

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *Oil Tanker*

Kapal *Oil Tanker* merupakan salah satu jenis kapal niaga yang dipergunakan untuk mengangkut berupa cairan dan berbagai macam jenis minyak, baik minyak matang maupun minyak mentah, cairan kimia sampai macam jenis cairan lainnya. Pengangkutan minyak tersebut dapat dilakukan didarat hingga di laut (*offshore*) dalam skala besar. Terdapat banyak kilang minyak pengolahan di Indonesia yang pembuatannya di lautan (*offshore*) antara lain di beberapa tempat seperti dilaut Jawa. Indonesia memiliki banyak fasilitas pengolahan minyak yang mengoperasikan kapal oil tanker sebagai sarana distribusi dari sumber lepas pantai menuju daratan untuk proses pemurnian dan produksi lebih lanjut. Selain untuk mengangkut muatan dari kilang minyak, kapal tersebut juga mengangkut cairan kimia yang perlu dikirim dalam berbagai tempat melalui jalur lautan. Pengiriman memanfaatkan fasilitas dengan transportasi berupa kapal *Oil Tanker*. Kapal *Oil Tanker* diharuskan dilengkapi dengan sistem keselamatan yang lengkap dengan menyesuaikan standar yang berlaku. Hal tersebut dilakukan dikarenakan kapal *Oil Tanker* mempinyai muatan yang sangat berbahaya untuk lingkungan sekaligus manusia sendiri jika terjadi kebocoran pada badan kapal maka akan berakibat fatal terhadap laut dan lingkungan sekitar.

Secara garis besar terdapat tiga jenis kapal *Oil Tanker* antara lain, *Product Tanker* yaitu kapal yang difungsikan untuk mengangkut minyak hasil produk minyak mentah yang berasal dari kilang pengolahan menjadi minyak matang seperti solar, bensin, minyak tanah dan lain sebagainya. *Crude Tanker* adalah jenis kapal yang berfungsi untuk mengangkut minyak mentah yang nantinya akan diolah lagi di daratan, dan *Chemical Tanker* yaitu jenis kapal yang difungsikan untuk mengangkut bahan kimia cair yang bersifat curah.

Ukuran kapal *Oil Tanker* sangat variatif mengingat jenis muatan dan banyaknya volume muatan yang dimiliki berbeda-beda, tentunya akan memiliki ukuran dan jenis Tanker yang berbeda. Sehingga demikian dalam pengoperasian serta desain konstruksinya berbeda, semua itu bertujuan agar kapal dapat

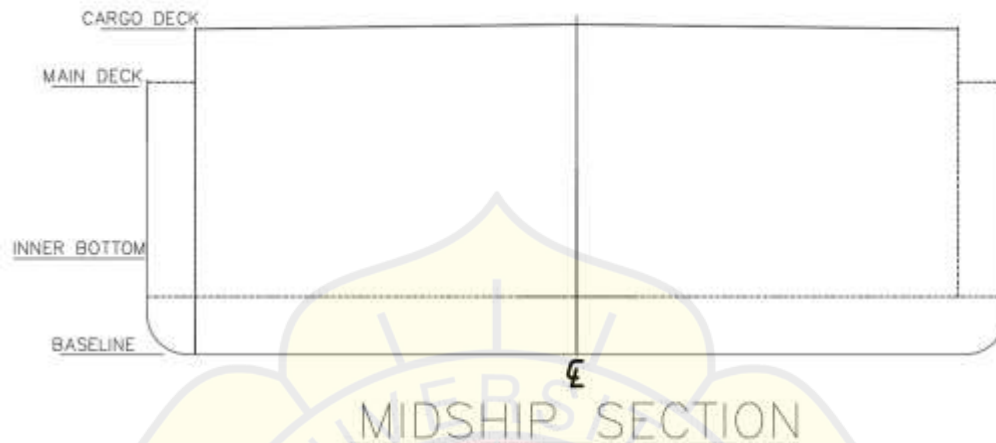
berfungsi sesuai dengan kebutuhannya. Adapun beberapa golongan dan ukuran kapal *Oil Tanker* yang saat ini banyak dioperasikan seperti, *General purpose tanker* yang dimana memiliki fungsi untuk mengangkut *refined product* dan memiliki bobot 10.000 MT sampai dengan 25.000 MT, *Thandysize tanker*, memiliki fungsi untuk mengangkut muatan yang sama seperti *General purpose tanker* akan tetapi memiliki perbedaan pada volume muatannya yang lebih besar yaitu 25.000 MT sampai dengan 40.000 MT DWT, *Medium range tanker* atau dapat disebut juga dengan MR Tanker jenis kapal pengangkut pengangkut produk hasil penyulingan (*refined product*) dengan kapasitas sebanyak 40.000 MT sampai dengan 55.000 MT DWT, *Very large crude carriers* merupakan jenis tanker yang memiliki bobot mati 160.000 ton hingga 300.000 ton, tanker jenis ini digunakan untuk membawa *crude oil*, dan *Ultra large crude carriers* merupakan kapal yang juga difungsikan untuk mengangkut *crude oil* dengan bobot matinya 300.000 ton.

2.2 Karakteristik Kapal *Oil Tanker*

Kapal *Oil Tanker* mempunyai karakteristik yang berbeda dengan jenis kapal lainnya, yaitu adanya penggunaan sistem konstruksi *Segregated Ballast Tank* dan sistem konstruksi *doublehull* pada lambung kapal. *Segregated Ballast Tank* merupakan sistem konstruksi tangki *ballast* yang dirancang secara terpisah dengan tangki muatan dan tangki bahan bakar, sedangkan sistem konstruksi *doublehull* merupakan sistem konstruksi dengan dua lapisan lambung kapal, lapisan pertama disebut dengan *Outer Shell* dan lapisan ke dua disebut dengan *Inner Shell*, sistem ini dapat dikenal dengan istilah *Wing Tank*. Adapun tujuan dari adanya sistem konstruksi *doublehull* adalah untuk melindungi secara keseluruhan pada tangki minyak ruang muat.

Mengingat muatan kapal *Oil Tanker* yang diangkut berupa minyak, yang dimana minyak muatan tersebut akan berdampak besar apabila terjadi kebocoran sehingga dampak tersebut akan mencemari lingkungan pada lautan dan disekitarnya. Hal inilah yang menjadi dasar ditetapkannya peraturan yang mengharuskan bahwa *Oil Tanker* diwajibkan menggunakan sistim konstruksi *doublehull* serta *Segregated Ballast Tank* sebagaimana yang telah diatur dalam

peraturan MARPOL 73 Annex I yaitu berisi tentang perlindungan pencemaran laut yang telah diatur dalam regulasi peraturan sistem *doublehull* dan *Segregated Ballast Tank*. Berikut merupakan sketsa untuk menggambarkan suatu sistem konstruksi *doublehull* pada kapal *Oil Tanker* yang terdapat pada gambar 2.1:



(Sumber: Data Pribadi)

2.1 Sistem *Doublehull* Pada Kapal *Oil Tanker*

Adapun beberapa hal yang terdapat pada regulasi MARPOL 73 (Annex I., 1996) yang melatarbelakangi dalam ditetapkannya penggunaan sistem *doublehull* dalam pembangunan kapal tanker yaitu antara lain:

1. Seluruh tangki muatan diharuskan terlindungi oleh tangki *ballast* atau tangki berjarak antara ruang muat dengan lambung terluar kapal atau yang biasa disebut dengan *wing tank*. *Wing tank* harus dipastikan untuk dapat mengcover dari pada tangki muatan / *cargo oil tank*.
2. Adanya *Segregation Ballast Tank* juga dapat difungsikan untuk mengurangi tekanan lentur lambung kapal secara memanjang.
3. Terdapat sumur hisap atau *suction well* di dalam tangki muat yang berfungsi untuk mengumpulkan sisa muatan yang tidak dapat dihisap oleh pipa besar *cargo* yang kemudian akan dihisap oleh pipa *stripping* untuk memaksimalkan dalam penghisapan minyak muatan.
4. Pipa *ballast* dan perpipaan lainnya seperti pipa *sounding* dan pipa ventilasi tangki *ballast* tidak boleh melewati tangki kargo. Perpipaan kargo dan perpipaan

serupa ke tangki kargo tidak boleh melewati tangki pemberat. Pengecualian untuk ini persyaratan dapat diberikan untuk perpipaan jangka pendek, asalkan mereka sepenuhnya dilas atau setara.

5. Kapal *Oil Tanker* juga dilengkapi dengan *equipment* yang disebut dengan *Oil Discharge Monitoring Equipment* (ODME), adanya *equipment* tersebut dilatarbelakangi dengan diterapkannya tindakan pencegahan adanya pencemaran laut yang diatur dalam regulasi Annex I bahwa kapal *Oil Tanker* harus memiliki *equipment* berupa kontrol alat untuk monitoring / pengawasan terhadap buangan yang air berminyak. Secara prinsip *Oil Discharge Monitoring Equipment* memiliki fungsi untuk mendeteksi adanya densitas buangan air yang berminyak melalui sensor, kemudian buangan tersebut akan dikeluarkan melalui *overboard* jika densitas tidak melebihi dari 15 ppm, jika lebih maka akan dimasukkan ke dalam *Slop Tank*.

6. *Slop Tank*, merupakan tangki yang harus dimiliki oleh kapal *Oil Tanker* yang dimana tangki tersebut berfungsi sebagai penampungan sisa minyak yang bercampur dengan air *ballast* kotor dan air cucian dari tangki yang bercampur dengan minyak. Adapun kapasitas tangki ini memiliki standar yaitu minimum 3% dari kapasitas angkutan, kecuali kapal ini telah dilengkapi dengan sistem *Segregated Ballast tank*, maka kapasitas dikurangi menjadi 2%.

Selain menggunakan system *doubleskin*, kapal *Oil Tanker* memiliki karakteristik umum, yaitu memiliki ukuran lambung kapal yang besar dan tentunya memiliki koefisien blok yang besar, Rute pelayaran antarnegara biasanya didominasi oleh armada dengan koefisien lambung yang tinggi. Hal tersebut dimaksudkan agar kapal memiliki daya muat maksimal guna meningkatkan efektivitas distribusi logistik lintas negara. Kapal tanker juga memiliki luasan *paralell middle body* yang cenderung panjang dari pada kapal lainnya. *Parallel middle body* merupakan area lambung kapal yang memiliki lebar dan bentuk yang sama dengan bagian *midship* kapal. Semakin panjang *parallel middle body* suatu kapal maka semakin banyak muatan yang dapat diangkut oleh kapal tanker.

Karakteristik lain yang dimiliki kapal tanker adalah memiliki kecepatan yang kecil, karena dalam kegunaannya kapal tanker akan berfokus pada jumlah

muatan yang diangkut, tidak cepatnya waktu pelayaran, dan dengan bentuk lambung yang besar kapal sulit untuk beroperasi dengan kecepatan tinggi. Terkait dengan kecepatan yang ditetapkan, kapal tanker hanya berpaku dengan kecepatan kontrak dari desain kecepatan yang telah ditetapkan pada pembangunan kapal baru.

2.3 *Skeg*

Skeg adalah konstruksi pelat profil yang terpasang secara vertikal pada *body* kapal yang bertujuan untuk mengurangi hambatan fluida sekaligus untuk memberikan pengaruh stabilitas pada kapal. Adapun *skeg* menurut (Dwitara et al., 2013) merupakan salah satu modifikasi konstruksi yang diberikan pada area buritan kapal semacam sirip yang memiliki tujuan untuk membantu fluida mengalir agar lebih halus melewati lambung kapal. Secara umum *skeg* terbagi menjadi dua jenis, pertama adalah jenis *inboard skeg* yang dimana *skeg* tersebut ditempatkan dengan poros *propeller*, *skeg* pada jenis ini memiliki dua fungsi yaitu untuk menyangga dan melindungi *shaft*, juga untuk mempermudah aliran fluida. Yang kedua adalah jenis *skeg* yang ditempatkan diluar konstruksi (*outter skeg*), *skeg* ini akan lebih efektif dalam mengatur aliran *fluid* agar lebih halus menuju baling - baling.

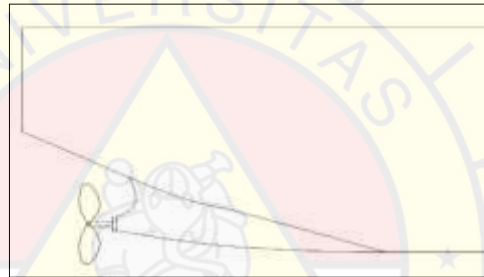
Skeg sangat berpengaruh terhadap aliran fluida dikarenakan adanya pengurangan arus ikut atau *wake* yang berhubungan dengan efisiensi kecepatan kapal. Oleh karena itu semakin tinggi arus ikut / *wake* yang diterima oleh badan kapal maka semakin besar nilai hambatan terhadap kapal dan jika semakin besar hambatan kapal maka akan berpengaruh pada kecepatan kapal. Dengan adanya konstruksi *skeg* pada kapal diharapkan kapal akan menerima hambatan yang lebih kecil yang dimana *skeg* tersebut dapat membantu aliran fluida menjadi lebih halus melewati badan kapal.

Perencanaan model *skeg* diharuskan memiliki perencanaan yang bagus karena jika tidak sesuai maka justru akan menghambat kinerja baling-baling. Menurut (Widodo, 2018) dalam jurnal yang berjudul analisis studi variasi model *skeg* berdasarkan tahanan dan pola aliran, untuk memilih model *skeg* yang

optimal, tidak hanya menganalisis dari sisi hambatan kapal namun perlu melihat dari segi pola aliran yang ditimbulkan, karena dapat berpengaruh terhadap kinerja *propeller* kapal. Oleh karena itu untuk menunjang gaya dorong pada *propeller* maka pemilihan *propeller* harus tepat agar nilai gaya dorong sebanding ataupun lebih besar dari pada gaya hambat sehingga demikian, kapal akan mencapai kecepatan yang diinginkan atau direncanakan.

2.3.1 Macam - Macam Model *Skeg*

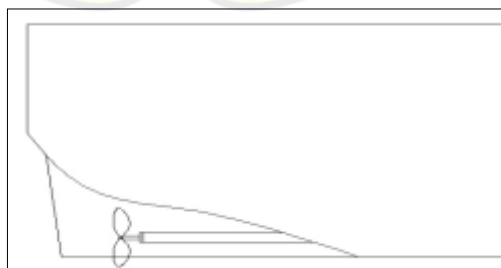
Dalam pengaplikasiannya, model *skeg* tidak hanya berbentuk lurus membujur terhadap lambung (konvensional), akan tetapi terdapat bentuk variasi *skeg* yang bersudut untuk mendapatkan aliran fluida yang diinginkan atau direncanakan. (Dwitara et al., 2013). Berikut merupakan beberapa contoh variasi model konstruksi *skeg* yang dipakai pada kapal:



(Sumber: data pribadi)

Gambar 2.2 Model *Inboard Skeg*

Model *skeg* ini termasuk dalam tipe *inboard skeg* yang dimana *skeg* tersebut menyatu pada *stern tube* kapal dan berfungsi untuk menyangga *shaft* agar lebih kuat terutama pada saat *propeller* berputar serta dapat melindungi *shaft* itu sendiri. Jenis *skeg* model ini dapat ditemui pada kapal – kapal berukuran medium sampai dengan besar, seperti *bulk carrier*, *cargo ship*, *tugboat*, dan *oil tanker*.



(Sumber: data pribadi)

Gambar 2.3 Model *Outboard Skeg*

Model *skeg* ini termasuk dalam *outboard skeg*, namun berbeda dengan model yang sebelumnya, *skeg* ini diaplikasikan diantara tengah - tengah *propeller* yang memanjang searah dengan kapal. Model *skeg* tersebut biasanya dapat ditemukan pada kapal yang memiliki dua *propeller* kanan dan kiri.

2.3.2 Pengaruh *Skeg* Terhadap Kapal

Selain *skeg* bertujuan untuk membentuk aliran fluida menjadi lebih *smooth*, *skeg* juga dapat berpengaruh pada beberapa faktor, yaitu berikut merupakan beberapa analisis kapal akibat adanya pengaruh konstruksi *skeg* adalah sebagai berikut:

- a. Menurut (Santoso, n.d.) perubahan konstruksi *skeg* dapat mempengaruhi kinerja kapal terutama pada item propulsi kapal. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan bahwa akibat perubahan konstruksi *skeg* akan mempengaruhi perubahan dimensi *propeller*, pada penelitian tersebut telah ditentukan spesifikasi *propeller* yang harus digunakan melalui analisisnya, sehingga *propeller* tersebut dapat meningkatkan gaya dorong dan kinerja kapal menjadi lebih optimal. Pengurangan arus ikut akan menambah kecepatan *advance* yang akan meningkatkan efisiensi *propeller*. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan *skeg* dapat mempengaruhi kinerja *propeller* dan dianalisis penggunaan *propeller* untuk menunjang gaya dorong kapal yang berpengaruh pada kecepatan kapal.
- b. (Avicenna & Utama, 2016), Menjelaskan bahwa *skeg* dalam bahasa yang lebih umum *skeg* biasa disebut *vertical stabilizer* atau stabilisator vertikal. Hal ini *skeg* dapat berpengaruh pada stabilitas dan olah gerak kapal dengan menjaga kondisi kapal tetap stabil atau tidak terjadi *yawing*. Fenomena tersebut terjadi karena *skeg* berfungsi mengarahkan aliran fluida pada area buritan, sehingga stabilitas arah kapal tetap terjaga sesuai dengan lintasan yang diinginkan.
- c. Dalam penelitian pada (Masroeri et al., 2015) dijelaskan bahwa *skeg* dapat mempengaruhi kinerja kemampuan manuver kapal terutama pada kemampuan *turning* manuver, yang dimana *skeg* mengakibatkan semakin bertambahnya besar diameter taktis yang dibutuhkan untuk kapal melakukan gerak memutar sehingga

kondisi ini sangat tidak menguntungkan dalam hal kemampuan manuver, terutama pada perairan terbatas.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengembangan skeg terkontrol guna mengoptimalkan kemampuan manuver (turning ability) pada kapal cepat. Melalui serangkaian pengujian belok dengan memvariasikan sudut defleksi skeg, hasil studi menunjukkan bahwa penerapan skeg terkontrol efektif dalam meningkatkan performa olah gerak kapal tersebut.

2.4 Teori Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah besaran gaya yang diterima oleh kapal yang bekerja searah dengan lajunya kapal. Sedangkan tenaga yang diperlukan untuk melewati arus disebut dengan *effective power*. Ketika sebuah kapal ditarik, akan muncul gaya yang berlawanan dengan arah tarikan yang didefinisikan sebagai hambatan (resistance). Hambatan ini secara umum dinotasikan dengan simbol R , sementara akumulasi dari seluruh komponen hambatan yang bekerja pada kapal disebut sebagai hambatan total dan dinotasikan dengan RT .

Hambatan kapal adalah suatu komponen penting dalam perhitungan untuk membuat suatu kapal. Pengaruh hambatan pada kapal dapat mengakibatkan berbagai macam hal, salah satunya adalah penurunan kecepatan dan efisiensi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan khusus untuk tahanan. (Putra, 2018)

Pada dasarnya besar hambatan tersebut tidak hanya disebabkan oleh faktor luar seperti fluida dan udara, tetapi hal itu juga disebabkan oleh berbagai faktor seperti perencanaan model bentuk kapal sehingga mampu menghasilkan hambatan seefektif mungkin.

Berdasarkan (*International Towing Tank Conferences*, 2002) terdapat beberapa jenis hambatan yang bekerja pada kapal, antara lain adalah:

1. Hambatan Gesek / *Resistance Frictional* (R_f)

Hambatan gesek merupakan hambatan yang berpengaruh dari ukuran area basah pada lambung kapal dan pada koefisien tahanan gesek (C_f). Hambatan gesek mewakili sebagian besar tahanan kapal sekitar 70-90% dari hambatan total kapal untuk kapal dengan kecepatan rendah seperti kapal tanker.

2. Hambatan Sisa (R_r)

Hambatan sisa (residual resistance) merupakan akumulasi dari hambatan gelombang dan hambatan eddy. Hambatan gelombang timbul akibat perbedaan tekanan fluida pada badan kapal yang memicu terbentuknya sistem gelombang saat kapal beroperasi. Sementara itu, hambatan eddy terjadi karena adanya turbulensi atau pusaran air di area buritan akibat bentuk lambung yang kurang aerodinamis (streamline). Untuk kapal berkecepatan rendah, nilai hambatan sisa ini diperkirakan berkontribusi sebesar 8% hingga 25% dari total hambatan kapal.

3. Hambatan Udara / *Air Resistance*

Hambatan udara merupakan hambatan yang disebabkan oleh udara ketika kapal beroperasi, tetapi nilai daripada hambatan udara biasanya sangat kecil, dikarenakan massa jenis udara yang relatif kecil dibandingkan dengan massa jenis air air.

Hambatan kapal merupakan parameter krusial dalam perancangan dan pembangunan sebuah armada laut. Besaran hambatan ini secara langsung memengaruhi performa kapal, terutama terkait penurunan kecepatan serta efisiensi operasional. Oleh karena itu, diperlukan analisis perhitungan hambatan yang komprehensif untuk menjamin akurasi data. Seiring kemajuan teknologi dalam beberapa tahun terakhir, metode kalkulasi hambatan terus berkembang guna menghasilkan nilai yang lebih presisi, mengingat pengaruhnya yang signifikan terhadap aspek stabilitas dan kecepatan kapal. Beberapa metode diantaranya, *traditional and standard series, regression methods, direct model test*, dan yang terbaru adalah *Computational Fluid Dynamics (CFD)* (Putra, 2018).

Metode regresi adalah metode penghitungan tahanan yang digunakan pertama kali oleh Holtrop. Metode perhitungan tahanan kapal jenis regresi ini berdasarkan regresi statistik dari hasil beberapa percobaan kapal dalam beberapa tahun.

2.5 Gaya Dorong Kapal (*Thrust*)

Seperti yang telah diketahui kapal pada saat beroperasi mengalami gerakan maju, gerakan tersebut terdapat daya dorong yang dihasilkan oleh kapal

untuk dapat bergerak maju. Faktor utama penghasil gaya dorong adalah baling-baling atau *propeller* yang terpasang pada kapal. *Thrust* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh gaya angkat / *lift* terhadap aliran yang berada pada area belakang baling - baling dan bergerak maju searah dengan gerakan kapal (Guntur, 2008). Beberapa hal yang harus diperhatikan pada desain *propeller* untuk mendapatkan nilai *thrust* maksimal adalah diameter *propeller*, jumlah daun *propeller*, dan sudut *rake*. Pada pengujian desain *propeller* sebaiknya ditinjau pada diameter *propeller*, jumlah daun dan sudut *rake propeller*. Pada intinya adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* harus mampu melawan hambatan total yang bekerja pada kapal.

2.5.1 Baling - Baling (*Propeller*)

Propeller atau baling – baling merupakan salah satu bagian dari item penggerak kapal yang digunakan untuk menghasilkan gaya dorong / *thrust* yang bersumber dari mesin utama kapal kemudian ditransmisikan pada mesin *gearbox* yang menghasilkan putaran (*rpm*) yang selanjutnya diteruskan oleh poros *propeller* kapal itu sendiri.

Berikut merupakan jenis-jenis *propeller* menurut informasi / pengertian yang diperoleh dari *website* <https://www.maritimeworld.web.id/2011/04/macam-macam-jenis-propelerbaling.html> pada tanggal akses 19 september 2022 tentang macam - macam jenis *propeller* adalah sebagai berikut:

- a. *Propeller* dengan *pitch* tetap (*fixed pitch propeller*) Penggunaan propeler jenis ini ditujukan bagi kapal berukuran besar dengan karakteristik operasional RPM rendah dan torsi tinggi. Implementasi tipe ini mendukung aspek ekonomi melalui penghematan bahan bakar, serta mampu mereduksi gangguan kebisingan dan getaran secara signifikan. Melalui pendekatan desain yang bersifat spesifik (*customized*) untuk setiap unit kapal, propeler ini dirancang untuk menghasilkan performa efisiensi yang paling optimal.
- b. *Propeller* dengan *pitch* yang dapat berubah (*controllable pitch propellers CPP*) merupakan baling-baling dengan langkah daun *propellernya* dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan, untuk *rpm* rendah biasa digunakan dengan *pitch* yang besar dan *rpm* tinggi digunakan *pitch* yang pendek, atau dapat digunakan untuk

mendorong kedepan dan menarik kapal mundur belakang, sehingga hal ini dapat memperoleh pemakaian bahan bakar seefektif mungkin.

c. *Propeller* yang berpadu dengan *rudder* (*Integrated propeller & rudder*) merupakan *propeller* yang hubnya dihubungkan dengan *rudder*, ini adalah pengembangan terbaru dari propulsi kapal. Kondisi ini menyebabkan arus air dari *propeller* yang melewati *rudder* akan memberikan peningkatan pengendalian dan pengaturan *rudder*, sehingga di peroleh penurunan pemakaian bahan bakar.

d. *Azimuth thruster* digunakan untuk mempermudah kapal dalam manuver, namun pemakan penggerak dengan posisi di bagian, atas sehingga memberi tempat yang lebih lapang untuk menempatkan penggerak utamanya, baik berupa motor diesel ataupun motor listrik.

2.5.2 Nilai Gaya Dorong (*Thrust*)

Nilai *thrust* merupakan suatu nilai gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* kapal. Gaya dorong tersebut didapatkan pada *propeller* yang terpasang pada kapal baik dalam keadaan *open water* maupun tidak. *Open water* atau *thrust identity* merupakan kondisi yang dihitung pada gaya dorong *propeller* saat berada di perairan. Gaya dorong (*thrust*) yang dihasilkan oleh *propeller* harus mampu melawan total gaya hambat yang bekerja pada kapal.

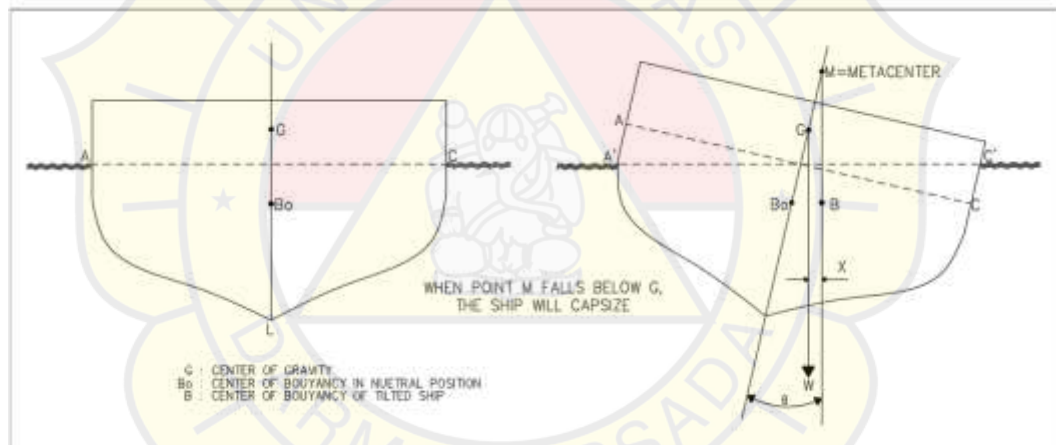
Menurut (Baital et al., 2021) Dalam menentukan nilai *thrust deduction factor* dan *wake fraction*, diasumsikan bahwa gaya dorong yang dihasilkan propeler pada kapal sebanding dengan performa baling-baling pada kondisi *open water* (*thrust identity*). Berdasarkan prinsip tersebut, *thrust deduction factor* dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara selisih gaya dorong dengan hambatan total kapal.

Gaya dorong (*thrust*) yang dihasilkan oleh *propeller* harus mampu melawan total gaya hambat yang bekerja pada kapal. Dengan asumsi bahwa *thrust propeller* minimal memiliki besaran yang sama dengan *thrust* kapal pada kondisi massa jenis air (ρ), koefisien hambatan total (CT) dan luas bidang basah (S) lambung kapal adalah konstan (α) atau berada pada kondisi yang sangat ideal dalam jurnal (Baital et al., 2021).

2.6 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan keseimbangan kapal saat mengalami suatu gaya dari luar dan dari dalam yang menimbulkan kapal itu senget (miring), atau dapat definisikan stabilitas merupakan kecenderungan suatu kapal untuk kembali kepada kedudukan atau posisi semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan oleh gaya dari luar atau dalam (Rubianto, n.d.).

Stabilitas kapal dapat digolongkan dalam 2 jenis stabilitas yaitu, stabilitas melintang kapal dan stabilitas memanjang kapal. Stabilitas melintang merupakan kemampuan kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget dalam arah melintang dan disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada kapal tersebut. Sedangkan stabilitas memanjang kapal, adalah kemampuan kapal untuk Kembali ke posisi semula sewaktu kapal miring dalam arah memanjang dan tentunya disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada kapal tersebut.



(Sumber: Data Pribadi)

Gambar 2.4 Stabilitas Kapal

Stabilitas suatu kapal dipengaruhi oleh letak ketiga titik penting konsentrasi gaya yang bekerja pada kapal tersebut. Ketiga titik tersebut dijelaskan seperti titik B (*Bouyancy*), titik G (*Gravity*) dan titik M adalah (*Metacentre*).

1. Titik Berat Kapal G (*Gravity*)

Titik berat kapal (*center of grafity*) merupakan titik temu dari sebuah titik pusat dari sebuah gaya berat yang menekan ke bawah dan dipengaruhi oleh konstruksi kapal itu sendiri. Gaya titik berat ini adalah tegak lurus kebawah. Titik berat suatu

kapal yang tegak terletak pada bidang simetris kapal yaitu bidang yang dibuat melalui *fore peak*, *After peak*, dan *keel* kapal. Titik berat kapal akan berada pada posisi tetap selama tidak terjadi perubahan distribusi beban, baik berupa penambahan, pengurangan, maupun pergeseran massa di atas kapal. Namun, apabila terjadi penambahan beban, titik berat kapal akan bergeser searah dan sejajar menuju titik berat muatan tersebut. Sebaliknya, proses pengurangan beban akan mengakibatkan titik berat kapal berpindah ke arah yang berlawanan dari posisi massa yang dilepaskan. Bila terdapat penggeseran beban, maka titik berat sebuah kapal akan berpindah searah dan sejajar dengan titik berat dari beban yang digeserkan, titik ini adalah titik yang sangat mempengaruhi stabilitas kapal.

2. Titik apung B (*Bouyancy*)

Titik *center of bouyancy* adalah titik temu dari resultante gaya yang menekan tegak ke atas dari area kapal yang tercelup air. Arah bekerja dari gaya tekan adalah tegak lurus keatas. Kedudukan titik tekan sebuah kapal senantiasa berpindah searah dengan menyengetnya kapal atau kedudukan titik tekan akan berpindah kearah kanan apabila kapal menyenget ke kanan dan akan berpindah ke kiri apabila kapal menyenget ke kiri, sebab titik berat bagian kapal yang tercelup berpindah-pindah sesuai dengan arah sengetnya kapal. Jadi dengan berpindah-pindahnya posisi titik tekan sebuah kapal sebagai akibat menyengetnya kapal tersebut akan membawa akibat berubahnya stabilitas kapal tersebut.

3. Titik metasentra M (*Metacentre*)

Titik metasentrum merupakan sebuah titik dari batas dimana G tidak dapat melewati di atasnya agar kapal selalu mempunyai stabilitas yang positif. Titik Metasentrum suatu kapal dengan sudut-sudut senget kecil terletak pada perpotongan garis sumbu dan, arah garis gaya tekan keatas sewaktu kapal menyenget. Untuk sudut-sudut senget kecil kedudukan Metasentrum dianggap tetap, sekalipun sebenarnya kedudukan titik itu berubah-ubah sesuai dengan arah dan besarnya sudut senget. Oleh karena perubahan letak yang sangat kecil, maka dianggap tetap.

Dengan berpindahnya kedudukan titik tekan sebuah kapal sebagai akibat menyengetnya kapal tersebut membawa akibat berubahnya kemampuan kapal

untuk kembali menegak. Kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan merupakan parameter utama dalam menentukan besaran stabilitasnya. Oleh karena itu, perubahan posisi titik tekan (center of buoyancy) yang terjadi akibat sudut kemiringan kapal akan berdampak secara langsung terhadap karakteristik stabilitas kapal tersebut.

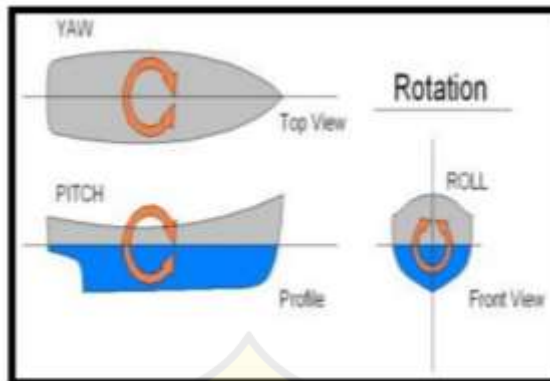
2.7 *Seakeeping*

Seakeeping merupakan kemampuan respon kapal untuk tetap bertahan di atas gelombang. Kemampuan olah gerak kapal sangat dipengaruhi oleh faktor luar dari kapal yang berkaitan dengan kondisi laut atau perairan dimana kapal berlayar (Ivandri H, Mulyatno I, 2017). Pada dasarnya kapal akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan kapal bergerak (*ship moving*). Gerakan kapal ini disebabkan oleh faktor dari luar terutama oleh gelombang. Gerakan yang diperoleh kapal tergantung pada karakteristik gelombang pada masing - masing daerah dan di setiap daerah mempunyai karakteristik gelombang yang berbeda untuk mempengaruhi olah gerak kapal. Oleh karenanya, adapun jenis-jenis olah gerak kapal yang terbagi menjadi dua macam, yaitu gerakan rotasi dan gerakan linier.

a) Gerakan rotasi terdiri dari sebagai berikut:

1. *Rolling*, merupakan gerakan bersudut yang disebabkan oleh gelombang sesuai dengan sumbu X berupa olengan/rotasi ke arah *starboard* – *portside* atau arah bagian kanan dan kiri kapal.
2. *Pitching*, merupakan gerakan bersudut yang disebabkan oleh gelombang sesuai dengan sumbu Y yang berupa anggukan *by the bow* - *by the stern*, atau dapat juga digambarkan dimana terdapat perbedaan kondisi gerakan antara haluan dan buritan secara memanjang disuatu gelombang sehingga menghasilkan gerakan berupa seperti anggukan.
3. *Yawing*, merupakan gerakan bersudut yang disebabkan oleh gelombang sesuai dengan sumbu Z berupa putaran. Gerakan ini dapat digambarkan berupa putaran ke kanan maupun ke kiri searah dengan sumbu Z. Contoh pada gerakan

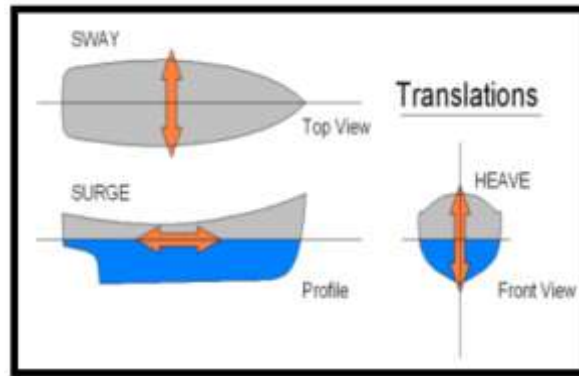
ini dapat dilihat pada kondisi kapal saat melakukan manuver secara melingkar *turning circle*.



(Sumber: Jurnal *seakeeping*)

Gambar 2.5 Gerakan rotasi.

- b) Gerakan linier terdiri dari sebagai berikut:
1. *Surging*, merupakan gerakan yang disebabkan oleh gelombang secara linier terhadap sumbu X ataupun dapat disebut juga dengan gerakan aksial, gerakan ini berupa gerakan maju ataupun mundur kapal akibat adanya dorongan gelombang datang dari sudut datang 180° dan 0° .
 2. *Swaying*, merupakan gerakan yang disebabkan oleh gelombang secara linier terhadap sumbu Y, atau dapat digambarkan dengan kondisi kapal bergerak ke kanan maupun ke kiri searah dengan sumbu Y, atau dapat digambarkan oleh arah kapal pada kondisi kapal saat melakukan manuver.
 3. *Heaving* merupakan gerakan yang disebabkan oleh gelombang secara linier naik turun secara vertikal atau bergerak secara linier terhadap sumbu Z, yang dipicu oleh fluktuasi gaya apung dan berat benda akibat perubahan momentum dalam suatu spektrum gelombang. Dalam fenomenanya, gerak heaving terbagi menjadi dua kondisi utama: osilasi bebas (*free oscillation*), yakni keadaan tanpa adanya gaya redam (*damping force*), serta osilasi teredam (*damped oscillation*) yang terjadi saat terdapat pengaruh redaman.



(Sumber: Jurnal *seakeeping*)

Gambar 2.6 Gerakan linier.

2.7.1 Klasifikasi Kondisi Laut

Klasifikasi kondisi laut merupakan suatu referensi dari analisis secara numerik yang biasa digunakan untuk menjelaskan dan mengukur tingkat kondisi laut atau perairan yang ada. Adanya klasifikasi kondisi laut didasarkan pada pengalaman yang diperoleh dari para pelaut yang berlayar dilautan dunia. Pengamatan tersebut dilakukan secara visual dengan melihat karakteristik gelombang air laut pada berbagai daerah dan dikorelasikan dengan kecepatan angin yang berhembus di perairan, sehingga pengamatan tersebut dikumpulkan dan dijadikan suatu *database* oleh *World Meteorological Organization*. Hal inilah yang melatarbelakangi adanya suatu referensi untuk penyusunan suatu acuan kondisi laut atau dapat disebut dengan *sea state code*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 tentang *sea state* oleh (WMO, 2022). Klasifikasi keadaan laut atau *sea state code* ditunjukkan dalam bentuk kuantifikasi berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan.

Tabel 2.1 *Sea State Code* Oleh WMO

Kode Kondisi Laut	Tinggi Gelombang Signifikan (m)		Deskripsi
	Range	Rata-rata	
0	0	0	<i>Calm (glassy)</i>
1	0 - 0,1	0,05	<i>Calm (rippled)</i>
2	0,1 - 0,5	0,3	<i>Smooth (waveless)</i>
3	0,5 - 1,25	0,875	<i>slight</i>
4	1,25 - 2,5	1,875	<i>Moderate</i>
5	2,5 - 4,0	3,25	<i>Rough</i>

6	4,0 - 6,0	5	<i>Very Rough</i>
7	6,0 - 9,0	7,5	<i>High</i>
8	9,0 - 14,0	11,5	<i>Very High</i>
9	<i>Over 14</i>	<i>Over 14</i>	<i>Phenomenal</i>

Sumber: *World Meteorological Organization about Sea State Code*

2.7.2 Arah Gelombang Laut

Arah gelombang laut merupakan datangnya gelombang dengan arah kapal yang membentuk sudut terhadap arah kapal dan arah gelombang. Proses simulasi atau analisis karakteristik kapal umumnya melibatkan empat variasi sudut arah datang gelombang (angle of encounter), antara lain adalah *following seas*, *head seas*, *beam seas* dan *oblique seas*.

1. *Following seas*

Merupakan arah datangnya gelombang searah dengan arah laju kapal, atau secara sederhananya adalah gelombang datang dari belakang kapal menuju pada haluan kapal. Sudut datang gelombang pada kondisi ini adalah 0 derajat.

2. *Head seas*

Merupakan arah datangnya gelombang yang berlawanan dengan arah kapal, atau secara sederhananya adalah gelombang yang datang dari haluan kapal menuju pada buritan kapal. Sudut gelombang datang pada kondisi ini adalah 180 derajat.

3. *Beam seas*

Merupakan arah datangnya gelombang secara tegak lurus dengan arah kapal, atau secara sederhananya adalah gelombang datang dari sisi kapal. Kondisi beam seas secara prinsip terbagi menjadi dua kategori berdasarkan arah datangnya gelombang terhadap lambung kapal. Apabila gelombang berasal dari sisi kiri (port side), sudut datang gelombang didefinisikan sebesar 90 derajat atau disebut port beam. Sebaliknya, jika gelombang datang dari sisi kanan (starboard side), sudut datangnya adalah 270 derajat yang dikenal dengan istilah starboard beam.

4. *Oblique seas*

Merupakan arah datang gelombang miring atau menyilang terhadap arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari sisi kanan haluan kapal menuju sisi kiri buritan kapal atau sebaliknya. Sudut datang gelombang pada tipe ini berbagai macam antara lain 45 derajat, 135 derajat, 215 derajat, dan 315 derajat.

2.7.3 Spektrum Gelombang Laut

Spektrum gelombang laut merupakan metode penyederhanaan untuk menggambarkan komposisi gelombang dengan berbagai panjang dan periode. Metode ini mampu menguraikan distribusi energi gelombang pada berbagai variasi frekuensi dan panjang gelombang di permukaan perairan. Dalam merepresentasikan karakteristik suatu perairan, terdapat dua jenis model spektrum yang umum digunakan, yakni spektrum Pierson-Moskowitz dan spektrum Joint North Sea Wave Observation Project (JONSWAP). Perbedaan pada kedua jenis spektrum ini yaitu pada kesederhanaan dalam metodenya, dimana *Pierson Moskowitz* memberikan metode yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan spektrum Jonswap.

Spektrum gelombang Jonswap adalah data spektrum yang dianalisis oleh (Hasselmann et al., 1973) dalam penelitiannya menemukan bahwasannya Spektrum gelombang umumnya tidak mencapai kondisi berkembang penuh (fully developed) secara instan. Fenomena ini terus berlangsung secara non-linear melalui mekanisme interaksi antar gelombang yang mencakup durasi waktu yang relatif lama serta jarak tempuh yang signifikan. Secara sederhana Jonswap spektrum merupakan *Pierson-Moskowitz* spektrum yang dikalikan dengan suatu factor peningkatan puncak lainnya dengan simbol γr .

Spektrum Jonswap banyak diaplikasikan dalam analisa bangunan lepas pantai maupun analisis kapal yang beroperasi pada perairan Indonesia, hal ini terjadi karena perairan Indonesia memiliki karakteristik perairan kepulauan atau perairan tertutup dan memiliki banyak bangunan apung didalamnya. Dari sejumlah kajian, pada perairan Indonesia disarankan untuk memakai parameter γ yang lebih kecil, yaitu bernilai antara 2,0 hingga 2,5. Sehingga semikian pada intinya adalah untuk mengurangi energi dominasi yang disebabkan oleh suatu frekuensi gelombang tertentu saja.

2.7.4 *Response Amplitudo Operator*

Response Amplitude Operators (RAOs) adalah gerak kapal yang ditimbulkan pada gelombang reguler atau dapat disebut juga respon kapal yang terjadi akibat adanya gelombang yang mengenai badan kapal. Informasi

karakteristik gerakan kapal umumnya ditunjukkan dalam bentuk kurva yang menunjukkan parameter frekuensi dan rasio antara amplitudo gerakan pada derajat kebebasan tertentu dengan amplitudo RAO gerakan tersebut. RAO sering dikategorikan sebagai fungsi transfer karena kemampuannya dalam mentransformasikan beban gelombang menjadi spektrum respons kapal. Prosedur kalkulasi RAO memiliki karakteristik yang berbeda-beda, tergantung pada klasifikasi gerakannya, baik itu gerakan translasi maupun gerakan rotasi.

Respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi antara lain adalah gerakan *rolling*, *pitching*, dan *yawing* yang merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang (k) dengan amplitudo gelombang. Sedangkan gerakan translasi terdapat gerakan *surgin*, *swaying*, dan *heaving*.

2.7.5 Kriteria Kualitas *Seakeeping*

Kualitas olah gerak (*seakeeping*) pada saat kapal beroperasi harus diperhatikan. Jika kualitas olah gerak kapal yang dihasilkan suatu kapal terlalu besar, maka kondisi tersebut akan berdampak buruk dalam pengoperasiannya dan juga berdampak buruk pada awak pengguna kapal. Sehingga demikian, diperlukan sebuah kriteria batasan maksimal dari kualitas *seakeeping* pada tabel 2.2. Berikut ini adalah kriteria kualitas *seakeeping* menurut klasifikasi (NORDFORSK, 1987) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Batasan Kapal Oleh NORDFORS

Sumber: NORDFORSK, 1987

General Operability Limiting Criteria for Ship (NORDFORSK, 1987)			
<i>Description</i>	<i>Merchant Ships</i>	<i>Navy Vessels</i>	<i>Fast Small Craft</i>
<i>RMS of vertical acceleration at FP</i>	0.275 g ($L < 100$ m)	0.275 g	0.65 g
	0.050 g ($L > 330$ m)		
<i>RMS of vertical acceleration at Bridge</i>	0.15 g	0.20 g	0.275 g
<i>RMS of lateral acceleration at Bridge</i>	0.12 g	0.10 g	0.10 g
<i>RMS of Roll</i>	6.0 deg	4.0 deg	4.0 deg
<i>Probability of Slamming</i>	0.03 ($L < 100$ m)	0.03	0.03
	0.01 ($L > 300$ m)		
<i>Probability of Deck Wetness</i>	0.05	0.05	0.05

2.8 Manuver Kapal

Manuver kapal adalah kemampuan kapal untuk berputar maupun berbelok pada saat berada di laut atau di perairan. Kemampuan manuver kapal merupakan hal penting untuk dimiliki oleh kapal itu sendiri karena berkaitan dengan keselamatan seperti tabrakan kapal yang terjadi, terutama pada perairan yang terbatas.

Kemampuan manuver sebuah kapal memiliki korelasi langsung terhadap aspek keselamatan awak kapal serta efisiensi ekonomi dalam suatu operasional pelayaran. Risiko kecelakaan maritim cenderung meningkat apabila kapal memiliki performa olah gerak yang rendah, terutama saat menghadapi kondisi cuaca ekstrem atau ketika bernavigasi di wilayah perairan terbatas (*restricted waters*). Sebagai contoh, kapal dengan kemampuan manuver yang tidak baik adalah kemampuan *turning circle* yang memiliki diameter taktis yang sangat besar, sehingga demikian kapal akan mudah mengalami tabrakan dengan benda – benda yang berada di sekitaran pada saat beroperasi.

Kemampuan manuver kapal merupakan aspek fundamental dalam fase preliminary design sebuah kapal. Kemajuan teknologi simulasi saat ini memungkinkan para perancang untuk mengevaluasi performa olah gerak secara akurat, yang sangat bermanfaat dalam mengoptimalkan desain peralatan serta struktur arsitektur perkapalan. (Alet et al., 2018).

Kemampuan manuver kapal merupakan hal yang penting untuk semua hal yang berkaitan dengan keselamatan navigasi ataupun awak kapal. Diperlukan sebuah standarisasi kemampuan manuver untuk merancang suatu kapal dengan kemampuan manuver yang baik sehingga kualitas dari kemampuan manuver dapat ditentukan dengan baik.

Berkaitan dengan hal tersebut IMO (*International Maritime Organisation*) telah menisyratkan sejumlah kriteria standar keselamatan yang harus dipenuhi oleh kapal, antaranya adalah kualitas *turning ability, initial turning, stopping ability, course keeping and yaw checking ability* (*Resolution Msc.137(76) (Adopted On 4 December 2002) Standards For Ship Manoeuvrability, 2002*).

2.8.1 Standar Manuver Kapal

Untuk mengetahui karakteristik kemampuan manuver kapal, perlu memperhatikan peraturan-peraturan yang berlaku. Pada tahun 2022, *International Maritime Organization* (IMO) telah meluncurkan *Resolution MSC.137 (76)* “*Standards for Ship Maneuverability*”. Tujuan utama peluncuran standar ini adalah untuk mengoptimalkan aspek keselamatan maritim dan memastikan seluruh aktivitas operasional kapal berjalan dengan aman sesuai prosedur saat berada di laut. Berikut merupakan standar manuver kapal mengacu pada regulasi IMO MSC.137 (76):

1. Pada pengujian manuver, kecepatan kapal yang akan diuji adalah minimal 90% dari kecepatan maksimum kapal (V) atau 85% dari *output* mesin maksimum.
2. Pada pengujian manuver memutar lingkaran (*turning circle*), dilakukan dengan cara manuver ke kanan maupun kiri (*port-starboard*) searah dengan sumbu Y dengan sudut kemudi 35° atau sudut kemudi maksimum yang diijinkan pada pengujian kecepatan, hingga kapal kembali ke sudut 0° setelah gerak melingkar selesai dilakukan.
3. Diameter taktis adalah jarak yang ditempuh oleh titik tengah kapal dari posisi dimana kemudi diarahkan ke kanan atau ke kiri hingga posisi sudut 180° dari posisi awal yang diukur dalam arah tegak lurus ke titik awal kapal.
4. Pada pengujian manuver *zig-zag*, pengujian ini dilakukan dengan cara *zig-zag* $10^\circ/10^\circ$ dilakukan dengan memutar kemudi secara bergantian sebesar 10° ke kedua sisi mengikuti deviasi *heading* 10° dari *heading* awal disesuaikan dengan prosedur berikut:
 - Eksekusi pertama, dilakukan dengan cara pengujian maju dengan sudut 0° dengan kondisi kecepatan yang sudah stabil, kemudian kemudi diarahkan ke kanan atau kiri dengan sudut 10° .
 - Eksekusi kedua, ketika sudut telah berubah menjadi 10° dari sudut aslinya, kemudian kemudi diarahkan ke kanan atau ke kiri dengan arah terbalik dari langkah awal dengan sudut 10° dan dilakukan secara bergantian.
 - Eksekusi ketiga, setelah kemudi diputar ke kanan atau ke kiri, kapal akan melanjutkan berputar ke arah semula dengan penurunan kecepatan putar.

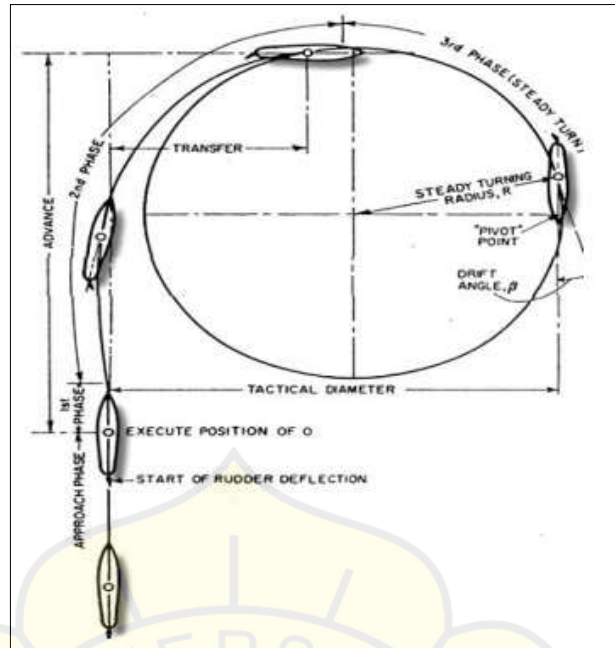
Sebagai tanggapan ke kemudi, kapal kemudian harus berbelok ke kanan / kiri. Ketika kapal telah mencapai *heading* 10° ke kanan / kiri dari jalur semula kemudi dibalik lagi menjadi 10° ke kanan / kiri.

5. Sudut *overshoot* pertama adalah selisih *heading* tambahan yang dialami dalam pengujian manuver *zig-zag* secara setelah eksekusi kedua.
6. Sudut *overshoot* kedua merupakan selisih *heading* tambahan yang dialami dalam pengujian manuver secara *zig-zag* setelah eksekusi ketiga.
7. Pengujian *zig-zag* $20^\circ/20^\circ$ dilakukan menggunakan aturan yang sama seperti diatas, akan tetapi dengan menggunakan sudut kemudi 20° dan perubahan *heading* 20° , sebagai gantinya sudut kemudi 10° dan perubahan arah 10° , masing-masing.
8. Pengujian henti buritan penuh (*stopped full astern*), yaitu menentukan jangkauan lintasan kapal dari saat perintah untuk buritan penuh diberikan sampai kapal berhenti di air.
9. Jangkauan lintasan adalah jarak sepanjang lintasan yang digambarkan oleh titik tengah kapal diukur dari posisi dimana perintah untuk buritan penuh diberikan kepada posisi kapal berhenti di dalam air.
10. Pada standar pengujian manuver harus dilakukan tanpa menggunakan alat bantu manuver apa pun yang tidak terus menerus dan tersedia dalam operasi normal.

2.8.2 Kriteria Manuver Kapal IMO MSC 137 (2002)

Berikut merupakan deskripsi penjelasan dari regulasi standar kualitas manuver yang diisyaratkan oleh IMO Resolusi MSC 137 (76) (2002) antara lain:

1. Pengujian gerak melingkar (*turning circle test*)
Pengujian ini dimulai dari gerakan lurus kedepan hingga memenuhi laju konstan, kemudian kemudi diaktifkan dengan kecepatan maksimum ke sudut *rudders* maksimum dan tetap pada sudut itu hingga kapal telah mengalami gerak melingkar sempurna (*turning circle*) minimal sampai dengan sudut 540° . Percobaan ini dilakukan pada 2 arah *port* dan *starboard* atau arah ke kiri dan ke kanan. Informasi penting pada pengujian manuver ini secara umum dapat dimonitoring melalui GPS.



(Sumber: IMO Resolusi MSC 137 (76) 2002)

Gambar 2.7 *Turning circle* manuver

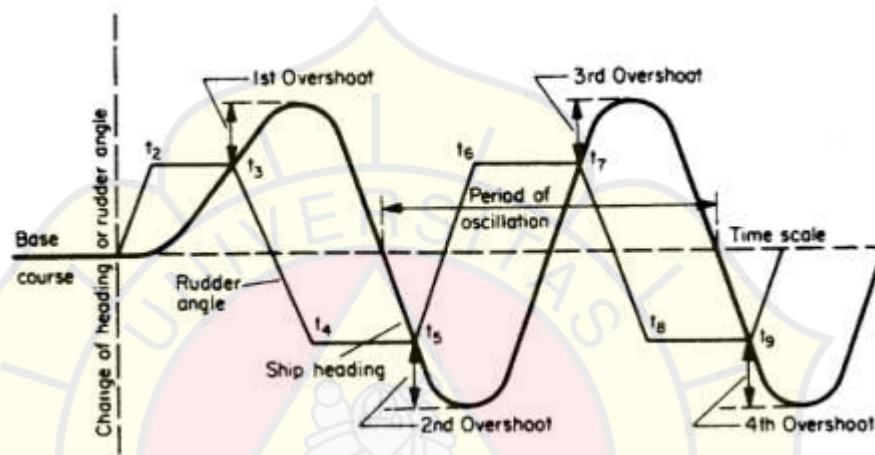
Beberapa parameter yang digunakan untuk menggambarkan performa manuver saat berputar sebagai berikut:

- Drift angel* (sudut *drift*), merupakan deviasi antara garis haluan kapal dengan arah gerak aktualnya. Nilai sudut ini bersifat variatif pada setiap titik di sepanjang badan kapal.
- Advance*, merupakan jarak dari langkah awal ke sumbu X pada kapal ketika telah mengalami berbelok dengan sudut 90° .
- The transfer*, adalah jarak dari jalur awal mula kapal sewaktu sumbu X pada kapal telah berbelok dengan sudut 90° .
- Tactical diameter*, merupakan jarak yang diukur dari jalur awalan ke sumbu X pada badan kapal ketika kapal telah mengalami berbelok dengan sudut 180° .
- The diameter of the steady turning circle*, merupakan diameter lingkaran kontinu yang dihasilkan dalam proses manuver. Keadaan stabil tersebut biasanya teridentifikasi setelah kapal melewati fase transisi, tepatnya pada rentang perubahan sudut haluan antara 90° dan 180° .

Nilai-nilai khas adalah *tactical diameter* dari 4,5 hingga 7L untuk yang ramping, 2,4 – 4L pada kapal pendek dan kapal yang penuh. Menentukan rasio yang ramping $L/3\sqrt{\nabla}$, Dimana ∇ merupakan volume displamen.

Turning circle manuver harus dilakukan kedua bagian sisi kapal, baik kekanan maupun kekiri dengan sudut 30° atau sudut maksimum kemudi yang diijinkan pada saat uji kecepatan. Informasi yang akan didapatkan dari uji manuver ini adalah *tactical diameter*, *advance*, dan *transfer*.

2. Pengujian Manuver Zig-zag (*Zig-zag Maneuver Test*)



(Sumber: IMO Resolusi MSC 137 (76) 2002)

Gambar 2.8 Zig-zag manuver

Menurut (Berntorp, 2015), Beberapa pengukuran penting dari *Zig-zag* manuver ini antara lain:

- Overshoot angle* adalah jumlah pertambahan sudut *heading* setelah kemudi berbalik. Sudut yang besar akan membuat Nahkoda mengalami kesulitan dalam memutuskan kapan akan berbelok pada saat keadaan tertentu dalam mengemudi kapal. Sudut tersebut tidak bergantung pada panjang kapal.
- Waktu untuk membalikkan kemudi pertama dan perubahan maksimal *heading* pertama. Waktu akan proporsional terhadap panjang.
- Sudut *overshoot* yang tetap dan periode berputar dalam kondisi stabil dapat tercapai.

Sebuah uji *zig-zag* harus dimulai untuk kedua bagian *starboard* dan *port* dan dengan mengimplementasikan sudut kemudi. Dua jenis tes *zig-zag* standar,

yaitu $10^\circ/10^\circ$ dan $20^\circ/20^\circ$. Uji *zig-zag* $10^\circ/10^\circ$ menggunakan sudut kemudi 10° pada kedua sisi dengan *heading* 10° . Sedangkan tes *zig-zag* $20^\circ/20^\circ$ menggunakan sudut kemudi 20° pada *heading* 20° . Informasi yang akan diperoleh dari uji ini adalah sudut *overshoot*, waktu perubahan awal ke eksekusi kedua dan waktu untuk memeriksa kondisi *yawing* kapal.

2.9 Penggunaan Software Maxsurf

Maxsurf *modeller* merupakan perangkat lunak berbasis pemodelan tiga dimensi (3D) yang digunakan dalam perancangan lambung kapal serta dilengkapi dengan fitur analisis terintegrasi. Kapabilitas visualisasi 3D pada program ini memungkinkan desainer untuk memodelkan berbagai kompleksitas permukaan lambung dalam satu kesatuan desain. Maxsurf *modeller* juga menawarkan ruang lingkup untuk pembuatan berbagai bentuk *body* dan di kembangkan dengan perhitungan hidrostatis yang telah jadi satu padu terhadap desain, maka akan mudah untuk bereksperimen dengan bentuk dan mengeksplorasi parameter desain.

Proses pemodelan dengan Maxsurf Modeler menghasilkan data desain berupa lines plan dan tabel offset yang sistematis. Fleksibilitas dalam pertukaran format data antar-program mempercepat alur kerja desain setelah proses iterasi selesai. Perangkat lunak ini juga sangat efektif dalam merekonstruksi file offset yang tidak sempurna menjadi model lambung yang akurat.

Maxsurf Resistance merupakan modul perangkat lunak yang dirancang untuk melakukan prediksi serta simulasi hambatan kapal. Modul ini mengintegrasikan berbagai metode berbasis regresi serta metode analisis numerik guna mengestimasi hambatan total dari geometri lambung (*ship body*). Maxsurf Resistance mampu mengalkulasi komponen tersebut dalam bentuk koefisien hambatan, meskipun ketersediaan jenis komponennya sangat bergantung pada formulasi dan metode yang dipilih. (Suwasono et al., 2019).

Maxsurf Resistance memiliki kapabilitas untuk mengalkulasi seluruh komponen hambatan kapal secara mendetail. Perangkat lunak ini juga memungkinkan penyajian data hasil simulasi dalam format grafik serta tabel yang terstruktur secara terpisah untuk memudahkan proses analisis. Dalam beberapa

kasus metode regresi dapat melakukan simulasi hambatan sisa dan tanpa *form factor*. Namun, dalam hal ini Maxsurf *resistance* tidak bisa dilakukan untuk menghitung hambatan gelombang. Maxsurf *resistance* memiliki dua cara untuk memasukkan data yang akan digunakan dalam algoritma hambatan:

1. Secara manual memasukkan data yang akan digunakan.
2. Pembacaan input data dari Maxsurf desain ataupun *Modeller* secara otomatis menghitung bentuk permukaan.

Maxsurf Motions merupakan instrumen analisis seakeeping yang memanfaatkan data geometri dari Maxsurf untuk mengestimasi respons dinamik kapal pada kondisi perairan yang ditentukan oleh pengguna. Perangkat lunak ini menyediakan dua metode perhitungan utama, yakni metode teori strip linier dan metode panel. Formulasi teori strip linier didasarkan pada prinsip Salvesen yang berfungsi mengalkulasi respons couple heave serta pitch, sementara respons roll ditentukan melalui teori redaman roll linier. Metode panel merupakan pendekatan analisis hidrodinamika orde pertama berbasis Boundary Element Method (BEM) yang menggunakan panel konstan dalam perhitungannya. Metode panel mampu menghasilkan Response Amplitude Operator (RAO) untuk seluruh enam derajat kebebasan (6 degrees of freedom), yang meliputi gerakan surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw. Meskipun dapat diaplikasikan pada rentang geometri lambung yang luas, penggunaan metode panel ini terbatas pada kondisi kapal dengan kecepatan maju nol (statis). Selain kalkulasi RAO, output dari metode panel juga mencakup parameter massa dan redaman hidrodinamika, gaya serta momen perairan, gaya dan momen drift, hingga distribusi tekanan pada permukaan basah kapal.

Integrasi teori strip dan metode panel pada Maxsurf Motions menghasilkan prediksi seakeeping yang akurat untuk berbagai tipe kapal. Kecepatan analisis serta keselarasan fiturnya menjadikan perangkat lunak ini instrumen krusial pada tahap desain awal. *Seakeeping ability* merupakan olah gerak *watercraft* atau *offshore platform* yang disebabkan interaksinya dengan kondisi dan situasi lingkungan tempat keduanya beroperasi. (Suwasono et al., 2019).