

Preliminary Design Kemudi Kapal LCT 200 GT

Naufal Abdurrahman¹, Agus Purwanto²

¹Program Studi Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Negeri Batam

²Akademi Perikanan Bitung

E-mail¹: abdurrahman@polibatam.ac.id

Abstrak

Kapal pada kondisi operasionalnya dituntut untuk bergerak cepat dan mampu untuk *maneuver* dengan lihai. Sistem kemudi adalah salah satu di antara alat mekanis yang dipakai untuk menentukan kemampuan *maneuver* kapal dan mengarahkan kapal ke lokasi atau tujuan tertentu. Beberapa hal yang mempengaruhi kelincihan *maneuver* kapal pada permukaan air adalah bentuk lambung serta kesesuaian daun kemudi dengan bentuk lambungnya. Daun kemudi yang tidak sesuai untuk ukuran kapal tertentu memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kapal tersebut pada saat berlayar. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan kemudi yang optimal sesuai dengan bentuk lambung kapal LCT 200 GT sehingga mampu mendukung performa operasi kapal. Pendekatan perancangan model dibagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu: *concept design*, *initial design* dan *detailed design*.

Kata kunci: Kapal LCT, desain kemudi, *Manuvering*, *Preliminary Design*, *Steering System*

Abstrac

Common vessels on operational conditions required to move quickly and to maneuver skillfully. The steering system is one of the mechanical devices used to determine and to able the vessel maneuvering and directed to a specific location or destination. Some things that affect agility maneuver the vessel on the water surface is form of the hull and rudder conformity with the shape of hull. Leaves the wheel is not suitable for a particular vessel size provide an enormous influence on the vessel at the time of sailing. This study aims to model the optimal steering system according to the shape of multipurpose vessel 200 GT's hull so as to support the operation of vessel's performance. An advanced approach to the design of the model is divided three stage process, i.e: concept design, initial design and detailed design.

Keywords : *LCT of Ship, Rudder stock, Manuvering, Preliminary Design, SteeringSystem*

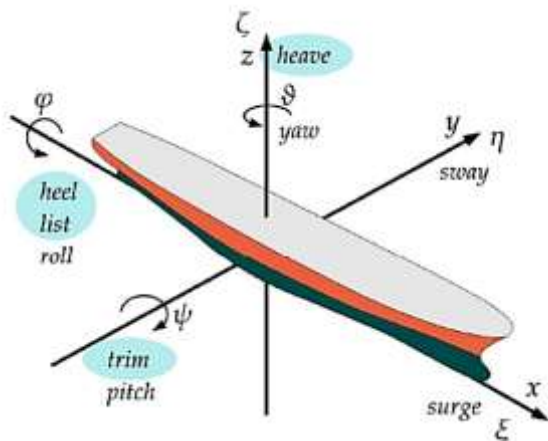
1. PENDAHULUAN

Unjuk kerja kapal secara dinamis bergantung pada perilaku dan respon badan kapal terhadap kondisi perairan dimana kapal dioperasikan. Pada saat beroperasi, kapal akan mengalami gerakan yang disebabkan kapal itu sendiri (*maneuverability*) maupun dari faktor luar (*seakeeping*). Sistem kemudi adalah salah satu di antara alat mekanis yang dipakai untuk menentukan dan mempengaruhi kemampuan *maneuver* kapal serta mengarahkan kapal ke lokasi atau tujuan tertentu. Kapal LCT 200 GT beroperasi di perairan lintas sungai-sungai Kabupaten Mamberamo Papua dengan karakter gelombang dinamis memerlukan unjuk kerja *maneuver* yang baik sehingga bisa menjadi alat transportasi perairan yang handal. Kelincihankapal dipengaruhi oleh bentuk lambung (bentuk buritan), tenaga baling-baling, bentuk dan ukuran daun kemudi,

kemiringan kapal pada waktu ber belok maupun kondisi peletakan muatan kapal. Daun kemudi yang tidak sesuai untuk ukuran kapal tertentu memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kapal tersebut pada saat berlayar. Daun dan motor penggerak kemudi lah yang memberikan arah pada saat kapal akan berbelok atau *maneuvering* dan memberikan *balance* atau keseimbangan pada saat kapal bergerak lurus [1].

Gerakan dinamis kapal pada fluida air dapat dikategorikan secara 6 derajat kebebasan yang terbagi dalam 2 (dua) jenis gerakan, yaitu [2] :

1. Gerakan rotasi (putaran) : *roll* (sumbu x), *yaw* (sumbu y), *pitch* (sumbu z).
2. Gerakan translasi (*linear*) : *surge* (sumbu x), *sway* (sumbu y), *heave* (sumbu z).



Gambar 1 Derajat kebebasan pada kapal

Secara prinsip, motor penggerak kemudi kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh terhadap gaya-gaya dan momen hidrodinamika yang bekerja pada daun kemudi. Hal lain yang juga bisa berpengaruh adalah akibat kondisi daun kemudi yang terlalu besar, sehingga terjadi ketidaksesuaian antara mesin penggerak kemudi dengan kemudi tersebut pada saat kapal dibelokkan.

Perancangan kemudi tidak mempunyai sistematika baku yang menjadi standar acuan perancangan karena masih sedikit penelitian yang membahas tentang hal tersebut [3]. Perbedaan sistem perancangan bergantung pada kemampuan dan fasilitas yang ada untuk melakukan proses perancangan.

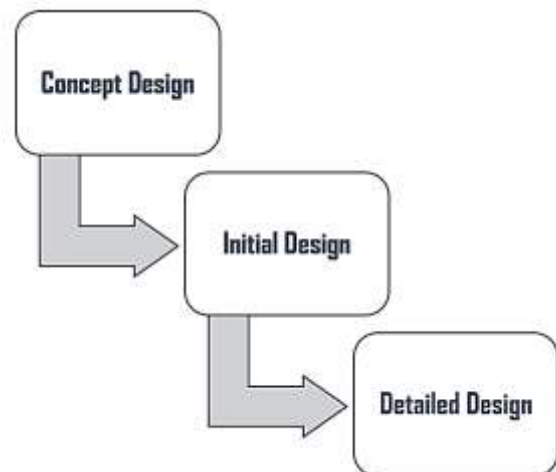
Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sebuah sistem kemudi yang optimal untuk operasional kapal pengawas tanpa awak. Sehingga diharapkan sistem kemudi yang akan dipasang pada kapal sesuai dengan kaidah yang patut dalam hal perancangan kapal. Perancangan badan kapal untuk kapal pengawas tanpa awak yang dimaksud penelitian ini dilakukan oleh penelitian lain.

2. SIGNIFIKASI STUDI

Penelitian dibagi menjadi beberapa sub fase yang saling berkaitan untuk memetakan proses penelitian. Gambar 2 menampilkan fase-fase penelitian yang dilakukan, meliputi *concept design*, *initial design* dan *detailed design*. *Concept design* membahas tentang penentuan ukuran utama kapal, pemeriksaan *hullformfactor*, penghitungan luasan penampang kemudi, penilaian kesesuaian proses *conceptdesign*, mengasumsikan nilai *tuningindex* dan *following index*.

Initial design meliputi proses menentukan tipe profil kemudi, menentukan *ordinary* dan *performance rudder*, menentukan dimensi kemudi, memeriksa *rudder design* kriteria.

Detailed design merupakan tahapan akhir proses perencanaan model kemudi yang berisi penentuan bentuk kemudi, penghitungan besaran gaya pada kemudi, torsi kemudi dan menghitung ketebalan *blade* kemudi.



Gambar 2 Skema Alur desain kemudi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemodelan sistem kemudi pada kapal pengawas tanpa awak yang menjadi pokok penelitian dibagi menjadi 3 tahap proses, yaitu *concept design*, *initial design* dan *detail design* dimana satu tahap dengan tahap selanjutnya saling berkaitan [3].

3.1 Concept Design

Proses *concept design* kemudi merupakan tahap yang penting karena menjadi acuan untuk

langkah berikutnya. Proses ini meliputi beberapa langkah yang dilakukan, yaitu:

3.1.1 Menentukan ukuran utama kapal

Penentuan ukuran utama kapal merefleksikan keputusan untuk mengoptimasi kebutuhan sistem kapal secara umum. Kapal yang dirancang mempunyai dimensi utama yang ditampilkan pada Tabel 1. Besaran nilai ukuran utama tersebut dipertimbangkan dari berbagai faktor yang melatar belakangi konsep perancangan kapal seperti tinggi gelombang air serta kedalaman perairan yang menjadi daerah operasional kapal, kebutuhan pengguna kapal atau yang biasa disebut *user requirements*.

Tabel 1 Dimensi Utama Kapal

<i>Loa</i>	29,6 m
<i>Lwl</i>	28,4 m
<i>Breadth</i>	6,6 m
<i>Height</i>	2,80 m
<i>T(draft)</i>	2,00 m
<i>Vservice</i>	10 kts
<i>Displacement</i>	359 t
<i>No. of propeller blade</i>	4
<i>Dia. Of propeller (0,7*T)</i>	1,40 m

3.1.2 Memeriksa hullform factor

Hullform factor mengindikasikan rasio perbandingan antar faktor yang membentuk bodi kapal, seperti *waterline*, *midship section* dan balok dengan dimensi sesuai dengan ukuran utama kapal. Tabel 2 menunjukkan besaran faktor koefisien balok, koefisien *midship*, koefisien *waterline* dari perhitungan hidrostatis badan kapal pengawas yang tercelup di dalam air menggunakan perangkat lunak komputer berbasis numerik.

Tabel 2 *Hullform factor*

Cb	0,67
Cwl	0,91
Cm	0,90

3.1.3 Menghitung luasan kemudi

Luasan kemudi berperan penting dalam mempengaruhi kemampuan kapal untuk belok/*maneuver*. Salah satu metode yang bisa

digunakan untuk menentukan luasan kemudi adalah metode DNV [3] yang persamaannya tertera dibawah ini:

$$\frac{A_R}{L.T} = 0.01 + 0.5 \cdot \left(\frac{C_b}{L/B}\right)^2 \quad (1)$$

Dimana, A_R = luasan area. Dari perhitungan formula (1) didapatkan nilai $A_R = 1,25 \text{ m}^2$.

3.1.4 Menilai kesesuaian proses concept design

Luasan kemudi yang dihasilkan dari perhitungan nilainya diperbandingkan dengan kriteria dan kehendak pemilik kapal. Kriteria ditentukan dengan mempertimbangkan harga dan kepatutan ukuran kemudi pada kapal. *Concept design* diperiksa kembali dengan standar dari Biro Klasifikasi.

3.1.5 Asumsi nilai K (turning index), T (following index)

Nilai K dan T diasumsikan untuk mengevaluasi kemampuan *turning* kapal sebagai tahapan terakhir pada *concept design*. K menunjukkan kecenderungan *turning velocity*, T menunjukkan kecenderungan *turning angle velocity*. Ketika kapal melakukan putaran pada sudut $10^\circ(\delta_1)$, $20^\circ(\delta_2)$, $30^\circ(\delta_3)$ dan kecepatan sudut $0.4^\circ/\text{detik}$, $0.6^\circ/\text{detik}$ dan $0.8^\circ/\text{detik}$, Kecepatan sudut adalah hasil perkalian sudut kemudi.

$$\begin{aligned} 0.4^\circ/\text{detik} &= K_1\delta_1 = K_1 * 10^\circ, K_1 = 0.04/\text{detik} \\ 0.6^\circ/\text{detik} &= K_2\delta_2 = K_2 * 10^\circ, K_2 = 0.03/\text{detik} \quad (2) \\ 0.8^\circ/\text{detik} &= K_3\delta_3 = K_3 * 10^\circ, K_3 = 0.027/\text{detik} \end{aligned}$$

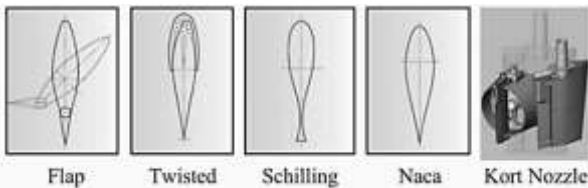
Persamaan (2) menunjukkan K (*turning index*) merupakan kecepatan sudut putaran, perkalian dari besaran sudut kemudi. Nilai K divariasikan dengan ukuran sudut kemudi dan beban tetap pada kapal yang sama. K bisa diasumsikan dari ukuran kapal dan sudut kemudi yang digunakan. Semakin besar sudut kemudi menyebabkan semakin besarnya hambatan ketika berputar. Selain itu, kapal membutuhkan waktu untuk berputar, tidak seketika setelah berputarnya kemudi. Pada permulaan waktu berputarnya

kemudi, kecepatan putar yang pelan menyebabkan kesulitan untuk mengetahui beloknya kapal. Seiring berjalannya waktu, kecepatan sudut yang terakumulasi menjadi semakin besar sehingga memudahkan proses putaran. Waktu yang dibutuhkan disebut *T* (*following index*).

3.2 Initial Design

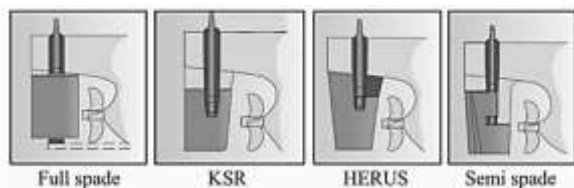
Proses initial design merupakan hasil perwujudan dari *concept design*. Jadi, proses ini berisi hal yang bisa diuji dan dibandingkan dalam masalah ekonomis maupun bentuk dan dimensi kemudi. *Initial design* diklasifikasikan dengan menentukan profil kemudi, model kemudi, dimensi, kriteria, dan perkiraan kapasitas *steering gear*.

3.2.1 Menentukan tipe profil kemudi



Gambar 3 Klasifikasi profil kemudi

Gambar 3 menunjukkan beberapa klasifikasi profil kemudi. Tipe kemudi yang dipilih adalah tipe *NACA* yang mana tidak terlalu membutuhkan *specific user requirement* maupun dari hasil maneuver test. *NACA* mempunyai bentuk penampang yang kecil sehingga memperkecil nilai hambatan namun memiliki kekuatan yang menopang strukturnya. Tipe kemudi dibagi berdasar basis profil dan desain, disini lain harus sederhana dan mempunyai unjuk kerja yang baik.



Gambar 4 Klasifikasi model kemudi

Terdapat empat model kemudi menurut *Becker rudder standard*, yaitu: *fullspade*, *KSR (King Support Rudder)*, *Herus support* dan semi spade sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudi *fullspade* terdiri dari *movablepart* dan tidak memiliki *horn*. Pada tipe ini, berat tumpuan pada kemudi sebesar berat kemudi itu sendiri yang tertumpu pada satu poros. Tipe *fullspade* digunakan pada banyak kapal besar karena dapat mencegah *gap cavitation*.

Tipe *KSR* didukung oleh poros yang besar karena hal tersebut mengurangi *fatigue* dan *bendingmoment*. Tipe *Herus* didesain secara umum pada kapal besar dengan kecepatan lambat seperti bulk carrier dan tanker yang mana bisa meningkatkan efisiensi hidrodinamis. Selanjutnya tipe kemudi *semispade* yang terdiri dari rudder *horn*, *pintle*, dan *semispadeblade*. Tipe terakhir ini menjadi pertimbangan untuk dipasang pada kapal pengawas yang menjadi objek penelitian.

3.2.2 Menentukan ordinary dan performance rudder




Ordinary rudder mempunyai beberapa tipe, yaitu *single plate*, *NACA series*, *flat side*, *mixed* dan *hollow*. Gambar 5 menunjukkan nilai koefisien *Kc* untuk *ordinary rudder* [2].

	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Single plate	10	10
2	Naca series	11	0.80
3	Flat side	11	0.90
4	Mixel	1.21	0.90
5	Hollow	1.35	0.90

Gambar 5 Nilai *Kc* untuk *ordinary rudder*

Bentuk penampang bisa ditentukan dari koefisien *Kc* berdasarkan bentuk penampang. *Ordinary rudder* mempunyai beberapa jenis tipe

seperti *single plate*, *NACA series*, *flat side*, *mix* dan *hollow*. Kapal pengawas direncanakan menggunakan tipe *NACA* dengan nilai *ahead* 11 dan *astern* 0,80.

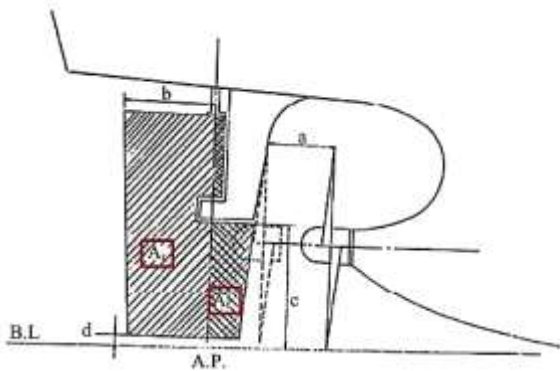
	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Fish tail = Schilling rudder 	1.4	0.8
2	Flap rudder 	1.7	1.3
3	Steering Nozzle 	1.9	1.5

Gambar6 Nilai Kc untuk *performance rudder*

Gambar 6 menunjukkan nilai Kc untuk *performance rudder fish tail*, *flap* dan *steeringnozzle* pada kondisi *ahead* dan *astern*.

3.2.3 Menentukan dimensi kemudi

Aspek rasio dan *balance rasio* merupakan kunci untuk menentukan dimensi kemudi, seperti ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Aspek rasio untuk dimensi kemudi

Aspek rasion daun kemudi ditunjukkan pada Gambar 7 dimana notasi ‘a’ merupakan nilai *minimum tip clearance*. Aturan klasifikasi DNV menunjukkan persamaan (3) berikut:

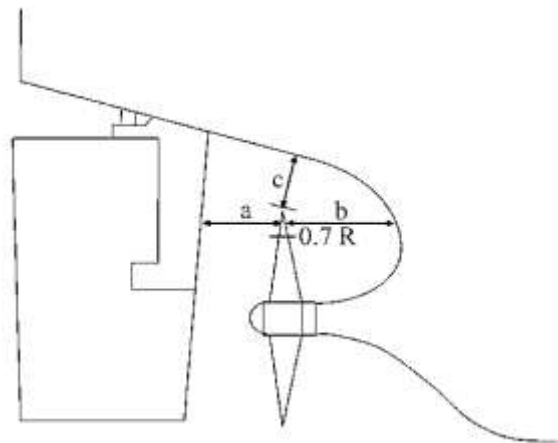
$$\text{Min. tip clearance} = a \geq 0,2 R \text{ (m)} \quad (3)$$

Dimana a = Jarak 0,7 R;
R = radius baling- baling
Nilai R = 0,7 m, sehingga a=0,49

$$\rightarrow a \geq 0,2.$$

‘b’ harus didesain tidak boleh melebihi akhir *bulk-head*. Ketika diperlukan untuk pelepasan baling-baling, ‘c’ dikandung maksud untuk mencegah kerusakan. Ketika kapal melakukan pengedokan, jarak ‘d’ dari *Base line* ke kemudi memberikan jarak aman yang memadai.

3.2.4 Memeriksa rudder design criteria



Gambar 8 Desain Criteria Kemudi

Hal yang perlu diperiksa adalah jarak antara kemudi dan *propeller*, jarak antara *hull bottom* dan kemudi seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Tetapi yang jadi acuan pertama adalah jarak antara kemudi dan *propeller* sebaiknya terletak dibelakang *propeller*. Pada Gambar 7, interval ‘a’ dan ‘b’ semakin besar, maka getaran semakin kecil dan performa propulsi semakin baik.

$$a \geq 0,2R \quad (4)$$

$$b \geq (0,7 - 0,04Z)R \quad (5)$$

$$c \geq (0,48 - 0,02Z)R \quad (6)$$

Dimana, R = diameter *propeller*/2;
Z = jumlah daun kemudi

Sehingga,

$$a \geq 0,14 \text{ m}$$

$$b \geq 0,378 \text{ m}$$

$$c \geq 0,28 \text{ m}$$

3.3 Detail Design

Proses detail *design* mencakup penentuan *layout* struktur kemudi, bentuk dan kepastian dimensi kemudi yang terpasang. Jika informasi

yang didapatkan pada *initial design* terdapat kesalahan, maka proses perlu diulang. Proses detail *design* dapat diringkas pada proses menentukan dimensi, struktur kemudi, luasan kemudi dan bentuk kemudi. Kemudian bisa dilanjutkan pada proses penanganan kavitasi, uji kecepatan dan performa *maneuver* kapal.

3.3.1 Menentukan dimensi/ bentuk kemudi

Profil bentuk kemudi telah dipertimbangkan sebelumnya pada tahap *initial design*. Tahap selanjutnya, jarak antara *COG*(Center of Gravity) kemudi dan AP harus disesuaikan paling kecil. Bentuk kemudi didesain dengan mempertimbangkan massa struktur kemudi tanpa menimbulkan tekanan yang berlebih sehingga mengakibatkan sebaran beban yang terlalu banyak pada struktur buritan kapal. *Rules DNV* menunjukkan minimum *projected area* pada persamaan (7).

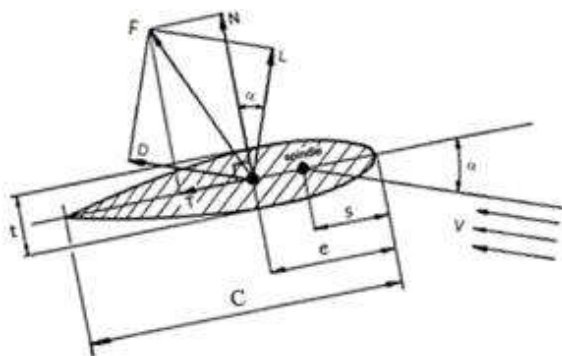
$$A \geq \frac{dL}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right) \quad (7)$$

Dimana,

- A = Movable rudder vertical projected area;
- L = Panjang kapal;
- B = Lebar kapal;
- d = Sarat kapal. Dari persamaan (7) didapatkan nilai $A \geq 1,92 \text{ m}^2$.

3.3.2 Menghitung gaya kemudi

Gaya kemudi dipengaruhi oleh banyak faktor yang mempengaruhinya, seperti ditampilkan pada Gambar 9 [4]



Gambar 9 Gaya Pada Kemudi

Dimana,

- C=panjang chord,
- e = center of pressure;
- F = total gaya;
- N = gaya normal;
- T = gaya tangensial;
- D = gaya drag;
- α = sudut attack;
- V = kecepatan;
- t = max. blade thickness.

Nilai gaya kemudi (F) ditetapkan dari persamaan (8) yang dirujuk dari aturan klasifikasi (CSS, 2006).

$$F=132*K_1*K_2*K_3*A*V_d^2 \text{ [N]} \quad (8)$$

Dimana,

- F = Gaya kemudi;
- V_d = Kecepatan kapal;
- K₁ = Koefisien aspect ratio Λ
 $= \frac{\Lambda+2}{3}$; dimana Λ tidak lebih besar dari 2
- $\Lambda = \frac{h_m^2}{A_t}$
- h_m = Rata – rata tinggi rudder blade
- A_t = Movable rudder area + area of rudder horn
- K₂ = Koefisien tipe dan profil kemudi
 = 1,1 → ahead; 0,8 → astern untuk tipe NACA
- K₃ = Koefisien lokasi kemudi
 = 0,8 untuk dibelakang propeller
- F = 132*K₁*K₂*K₃*A*V_d² [N]
 = 132*0,69*0,8*0,8*1,92*10²
 = 11,191kN

3.3.3 Menghitung torsi kemudi

Nilai torsi kemudi ditentukan dengan menggunakan persamaan (9) [7]

$$T = FR \text{ [Nm]} \quad (9)$$

Dimana,

- R = (e-s)
 = C(μ - β)
- C = A/h_m

μ = Koefisien kondisi astern dengan (0,66)
 $\beta = A_r/A = 0,3$ dari posisi lebar kemudi
 NACA

A_r = Porsi luasan rudder blade

Jadi,

$$R = 3,84(0,66-0,3) \\ = 1,3824$$

$$T = 11191 * 1,3824 \\ = 154870,43Nm$$

3.3.4 Menghitung ketebalan *blade* kemudi

Struktur *blade* kemudi harus mampu secara efektif meneruskan gaya pada kemudi. Ketebalan sisi, atas dan alas tidak boleh kurang dari nilai hasil perhitungan pada persamaan (10)

$$t_s = 5,5h_s\phi\sqrt{d + \frac{F}{A} * 10^{-4}} + 2,5 \text{ [mm]} \quad (10)$$

Dimana h_s adalah sisi terpendek web kemudi dan h_l sisi terpanjangnya. Nilai ϕ diambil 1 jika $h_s/h_l \geq 2,5$

$$\phi = \sqrt{1,1 - 0,5\left(\frac{h_l}{h_s}\right)^2} \\ = 0,15$$

$$t_s = 25,79 \text{ mm}$$

Ketebalan plat bawah kemudi tidak boleh kurang dari 25,79 mm. Untuk pelat sisi tidak boleh lebih dari $0,7*t_s = 18,05 \text{ mm}$

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang sistem kemudi untuk kapal pengawas pada tahap awal yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa model kemudi yang dirancang dengan pendekatan empiris *concept design*, *initial design* dan *detailed design* untuk kapal pengawas dengan mempertimbangkan aspek teknis spesifikasi adalah model *NACA* yang mana tidak terlalu membutuhkan *specific user requirement* maupun dari hasil *maneuver test*. *NACA* mempunyai bentuk penampang yang kecil sehingga memperkecil nilai hambatan namun memiliki kekuatan yang menopang strukturnya sehingga bisa tetap mendukung kinerja operasional kapal pengawas.

Saran untuk penelitian lanjutan mengenai sistem kemudi untuk kapal pengawas perlu analisa mengenai kekuatan struktur kemudi dan analisa aliran fluida yang mengenai struktur kemudi untuk mengetahui interaksi antara keduanya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami dari hati yang paling dalam mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini terutama mahasiswa, teknisi Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Batam dan secara khusus kami mengucapkan terima kasih kepada Akademi Perikanan Bitungyang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baharuddin. 2013. "Studi Motor Penggerak Kemudi KMP. Sultan Muhrum Setelah Mengalami Perubahan Dimensi Daun Kemudi. Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRKT) Vol. 11, No. 1, Januari – Juni 2013
- [2] Nikolau. 2011. Ship Dynamic in Waves. Universität Rostock. Fakultät für Maschinenbau und schiffstechnik
- [3] Kim, Hyun-Jun, et. al. 2012. "A Proposal on Standard Rudder Device Design Procedure by Investigation of Rudder Design Process at Major Korean Shipyards". Journal of Marine Science and Technology Vol. 20, No. 4m pp. 450-458
- [4] Degu, Yonas Mitiku. 2014. Redesigning the Rudder for Nigat Boat. The international Journal of Engineering and Science Vol. 3, issue 1, pages 1-9