2.257	NREL S-833
1050	55.426	1.750	NREL S-833	1050	63.380	1.750	NREL S-833	1050	55.426	1.750	NREL S-833
1125	51.877	1.308	NREL S-833	1125	55.280	1.308	NREL S-833	1125	51.877	1.708	NREL S-833
1200	48.748	0.920	NREL S-833	1200	47.180	0.920	NREL S-833	1200	48.748	1.920	NREL S-834
1275	45.968	0.577	NREL S-833	1275	39.080	0.577	NREL S-833	1275	45.968	1.577	NREL S-834
1350	43.485	0.271	NREL S-833	1350	30.980	0.271	NREL S-833	1350	43.485	1.271	NREL S-834
1425	41.253	-0.003	NREL S-833	1425	22.880	-0.003	NREL S-833	1425	41.253	0.997	NREL S-834
1500	39.236	-0.250	NREL S-833	1500	14.780	-0.250	NREL S-833	1500	39.236	0.750	NREL S-834

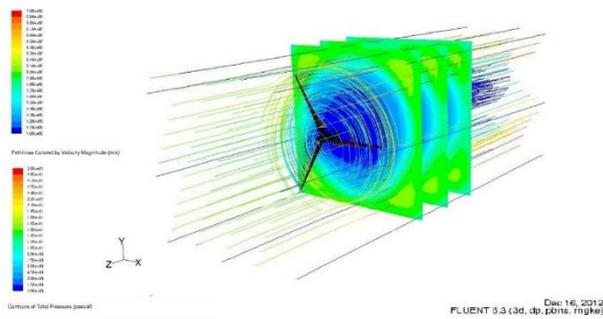
Gambar 3. Dimensi *Blade* dari *Uniform Ideal Blade, Uniform Linearised Blade, dan Mixed Ideal Blade.*

Dari hasil perhitungan *BEM*, maka dilakukan *modelling* dengan *Solidworks 2013*, *re-modelling* dan *meshing* dengan *GAMBIT*, dan simulasi numerik dengan *FLUENT* untuk membandingkan antara bentuk *Ideal* dan *Linearised* terlebih dahulu antara *Uniform Ideal Blade* dengan *Uniform Linearised Blade*, diikuti oleh modifikasi dengan adanya konfigurasi *airfoil* pada *Mixed Ideal Blade*. Berikut *meshing* dan *boundary condition* ditampilkan pada Gambar 4.

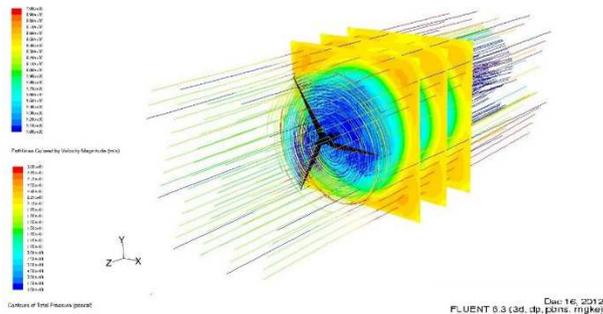


Gambar 4. Meshing dan Boundary Condition

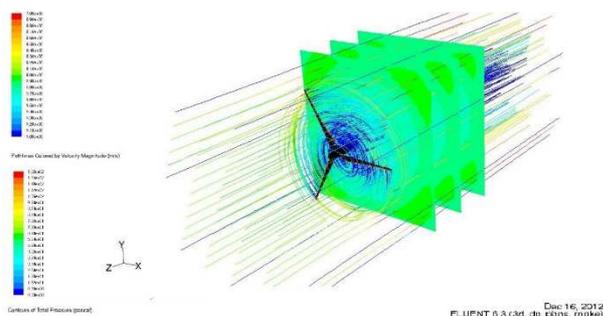
Dari Hasil 3 jenis *blade* yang disimulasikan berdasarkan *meshing* dan *boundary Condition* seperti yang tampak pada Gambar 4. Hasil simulasi yang berupa *velocity pathlines plot* dan *total pressure contour plot* dari ketiga jenis *blade* dapat dilihat pada Gambar 5-7.



Gambar 5. Velocity Pathlines Plot dan Total Pressure Contour Plot pada Uniform Ideal Blade pada kecepatan 10 m/s.

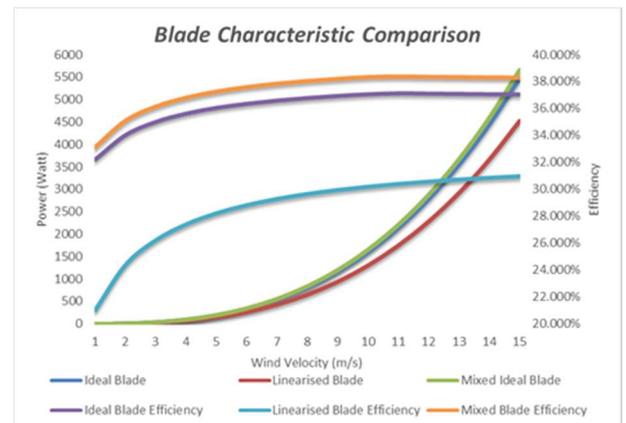


Gambar 6. Velocity Pathlines Plot dan Total Pressure Contour Plot pada Uniform Linearised Blade pada kecepatan 10 m/s.



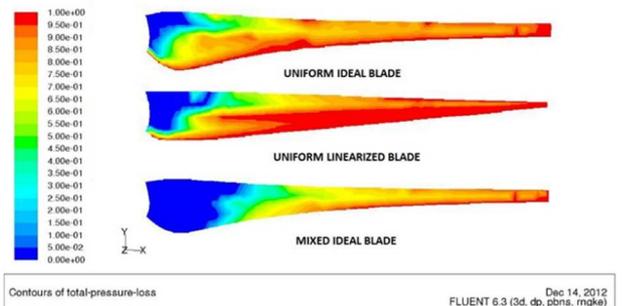
Gambar 7. Velocity Pathlines Plot dan Total Pressure Contour Plot pada Mixed Ideal Blade pada kecepatan 10 m/s.

Dari Gambar 5-7 terlihat bahwa terdapat *wake* yang berupa *swirl* timbul ketika melewati *blade* turbin angin. Hal ini menyebabkan terhambatnya aliran sehingga membukanya *streamline* yang menandakan bahwa turbin menyerap energi yang terdapat pada angin. Juga tampak *total pressure* yang berbeda-beda pada Gambar 5-7. yang mengindikasikan kemampuan *blade* menyerap energi. Berikut adalah hasil komparasi dari ketiganya tampak pada Gambar 8. dibawah ini.



Gambar 8. Komparasi Karakteristik Uniform Ideal Blade, Uniform Linearised Blade, dan Mixed Ideal Blade.

Terlihat pada Gambar 8. *Mixed Ideal Blade* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan *Uniform Ideal Blade* dan *Uniform Linearised Blade*. Hal ini ditunjukkan dengan *power* tertinggi yang dihasilkan sebesar 5661,8 Watt dengan efisiensi sebesar 38,364% lebih tinggi 1,244% atas *Uniform Ideal Blade* dan lebih baik 7,987% atas *Uniform Linearised Blade*. Secara mikroskopis, perlunya analisa pada *blade* propeler turbin angin yang menyebabkan perbedaan kemampuan dalam menyerap energi yang terdapat pada angin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9. dan Gambar 10.



Gambar 9. Komparasi Contour Plot Total Pressure Loss pada Uniform Ideal Blade, Uniform Linearized Blade, dan Mixed Ideal Blade pada kecepatan 6 m/s (Front Section)



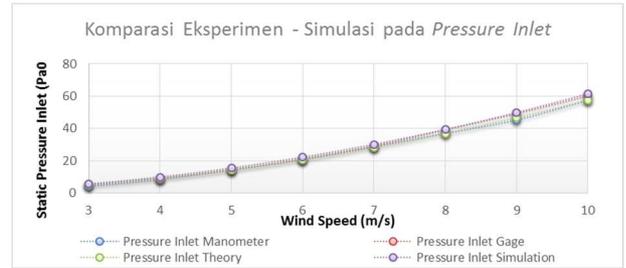
Gambar 10. Komparasi *Contour Plot Total Pressure Loss* pada *Uniform Ideal Blade*, *Uniform Linearized Blade*, dan *Mixed Ideal Blade* pada kecepatan 6 m/s (*Back Section*)

Dari Gambar 9. tampak pada *Uniform Ideal Blade* terdapat *total pressure loss* yang ditunjukkan dengan warna merah pada bagian *tip* dan bagian *trailing edge* yang mengakibatkan separasi aliran berdampak hilangnya performa dari *blade*. Pada *Uniform Linearised Blade*, *total pressure loss* mendominasi pada bagian tengah, *tip*, dan sedikit pada bagian *nose*. Sedangkan pada *Mixed Ideal Blade* dengan konfigurasi *airfoil* yang berbeda, ternyata cukup efektif mengatasi *horseshoe vortex*, *tip vortex*, dan separasi aliran pada bagian *trailing edge* yang ditandai dengan minimnya *total pressure loss* pada bagian *root*, *tip*, dan *trailing edge*.

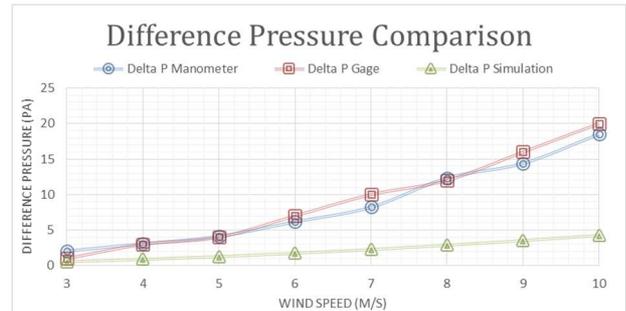
Dari Gambar 10. tampak pada *Uniform Ideal Blade* dan *Uniform Linearised Blade*, *total pressure loss* mendominasi hampir pada semua bagian *blade*. Hal ini mengindikasikan separasi aliran terjadi pada semua lini. Sedangkan pada *Mixed Ideal Blade* nampak perbaikan performa pada bagian *root*, serta masih nampak separasi aliran pada daerah dekat *nose* namun kembali *attach* pada *trailing edge*. Pada bagian *tip* masih terdapat *total pressure loss* yang cukup tinggi yang menyebabkan hilangnya performa pada bagian *tip*.

4. VALIDASI

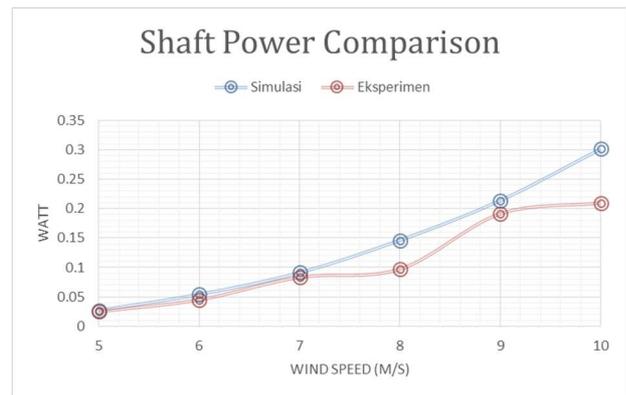
Hasil simulasi numerik perlu divalidasi dengan hasil eksperimen atau persamaan yang telah diakui sebagai benar. Namun, penulis tidak menemukan literatur atau publikasi terkait yang dapat dijadikan pembandingan untuk validasi hasil simulasi turbin angin dari 3 model *blade* yang dipakai. Maka dilakukan perbandingan *static pressure* pada bagian *velocity inlet* dan *swept area* setelah melewati turbin, serta *shaft power* yang dihasilkan oleh turbin pada simulasi dan eksperimen. Berikut adalah validasi *static pressure* hasil simulasi dengan eksperimen pada *velocity inlet* pada Gambar 11., *static different pressure* antara *velocity inlet* dan *swept area* dibelakang turbin ditunjukkan pada Gambar 12., dan validasi *shaft power* antara simulasi dan eksperimen tampak pada Gambar 13.



Gambar 11. Komparasi Eksperimen dan Simulasi pada *Pressure Inlet*.



Gambar 12. Komparasi *Difference Pressure*.



Gambar 13. Komparasi *Shaft Power* antara Hasil Eksperimen dan Simulasi Numerik.

Pada Gambar 11. dapat dikatakan teori, simulasi dan eksperimen memiliki *trend* yang sama. Masih terdapat perbedaan *value* yang dapat ditolerir dikarenakan pada eksperimen terdapat keterbatasan ketelitian alat ukur yang digunakan, antara lain : Manometer Pipa-U dan Analog *Pressure Gage*.

Dari Gambar 12. terdapat perbedaan yang mencolok antara *difference pressure* hasil simulasi dengan *difference pressure* hasil eksperimen. *Difference pressure* hasil eksperimen cenderung memiliki *value* yang lebih besar dikarenakan aliran pada bagian belakang turbin telah terjadi *swirl* yang menyebabkan aliran tidak lagi tegak lurus dengan alat ukur Pipa-U yang digunakan. Adanya *swirl* menyebabkan adanya aliran yang merupakan *dynamics pressure* ikut terukur sebagai *static pressure* pada bagian belakang turbin.

Pada Gambar 13. hasil komparasi *shaft power* memiliki *trend* antara hasil simulasi dengan eksperimen. Terdapat perbedaan pada kecepatan 8 m/s dan 10 m/s dikarenakan *error* saat percobaan namun pada kecepatan 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s *value* masih dapat

ditoleransi.

Dari ketiga validasi pada Gambar 11-13, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi dengan menggunakan *FLUENT* valid dengan eksperimen. Adapun perbedaan *value* disebabkan adanya keterbatasan alat ukur yang digunakan dan *error* saat percobaan.

Sebagai informasi tambahan, pada saat eksperimen pada *wind tunnel*, turbin angin mulai berputar pada kecepatan 2,6 m/s, sedangkan pada uji coba *prototype*, turbin angin mulai berputar pada kecepatan 2 m/s. Namun, hasil uji coba *prototype* pada *WTDNC 2012* tidak dapat digunakan dikarenakan kompleksitas yang berupa sistemik.

5. KESIMPULAN

- Desain *blade* yang paling optimal adalah *Mixed Ideal Blade* dengan kenaikan efisiensi sebesar 1,244 % dari *Uniform Ideal Blade* dan kenaikan efisiensi sebesar 7,987 % dari *Uniform Linearised Blade*.
- Turbin mulai berputar pada kecepatan 2,6 m/s pada pengujian miniatur dan kecepatan 2 m/s pada pengujian *prototype*
- Hasil perhitungan, simulasi, dan eksperimen memiliki *trend* yang sama, walaupun memiliki perbedaan yang masih bisa ditoleransi dikarenakan keterbatasan alat pengukuran dan *error* saat percobaan.
- Desain turbin angin, dapat digunakan pada Gedung Hemat Energi UK Petra dan dapat dikembangkan untuk Turbin Angin skala kecil di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. KOMPAS, 2012, "Waspada Krisis Minyak", < <http://internasional.kompas.com/read/2012/01/25/02451285/Waspada.Krisis.Minyak>>.
2. Jaringnews.com, 2012, "Ketidakstabilan Geopolitik Timteng Gerek Harga Minyak November", < <http://jaringnews.com/ekonomi/sector-riil/27037/ketidakstabilan-geopolitik-timteng-gerek-harga-minyak-november>>.
3. BMKG Juanda, 2012, Data Kecepatan Angin Surabaya Selatan, BMKG.
4. BMKG Perak Klas II, 2012 Data Kecepatan Angin Surabaya Utara, BMKG.
5. Charles, 2009, Perancangan Prototype Turbin Angin Poros Vertikal Sebagai Pembangkit Listrik, Universitas Kristen Petra.
6. Priatman, J., 2011, Perencanaan Gedung P1 dan P2 UK Petra: Penerapan Konsep Green Building & Energy Saving, Universitas Kristen Petra.
7. Betz, A., 1926, Windenergie und Ihre Ausnutzung durch Windmüllten. Vandenhoeck and Ruprecht, Göttingen.
8. Glauert, H., 1935, Airplane Propellers, in Aerodynamic Theory (Ed. W. F. Durand), Div. L. Chapter XI, Springer Verlag, Berlin (reprinted by Peter Smith (1976) Gloucester, MA).
9. Wilson, R. E. and Lissaman, P. B. S., 1974, Applied Aerodynamics of Wind Power Machine, Oregon State University.
10. Voutsinas, S. G., Rados K. G. and Zervos, A., 1993, Wake effects in wind parks: a new modelling approach. Proc. 1993 European Community Wind Energy Conference, L€ubeck, pp. 444–447.
11. Manwell, J., McGowan, J., and Rogers, A., 2009, *Wind Energy Explained. Theory, Design and Application*. John Wiley and Sons, Ltd.
12. Sorensen, N. N., Michelsen, J. A. and Schrenk, S., 2002, Navier–Stokes predictions of the NREL Phase VI rotor in the NASA Ames 80-by-120 wind tunnel. Collection of Technical Papers, AIAA-2002-31. 2002 ASME Wind Energy Symposium, AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada.
13. Somers, Dan.M, 2005, "The S833, S834, and S835 Airfoils: November 2001–November 2002", Airfoil. Inc.