

OPTIMASI PELETAKAN VERTICAL AXIS MULTIPLE TURBINE UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT

Galuh Chandra Kusuma, Irfan Syarief Arief

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: gal_uhchand@yahoo.com

Abstrak—*Vertical axis multiple turbine* merupakan instalasi beberapa turbin sumbu vertikal. Pada pembangkit listrik tenaga arus laut untuk instalasi *vertical axis multiple turbine* dibutuhkan sebuah *array*. *Array* adalah susunan konfigurasi dari beberapa turbin yang terpasang dalam satu kesatuan dengan formasi dan jarak antar turbin yang telah direncanakan. Perancangan *array of vertical axis multiple turbine* selain untuk meningkatkan kinerja turbin juga untuk menekan biaya *monitoring* dan perawatan oleh sebab itu perlu dilakukan penentuan jarak antar turbin, berdasarkan jarak wake terpanjang yang mencapai 1,15 m pada kecepatan 2,5 m/s maka ditentukan jarak antar domain tabung pada turbin sebesar 3D (1,2 m) dan dilakukan simulasi dengan *software CFD* yang menghasilkan kinerja tertinggi pada *array* 2 saat kecepatan arus laut 2,5 m/s dengan nilai sebagai berikut *force* 1326,9438 N, *torque* 265,3888 Nm dan *power* 2455,5183 Watt.

Kata Kunci— *Vertical axis turbine, force, drag, lift, azimuth, array, wake.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin meningkat yang tidak diimbangi oleh ketersediaan sumber-sumber energi, dampaknya semakin terasa akhir-akhir ini khususnya masalah energi listrik yang sedang dialami oleh masyarakat Indonesia, hampir semua kegiatan yang dilakukan masyarakat memerlukan energi listrik atau bisa diartikan listrik sudah menjadi bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan masyarakat saat ini.

Isu tentang inovasi sumber-sumber energi pengganti atau yang biasa disebut sumber-sumber energi baru dan terbarukan (*renewable energy*) sebagai pengganti energi fosil semakin meningkat saat ini, hal ini muncul sebagai langkah antisipasi semakin berkurangnya persediaan sumber energi fosil tersebut. apabila ditinjau berdasarkan persediaannya maka energi arus laut (*ocean current energy*) merupakan salah satu yang cukup banyak tersedia dikarenakan 2/3 luas wilayah Indonesia terdiri dari lautan [1].

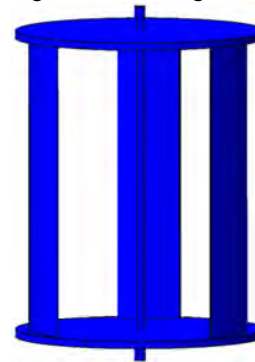
Untuk pemanfaatannya tipe-tipe energi laut yang dapat diaplikasikan antara lain energi pasang surut (*tidal energy*), energi angin (*offshore wind energy*), energi arus laut (*ocean current energy*), energi panas laut (*ocean thermal energy*) dan energi gelombang (*wave energy*) [1]. Wilayah Indonesia yang berpotensi untuk pengaplikasian sumber energi arus laut terdapat di 11 selat di Bali, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur antara lain: selat Alas, selat Sape, selat Linta, selat Molo, selat Flores, selat Boleng, selat Lamkers, selat Panter, selat Alor dan selat Nusa Penida, berdasarkan data Kementrian energi dan Sumber Daya Mineral rata-rata kecepatan arus laut di wilayah Indonesia kurang dari 1,5 meter per detik kecuali diselat-selat diantara pulau Bali, Lombok dan Nusa Tenggara Timur [2]. Berdasarkan potensi energi laut yang sangat melimpah di wilayah Indonesia dan belum dimanfaatkan secara maksimal maka dirancang sebuah tugas akhir yang membahas tentang optimasi peletakan *vertical axis multiple turbine* untuk pembangkit listrik tenaga arus laut yang diharapkan hasil dari tugas akhir ini memberi masukan dan referensi terhadap pengembangan potensi energi laut Indonesia.

II. DASAR TEORI

A. *Vertical Axis Turbine*

Untuk (*vertical axis turbine*) turbin dengan sumbu vertikal sendiri merupakan turbin yang berputar tegak lurus dengan arah aliran fluida, yang mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti yang diuraikan dibawah ini:

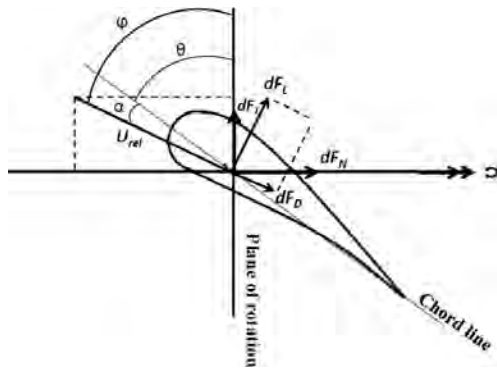
- Kelebihan dari VAT diantaranya:
 - Tidak bergantung terhadap arus
 - Pembuatan blade sangat mudah
 - Biaya instalasi lebih murah dari turbin sumbu horisontal
- Kekurangan dari VAT diantaranya:
 - Effisiensinya lebih rendah dari turbin sumbu horisontal.
 - Khusus untuk turbin darrieus dengan fixed blade tidak dapat berputar dengan sendirinya [3].
 - Contoh pengaplikasian dari VAT pada umumnya terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL)



Gambar 1. Konsep model *vertical axis tidal turbine*

B. *Gaya Angkat dan Seret pada VAT*

Sebuah benda padat yang diletakan dalam aliran fluida akan menghasilkan gaya angkat dan gaya seret, hal serupa akan terjadi pada VAT apabila diletakan dibawah permukaan laut, adanya aliran fluida yang mengalir pada kedua belah sisi *airfoil* yang memiliki panjang lintasan berbeda akan mengakibatkan perbedaan tekanan udara antara bagian atas dan bawah dari blade tersebut, dikarenakan kecepatan aliran fluida bagian bawah blade lebih tinggi dari bagian atas blade maka tekananpun bergerak dari bagian bawah blade ke bagian atas blade sehingga terjadilah gaya angkat, untuk definisinya gaya angkat sendiri adalah gaya yang tegak lurus terhadap aliran sedangkan gaya seret adalah gaya yang sejajar dengan aliran yang dijelaskan dengan gambar dan persamaan sebagai berikut [4].



Gambar 2. Gaya-gaya yang bekerja pada blade

Pada blade juga bekerja gaya tangensial (F) yang terbentuk dari force of drag dan force of lift dan arahnya selalu tegak lurus dengan arah putaran turbin sehingga menghasilkan energi mekanik yang memutar turbin, selain itu torsi yang dihasilkan oleh sebuah turbin dapat dihitung dengan mengalikan gaya tangensial dengan panjang lengan turbin (r) yang ditulis seperti persamaan dibawah[5].

$$T = F \cdot r$$

Daya (P) yang dihasilkan VATT merupakan daya mekanik oleh sebab itu untuk mendapatkan nilai kinerja turbin, data yang dibutuhkan adalah torsi (T) dan kecepatan sudut turbin (ω), untuk persamaanya sebagai berikut [4]:

$$P = T \cdot \omega$$

C. Array Turbine

Array merupakan susunan konfigurasi beberapa turbin (*multiple turbine*) pada pembangkit listrik tenaga arus laut, perancangan array akan berpengaruh terhadap kinerja turbin, monitoring dan biaya perawatan. Jarak antara turbin pada sebuah array tidak boleh terlalu jauh karena jarak yang terlalu jauh tidak akan menimbulkan hubungan kinerja yang harmonis antara turbin yang satu dengan yang lainnya atau kinerjanya sama saja dengan turbin tunggal, tetapi apabila jarak terlalu dekat juga akan mengakibatkan munculnya turbulensi antara aliran dari turbin satu dengan turbin yang lainnya sehingga untuk memperoleh efisiensi *array* yang baik dari sebuah turbin perlu dilakukan optimasi jarak.

D. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamic (CFD) merupakan metode pengujian berupa eksperimen dengan cara pemodelan sesuai kondisi sebenarnya yang pada umumnya digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Dalam metode ini dibagi menjadi beberapa tahapan diantaranya *pre-processor*, *solver* dan *post processor* apabila telah melewati tahapan tersebut akan diperoleh hasil yang merupakan data input untuk tahapan analisa data dan pembahasan, yang setelah itu akan dievaluasi apakah hasil bisa diterima atau tidak, apabila tidak bisa diterima maka bisa dilakukan perbaikan dan pengulangan

III. METODOLOGI

Tahapan awal dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah menentukan permasalahan yang terjadi dan mencari solusi dari permasalahan tersebut. Agar tugas akhir ini lebih terfokus pada tujuan yang ingin dicapai maka perlu ditentukan batasan-batasan dari permasalahan tersebut, selanjutnya dilakukan dengan study literatur, pengumpulan data-data yang diperlukan setelah data-data terkumpul dilakukan perancangan model, proses meshing yang

bertujuan untuk mengontrol volume model, besar kecilnya ukuran meshing sangat mempengaruhi hasil simulasi setelah proses meshing selesai dilakukan dengan pengaturan kondisi simulasi yang dijelaskan dalam sebuah tabel berikut:

Tabel 1. Kondisi batas simulasi

No	Kondisi batas simulasi	Posisi	Kondisi
Domain laut (Fluid Domain)			
1	<i>Inlet</i>	Sisi depan domain laut	Kecepatan sesuai tabel 4.1 <i>Turbulence model low intensity</i>
2	<i>Opening</i>	Sisi kanan, kiri dan belakang	<i>Mass and momentum entrainment</i> <i>Zero gradient</i>
3	<i>Free wall laut</i>	Sisi atas dan bawah	<i>Free slip wall</i>
4	<i>Interface</i>	Sisi selubung dalam tabung	<i>Mesh connection</i> <i>GGI</i>
Domain tabung (Fluid domain)			
1	<i>Free wall tabung</i>	Sisi atas dan bawah	<i>Free slip wall</i>
2	<i>Interface</i>	Sisi selubung luar tabung	<i>Mesh connection</i> <i>GGI</i>
Turbine (Immersed Solid)			
1	Turbine	<i>Straight-blade darrieus</i>	<i>Wall</i>

Proses selanjutnya adalah pengujian model dengan pendekatan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dimana beberapa model turbin diletakkan secara berbaris maupun berjajar dengan jarak yang telah ditentukan pada saat modeling, setelah itu model harus melewati beberapa tahapan seperti *pre-processor*, *solver* dan *post processor*, berdasarkan tahapan tersebut diperoleh hasil yang merupakan data input untuk tahapan analisa data dan pembahasan yang bertujuan untuk menentukan jawaban dari permasalahan yang ada sesuai dengan tujuan dilakukannya penelitian.

Setelah tahapan analisa data dan pembahasan maka perlu dilakukan evaluasi, yang merupakan tahapan dimana layak diterima atau tidaknya hasil tugas akhir ini, apabila belum bisa diterima maka akan dilakukan pengulangan dan perbaikan pada tahapan pemodelan dan analisa data yang sudah dilakukan, sampai hasilnya bisa diterima.

Pada tahap akhir akan dibuat kesimpulan yang merupakan hasil akhir dari pengerjaan tugas akhir ini dan juga merupakan jawaban dari permasalahan yang memberikan informasi penting dari seluruh pembuatan tugas akhir ini. Dan apabila ada kendala ataupun sesuatu yang belum bisa dikerjakan dalam tugas akhir ini karena keterbatasan waktu dan sebagainya sehingga memerlukan saran apa saja yang mungkin dapat membuat laporan tugas akhir ini bisa lebih baik untuk kedepannya.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Validasi Hasil Simulasi

Validasi data adalah tahapan penting dalam simulasi pada sebuah penelitian. Melalui tahapan ini dapat diketahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan kondisi sebenarnya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini dilakukan 2 tahapan validasi, validasi yang pertama bertujuan untuk mengamati kesesuaian metode ekstrapolasi yang digunakan untuk menentukan kecepatan sudut turbin (rpm). Sedangkan validasi kedua bertujuan untuk mengamati kesesuaian boundary condition dan mesh yang digunakan pada simulasi.

B. Validasi Kecepatan Sudut Turbin

Kecepatan sudut turbin perdetik atau yang biasa disebut (rps) pada tugas akhir ini diperoleh berdasarkan data-data hasil eksperimen penelitian sebelumnya, yang telah dilakukan oleh Mecha Garinda A. G [4].

Pada penelitian tersebut kecepatan arus maksimal yang divariasikan hanya 1,15 m/s sehingga perlu dilakukan pendekatan dengan metode ekstrapolasi untuk mengetahui kecepatan sudut turbin dalam pengerjaan tugas akhir ini yang divariasikan pada saat kecepatan arus laut sebesar

0,5, 1,5 dan 2,5 m/s. Dengan metode ekstrapolasi dapat diketahui hubungan antara kecepatan sudut turbin dengan kecepatan arus laut sehingga dapat ditarik persamaan yang digunakan untuk memperkirakan kecepatan sudut turbin (rpm) saat kecepatan arus laut tertentu [5].

Dengan metode ekstrapolasi dihasilkan grafik dimana hasil eksperimen dengan hasil ekstrapolasi menunjukkan pola yang hampir sama sehingga apabila semakin besar kecepatan arus laut yang mengenai turbin semakin besar juga kecepatan sudut turbin yang dihasilkan sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa hasil eksperimen dengan hasil ekstrapolasi mempunyai error yang kecil [5]. Hasil ekstrapolasi menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$y = 25,91x + 23,624$$

Dimana :

$$y = \text{kecepatan sudut turbin (rpm)}$$

$$x = \text{kecepatan arus laut (m/s)}$$

Setiap persamaan ekstrapolasi selalu mempunyai nilai error oleh sebab itu perlu dilakukan perhitungan proyeksi kecepatan turbin menggunakan persamaan diatas untuk mengetahui besarnya nilai error.

Tabel 2. Tabel perbandingan hasil eksperimen dengan hasil ekstrapolasi

No	Kecepatan air (m/s)	Kecepatan sudut eksperiment (rpm)	Kecepatan sudut ekstrapolasi (rpm)	Error
1	0,67	38,18	40,98	7,33%
2	0,72	43,79	42,28	3,46%
3	0,806	47,09	44,50	5,49%
4	0,98	47,89	49,01	2,34%
5	1,15	53,26	53,42	0,29%
6	2,5		88,40	
Rata-rata error				3,78%

Hasil perhitungan nilai error dapat dilihat pada tabel 4.1 berdasarkan pendekatan metode ekstrapolasi ini diperkirakan bahwa kecepatan arus laut 0,67 m/s, maka kecepatan sudut turbin 40,98 rpm dan dari tabel tersebut juga terlihat bahwa pada tiap - tiap kecepatan memiliki nilai error yang berbeda. Besarnya perbandingan nilai error rata-rata antara hasil eksperimental dan hasil ekstrapolasi bernilai 3,78%, hal ini mengindikasikan bahwa persamaan ini valid digunakan untuk simulasi, selain dilakukan validasi menggunakan metode ekstrapolasi pada tugas akhir ini juga dilakukan validasi berdasarkan batas kemampuan maksimal turbin untuk menyerap energi arus laut, pada prosesnya rpm tertinggi hasil ekstrapolasi dinaikan secara bertahap sampai menunjukkan bahwa turbin memberi energi terhadap lingkungan, selanjutnya didapatkan nilai batas yaitu ≤ 249 rpm maka turbin masih menyerap energi sedangkan ≥ 250 rpm maka turbin memberi energi terhadap lingkungan sehingga rpm yang digunakan pada simulasi tugas akhir ini ≤ 249 rpm dan dinyatakan valid.

Berdasarkan persamaan diatas dapat diprediksi kecepatan sudut turbin pada saat kecepatan arus laut 0,5 m/s, 1,5 m/s dan 2,5 m/s seperti tabel berikut:

Tabel 3. Tabel kecepatan sudut turbin pada saat kecepatan arus laut hasil ekstrapolasi

No	Kecepatan Air (m/s)	Kecepatan Sudut Turbin (rpm)
1	0.5	36.58
2	1.5	62.49
3	2.5	88.40

C. Validasi *Boundary Condition* dan *Meshing*

Boundary condition merupakan sebuah proses pengaturan kondisi-kondisi batas dari simulasi agar sesuai dengan kondisi sebenarnya, hal ini juga mempengaruhi kesesuaian hasil dari simulasi dengan kondisi sebenarnya.

Pada tugas akhir ini dilakukan *validasi boundary conditions* dengan cara membandingkan dengan hasil simulasi tugas akhir ini dengan hasil simulasi penelitian yang dilakukan Susilo (Susilo 2014) dimana pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil eksperiment yang dilakukan oleh Mecha Garindra G. (Gunawan 2014) dikarenakan kondisi simulasi pada tugas akhir ini mempunyai kesamaan dengan eksperiment tersebut.

Validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai torsi yang dihasilkan pada tugas akhir ini dengan penelitian sebelumnya, dengan menggunakan 2 variasi kecepatan 0,6 m/s dan 0,7 m/s simulasi ini dilakukan.

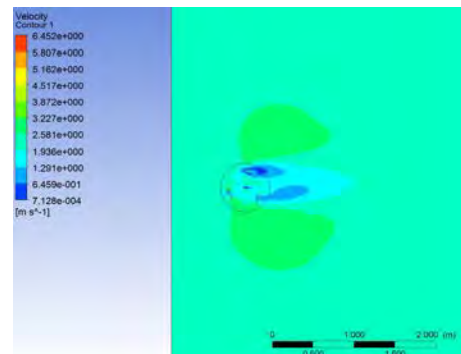
Tabel 4. Tabel perbandingan torsi pada tugas akhir ini dengan penelitian sebelumnya

Kecepatan m/s	Penelitian sebelumnya		Tugas akhir Ini		Error
	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	
0,6 m/s	7786724	12,69	6583352	11,92	6,07%
0,7 m/s	7786724	16,05	6583352	17,09	6,48%
Error rata-rata					6,27%

Berdasarkan tabel 3. nilai error rata-rata yang terdapat pada *boundary condition* sebesar 6,27% sehingga *boundary condition* dan ukuran mesh tersebut dapat digunakan untuk melakukan simulasi pada tugas akhir ini, seperti yang terlihat pada tabel 2

D. Profil *Wake* untuk Single Turbin

Pada saat turbin berputar akan menimbulkan *wake* atau olakan pada bagian belakang turbin. Hal tersebut dikarenakan ekstrasi yang dilakukan oleh turbin terhadap aliran air. Sehingga kecepatan air pada daerah sekitar turbin akan menurun, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



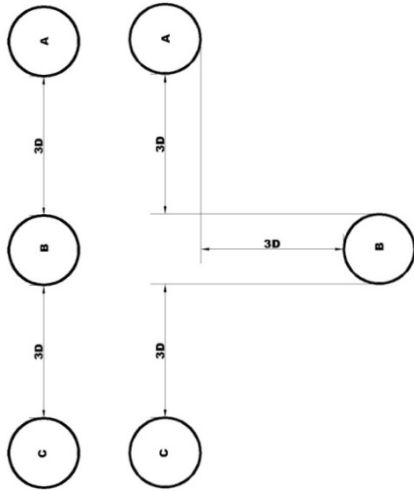
Gambar 3. Grafik hubungan kecepatan arus laut 2,5 (m/s) dan kecepatan sudut turbin (rpm)

Perbedaan kecepatan pada daerah *wake* dibelakang turbin mengakibatkan *turbulence mixing*. Hal ini mengakibatkan pertukaran momentum energi dari lingkungan ke daerah *awake* sehingga perbedaan kecepatan di daerah *awake* kembali ke nilai semula (sama dengan lingkungan). Berdasarkan pengamatan pada gambar diatas bahwa *wake* terpendek terjadi pada (v) arus laut = 0,5 m/s dengan panjang = 0.3 m sedangkan *wake* terpanjang pada saat kecepatan arus laut 2,5 m/s sebesar 1,1 m dari domain turbin atau kurang dari 3D.

E. Perancangan Array

Array merupakan susunan konfigurasi beberapa turbin (*multiple turbine*) pada pembangkit listrik tenaga arus laut, perancangan *array* akan berpengaruh terhadap kinerja turbin, *monitoring* dan biaya perawatan, ada beberapa tipe konfigurasi *array* salah satunya adalah dengan meletakkan beberapa turbin

secara sejajar dengan jarak yang mempertimbangkan dimana kecepatan yang diakibatkan awake kembali ke kecepatan normal (*laminer*), dimana pada pembahasan sebelumnya awake terpanjang sebesar 1,15 m dari domain tabung sehingga pada jarak konfigurasi *array* ditentukan sebesar 1,2 m atau sama dengan 3D, untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut.



Gambar 4. Formasi Arrat 1 dan 2

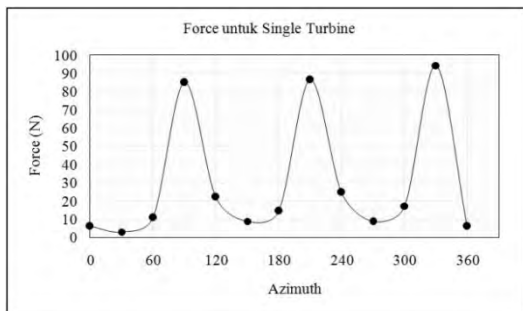
F. Perhitungan *Force*, *Torque* dan *Powe*

Berdasarkan simulasi dapat diketahui besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin, besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin bergantung terhadap 2 parameter berikut yaitu gaya (*force*) dan torsi (*torque*), sehingga berdasarkan parameter tersebut dapat menghitung besarnya daya (*power*) yang dihasilkan oleh turbin, Pada (v) arus laut 0.5 m/s dan sudut azimuth sebesar 30° , sebagai berikut:

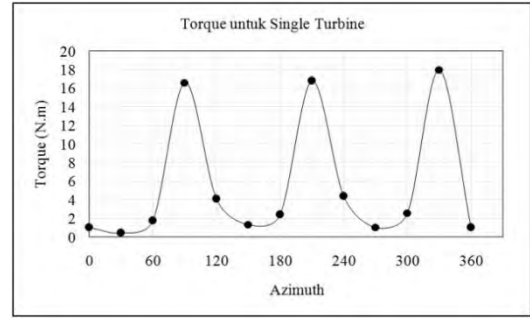
Tabel 5. Tabel kecepatan sudut turbin pada saat kecepatan arus laut hasil ekstrapolasi

No	Sudut Azimuth ($^\circ$)	Force of Foil 1 F(N)	Force of Foil 2 F(N)	Force of Foil 3 F(N)	Force of Axis F(N)	Force of Turbine F(N)	Torque T (Nm)	Power P (Watt)
1	0	1.885184606	2.54475323	0.576000022	1.21697206	6.22290992	1.0134	3.904243
2	30	1.499340188	0.414204056	0.160000047	0.93823771	3.011782	0.4241	1.63393
3	60	5.86576059	2.263396894	0.497815924	2.20923683	10.83621024	1.7475	6.732683
4	90	58.6386651	22.78496542	1.586007881	1.87781415	84.88745255	16.621	64.03592
5	120	8.430445836	4.461876959	7.459003285	1.83786887	22.18919495	4.0886	15.75265
6	150	2.3091663	0.815060734	3.52601418	2.25363795	8.903879162	1.3526	5.211211
7	180	3.194729723	1.790097763	6.810004699	2.79448546	14.58931765	2.3869	9.196244
8	210	10.21303334	23.30945396	50.30400064	2.62833217	86.45482011	16.792	64.69427
9	240	4.244573006	13.81736332	3.602013881	3.01050245	24.67445265	4.3629	16.80927
10	270	0.155455924	4.534611913	0.364020715	3.72984441	8.783932966	1.0481	4.038161
11	300	2.605270715	6.749555797	3.36119609	4.6003568	17.3163794	2.5892	9.975649
12	330	13.49645969	56.18296438	20.05530233	4.5337092	94.2684356	17.992	69.32031
13	360	1.885184606	2.54475323	0.576000022	1.21697206	6.22290992	1.0134	3.904243
14	Average					29.87397516	5.4947	21.16991

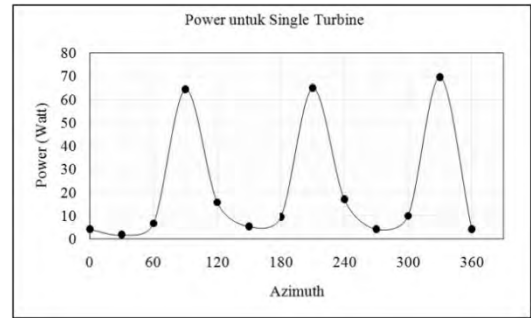
Sehingga dengan data dan tahapan yang sama seperti diatas dapat dibuat grafik sebagai berikut :



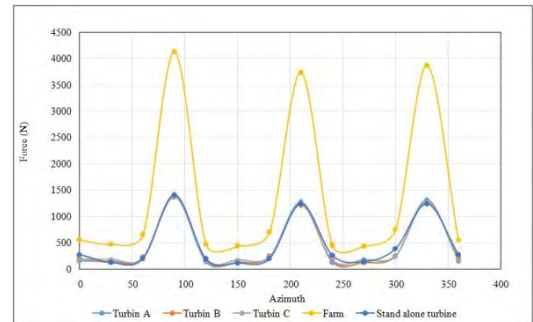
Gambar 5. Grafik hubungan *force* dengan sudut azimuth *single turbine* pada (v) arus laut = 0,5 m/s



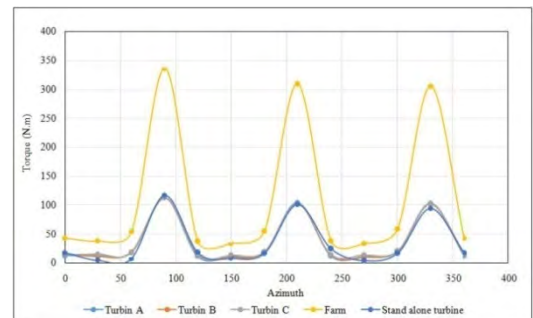
Gambar 6. Grafik hubungan *torque* dengan sudut azimuth *single turbine* pada (v) arus laut = 0,5 m/s



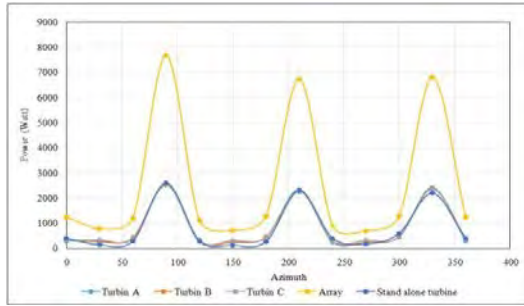
Gambar 7. Grafik hubungan *power* dengan sudut azimuth *single turbine* pada (v) arus laut = 0,5 m/s



Gambar 8. Grafik hubungan *force* dengan sudut azimuth *multiple turbine array 2* pada (v) arus laut = 2,5 m/s



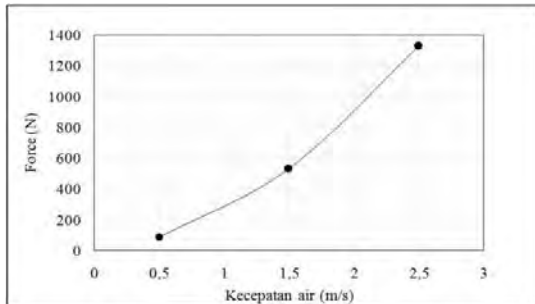
Gambar 9. Grafik hubungan *torque* dengan sudut azimuth *multiple turbine array 2* pada (v) arus laut = 2,5 m/s



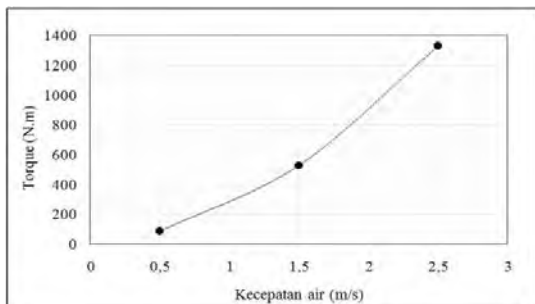
Gambar 10. Grafik hubungan *power* dengan sudut azimuth *multiple turbine array 2* pada (v) arus laut = 2,5 m/s

Grafik diatas menunjukkan bahwa *force*, *torque* dan *power* yang dihasilkan pada tiap-tiap sudut azimuth mempunyai nilai yang berbeda hal ini disebabkan karena perbedaan sudut serang (*angle of attack*) pada saat kecepatan arus laut sebesar 0,5 m/s, 1,5 m/s dan 2,5 m/s sehingga turbin berputar sebesar 360° sehingga membentuk pola sinusoidal yang terdiri dari 3 gelombang yang menunjukkan jumlah blade.

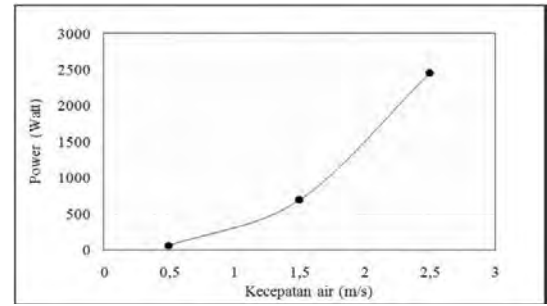
Pada *multiple turbine array II* sebuah blade yang berputar akan menghasilkan gaya, torsi dan daya dimana gaya, torsi dan daya total merupakan rata – rata gaya, torsi dan daya yang dihasilkan turbin pada tiap-tiap sudut azimuth. Untuk mengetahui hubungan gaya, torsi dan daya rata - rata pada variasi kecepatan arus laut sebesar 0,5 m/s, 1,5 m/s dan 2.5 m/s sebagaimana yang telah ditetapkan pada tugas akhir ini dapat melihat gambar dibawah ini.



Gambar 11. Grafik hubungan *force* dengan kecepatan arus laut pada *multiple turbine array 2*



Gambar 12. Grafik hubungan *torque* dengan kecepatan arus laut pada *multiple turbine array 2*



Gambar 13. Grafik hubungan *power* dengan kecepatan arus laut pada *multiple turbine array 2*

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah:

1. *Wake* terpanjang sebesar 11,5 m terjadi pada saat kecepatan arus laut 2,5 m/s.
2. *Force* terbesar dihasilkan oleh *array 2* dengan formasi zigzag dan jarak antar domain tabung sebesar 3D. Besar *force* yang dihasilkan adalah 1326,9438 N.
3. *Torque* terbesar dihasilkan oleh *array 2* dengan formasi zigzag dan jarak antar domain tabung sebesar 3D. Besar torsi yang dihasilkan adalah 265,3888 Nm.
4. *Power* terbesar dihasilkan oleh *array 2* dengan formasi zigzag dan jarak antar domain tabung sebesar 3D. Besar daya yang dihasilkan adalah 2455,5183 Watt.
5. Besarnya *force*, *torque* dan *power* pada setiap turbin berbanding lurus terhadap kecepatan arus laut yang menabrak *blade*, semakin besar kecepatan arus laut yang menabrak *blade* maka *force*, *torque* dan *power* yang dihasilkan semakin besar.
6. Peletakan antar VATT yang paling optimal yaitu pada jarak 3D (1,2 m) antar domain tabung dikarenakan *wake* (penurunan kecepatan) akan kembali ke kecepatan normal setelah melewati jarak 1,15 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariana, I., Made, dkk., 2011. “*Respon Getaran Model Vertical Axis Turbin (VAT) Akibat Pengaruh Kecepatan Aliran Arus Laut*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya (Paper)
- [2] Yulianto, S., Eko. 2013. “*Analisa Putaran dan Torsi Turbin Arus Laut Akibat Pengaruh Variasi Diameter dan Jumlah Blade*”. Jurusan Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya (Tugas Akhir)
- [3] Coiro, D. P., 2007. “*Experiment on Horizontal and Vertical Axis Water Turbines for Harnessing Marine Currents: Technological and Economical Aspects*”. (http://www.islenet.net/docs/coiro_islenet2007.pdf). diakses pada tanggal 27 Januari 2015
- [4] Gunawan M., G., Adetama. 2014 “*Studi Eksperimental Mekanisme Passive-Pitch Dengan Flapping Wing Pada Turbin Vertikal Aksis Tipe Darrieus*”. Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya (Tugas Akhir)
- [5] Septyaningrum, Erna. 2015 “*Analisis Profil Wake Di Belakang Turbin Arus Laut Tipe V-Blade Darrieus Berbasis Computational Fluid Dynamics*”. Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya (Tugas Akhir)