



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Propeller

Propeller adalah bagian penting dalam kapal untuk menentukan olah gerak kapal. *Propeller* sendiri digunakan sebagai alat untuk menghasilkan gaya dorong dari daya mesin yang di transmisikan melalui poros. Dengan kata lain *propeller* berfungsi merubah daya mesin menjadi gaya dorong sesuai dengan kecepatan. *Propeller* merupakan bagian mesin untuk mentransmisikan daya dengan mengkonversi putaran menjadi gaya dorong. Perbedaan tekanan dihasilkan pada permukaan depan dan belakang sudut (*blade*). *Propeller* banyak digunakan dalam berbagai bidang industri. Desain *propeller blade* semakin baik dan berkembang dengan bentuknya yang aerodinamis, sehingga menghasilkan gaya dorong yang semakin besar, berdasarkan mekanisme sistem *blade propeller*, ada dua jenis mekanisme yang umum dipakai, yaitu mekanisme tetap yang disebut *Fixed Pitch Propeller (FPP)* dan mekanisme yang dapat mengatur sudut *blade* biasa disebut dengan *Controllable Pitch Propeller (CPP)* atau *Variable Pitch Propeller (VPP)*. Mekanisme *CPP* lebih menguntungkan daripada mekanisme *FPP*, karena pada *CPP* dapat dihasilkan daya dorong yang bervariasi dengan putaran *propeller* yang konstan. (Gumoto, 2012).

2.1.1 Fixed Pitch Propeller (FPP)

Fixed Pitch Propeller adalah *propeller* yang umum digunakan dan diproduksi selama bertahun-tahun di dunia maritim baik dalam bentuk *mono-blok* atau *built-up*. Pembuatan model *FPP* yaitu dengan cara dicetak dalam satu *blok* sehingga posisi *propeller* dan *pitch propeller* adalah tetap, dengan *pitch* yang tidak dapat diubah fungsinya, terdapat dua jenis bentuk *FPP* yaitu *propeller mono blok* dan *built up*. Bentuk *mono-blok* pada umumnya sering digunakan saat ini daripada *propeller built-up* (*blade* dibuat terpisah dari bos dan kemudian dibaut).

Bahan pembuatan jenis *FPP* bervariasi dalam ukuran dan desain. Untuk *propeller* ukuran besar dengan diameter yang sudah ditentukan, sering menggunakan bahan *non-ferrous*, sedangkan jenis bahan yang paling diminati adalah kuningan dan *nikel-*



aluminium bronze. Akan tetapi dahulu *stainless steel* menjadi bahan terbatas sedangkan *cast iron* menjadi bahan yang umum dipakai untuk *propeller*, kini jarang digunakan lagi. Sebagai alternatif untuk bahan *propeller* ukuran kecil sering dibuat dari *polimer*, *aluminium*, *nilon*, dan sekarang ini digunakan komposit serat *karbon*. Kapal yang tidak membutuhkan kemampuan *manuver* biasanya menggunakan *propeller FPP* ini seperti *container*, *bulk carrier* dan beberapa jenis kapal lainnya. Kelebihan dari *FPP (fixed pitch propeller)* ini adalah harganya yang ekonomis dibandingkan dengan jenis *propeller* lainnya serta perawatannya yang *simple* dan tidak menimbulkan risiko yang berlebihan.

2.1.2 Controllable Pitch Propeller (CPP)

Controllable Pitch Propeller adalah *propeller* yang dapat mengubah serta mengatur *pitch propellernya*. *Pitch* adalah jarak aksial yang didapat oleh *propeller* pada satu kali putaran penuh. Pada prinsipnya, pengertian *pitch* pada *propeller* jika di katagorikan sama dengan *gear* pada kendaraan roda empat. Daun *propeller* dengan sudut kecil akan menggerakkan kapal dengan lambat pada setiap putarannya. Hal tersebut membutuhkan daya rendah untuk menggerakkan *propeller*. Sebaliknya pada daun *propeller* dengan sudut besar. *Propeller* akan menggerakkan kapal dengan cepat pada setiap putarannya. Dikarenakan membutuhkan daya besar untuk menggerakkan *propeller*. Prinsip kerjanya menggunakan sistem hidrolis dengan mengalirkan fluida pada suatu rumah yang terletak di bos baling-baling, rumah tersebut terdapat rotor yang terhubung dengan daun *propeller*, sehingga jika fluida mengalir maju maka akan mendorong sirip pemisah pada rotor serta mendorong sehingga memutar daun *propeller* dengan sudut tertentu, jika arah aliran fluida dibalik daun *propeller* akan berputar kearah sebaliknya. Pengoperasiannya dapat dilakukan dengan dua sistem yaitu sistem *pull-push rod* dan *hub piston*. Pada sistem *pull-push rod* menggunakan batang panjang yang terhubung dari poros kapal menuju *hub propeller*. Sedangkan pada *hub piston* batang piston diletakkan pada *hub propeller*.



2.2 Geometri Propeller

Permukaan *propeller* yang menghadap ke belakang disebut sisi muka (*face*) atau sisi tekanan tinggi, sedangkan sisi sebaliknya disebut belakang (*back*) atau sisi tekanan rendah.

Bentuk sisi pada tekanan tinggi yang paling sederhana adalah bentuk permukaan yang spiral (*helicoidal surface*). Bentuk ini didefinisikan sebagai permukaan sebuah garis lurus, disebut *generatriks* atau garis *generator* (*generatrix*, atau *generator line*) yang mengelilingi suatu sumbu melalui salah satu ujungnya serta bergerak ke sepanjang sumbu tersebut. Jarak aksial yang ditempuh dalam tiap kisaran disebut jarak ulir P (*pitch*). Jika langkah ulir tersebut tetap maka berarti bahwa P untuk semua jari-jari dalam *propeller* itu sama.

2.3 Hidrodinamika Propeller

Dalam membuat pembentukan dasar *propeller* membutuhkan bentuk yang hidrodinamis atau bisa disebut hidrofoil yang dimana menghasilkan suatu *lift* lebih besar daripada *drag*. Pergerakan hidrofoil terjadi pada fluida dengan aliran kecepatan yang memungkinkan terjadinya hidrodinamika.

Hidrodinamika adalah dimana kecepatan antara bagian atas dan bawah hidrofoil terdapat perbedaan. Fluida yang melewati bagian atas (*airfoil*) melaju cepat dibandingkan fluida bagian bawah. Hal ini disebabkan perbedaan suatu tekanan antara laju aliran fluida. Seperti yang kita ketahui bahwa besar tekanan berbanding terbalik terhadap besar kecepatan. Sehingga aliran fluida bagian bawah *hidrofoil* lebih lambat dari bagian atas *hidrofoil*, perbedaan tekanan inilah yang kemudian menimbulkan fenomena lift atau gaya angkat itu.

2.4 Momentum Propeller

Teori momentum *propeller* kapal ini menganggap bahwa *propeller* sebagai alat untuk mempercepat pindahnya air sampai ketempatnya didepan daun baling-baling (dibelakang kapal). Air akan mengalami percepatan aksial dan menimbulkan slip dengan kecepatan ke arah belakang kapal akibat berputarnya *propeller* dengan letaknya yang condong. Reaksi yang terjadi akibat percepatan air kebelakang menimbulkan gaya



dorong. Air akan mengalami perlambatan yang teratur akibat gaya dari *viskositas* air setelah melalui *propeller*. Hal ini menyebabkan tenaga *propeller* terbuang sehingga ada kehilangan tenaga. Berikut yang menyebabkan tenaga di *propeller* hilang:

- Tahanan akibat gesekan daun baling-baling
- Baling-baling memberi putaran pada arus *slip* untuk mempercepat air.

Pernyataan efisiensi pada *propeller* ini sebagai perbandingan kerja yang berguna untuk menggerakkan kapal yang diberikan *propeller*. Dengan adanya percepatan air yang terdorong ke belakang kapal menyebabkan efisiensi. Bisa dikatakan air tidak dipercepat yang menyebabkan tidak ada gaya dorong yang diberikan oleh *propeller* pada kapal. Kemungkinan memperkecil percepatan arus slip dapat memperbesar efisiensi. Hal ini dapat dilakukan dengan memakai ukuran *propeller* berdiameter besar dengan putaran lambat. Jika dari segi teori momentum, *propeller* disamakan dengan jenis propulsi jet karena arus slip yang dipercepat kebelakang merupakan arus jet.

2.5 Computational Fluid Dynamics

Program *CFD* yang digunakan sebagai sarana untuk membantu konfigurasi bentuk *podded propeller* yang akan di analisa. Selanjutnya modifikasi bentuk, dimensi dan konfigurasi model. Dari simulasi ini nantinya akan diperoleh data yang kemudian dianalisa lebih lanjut sehingga hasil akhirnya dapat diperoleh.

2.5.1 Persamaan Dasar Dinamika CFD

Persamaan dasar yang digunakan pada *CFD* merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan tersebut merupakan pernyataan matematis dari tiga prinsip dasar fisika sebagai berikut:

- 1) Hukum kekekalan massa.
- 2) Hukum kedua newton.
- 3) Hukum kekekalan energi.

Untuk menemukan persamaan dari gerak fluida dapat menggunakan prinsip-prinsip sebagai berikut:



- 1) Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton dan hukum kekekalan energi).
- 2) Menetapkan prinsip-prinsip fisika tersebut dalam pemodelan aliran.
- 3) Pada penerapan ini, dapat diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika.

2.5.2 Teori Dinamika Fluida

Computational Fluid Dynamics (CFD), merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan dengan aliran fluida.

Tujuan dari *CFD* adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu dan semua fenomena di atas. Pada bidang industri dan non-industri teknik ini berguna dan dapat diaplikasikan. Ada beberapa keuntungan dari pendekatan eksperimen *CFD* untuk desain sistem fluida antara lain:

- 1) Meminimalisir biaya dan waktu dalam membuat desain, jika proses desain tersebut dilakukan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- 2) Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit dilakukan melalui eksperimen.
- 3) Memiliki kemampuan sistem studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan)

Aplikasi *CFD* dalam penyelesaian masalah pada aliran telah berkembang pada saat ini. Bahkan Teknik *CFD* merupakan bagian dari proses desain yang akan dirancang dengan diagram spiral. Dengan *CFD* memungkinkan untuk menemukan fenomena aliran fluida yang lebih kompleks dengan akurasi yang berbeda.

Computational Fluid Dynamics merupakan analisa sistem yang terkait aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena lainnya, seperti reaksi kimia dengan



menggunakan simulasi berbasis computer dan *Code CFD* sangat terstruktur atas logaritma numerik. Teknik ini dapat diaplikasikan pada bidang industry dan non-industry.

Dalam design kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan kedalam software *CFD* dengan menggambarkan model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam solver problem akan dihitung dengan pendekatan persamaan Navier Stroke. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil output dari running program *CFD*. *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

1) Pre-Processor

Pre-processor merupakan tahap awal yang mencakup permasalahan aliran pada program *CFD* dan transformasi dari permasalahan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan berdasarkan aturan *software*, meliputi:

- Membentuk geometri dan sekeliling benda sebagai domain.
- Membentuk *Grid Generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian kecil (*sub-domain*)
- Menentukan sifat fluida, seperti pendefinisian nilai viskositas, temperature dan lainnya.
- Menentukan fenomena dari model
- Menentukan batas kondisi geometri, lokasi pembuatan kondisi batas ditentukan pada daerah sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
- Menentukan *grid (mesh)*

Analisa dalam masalah suatu aliran yang berupa kecepatan serta tekanan pada temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah simpul pada setiap *cell*, jumlah *cell* yang terbentuk pada *grid (mesh)* akan menentukan akurasi dalam penyelesaian *CFD*. Pada umumnya banyaknya *cell* yang terbentuk maka akan semakin akurat penyelesaiannya. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses meshing dilakukan dengan sangat halus, sedangkan daerah yang lain dilakukan sebaliknya.



2) Solver Manager

Solver dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume*. *Boundary condition inlet* adalah input kondisi aliran fluida normal tanpa adanya fenomena yang terjadi.

- Massa dan Momentum

Momentum aliran fluida yang dipengaruhi oleh massa yang dan kecepatan dengan vector kecepatan U , V dan W arah yang diambil terhadap *boundary* adalah arah normal terhadap domain. Kecepatan Aliran (*Cartesien Velocity Vector*) adalah dengan resultan:

$$U_{\text{inlet}} = U_{\text{spec}}^i + V_{\text{spec}}^i + W_{\text{spec}}^k$$

- Tekanan Total

Tekanan total, plot untuk fluida didefinisikan sebagai:

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{static}}$$

- Kecepatan Laju Aliran Massa

Batas laju aliran massa, ditentukan sepanjang aliran pada komponen dimana *influx* massa dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\rho U = m / \int_s Da$$

Boundary Condition Outlet

- Kecepatan Outlet

Komponen kecepatan *outlet boundary* adalah komponen *cartesian velocity vector*.

$$U_{\text{inlet}} = U_{\text{spec}}^i + V_{\text{spec}}^i + W_{\text{spec}}^k$$

- Tekanan Outlet Fluida

Tekanan outlet fluida adalah tekanan sperubahan tekanan yang terjadi ditambah tekanan static inlet.

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{static}} + \frac{1}{2} \rho U^2$$

Boundary Condition Wall

- Tekanan Statis Rata-Rata



Walk Relative Static Pressure adalah:

$$P_{av} = P_d A \int P_d A$$

- Mass Flow Rate Out

Massa di daerah *wall* ditentukan berat massa aliran:

$m = \rho A$, dimana nilai F dihitung sehingga $M_{tot} = \sum_{all} m$ Dan gaya adalah jumlah dari seluruh aliran massa pada *wall boundary*. Sehingga F dapat digunakan sebagai berikut:

$$F = P_d A$$

- Heat Transfer

Perpindahan panas *adiabatic* pada *wall boundary* kapal yang diakibatkan energi panas yang begitu kecil terhadap nilai lift sehingga:

$$Q_{wall} = 0$$

3) Post Processor

Pada tahap ini akan memperlihatkan hasil perhitungan pada tahap sebelumnya. Hasil perhitungan dari beberapa data numerik dan data visualisasi aliran pada model dapat dilihat. Data numerik yang diambil adalah data nilai variable sifat fluida, berikut data sifat fluida yang dapat diambil:

- *Density*
- *Density Viscosity*
- *Eddy Viscosity*
- *Heat Transfer Coefficient*
- *Mach Number*
- *Pressure*
- *Pressure Gradient*
- *Shear Strain Rate*
- *Specific Capacity Heat Transfer Rate*
- *Static Entalpy*
- *Temperature*
- *Thermal Conductivity*
- *Total Entalpy*



- *Total Temperatur*
- *Total Pressure*
- *Turbulence Kinetic Energy*
- *Velocity*
- *Wall Heat Flux*
- *Wall Shear*
- *Yplus*
- *Coordinate*

Data numerik yang diperlihatkan pada *post processor* adalah sebagai berikut:

- *Data export*
- *Quantitative Calculation*

Dan data visualisasi model yang diperlihatkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- Gambar geometri model
- Gambar surface sifat fluida
- Animasi aliran fluida
- Tampilan *vector* kecepatan
- Gesekan rotasi, translasi dan penyekatan
- Arah aliran fluida
- *Hardcopy output*

Dalam proses *set-up* dan running simulasi *CFD*, ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma (AEA Technology Deby, 2007), yaitu:

1. Konvergensi adalah properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang tepat seperti *grid spacing*, ukuran *control volume* atau ukuran elemen



dikurangi menjadi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit diperoleh secara teoritis. Untuk kondisi, persamaan *Lax* menyatakan bahwa untuk masalah linier diperlukan konvergensi.

2. Konsistensi yaitu urutan numerik yang menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperhatikan sama (*equivalely*) dengan persamaan pengendali sebagai jarak *grid* mendekati nol.
3. Stabilitas yaitu penggunaan factor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan path data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau *devergensis*.

CFD memberikan hasil yang *real* dengan akurasi pada path simulasi dengan *cell* pada grid yang berhingga. Ada sifat umum perhitungan *finite volume*, yaitu *Conservativeness*, *Boundedness* dan *Transportiveness*. Sifat tersebut didesain menjadi bagian berhingga yang dapat ditunjukkan untuk keberhasilan simulasi *CFD*. Disamping itu sifat-sifat *finite volume* umumnya digunakan sebagai konsep matematik yang akurat (seacara alternatif). Numerik sendiri memiliki sifat *convervativeness* yang dapat mempertahankan kedekatan sifat-sfiat fluida secara menyeluruh untuk domain penyelesaian. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekentalan property fluida *CFD* untuk pada setiap control volume. Proses aliran terdiri dari konveksi dan difusi. Proses aliran tersebut dapat dihitung dari pengaruh arah pada bagian *finite volume*, yaitu *transportiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik.

