



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Bentuk Variasi *Propulsion Module* Pada Sistem Propulsi *Azipod (Azimuthing Podded Drive)* Berbasis *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Rahmat Nurhadi¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : rahmatnrhd@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, good.rindo@gmail.com

Abstrak

Sistem propulsi adalah salah satu bagian terpenting dari kapal, khususnya yang berhubungan erat dengan kecepatan. Salah satu target optimalisasi yaitu bagaimana mendapatkan kecepatan kapal yang optimum dengan penggunaan daya mesin sekecil mungkin. Kehadiran sistem propulsi *Azipod* memberikan inovasi baru pada alat penggerak. Yang paling signifikan adalah kemampuannya dalam memperbaiki aliran pada bagian *propulsion module*. Bentuk *propulsion module* yang baik akan mengoptimalkan kinerja dari *azipod*. Maka penentuan parameter geometris perlu didukung oleh penyidikan yang rinci pada kinerja hidrodinamik dari propulsor agar memiliki nilai *thrust* yang besar dengan besaran nilai *power* sekecil mungkin. Dalam penelitian ini akan mencari bentuk yang maksimal pada sistem propulsi *azipod* yang dikeluarkan oleh *ABB Azipod*[®] seri VI2300 dengan parameter perubah berupa sudut kemiringan 5°, 10°, 15°, 20° pada bagian *Hub* serta bagian *Tapper* dan juga menggunakan perbandingan D_{Pod}/D_{prop} 0,474, 0,536, 0,615 sehingga didapatkan bentuk *propulsion module* yang optimum dengan bantuan program *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.

Kata kunci: Tegangan, *Sustained Load*, *Expansion Load*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini desain perencanaan kapal berkembang dengan sangat pesat, Dalam mendesain kapal yang optimal merupakan hal mutlak bagi para engineer. Salah satu target optimalisasi adalah sistem propulsi yang merupakan salah satu bagian terpenting dari kapal karena berhubungan erat dengan kecepatan. Sistem propulsi yang terletak pada bagian buritan kapal akan mendapat dampak yang signifikan terhadap arus dari lambung kapal. Karena kehadiran lambung ini, distribusi aliran ke baling-baling menjadi tidak beraturan dan labil.^[1]

Pada kasus-kasus tertentu seperti pada kapal-kapal pemecah es (*icebreakers*) dan *scientific ships*, dibutuhkan alat penggerak yang mampu memberikan *performance* yang lebih, sehingga diperkenalkanlah sistem-sistem penggerak kapal jenis *pod (azimuth podded propulsor)* yang juga merupakan propulsi jenis elektrik.^[2]

Kehadiran sistem propulsi *Azipod* memberikan inovasi baru pada alat penggerak. Yang paling signifikan adalah kemampuannya dalam memperbaiki aliran pada bagian *propulsion module* yang memberikan efisiensi propulsi lebih besar dan *maneuverability* yang baik.^[3] Maka penentuan parameter geometris perlu didukung oleh penyidikan yang rinci pada kinerja hidrodinamik dari propulsor

agar memiliki nilai *thrust* yang besar dengan nilai *power* yang kecil.

Ada sejumlah parameter geometris yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain pod dan tiga dipilih untuk penelitian ini, secara khusus diantaranya diameter *pod*, *hub angle*, dan *tapper angle*.^[3]

Dalam penelitian ini akan mencari bentuk *propulsion module* yang maksimal pada sistem propulsi *azipod* yang dikeluarkan oleh ABB *Azipod*[®] *VI2300 series* sehingga didapatkan bentuk *propulsion module* yang maksimal dengan bantuan program *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.

1.2 Tujuan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui gaya dorong yang dihasilkan dan juga *energy* yang dikeluarkan dari masing-masing desain *propulsion module azipod* yang dibuat.
2. Mendapatkan hasil perbandingan *thrust* dan *power* dari variasi bentuk *propulsion module azipod* yang dibuat.
3. Mendapatkan model *propulsion module* yang optimum dari *azipod* yang dianalisa.

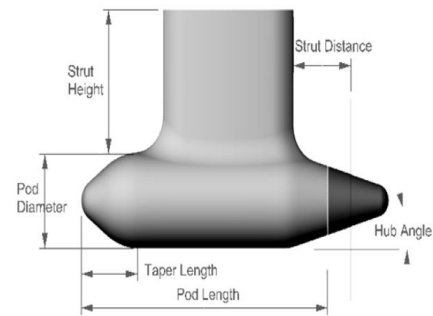
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Perpipaian

Propulsi adalah alat yang dapat digunakan untuk memindahkan atau menggerakkan kapal dari suatu tempat ke tempat lainnya. Alat gerak kapal ini kemudian dibedakan menjadi dua, yaitu alat gerak mekanik dan non-mekanik.^[4]

2.2 Azimuth Podded Drive

Pod propulsion unit adalah sejenis *azimuth* tipe *thruster* yang secara langsung digerakkan oleh sebuah motor elektrik yang terpasang pada *unit pod* dari *power generation plant*.^[5] Pada sisi lain, baling-baling utama yaitu unit penggerak mekanikal, secara langsung digerakkan oleh dua set mesin diesel kecepatan medium. Selama percepatan *pod unit* memiliki torsi yang cukup bahkan pada kecepatan rendah dengan keutamaan motor elektrik dan mudah dalam memperlaksukannya ke kecepatan tinggi. Gambar (2.1) menunjukkan bentuk geometris dari *azipod unit*.^[6]



Gambar 2.1 *pod-strut geometry*

2.3 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan CFD untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia yang melibatkan satu atau semua fenomena diatas.^[7]

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- a. *Pre Processor*
- b. *Solver Manager*
- c. *Post Processor*

2.4 Teori Elastisitas

Dalam teori baling-baling dijelaskan bahwa pada awalnya teori baling-baling dijelaskan dengan cara yang sangat sederhana, yaitu berdasarkan prinsip kerja mur dan baut (*screw & nut*).^[8]

2.4.1. Teori Momentun Baling – Baling

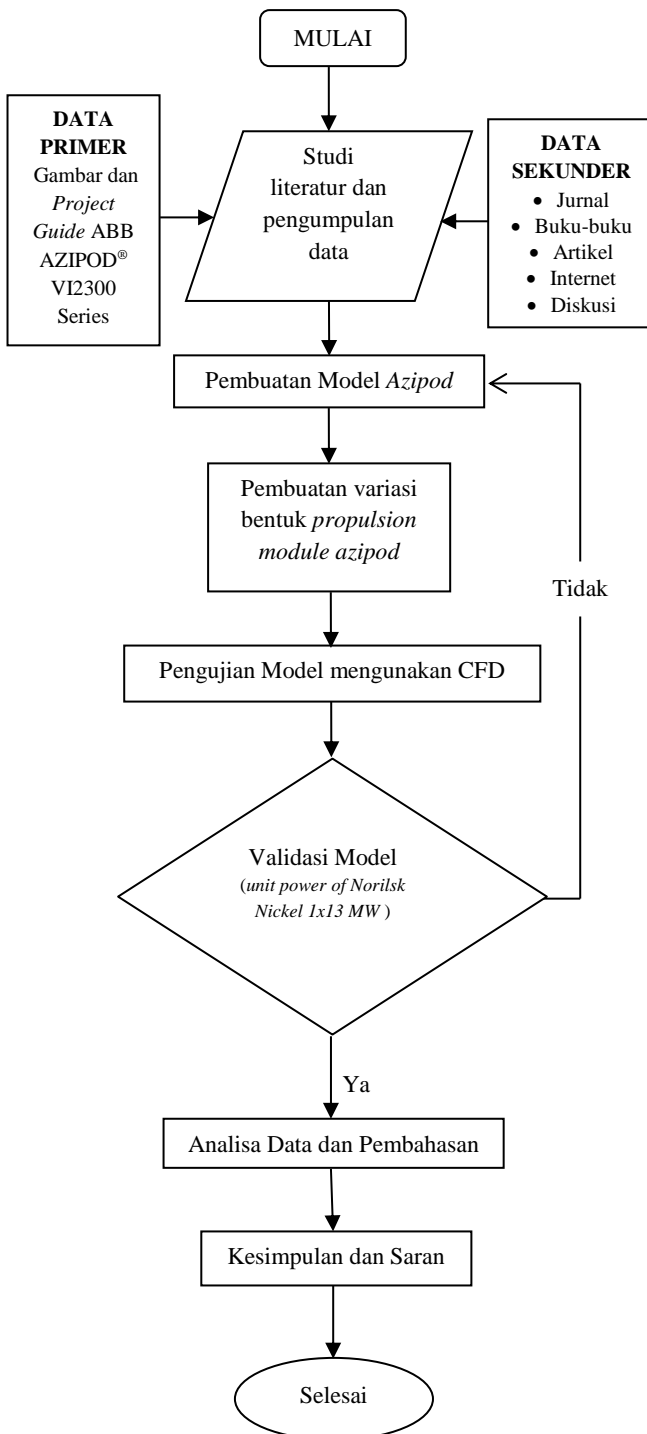
Gaya dorong yang dihasilkan oleh bekerjanya baling-baling adalah disebabkan oleh adanya perbedaan momentum yang terjadi pada waktu daun baling-baling bergerak difluida.

Adanya arus air karena berputarnya baling-baling di air akan timbul gaya reaksi yang dihasilkan oleh daun baling-baling. Gaya tersebut merupakan gaya dorong atau *thrust*.

III. METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Tahapannya digambarkan dalam flowchart berikut:

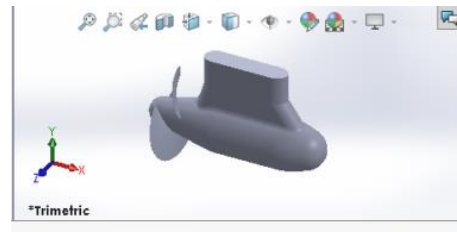


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

Pembuatan model *azipod* menggunakan *software solidworks* yang ukuran utama *azipod* diperoleh dari gambar *autocad* dan digambar ulang beserta unit *propeller* yang di satukan sehingga menjadi satu kesatuan dengan menggunakan *software* ini. Gambar (4.1) memperlihatkan bentuk model *azipod* yang telah dibuat.^{[9][10]}



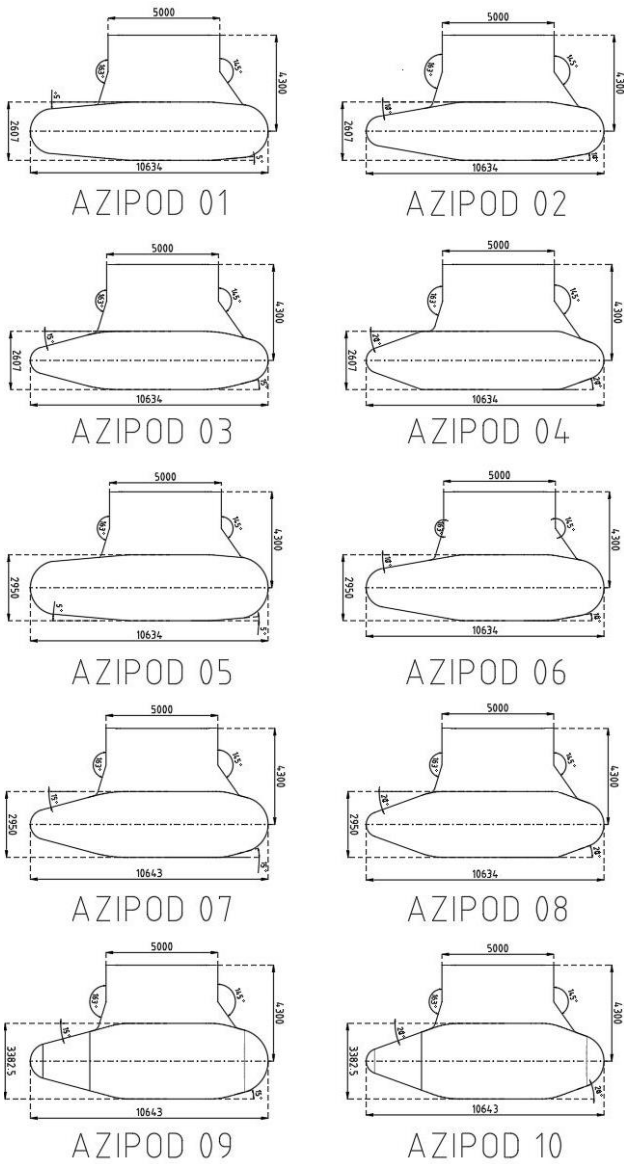
Gambar 4.1 Software Pemodelan 3D

Dalam pembuatan model dengan variasi bentuk *propulsion module* menggunakan *solidworks*. Model *basic* yang telah dibuat, kemudian diubah bentuknya pada bagian *propulsion module* dengan kriteria yang ditunjukkan pada tabel (4.1) sebagai berikut.^[11]

Tabel. 4.1 kriteria variasi *azipod*

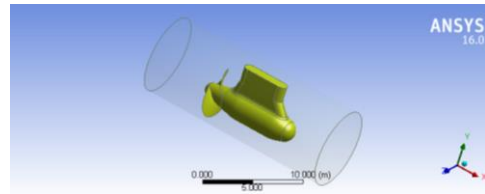
Pod No.	D_{pod}/D_{prop}	$T_{Anagl} & H_{Anagl}$	Pod No.	D_{pod}/D_{prop}	$T_{Anagl} & H_{Anagl}$
01	0,474	5	06	0,536	10
02	0,474	10	07	0,536	15
03	0,474	15	08	0,536	20
04	0,474	20	09	0,615	15
05	0,536	5	10	0,615	20

Dari kreteria yang telah ditentukan seperti yang tertera pada tabel (4.1) maka dibuat 10 model *azipod* seperti yang terlihat pada gambar 4.2 dengan perbandingan yang difokuskan pada bagian *propulsion module* terhadap diameter *pod* serta sudut kemiringan pada bagian *hub* dan *tapper*. Dari sepuluh model yang telah dibuat nantinya akan dianalisa menggunakan *software Ansys CFX 6.0* untuk dapat mengetahui bentuk yang optimum.



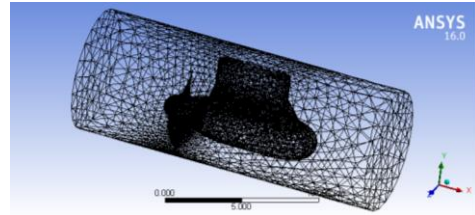
Gambar 4.2 Variasi bentuk *propulsion module* *azipod* 2D

Setelah melakukan permodelan variasi *azipod* selanjutnya melakukan analisa dengan menggunakan *software ansys cfx 16.0* yang di *import* dari *software solidworks*. Analisa dilakukan dengan cara menabrakan aliran pada 10 model variasi bentuk *propulsion module* yang akan dianalisa. Pembuatan *boundary domain* berupa silinder ditentukan pada tahap *geometry* dimana model dilakukan pengecekan apakah model sudah *solid* seperti yang ditunjukkan pada gambar (4.3). Lalu dilakukan pembentuk *boundary* pada bidang sumbu x y z dan pendefinisian setiap bagian *boundary* seperti pengaturan inlet, outlet, dan wall.



Gambar 4.3 Tahap *Geometry*

Selanjutnya tahap *meshing* untuk menentukan ukuran tiap elemen dan mengatur kedetailan melalui ukuran elemen yang kita gunakan.



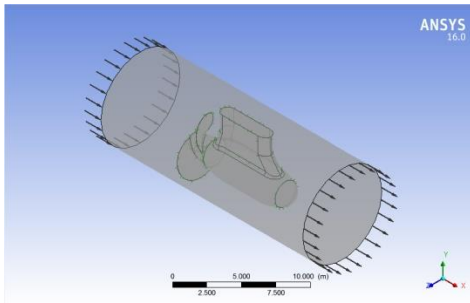
Gambar 4.4 Tahap *Mesh*

Selanjutnya kita mengatur setiap kriteria yang kita gunakan dengan mengatur *Set-up*. *Set-up* yang digunakan merupakan kriteria yang telah di validasi dahulu sebelumnya sehingga mendapatkan hasil yang memiliki *error* tidak jauh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Berikut *Domain Physics* yang digunakan.

Tabel 4.2 *Domain Default*

Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B257
Materials	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Angular Velocity	-
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	-
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

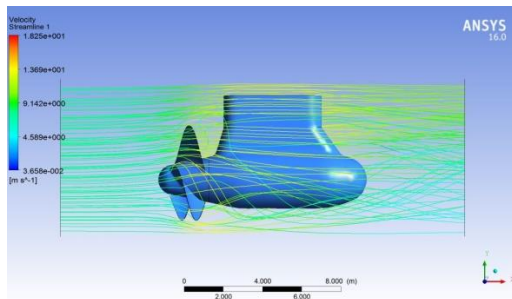
Berikut merupakan gambar dari pengaturan *set-up* pada *boundary* yang telah dibuat pada tahap sebelumnya.



Gambar 4.5 *Boundary Set-up*

Tahap *solution* yaitu tahap dimana *boundary* yang telah diberi kriteria dilakukan iterasi hingga didapatkan hasil yang *converge*.

Tahap akhir yaitu tahap *post* dimana kita mendapatkan hasil yang dapat disimulasikan baik 3D ataupun 2D.



Gambar 4.7 *Streamline Velocity ABB AZIPOD VI2300 SERIES*

4.2 Validasi Model

Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk menganalisa 10 model variasi bentuk *azipod*. Acuan model untuk divalidasi diambil dari *power* pada *azipod* yang ada pada *project guide ABB VI series*. *Power* didapat dari *torque* yang didapat dari hasil pengujian pada *software*. Berikut perhitungan *power* pada ABB *Azipod VI2300 series*.^[12]

$$P = Q \cdot 2\pi \cdot \omega$$

$$P (W) = T(N \cdot m) \times 2\pi(rad) \times \omega (rev/sec)$$

$$P (W) = \frac{T(N \cdot m) \times 2\pi(rad) \times \omega (rpm)}{60}$$

$$P (W) = \frac{987371 (N \cdot m) \times 2(3.14) (rad) \times 130}{60}$$

$$P = 13.443.385,29 \text{ Watt} \sim 13.443 (kW)$$

Ket :

P = Power (Watt)

Q = Torque (N.m)

ω = Angular Velocity (rev/sec)

Dengan membandingkan hasil analisa dengan konfigurasi yang digunakan pada *product guide ABB AZIPOD VI series* maka didapat perbandingan seperti yang ditunjukkan pada tabel (4.3) sebagai berikut.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil uji coba dengan simulasi CFD

Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil simulasi CFD Power (KW)	Konfigursai kapal <i>Norilsk nickel</i> pada <i>product guide ABB VI series</i> (KW)	Error (%)
130	13.443	13.000	3,41

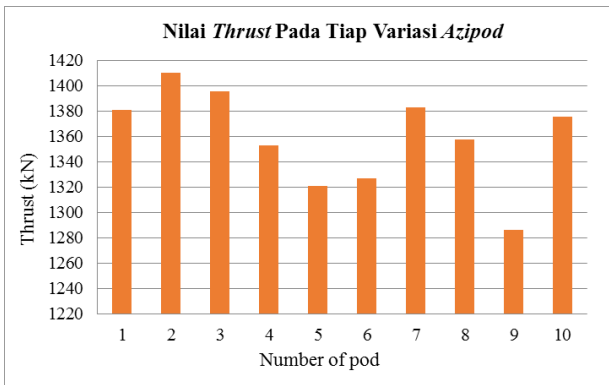
4.3 Pembahasan

4.3.1 Perbandingan Nilai *Thrust* Pada 0,474 D_{pod}/D_{prop} , 0,536 D_{pod}/D_{prop} , dan 0,615 D_{pod}/D_{prop}

Dari hasil analisa tabel (4.4) dan gambar (4.8) terlihat bahwa *thrust* tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* dengan nilai *thrust* terbesar 1410,38 *kN* pada sudut 10° dengan perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 (*azipod* 02). Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 *thrust* tertinggi pada sudut 10° (*azipod* 06) dengan nilai 1383,43 *kN*, sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 *thrust* tertinggi pada sudut 20° (*azipod* 10) dengan nilai 1375,76 *kN*.

Tabel 4.4 Tabel perbandingan nilai *Thrust*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	Thrust (kN)
1		5	1381,17
2	0,474	10	1410,38
3		15	1396,10
4		20	1352,94
5		5	1321,08
6	0,536	10	1326,79
7		15	1383,43
8		20	1358,08
9	0,615	15	1286,07
10		20	1375,76

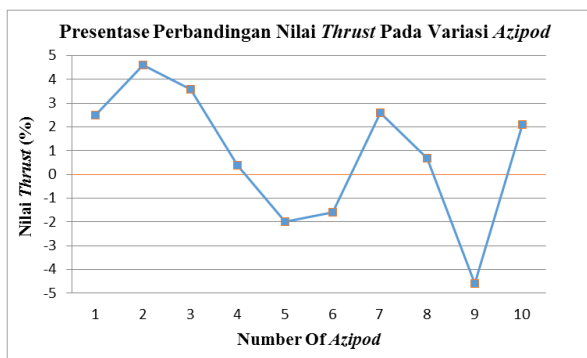


Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai *thrust*

Dari hasil analisa nilai *thrust* kemudian dilakukan perbandingan presentase antara nilai *thrust* pada setiap perbandingan D_{pod}/D_{prop} seperti yang terlihat pada tabel (4.5) sebagai berikut.

Tabel 4.5 Presentase Perbandingan nilai *Thrust*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	$T_{Angel} \& H_{Angel}$ (Deg)	Thrust (%)
1	0,474	5	2,5
2		10	4,6
3		15	3,6
4	0,536	20	0,4
5		5	-2,0
6		10	-1,6
7	0,615	15	2,6
8		20	0,7
9		15	-4,6
10		20	2,1



Gambar 4.9 Grafik presentase perbandingan *thrust*

Dari grafik yang di tunjukan pada gambar (4.9) dapat dilihat bahwa kenaikan nilai *thrust* tertinggi dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,474 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 10° (*azipod* 02) sebesar 4,6%. Sedangkan penurunan nilai *thrust* terbesar dimiliki *azipod* dengan

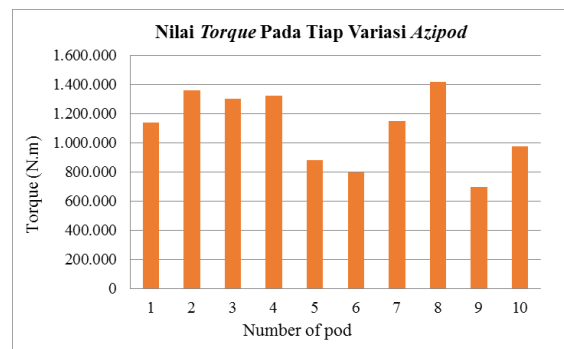
D_{pod}/D_{prop} 0,615 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 15° (*azipod* 10) sebesar 4,6%.

4.3.2 Perbandingan Nilai *Torque* Pada 0,474 D_{pod}/D_{prop} , 0,536 D_{pod}/D_{prop} , dan 0,615 D_{pod}/D_{prop}

Dari hasil analisa *torque* dapat dilihat pada table (4.6) dan gambar (4.10) diperoleh nilai tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* dengan nilai *torque* terbesar 1,361,250 *N.m* pada sudut 10° dengan perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 (*azipod* 02). Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 *torque* tertinggi pada sudut 20° dengan nilai 1,418,460 *N.m*, sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 *torque* tertinggi pada sudut 20° (*azipod* 10) dengan nilai 977,461 *N.m*

Tabel 4.6 Presentase perbandingan nilai *Torque*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	$T_{Angel} \& H_{Angel}$ (Deg)	Torque (N.m)
1	0,474	5	1.137.800
2		10	1.361.250
3		15	1.303.440
4	0,536	20	1.325.610
5		5	883.998
6		10	795.137
7	0,615	15	1.148.460
8		20	1.418.460
9		15	699.665
10		20	977.461

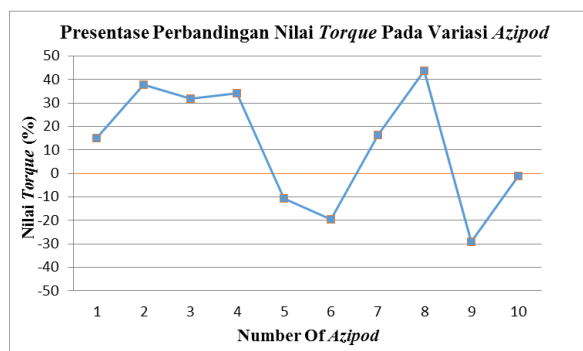


Gambar 4.10 Grafik perbandingan nilai *torque*

Dari hasil analisa nilai *torque* kemudian dilakukan perbandingan presentase antara nilai *torque* pada setiap perbandingan D_{pod}/D_{prop} seperti yang terlihat pada tabel (4.7) sebagai berikut.

Tabel 4.7 Presentase Perbandingan Nilai *Torque*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	Torque (%)
1		5	15,2
2	0,474	10	37,9
3		15	32,0
4		20	34,3
5		5	-10,5
6	0,536	10	-19,5
7		15	16,3
8		20	43,7
9	0,615	15	-29,1
10		20	-1,0



Gambar 4.11 Grafik Presentase Perbandingan nilai *Torque*

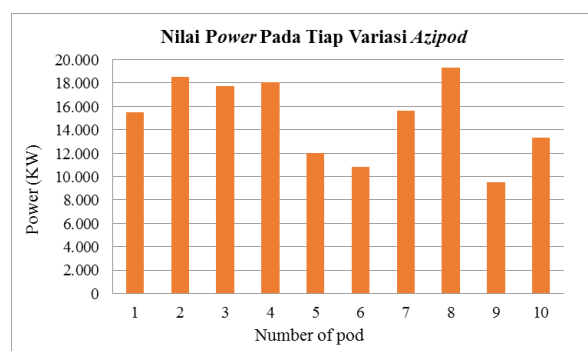
Dari grafik yang di tunjukan pada gambar (4.11) dapat dilihat bahwa kenaikan nilai *torque* tertinggi dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,536 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 20° (*azipod* 08) sebesar 43,7%. Sedangkan penurunan nilai *torque* terbesar dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,615 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 15° (*azipod* 09) sebesar -29,1%.

4.3.3 Perbandingan Nilai *Power Azipod* Pada 0,474 D_{pod}/D_{prop} , 0,536 D_{pod}/D_{prop} , dan 0,615 D_{pod}/D_{prop}

Dari hasil analisa *power* tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* dengan nilai *power* terbesar 18533,87 KW pada sudut 10° dengan perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 (*azipod* 02). Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 *power* tertinggi pada sudut 20° (*azipod* 10) dengan nilai 19312.81 KW. Sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 *power* tertinggi pada sudut 20° dengan nilai 13308,46 KW seperti yang ditunjukan pada tabel (4.8) sebagai berikut.

Tabel 4.8 Perbandingan nilai *Power*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	Power (KW)
1		5	15.491,53
2	0,474	10	18.533,87
3		15	17.746,77
4		20	18.048,62
5		5	12.035,93
6	0,536	10	10.826,06
7		15	15.636,67
8		20	19.312,81
9	0,615	15	9.526,17
10		20	13.308,46

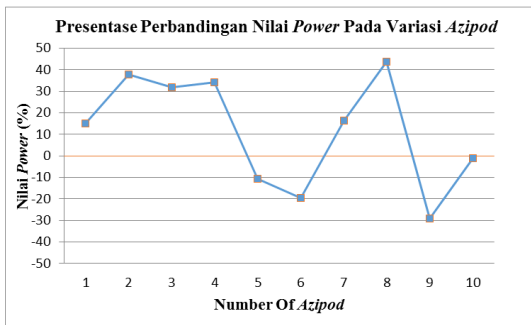


Gambar 4.12 Grafik perbandingan Nilai *Power*

Dari hasil analisa nilai *power* kemudian dilakukan perbandingan presentase antara nilai *power* pada setiap perbandingan D_{pod}/D_{prop} seperti yang terlihat pada tabel (4.9) sebagai berikut.

Tabel 4.9 Presentase Perbandingan Nilai *Power*

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	Power (%)
1		5	15,2
2	0,474	10	37,9
3		15	32,0
4		20	34,3
5		5	-10,5
6	0,536	10	-19,5
7		15	16,3
8		20	43,7
9	0,615	15	-29,1
10		20	-1,0



Gambar 4.13 Grafik Presentase Perbandingan *Power*

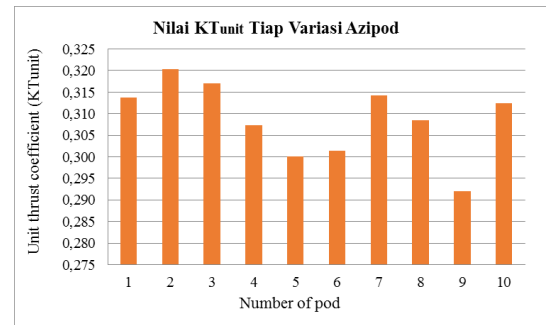
Dari grafik yang di tunjukan pada gambar (4.13) dapat dilihat bahwa kenaikan nilai *power* tertinggi dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,536 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 20° (*azipod* 08) sebesar 43,7%. Sedangkan penurunan nilai *power* terbesar dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,615 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 15° (*azipod* 09) sebesar -29,1%.

4.2.1 Perbandingan *Efficiency Azipod* Pada 0,474 D_{pod}/D_{prop} , 0,536 D_{pod}/D_{prop} , 0,615 D_{pod}/D_{prop}

Dari hasil analisa *thrust* didapatkan nilai koefisien unit *pod* (KT_{unit}) tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* dengan nilai KT_{unit} sebesar 0,320 pada sudut 10° dengan perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 (*azipod* 02). Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 nilai KT_{unit} tertinggi pada sudut 15° (*azipod* 07) dengan nilai 0,314. Sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 nilai KT_{unit} tertinggi pada sudut 20° dengan nilai 0,312 seperti yang ditunjukkan pada tabel (4.15) sebagai berikut.

Tabel 4.15 Tabel Perbandingan Nilai KT_{unit}

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	KT_{unit}
1		5	0,314
2	0,474	10	0,320
3		15	0,317
4		20	0,307
5		5	0,300
6	0,536	10	0,301
7		15	0,314
8		20	0,308
9	0,615	15	0,292
10		20	0,312

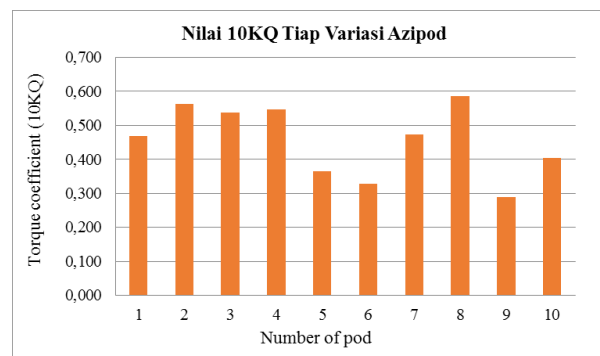


Gambar 4.30 Grafik perbandingan nilai (KT_{unit})

Berdasarkan hasil analisa CFD, analisa *torque* didapatkan nilai koefisien *torque* ($10KQ$) tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* dengan nilai $10KQ$ sebesar 0,562 pada sudut 10° dengan perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 (*azipod* 02). Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 nilai $10KQ$ tertinggi pada sudut 15° (*azipod* 07) dengan nilai 0,474. Sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 nilai $10KQ$ tertinggi pada sudut 20° dengan nilai 0,414 seperti yang ditunjukkan pada tabel (4.16) sebagai berikut.

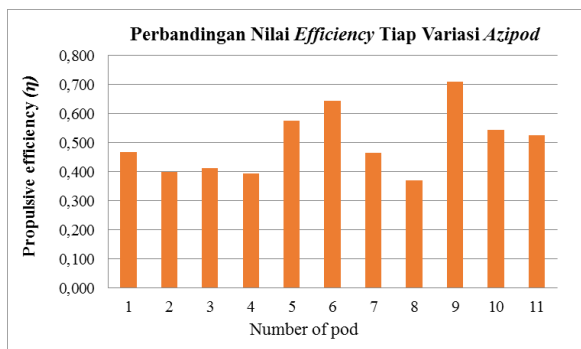
Tabel 4.16 Tabel Perbandingan Nilai $10KQ$

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	$10KQ$
1		5	0,470
2	0,474	10	0,562
3		15	0,538
4		20	0,547
5		5	0,365
6	0,536	10	0,328
7		15	0,474
8		20	0,586
9	0,615	15	0,289
10		20	0,404



Gambar 4.31 Grafik perbandingan nilai $10KQ$

Berdasarkan nilai koefisien KT dan 10KQ yang didapat pada tiap perbandingan variasi dari 10 azipod yang dibuat maka untuk mengetahui bentuk azipod yang optimum ditentukan dengan nilai efisiensi. Dari nilai *efficiency* (η) didapat nilai tertinggi pada *hub* dan *tapper angle* 5° sebesar 0,47 pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474. Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 nilai *efficiency* tertinggi terdapat pada sudut 10° dengan nilai 0,64. Sedangkan pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 nilai *efficiency* tertinggi terdapat pada sudut 15° dengan nilai 0,717

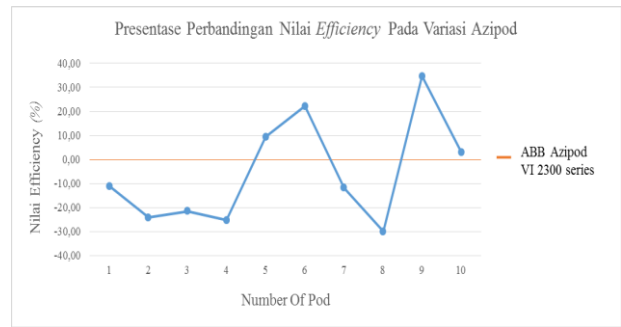


Gambar 4.32 Grafik perbandingan nilai efisiensi

Melihat hasil analisa nilai *efficiency* (η) kemudian membandingkan antara nilai *torque* dari 10 model *azipod* yang dibuat dengan model dari *ABB Azipod VI2300 series* untuk mengetahui berapa besar presentase perbandingan yang dihasilkan dari model yang dibuat seperti yang ditunjukkan pada tabel (4.18) sebagai berikut.

Tabel 4.18 Presentase perbandingan nilai efisiensi (η)

Azipod No.	D_{pod}/D_{prop}	T_{Angel} & H_{Angel} (Deg)	Eff (%)
1	0,474	5	-11,09
2		10	-24,11
3		15	-21,55
4		20	-25,24
5	0,536	5	9,46
6		10	22,22
7		15	-11,77
8	0,615	20	-29,87
9		15	34,64
10		20	3,09



Gambar 4.33 Grafik presentase perbandingan nilai efisiensi

Melihat grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar (4.33) terlihat bahwa kenaikan nilai efisiensi tertinggi dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,615 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 15° (*azipod* 09) sebesar 34,64%. Sedangkan penurunan nilai efisiensi terbesar dimiliki *azipod* dengan D_{pod}/D_{prop} 0,536 pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 10° (*azipod* 08) sebesar -29,87%.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan analisa dari variasi 10 model *azipod* yang dibuat didapatkan hasil sebagai berikut : Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,474 didapat nilai *thrust* pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 5° sebesar 1381,17 *kN* dengan nilai *power* sebesar 15491,53 *KW*, pada sudut 10° sebesar 1410,38 *kN* dengan nilai *power* sebesar 18533,87 *KW*, pada sudut 15° sebesar 1396,10 *kN* dengan nilai *power* sebesar 17746,77 *KW*, dan pada sudut 20° sebesar 1352,94 *kN* dengan nilai *power* sebesar 18048,62 *KW*. Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,536 didapat nilai *thrust* pada kemiringan *hub* dan *tapper angle* 5° sebesar 1321,08 *kN* dengan nilai *power* sebesar 12035,93 *KW*, pada sudut 10° sebesar 1326,79 *kN* dengan nilai *power* sebesar 10826,06 *KW*, pada sudut 15° sebesar 1383,43 *kN* dengan nilai *power* sebesar 15636,67 *KW*, dan pada sudut 20° sebesar 1358,08 *kN* dengan nilai *power* sebesar 19312,81 *KW*. Pada perbandingan D_{pod}/D_{prop} 0,615 didapat nilai *thrust* pada

- kemiringan *hub* dan *tapper angle* 15° sebesar 1286,07 *kN* dengan nilai *power* sebesar 9526,17 *KW*, dan pada sudut 20° sebesar 1375,76 *kN* dengan nilai *power* sebesar 13308,46 *KW*.
- Presentase perbandingan dari tiap perbandingan diameter *propulsion modul* pada tiap sudut kemiringan pada bagian *hub* dan *tapper* didapat kenaikan *thrust* tertinggi pada D_{pod}/D_{prop} 0,474 disudut kemiringan 10° (*azipod* 02) sebesar 4,6%, sedangkan kenaikan nilai *power* dan *torque* tertinggi terdapat pada D_{pod}/D_{prop} 0,536 disudut kemiringan 20° (*azipod* 10) sebesar 43,7%. Terlihat juga bahwa penurunan nilai *thrust* tertinggi terdapat pada D_{pod}/D_{prop} 0,615 disudut kemiringan 15° (*azipod* 09) sebesar 4,6%, sedangkan penurunan nilai *power* dan *torque* tertinggi terdapat pada D_{pod}/D_{prop} 0,615 disudut kemiringan 15° (*azipod* 09) sebesar 29,1%.
 - Berdasarkan hasil analisa pada grafik *thrust* dan *power* didapatkan model *azipod* yang optimum pada *azipod* 09 dengan kenaikan efisiensi sebesar 34,64%.

5.2 Saran

Penulis menyarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan parameter perubah non-linier untuk mendapatkan nilai tetap yang akurat. Penentuan paramter luasan terhadap sudut serang sangat mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan pada tiap-tiap kecepatan yang digunakan dalam pencarian bentuk *propulsion module* yang optimum.

Daftar Pustaka

- Islam, M. F., Taylor, R., Quinton, J., Veitch, B., Bose, N., Colbourne, B. And Liu, P., "Numerical investigation of propulsive characteristics of podded propeller", Proceedings of the 1st International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Newcastle
- M.Moreno, Victor ; Pigazo, Alberto. (2007). Journal of Maritime Research: Future trends in electric propulsion systems for commercial vessels, p.84
- Ghassemi, H. and Ghadimi, P."Computational Hydrodynamic Analysis of the Propeller-Rudder and The AZIPOD

- System". Ocean Engineering 35 (2008) 117 - 130
- Harvald, Sv, Aa. 1992. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Surabaya : Airlangga University Press
 - Handayani, 2011. "Penggunaan *Azimuth Podded* terhadap Kemampuan *Maneuver Kapal*". UNHAS, Makasar
 - Islam M. F, Veitch B, Bose N, and Liu P."Study of Puller Podded Propulsor with Tapered Hub Propellers in straight course and Azimuthing Conditios".
 - Huda,Nurul, 2013, *Analisa pengaruh Energy Saving Device pada Propeller dengan Metode CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
 - Ship Hydrodynamics, Lecture Notes of Propulsion Part.
 - Cai Hao-peng¹ , MA Cheng¹, CHEN Ke¹, QIAN Zheng-fang¹, YANG Chen-jun². " An Integrative Design Method of Propeller and PBCF".
 - ABB AZIPOD® VI Series Poduct Introduction
 - Mohammed F. Islam, Brian Veitch, Susan Molloy, Neil Bose, and Pengfei Liu "Effects of Geometry Variations on the Performance of Podded Propulsors" To be appeared in SNAME Trans, Florida, USA, 17p, November 2007.
 - Kleppner, Daniel; Kolenkow, Robert (1973). *An Introduction to Mechanics*. McGraw-Hill. pp. 267–68