

PERANCANGAN TURBIN ARUS LAUT UNTUK DAERAH PESISIR PANTAI TIPE KOBOLD DENGAN BILAH HLIFT DAN NACA 0018 YANG DIMODIFIKASI DENGAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

Andi Trimulyono, Berlian Arswendo A
Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Sebagai negara dengan wilayah lautan yang cukup besar membuat Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan energi alternatif yang meliputi antara lain energi panas laut, energi arus akibat pasang surut, energi gelombang laut dan energi arus laut. Selain ramah lingkungan, energi yang dibangkitkan dari arus laut membutuhkan alat konversi yang kecil, tidak bising, memiliki densitas yang tinggi dibandingkan angin. Menurut sistem pembangkitan energi laut yang ada terbagi menjadi dua yaitu sistem turbin dan non turbin (Khan et al,2008). Turbin Darrieus adalah salah satu tipe turbin penggerak vertikal axis sedangkan bilah yang digunakan adalah NACA simetris(0012 dan 0018). Turbin tipe ini memiliki permasalahan tersendiri dalam start awal/self starting(Brian,2008), dibandingkan Turbin Kobold yang menggunakan bilah tipe HLIFT yang dikembangkan untuk penggunaan dalam air(Coiro et al,2005) memiliki kinerja yang lebih baik. Modifikasi dengan cara memberi flap pada trailing edgenya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap torsi statik berkisar 35% kenaikan yang terjadi dibandingkan dengan tanpa flap (Tabassum,1987).

Untuk mendapatkan performansi tersebut maka penelitian ini bermaksud memodifikasi bilah HLIFT dan NACA dengan cara memvariasi ketebalan, kelengkungan camber serta panjang bilah diharapkan hasil dari memodifikasi bilah ini dapat menghasilkan varian baru dari turbin arus tipe vertical axis. Penelitian ini bermaksud mengetahui performansi modifikasi bilah HLIFT maupun NACA berdasarkan variasi ketebalan, camber dan panjang bilah tersebut dengan menggunakan metode numerik yaitu Computational Fluid Dynamics(CFD).

Hasil simulasi numerik menunjukkan performansi terbaik untuk satu foil HLIFT ditunjukkan pada modifikasi kelengkungan camber ke empat nilai CL,CD serta rasio CL/CD dan untuk NACA 0018 ditunjukkan oleh tunggal ditunjukkan pada modifikasi penambahan panjang chord ketiga yaitu panjang chord + 15%. Setelah modifikasi Torsi poros maksimum untuk modifikasi foil HLIFT terjadi pada ketebalan foil 85 % terjadi pada saat waktu 15 detik sebesar 2,62. 10⁵ N.m sedangkan untuk modifikasi kelengkungan camber terletak pada modifikasi kelengkungan camber yang pertama pada saat waktu 11,5 detik dengan nilai torsi 2,27.10⁵ N.m sedangkan untuk NACA 0018 Torsi poros maksimum untuk modifikasi ketebalan foil 95 % terjadi pada saat waktu 9,9 detik sebesar 1,72.10² N.m sedangkan untuk modifikasi panjang chord terletak pada modifikasi panjang chord + 5% pada saat waktu 4,3 detik dengan nilai torsi 1,84.10² N.m

Kata kunci : Lift, Drag, Torsi, modifikasi, CFD

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

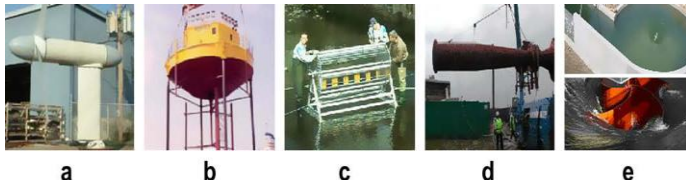
Sebagai negara dengan wilayah lautan yang cukup besar membuat Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan energi alternatif dari laut. Sebagai negara kepulauan yang besar,

laut Indonesia menyediakan sumber energi alternatif yang meliputi antara lain energi panas laut, energi arus akibat pasang surut, energi gelombang laut dan energi arus laut. Keuntungan penggunaan energi arus laut adalah

selain ramah lingkungan, energi ini juga mempunyai intensitas energi kinetik yang besar sehingga penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa, karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Selain ramah lingkungan, energi yang dibangkitkan dari arus laut membutuhkan alat konversi yang kecil, tidak bising, memiliki densitas yang tinggi dibandingkan angin. Permasalahan energi telah menjadi topik utama dunia karena ketergantungan akan penggunaan bahan bakar fosil untuk bahan bakar pembangkit listrik maupun kendaraan.

Menurut sistem pembangkitan energi laut yang ada terbagi menjadi dua yaitu sistem turbin dan non turbin(Khan et al,2008). Dimana untuk sistem turbin diantaranya adalah sebagai berikut

- a. Horizontal Axial
- b. Vertical Axial
- c. Cross-flow
- d. Venturi
- e. Gravitational vortex



Gambar 1.1 Sistem konversi energi untuk sistem turbin

Turbin Darrieus adalah salah satu tipe turbin penggerak vertikal axis sedangkan bilah yang digunakan adalah NACA simetris(0012 dan 0018). Turbin tipe ini memiliki permasalahan tersendiri dalam start awal/*self starting*(Brian,2008) dibandingkan Turbin Kobold yang menggunakan bilah tipe HLIFT yang dikembangkan untuk penggunaan dalam air(Coiro et al,2005) yang bentuknya asimetri dan ternyata memiliki keunggulan dibanding bilah yang simetri. Sedangkan untuk mengatasi permasalahan tentang start awal/*self strating* telah banyak usaha untuk mengatasinya diantaranya memodifikasi untuk menghasilkan gaya lift yang lebih baik diantaranya modifikasi dengan cara memberi flap pada trailing edgenya

sehingga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap torsi statik berkisar 35% kenaikan yang terjadi dibandingkan dengan tanpa flap (Tabassum,1987). Analisa penggunaan flap pada hydrofoil juga dilakukan untuk menganalisa gaya, momen dan distribusi tekanan pada permukaan hydrofoil yang dibandingkan antara numerik dan eksperimen menunjukkan bahwa keduanya metode tersebut tidak terlalu jauh selisihnya hasilnya(Rhee et al,2003).

Bilah HLIFT merupakan salah satu tipe foil yang telah dikembangkan untuk model pembangkit tipe vertikal axis yang didesain untuk menghasilkan lift yang tinggi dan drag yang kecil. Permasalahan yang terjadi untuk foil yang tercelup dalam air adalah putaran awal(*Self starting*) untuk memutar turbin yang dikarenakan arus yang rendah dan kavitas yang terjadi pada benda yang bergerak dalam fluida. Sehingga penelitian ini bermaksud memodifikasi bilah tipe simetri maupun asimetri agar mengetahui fenomena yang terjadi dengan adanya perubahan camber, ketebalan serta panjang bilah sebelum dan sesudah modifikasi. Sehingga diharapkan terdapat kenaikan performansi turbin akibat modifikasi pada dua bilah tersebut serta mengetahui bentuk yang optimal untuk turbin tipe *vertical axis*. Untuk mendapatkan performansi tersebut maka penelitian ini bermaksud memodifikasi bilah dari HLIFT dan NACA dengan cara memvariasi ketebalan, kelengkungan camber serta panjang bilah diharapkan hasil dari memodifikasi bilah ini dapat menghasilkan varian baru dari untuk turbin arus tipe vertical axis.

Penelitian ini bermaksud mengetahui performansi modifikasi bilah HLIFT maupun NACA berdasarkan variasi ketebalan, camber dan panjang bilah tersebut dengan menggunakan metode numerik yaitu *Computational Fluid Dynamics*(CFD). Diharapkan dengan metode numerik ini dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk modifikasi serta biaya yang dikeluarkan. *Computational Fluid Dynamics*(CFD) merupakan suatu cara penyelesaian secara numerik yang dapat memperlihatkan karakteristik hidrodinamik dengan menggunakan suatu cara penyelesaian masalah berdasarkan pada persamaan

fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi.

Computational Fluid Dynamics(CFD) merupakan salah satu alternatif untuk permasalahan mengenai komputasi fluida yang berkaitan di bidang keteknikan di samping penggunaan laboratorium. Dalam penelitian ini program CFD yang digunakan adalah *Flow 3D* yang didalamnya terdapat aplikasi untuk general moving object (GMO) sehingga gerakan turbin dapat disimulasikan sehingga hasil dari modifikasi langsung dapat diperlihatkan dengan adanya perubahan torsi pada turbin.

1.2. Masalah Penelitian.

Berdasarkan perkembangan teknologi konversi energi yang berasal dari air maka dapat di bedakan menjadi dua yaitu sistem turbin dan non turbin yang mana dapat menjawab tantangan energi di masa depan seiring peningkatan konsumsi energi. Sistem memiliki kelebihan dibandingkan sistem lain namun perlunya peningkatan performansi bilah untuk menghasilkan gaya hidrodinamik yang optimal dengan cara memodifikasi bilah turbin dari bilah yang ada (NACA dan HLIFT) untuk memperbesar torsi yang dihasilkan. Sehingga dengan semakin besar torsi yang dihasilkan maka daya yang dibangkitkan akan semakin besar juga. Harapan dari modifikasi ini menghasilkan varian baru dari bilah NACA simetris maupun bilah HLIFT yang telah digunakan untuk bilah turbin Darrieus dan turbin Kobold.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dengan penelitian ini adalah memodifikasi bilah NACA maupun HILFT terhadap performansi torsi maupun karakteristik hidrodinamik yang dapat dihasilkan dari sebelum modifikasi maupun setelah modifikasi. Penelitian akan dilakukan secara numerik (CFD). Tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan informasi dan pengetahuan mengenai karakteristik hidrodinamik NACA simetri dan HLIFT setelah dilakukan modifikasi pada ketebalan, camber dan panjang bilah.
2. Mendapatkan nilai koefisien lift dan drag untuk foil NACA dan HLIFT sebelum maupun setelah dimodifikasi.

3. Mengetahui torsi dari foil sebelum dan setelah dilakukan modifikasi pada bilah NACA dan HLIFT.

2. Metodologi Penelitian

Secara umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dari studi literature tentang turbin tenaga arus serta bilah yang digunakan. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan bahwa turbin kobold menggunakan blade dengan nama HLIFT dan turbin Darrieus menggunakan NACA simetris. Sedangkan HLIFT yang merupakan blade baru dari hasil pengembangan khusus untuk turbin pembangkit tenaga arus. Langkah selanjutnya adalah pembuatan geometri blade pada program AutoCad sehingga geometri yang didapatkan dari program AutoCad dalam bentuk .dwg kemudian dilakukan export dalam bentuk .stl ini dimaksudkan agar file dari AutoCad dapat terbaca oleh program CFD. Secara garis besar diagram alir penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut

3.1 Analisa Dan Pembahasan

Proses simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan mencari foil yang digunakan pada turbin Kobold yaitu HLIFT dan NACA 0018. Berdasarkan dari geometri yang telah dibuat maka langkah selanjutnya pada memeriksa apakah geometri yang dibuat telah sesuai dan benar. Apabila telah benar dan sesuai maka langkah selanjutnya pembuatan simulasi numerik pada Flow 3D ini dimulai dengan mendefinisikan properti dari fluida serta kondisi batas sekitarnya yang meliputi kecepatan arus, gravitasi, densitas dan turbulence. Berdasarkan hasil dari simulasi numerik dari Flow 3D untuk foil tersebut

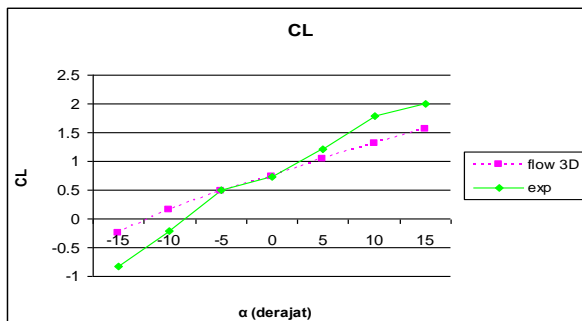
Tabel 3.1.1 Hasil Perhitungan foil HLIFT untuk Gaya Lift, Gaya Drag, CL serta CD

α	Lift	Drag	A	ρ	v	CL	CD
-15	-72.104	59.482	0.8	1000	1	0.180	0.149
-10	63.186	26.423	0.8	1000	1	0.158	0.066

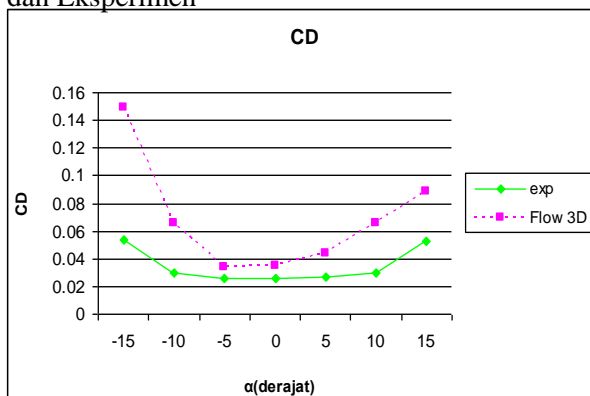
-5	195.324	13.368	0.8	1000	1	0.488	0.033
0	294.682	13.752	0.8	1000	1	0.737	0.034
5	412.247	17.351	0.8	1000	1	1.031	0.043
10	520.496	26.065	0.8	1000	1	1.301	0.065
15	616.393	36.187	0.8	1000	1	1.541	0.090

Tabel 3.1.1 Hasil Perhitungan foil NACA 0018 untuk Gaya Lift, Gaya Drag, CL serta CD

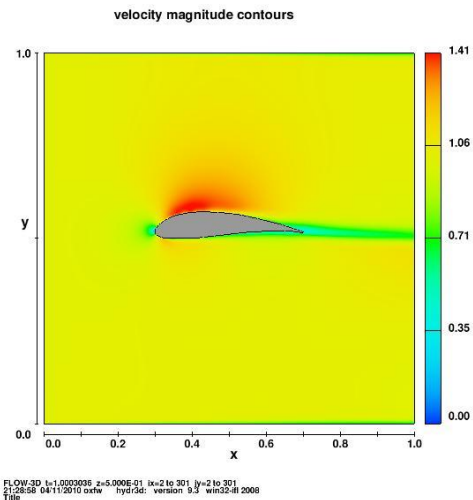
α	Lift	Drag	A	ρ	v	C_L	C_D
-10	-387,798	101,513	0,1	1000	4	-0,485	0,127
-5	-298,250	45,404	0,1	1000	4	-0,373	0,057
0	-11,921	23,135	0,1	1000	4	-0,015	0,029
5	322,611	55,817	0,1	1000	4	0,403	0,070
10	316,754	111,933	0,1	1000	4	0,396	0,140



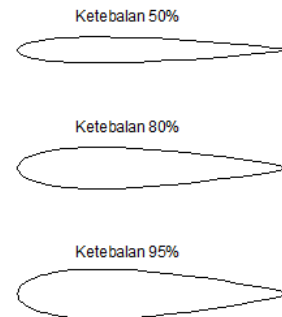
Gambar 3.1.2 Perbandingan CL antara Flow 3D dan Eksperimen



Gambar 3.1.2 Perbandingan CD antara Flow 3D dan Eksperimen



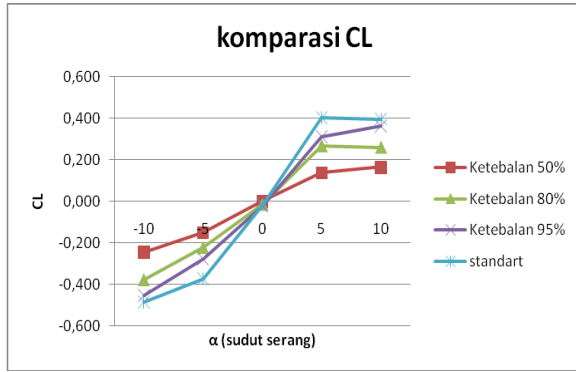
Gambar 3.1.3 Simulasi Numerik Flow 3D Untuk Kecepatan



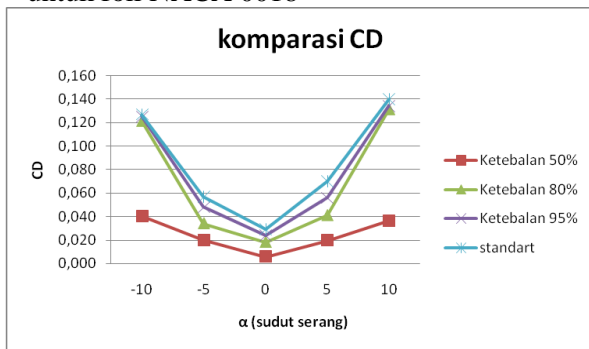
3.2 Modifikasi Ketebalan Blade HLIFT dan NACA 0018

Setelah model simulasi bentuk standar telah benar maka langkah selanjutnya melakukan modifikasi blade pada ketebalan foil HLIFT dan NACA 0018 secara tunggal.

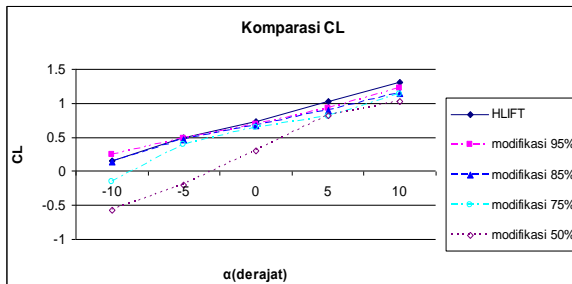
Gambar 3.2.1 Bentuk modifikasi ketebalan NACA 0018



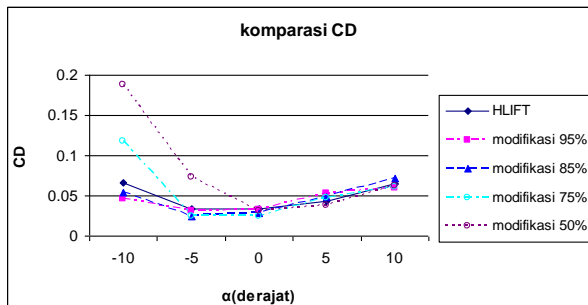
Gambar 3.2.2 Grafik perbandingan nilai CL untuk foil NACA 0018



Gambar 3.2.3 Grafik perbandingan nilai CD untuk foil NACA 0018



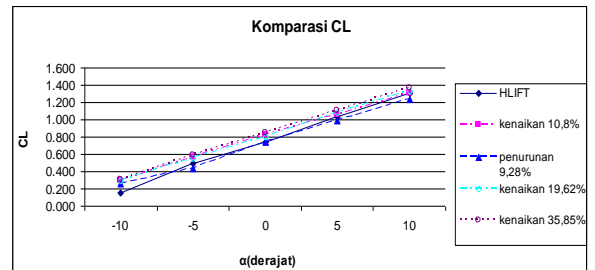
Gambar 3.2.4 Hasil simulasi foil HLIPT untuk nilai CL



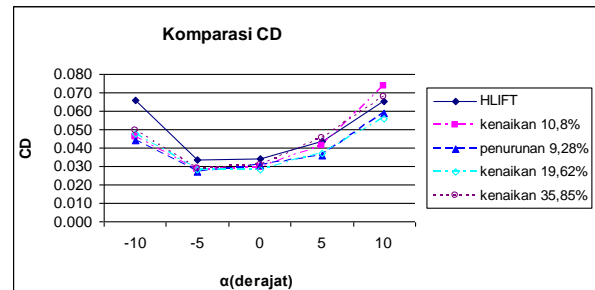
Gambar 3.2.5 Hasil simulasi foil HLIPT untuk nilai CD

3.3 Modifikasi Camber Blade HLIFT

Modifikasi lainnya yang bisa dilakukan adalah dengan mengubah-ubah bentuk camber foil sehingga tebal dari blade akan tertarik mengikuti bentuk dari kelengkungan camber ini dikarenakan garis kelengkungan camber merupakan titik tengah dari ketebalan foil.



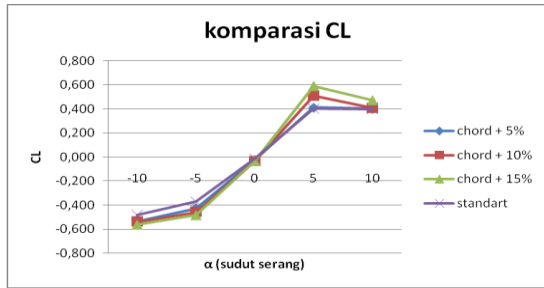
Gambar 3.3.1 Grafik Nilai CL Modifikasi Camber Dengan Camber Awal



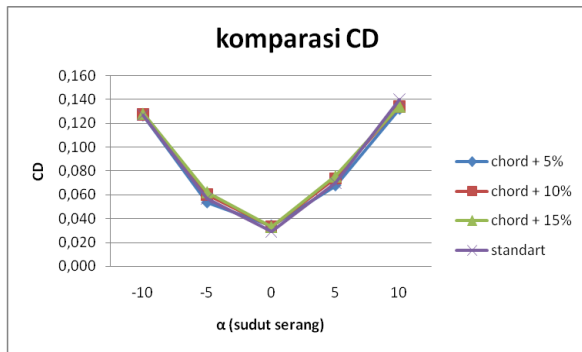
Gambar 3.3.2 Grafik Nilai CD Modifikasi Kelengkungan Camber Dengan Camber Awal

3.4 Modifikasi Panjang Chord NACA 0018

Modifikasi selanjutnya adalah dengan memodifikasi panjang chord foil NACA 0018, yaitu dengan cara menambah jarak dari leading edge sampai trailing edge atau panjang chord foil sebesar 5%, 10%, dan 15%. dengan adanya perubahan ini maka terjadi pula perubahan gaya drag maupun gaya lift pada blade yang disebabkan gaya lift sendiri sangat dipengaruhi dari bentuk geometri foil itu sendiri



Gambar 3.4.1 Hasil Simulasi Numerik Modifikasi untuk CL



Gambar 3.4.2 Hasil Simulasi Numerik Modifikasi untuk CD

3.5 Perhitungan Perbandingan CL/CD untuk Blade Tunggal

Perhitungan rasio antara CL/CD merupakan besaran yang penting dalam banyak peralatan penghasil lift biasanya informasi seperti itu sering dinyatakan dalam CL/CD versus α (sudut serang) yang paling efisien (yang menyebabkan CL/CD paling besar) dapat diperoleh dengan menggambarkan sebuah garis tangen terhadap kurva CL - CD terhadap titik asal.

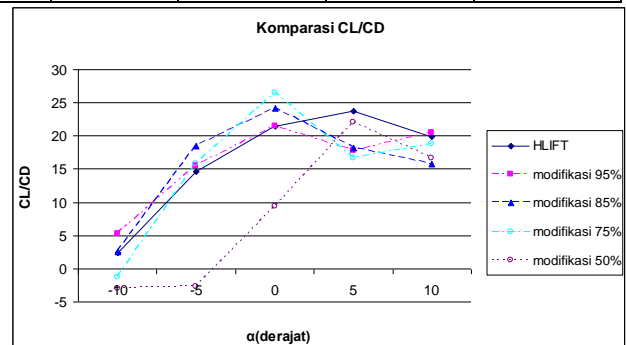
Foil yang baik adalah yang memiliki kinerja tinggi dimana menghasilkan lift yang 100 kali (atau lebih) lebih besar dari dragnya. Hal ini ditunjukkan dengan fakta bahwa di udara yang diam foil tersebut mampu melayang pada jarak horizontal sejauh 100 kali untuk penurunan ketinggian 1 meter. Dari grafik ini juga dapat digunakan untuk mencari titik stall pada suatu foil ini terlihat dari penurunan nilai dari rasio CL/CD

Tabel 3.5.1 Perhitungan Rasio CL/CD untuk Modifikasi Ketebalan foil HLIFT

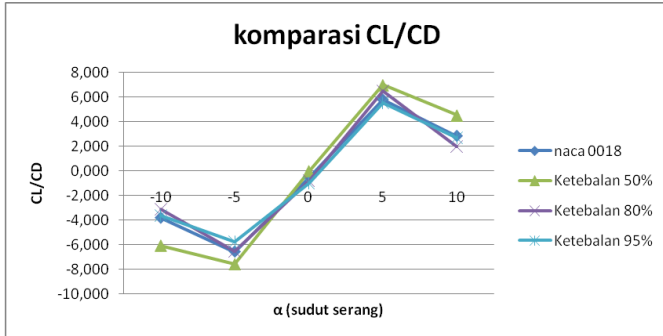
Rasio C_L/C_D modifikasi chamber				
α	NACA 0018 Standart	Ketebalan 50%	Ketebalan 80%	Ketebalan 95%
-10	-3,82	-6,042	-3,114	-3,625
-5	-6,569	-7,546	-6,518	-5,747
0	-0,515	-0,001	-0,799	-0,991
5	5,78	6,981	6,501	5,517
10	2,83	4,522	1,977	2,697

Tabel 3.5.2 Perhitungan Rasio CL/CD untuk Modifikasi Ketebalan foil NACA 0018

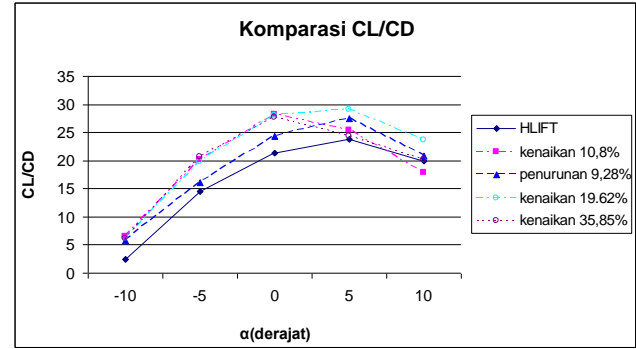
Rasio C_L/C_D modifikasi chamber				
α	NACA 0018 Standart	Ketebalan 50%	Ketebalan 80%	Ketebalan 95%
-10	-3,82	-6,042	-3,114	-3,625
-5	-6,569	-7,546	-6,518	-5,747
0	-0,515	-0,001	-0,799	-0,991
5	5,78	6,981	6,501	5,517
10	2,83	4,522	1,977	2,697



Gambar 3.5.1 Grafik Nilai CL/CD Untuk Modifikasi Ketebalan foil HLIFT



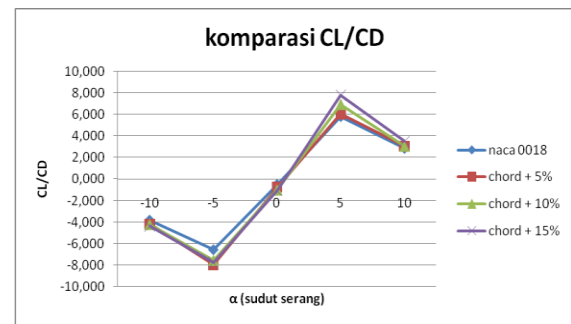
Gambar 3.5.2 Grafik Nilai CL/CD Untuk Modifikasi Ketebalan foil NACA 0018



Gambar 3.5.3 Grafik Nilai CL/CD untuk Modifikasi Camber Foil HLIFT

Tabel 3.5.3 Perhitungan Rasio CL/CD untuk Modifikasi Camber Foil HLIFT

α	HLIFT	Kenaikan 10,8%	Penurunan 9,28%	Kenaikan 19,62%	Kenaikan 35,85%
-10	2.391	6.444	5.754	6.112	6.132
-5	14.611	20.100	16.032	19.701	20.617
0	21.428	28.156	24.303	28.062	27.685
5	23.760	25.444	27.394	29.108	24.261
10	19.969	17.785	20.899	23.647	20.164



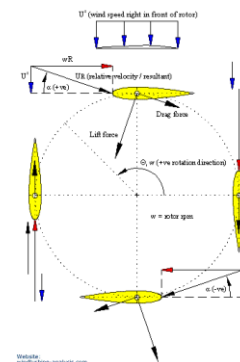
Gambar 3.5.4 Grafik Nilai CL/CD untuk Modifikasi Panjang Chord NACA 0018

Tabel 3.5.4 Perhitungan Rasio CL/CD untuk Modifikasi Camber Foil NACA 0018

Rasio C_L/C_D modifikasi chord				
α	NACA 0018 standart	Chord + 5%	Chord + 10%	Chord + 15%
-10	-3,820	-4,205	-4,219	-4,399
-5	-6,569	-7,969	-7,557	-7,777
0	-0,515	-0,766	-1,008	-1,086
5	5,780	6,060	6,931	7,792
10	2,830	3,035	3,045	3,507

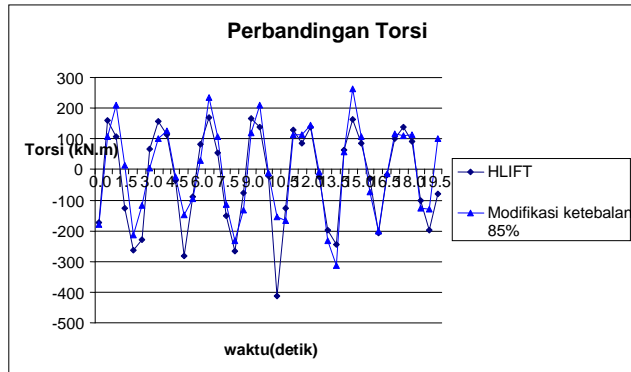
3.6 Kinerja Modifikasi Blade Secara Group

Perhitungan torsi turbin dilakukan untuk mengetahui daya yang dapat dibangkitkan dari hasil perubahan gaya kinetik menjadi energi listrik. Dengan cara mengkalikan gaya tangensial yang bekerja pada blade kemudian dikalikan dengan radius dari turbin



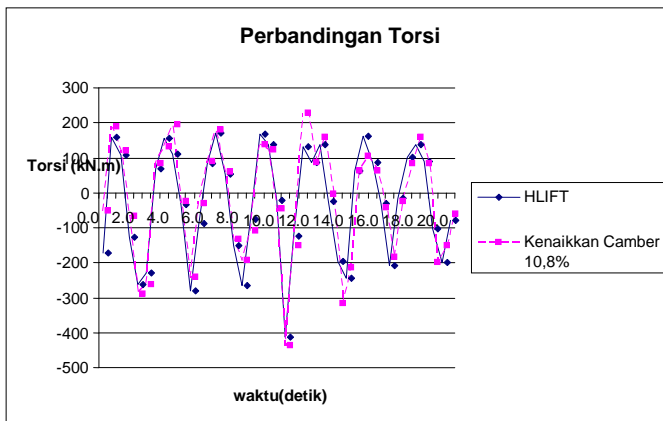
Gambar 3.6.1 Gambar Gaya Yang Bekerja Pada VAWT

Berdasarkan hasil dari penjabaran gaya yang bekerja pada foil maka dapat disimpulkan bahwa resultan gaya lift membantu dalam proses pergerakan putaran blade sedangkan drag merupakan gaya yang melawan arah gerak dari foil

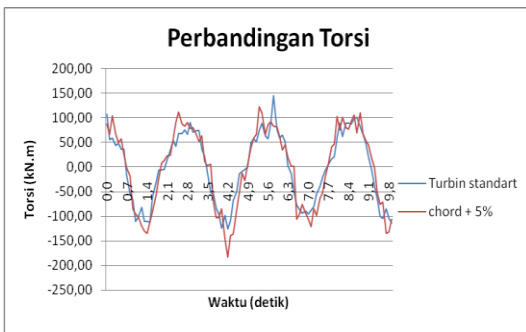


Gambar 3.6.2 Perbandingan Torsi Bentuk Awal Dan Modifikasi Ketebalan HLIFT

Gambar 3.6.3 Perbandingan Torsi Bentuk Awal Dan Modifikasi Ketebalan NACA 0018

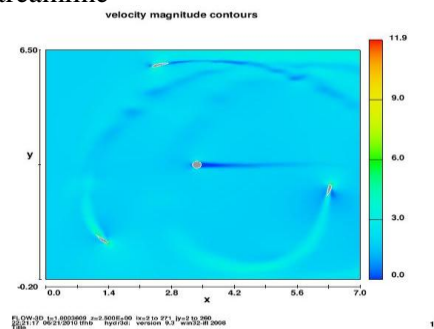


Gambar 3.6.4 Perbandingan Torsi Bentuk Awal Dan Modifikasi Kelengkungan Camber HLIFT

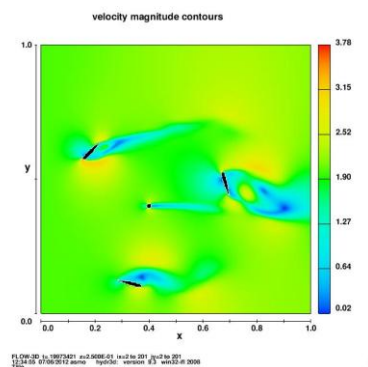


Gambar 3.6.5 Perbandingan Torsi Bentuk Awal Dan Modifikasi panjang Chord NACA 0018

Hasil simulasi numerik Flow 3D memperlihatkan bahwa lintasan foil akan terpotong oleh foil lainnya. Menyebabkan pergerakan foil lainnya sangat dipengaruhi oleh aliran yang dibentuk oleh foil yang berada di depannya sehingga foil harus memiliki bentuk yang streamline ini dimaksudkan saat foil menabrak aliran yang terbentuk oleh foil yang berada di depannya dapat secara cepat untuk melewatinya karena bentuk yang streamline



Gambar 3.6.6 Simulasi Numerik Tiga Foil HLIFT Dengan Flow 3D



Gambar 3.6.7 Simulasi Numerik Tiga Foil NACA 0018 Dengan Flow 3D

4. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil modifikasi pada ketebalan foil terjadi penurunan nilai CL maupun rasio CL/CD sedangkan pada modifikasi kelengkungan *camber* terjadinya kenaikan nilai CL maupun rasio CL/CD namun terjadi penurunan CL bila kelengkungan diturunkan namun tetap terjadi kenaikan rasio CL/CD.
2. Hasil simulasi numerik menunjukkan performansi terbaik untuk satu foil HLIFT ditunjukkan pada modifikasi kelengkungan *camber* ke empat nilai CL,CD serta rasio CL/CD setelah modifikasi ditunjukkan pada Tabel 5.1.1 dan untuk NACA 0018 ditunjukkan oleh tunggal ditunjukkan pada modifikasi penambahan panjang chord ketiga yaitu panjang chord + 15%.
3. Torsi poros maksimum untuk modifikasi foil HLIFT terjadi pada ketebalan foil 85 % terjadi pada saat waktu 15 detik sebesar $2,62 \cdot 10^5$ N.m sedangkan untuk modifikasi kelengkungan *camber* terletak pada modifikasi kelengkungan *camber* yang pertama pada saat waktu 11,5 detik dengan nilai torsi $2,27 \cdot 10^5$ N.m sedangkan untuk NACA 0018 Torsi poros maksimum untuk modifikasi ketebalan foil 95 % terjadi pada saat waktu 9,9 detik sebesar $1,72 \cdot 10^2$ N.m sedangkan untuk modifikasi panjang chord terletak pada modifikasi panjang chord + 5% pada saat waktu 4,3 detik dengan nilai torsi $1,84 \cdot 10^2$ N.m

5. DAFTAR PUSTAKA

Causer DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, John D,1995. **Computational Fluid Dynamics**, McGraw-Hill International, New York
- Armono, Dwito Haryo, 1999. **Flow Field Around Single and Multiple Hollow Hemispherical Artificial Reefs Used For Fish Habitat** Master thesis Faculty of Engineering and Applied Science. Memorial University of Newfoundland Kanada
- Brian Kirke and Leo Lazauskas, 2008. **Variable Pitch Darrieus Water Turbin**, Journal of Fluids and Structures .3 : 430-438

- Calcagno, G, Salvatore, F, Greco, L, Moroso, A, Eriksson, H, 2006. **Experimental and Numerical Investigation Of An Innovative Technology For Marine Current Exploitation: The Kobold Turbine**. Proceedings of the ISOPE-2006 conference, san francisco, USA
- Coiro D P, A. De Marco, F. Nicolosi, S. Melone, F. Montella, 2005, **Dynamic Behaviour of the Patented Kobold Tidal Current Turbin: Numerical and Experimental Aspects**. Acta Polytechnica Vol. 45 No. 3, Czech Technical University
- Danish Wind Industry Association. www.windpower.org. Danish
- John J Bertin dan Michael L Smith, **Aerodynamics for Engineering**. Prentice-Hall Inc
- MCT (Marine Current Turbin Ltd). www.marineturbin.com, United Kingdom
- M.J. Khan , G. Bhuyan , M.T. Iqbal b, J.E. Quaicoe, 2009. **Hydrokinetic Energy Conversion Systems And Assessment Of Horizontal And Vertical Axis Turbines For River And Tidal Applications: A Technology Status Review**. Journal Applied Energy Vol. 86, Elsevier
- Munson Bruce R,Young , Donald F, Okiishi, Theodore H, 2003. **Mekanika Fluida Jilid 2**. Erlangga, Jakarta
- Purwanto Budi, Dedi, 2010. **Simulasi Performansi Pada Hydrofoil Kapal Cepat Dengan Penambahan Sirip Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)**. Tesis S2 Program Studi Teknologi Kelautan ITS.
- Rijalullah, Fathan, 2009. **Analisa Pengaruh Sudut Terhadap Gaya Yang Bekerja Pada Bilah Turbin Sumbu Vertikal Untuk Konversi Energi Arus**. Tugas Akhir Teknik Kelautan ITS.
- S.A Tabassum and S.D Probert,1987.**Vertical Axis Turbin : A Modified Design**. Journal of Applied Energy. Elsevier
- S.H. Rhee, S.E Kim, H. Ahn,J. Oh, H. Kim, 2003. **Analysis Of A Jet-Controlled High-Lift Hydrofoil With A Flap**. Journal of Ocean Engineering. Elsevier
- Timbobong , Deus, 2008. **Pemodelan Gaya Hirodinamika Pada Sayap Stingray dengan Lifting Line Theory**. Tugas Akhir Teknik Perkapalan ITS.

Zhang, Jianhui , 2004. **Numerical Modeling of Vertical Axis Wind Turbin(VAWT)**. Master thesis Department Of Mechanical Engineering Technical University Of Denmark.

www.windturbine-analyse.com.