

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Trawler Fishing Vessel (T 071)

Kapal ikan merupakan sarana apung yang dirancang secara khusus untuk menjalankan fungsi produksi di laut, mulai dari penangkapan hingga penyimpanan hasil tangkapan. Salah satu contoh desain kapal ikan modern yang menjadi referensi dalam pengembangan teknologi perikanan adalah Kapal Trawler Fishing Vessel (T 071). Kapal ini merupakan tipe *trawler* serbaguna yang memegang peran strategis dalam rantai pasok pangan global karena kemampuannya dalam mengoperasikan berbagai jenis alat tangkap. Desain T 071 diciptakan sebagai solusi teknis untuk menjawab kebutuhan operasional nelayan yang menuntut efisiensi tinggi, di mana kapal ini mampu menggabungkan fungsi penangkapan ikan dasar (*bottom trawling*) maupun ikan pelagis dengan stabil (*Sistem Produksi Perikanan Tangkap Dari Laut hingga Pasar*, n.d.).

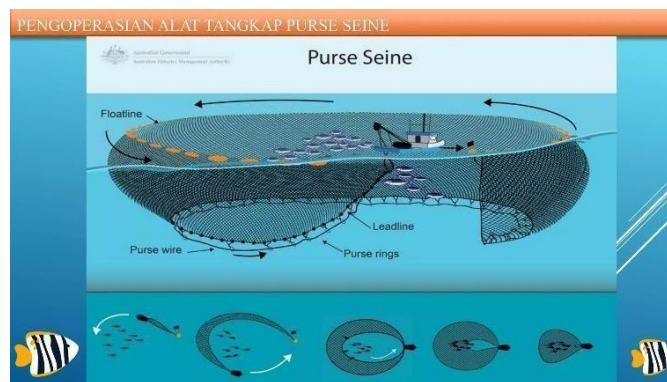


Gambar 2.1 Kapal Trawler fishing vessel (T 071)
Sumber: <https://www.dreamstime.com>

Karakteristik utama dari T 071 terletak pada desain lambungnya yang dirancang untuk memberikan volume palka yang optimal tanpa mengorbankan performa hidrodinamika. Sebagai kapal tipe multipurpose, kapal ini memiliki struktur yang sangat kuat untuk menahan beban dari peralatan mekanis seperti trawl winches dan sistem penanganan ikan di geladak. Untuk menjaga kualitas hasil tangkapan, T 071 dilengkapi dengan sistem isolasi termal pada palka-palkanya serta teknologi pendinginan modern yang memastikan kesegaran ikan tetap terjaga selama perjalanan Kembali ke pelabuhan (NURAYU PRATIWI 2023 1-2, n.d.). Keamanan operasional menjadi prioritas utama, sehingga kapal ini didesain memiliki kemampuan olah gerak yang baik guna menghadapi kondisi laut yang dinamis dan cuaca ekstrem yang sering terjadi di zona penangkapan ikan lepas pantai. ekonomi, penerapan desain kapal seperti Seafisher 2608 memberikan kontribusi besar bagi keberlanjutan industri perikanan. Keunggulan utamanya terletak pada efisiensi logistik; dengan performa mesin dan bentuk lambung yang terintegrasi, kapal dapat meminimalkan konsumsi bahan bakar yang seringkali menjadi beban biaya terbesar bagi nelayan. Bagi negara kepulauan dengan wilayah laut luas, ketersediaan kapal tipe trawler serbaguna ini sangat krusial dalam memastikan distribusi sumber daya laut dapat berjalan secara cepat dan berkelanjutan (YUSRAL SAMPE 2023 1-2, n.d.-b). Secara rekayasa teknis, modifikasi pada bagian Haluan kapal ini dengan mengadopsi teknologi Ulstein X Bow merupakan sebuah Langkah inovatif untuk lebih lanjut mereduksi hambatan total dan meningkatkan kenyamanan awak kapal, operasional penangkapan ikan menjadi jauh lebih optimal dan hemat energi dibandingkan desain konvensional (Ali et al., 2017).

2.2 Alat Tangkap Pukat Cincin

Alat tangkap pukat cincin atau *purse seine* merupakan salah satu jenis teknologi penangkapan ikan yang dirancang secara khusus untuk beroperasi mengepung kawanan ikan di dekat permukaan hingga kolom perairan atas. Berbeda secara fundamental dengan *Bottom Trawl* yang mengeruk dasar laut atau jaring hela yang ditarik aktif secara linear, pukat cincin bekerja dengan cara mengurung target tangkapan secara vertikal menggunakan dinding jaring raksasa tanpa pernah menyentuh atau merusak ekosistem bentik di dasar laut. Target tangkapan utama dari alat ini adalah kelompok ikan pelagis kecil dan besar yang memiliki perilaku hidup bergerombol dalam jumlah masif, seperti ikan kembung, layang, sirok, tongkol, cakalang, hinSgga tuna. Ukuran jaring pada pukat cincin umumnya didesain sangat panjang dan dalam agar dapat menciptakan radius pengepungan yang luas di laut lepas, sehingga mampu menyediakan ruang penutup horizontal yang optimal untuk mengurung seluruh kawanan ikan sebelum mereka sempat meloloskan diri ke arah bawah maupun samping perairan (Oftafia Wijayanti et al., n.d.).



Gambar 2.2 Alat tangkap pukat cincin Fishing Vessel (T 071)

Sumber: <https://id.pinterest.com>

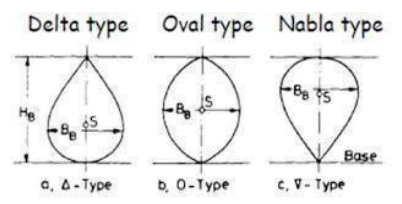
Secara struktural, efektivitas operasional pukat cincin sangat bergantung pada kecepatan manuver kapal saat melingkar kawanan ikan serta kekuatan mekanis dalam penarikan tali kerut (*purse line*) untuk menutup celah bagian bawah jaring. Pada awal pengoperasian, ujung jaring ditambat pada perahu bantu (*skiff boat*) atau pelampung tanda yang berfungsi sebagai poros, sementara kapal utama (*purse seiner*) melaju cepat memutar gerombolan ikan hingga membentuk lingkaran penuh yang solid. Selama proses ini, bagian atas jaring dijaga agar tetap mengapung sempurna di permukaan air berkat dukungan pelampung (*floats*) berdaya apung tinggi pada garis kepala (*headline*), sementara bagian bawah jaring langsung tenggelam tegak lurus membentuk dinding penyekat akibat beban dari rangkaian pemberat (*sinkers*) pada garis kaki (*purse rings*) yang terpasang pada tali ris bawah berperan penting dalam proses kritis pengurungan, ketika lingkaran jaring telah tertutup, ujung tali kerut yang terhubung dengan mesin derek kapal (*purse winch*) langsung ditarik dengan kecepatan tinggi sehingga seluruh cincin berkumpul menjadi satu di bawah lambung kapal dan mengubah bentuk jaring yang semula silinder terbuka menjadi kantong tertutup layaknya mangkuk raksasa. Berbeda dengan sistem trawl yang menyaring ikan berdasarkan laju dinamis kapal, mekanisme pukat cincin mengondisikan ikan di dalam ruang tertutup dengan konfigurasi ukuran mata jaring (*mesh size*) yang cenderung seragam pada badan jaring guna menghindari risiko ikan tersangkut pada mata jaring (*gilled*). Ketika jaring mulai dinaikkan ke atas dek menggunakan alat penggulung otomatis (*power block*), ruang gerak ikan akan semakin menyempit hingga mereka terkonsentrasi pada satu titik rapat di dekat lambung kapal yang disebut bagian kantong (*bunt*). Bagian kantong ini dirancang dengan kekutan material dan kerapatan tertinggi untuk menahan tekanan sisa air serta beban massal ikan sebelum seluruh hasil tangkap dipindahkan ke palka kapal menggunakan serok besar (*scoop net* atau *brail*).

2.3 Haluan Pada Kapal

Haluan Kapal adalah bagian depan dari badan kapal yang dirancang untuk membelah air dan memecah ombak saat kapal bergerak maju. Fungsi utama haluan adalah mengurangi tahanan air sehingga kapal dapat melaju lebih efisien dan stabil. Selain itu, haluan harus cukup tinggi untuk mencegah air masuk ke dalam kapal akibat ombak atau percikan air ketika berlayar (Techno Bahari et al., 2025a). Desain haluan yang baik juga membantu mengarahkan kapal untuk menjaga arah yang tepat serta meningkatkan kemampuan manuver, terutama di perairan sempit atau kondisi cuaca buruk. Haluan Kapal memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan kapal, mengurangi gesekan dengan air, dan kadang dilengkapi dengan perangkat untuk ankering serta alat navigasi. Bentuk haluan banyak variasinya seperti haluan bulbous bow tipe nabla dan haluan Ulstein X-Bow yang memberikan ruang muatan lebih luas dan stabilitas baik, serta haluan bulbous yang berfungsi menurunkan hambatan gelombang dan menghemat bahan bakar. Singkatnya, haluan kapal adalah bagian depan kapal yang berfungsi memecah air dan ombak dengan desain yang mengoptimalkan efisiensi pelayaran, keselamatan, dan stabilitas kapal selama perjalanan di laut (Kurniawan 2024 et al., n.d.).

2.4 Bulbous Bow Tipe Nabla

Haluan *Bulbous* merupakan inovasi desain hidrodinamika yang sangat mendasar dalam upaya meningkatkan efisiensi kapal niaga besar. Secara umum, haluan *Bulbous* adalah tonjolan struktural yang ditempatkan di bawah garis air (*waterline*) di bagian paling depan kapal, dengan tujuan utama mengurangi hambatan air (*resistensi*). Salah satu variasi desain paling canggih dari konsep ini adalah Haluan Bulbous Tipe *Nabla*. Bentuk "*Nabla*" sendiri memiliki profil yang ramping, runcing, dan sedikit melengkung, dirancang khusus untuk kinerja yang optimal. Keunggulan utama dari Haluan *Bulbous* Tipe *Nabla* terletak pada efisiensi hidrodinamika yang ditawarkannya, terutama pada kecepatan desain kapal (Indrawan et al., 2024).

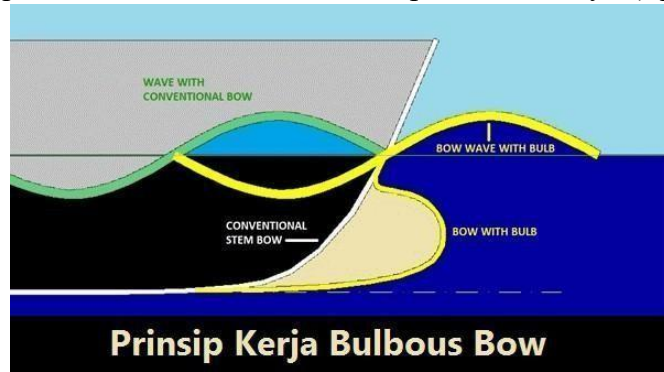


Gambar 2.3 Jenis Tipe Bulbous

Sumber: <https://ejurnal.its.ac.id>

Mekanisme kerjanya adalah menciptakan gelombang air yang berinterferensi (saling meniadakan) dengan gelombang haluan yang terbentuk oleh badan kapal. Proses interferensi destruktif ini efektif mengurangi total hambatan gelombang, sebuah komponen hambatan yang signifikan pada kapal. Sebuah komponen hambatan utama yang memerlukan energi besar dari mesin kapal ((SUTIYO its), n.d.2014). Bulbous Bow Tipe Nabla, yang berbentuk seperti simbol Nabla (∇) dan terletak menonjol di bawah permukaan air pada haluan kapal, menciptakan gelombang kedua dengan puncak dan lembah gelombang yang berlawanan fase dengan gelombang haluan utama. Akibatnya, kedua gelombang ini saling meniadakan (interferensi destruktif), sehingga mengurangi total energi gelombang yang dihasilkan dan menurunkan hambatan gelombang secara signifikan. Pengurangan hambatan ini sangat penting untuk efisiensi kapal, terutama untuk Kapal , karena kapal dapat mencapai kecepatan yang diinginkan dengan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Dengan menekan konsumsi bahan bakar, biaya operasional kapal juga berkurang secara drastis, yang sangat

vital di dunia industri pelayaran. Selain itu, Bulbous Bow tipe Nabla juga mempercepat aliran air di sekitar Bulb, menciptakan zona tekanan rendah yang membantu menekan haluan kapal ke bawah, memperbaiki trim dan stabilitas kapal saat berlayar (Iqbal et al., 2016).



Prinsip Kerja Bulbous Bow

Gambar 2.4 Mekanisme Kinerja Bulbous Bow

Sumber: <https://www.kapaldanlogistik.com>

2.5 Ulstein X-Bow

Haluan Ulstein X-Bow adalah sebuah terobosan desain moncong kapal yang sangat unik dan modern, dikembangkan oleh perusahaan galangan kapal Norwegia, Ulstein Group. Berbeda jauh dari haluan kapal biasa, termasuk Bulbous Bow Tipe Nabla. *Ulstein X-Bow* memiliki bentuk yang melengkung ke belakang atau terbalik. Desain radikal ini mengubah cara kapal bisa berinteraksi dengan air. Secara prinsip, X-Bow bekerja dengan menembus gelombang (*wave piercing*), bukan menabrak gelombang seperti haluan konvensional. Mekanisme ini membuat kapal mengalami gaya vertikal yang jauh lebih kecil, sehingga kapal naik turun seperti mengangguk (*pitching*), (*ULSTEIN*, n.d.) kapal menghantam air dengan keras setelah turun dari puncak gelombang (*slamming*), energi kapal terbuang untuk memecah gelombang (*energy loss* akibat *wave breaking*) yang dapat diminimalkan secara signifikan. Ketika kapal bergerak maju, bentuk haluan yang melengkung ke belakang menyebabkan air diarahkan menyamping sepanjang lambung, bukan terangkat ke atas sehingga menciptakan *spray* besar. Hal ini membuat X-Bow sangat efektif dalam mengurangi resistansi total pada kondisi laut asli.



Gambar 2.5 Kapal Ulstein X bow

Sumber: <https://Ulstein X-Bow.com>

Salah satu keunggulan paling menonjol dari X-Bow saat diaplikasikan pada kapal ikan seperti tipe Kapal Trawler Fishing Vessel T 071 adalah kemampuannya mempertahankan performa hambatan gelombang (*RW*) yang stabil pada berbagai kecepatan operasional. X-Bow tidak mengandalkan interferensi gelombang buatan, melainkan memodifikasi pola aliran di sekitar haluan secara pasif melalui bentuk geometrinya yang aerodinamis. Karakteristik ini sangat menguntungkan bagi kapal ikan yang memiliki variasi

kecepatan operasional yang dinamis, mulai dari kecepatan rendah saat proses penebaran jaring (shooting), kecepatan sedang saat penarikan jaring (hauling), hingga kecepatan penuh saat mengejar waktu kembali ke pelabuhan. Dengan demikian, efisiensi hidrodinamika yang dihasilkan menjadi lebih konsisten, yang pada akhirnya berkontribusi langsung pada penghematan bahan bakar secara menyeluruh (Oni et al., 2015).

2.6 Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di atas permukaan air pada kecepatan tertentu akan menghadapi gaya yang menahan atau melawan arah gerakannya. (Ali et al., 2017) Gaya ini disebut hambatan dan merupakan respon hidrodinamika fluida terhadap pergerakan kapal. Ketika lambung kapal bergerak maju, air yang berada di sekitarnya akan memberikan reaksi berupa gaya yang cenderung konvensional memperlambat laju kapal. Dengan demikian, setiap perpindahan kapal selalu disertai adanya hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi agar kapal dapat mempertahankan atau meningkatkan kecepatannya (Techno Bahari et al., 2025b).

Secara prinsip, hambatan kapal muncul akibat gaya fluida yang bekerja sejajar dengan arah gerakan kapal dan mengarah berlawanan dengan gerak maju tersebut. Gaya ini timbul karena interaksi antara permukaan lambung dan sifat fisik fluida, sehingga menciptakan hambatan hidrodinamika yang besarnya bervariasi bergantung pada kecepatan kapal, bentuk lambung, kondisi air, dan kondisi permukaan kapal itu sendiri, gaya hambat yang bekerja pada kapal merupakan hasil dari sejumlah komponen hambatan yang saling berkontribusi dan bekerja secara bersamaan (Tahana Total kapal Ferry RO-RO, n.d.). Hambatan total bukanlah satu jenis gaya tunggal, melainkan terdiri dari beberapa komponen. Ketika kapal bergerak, air fluida yang bersentuhan dengan badan kapal menimbulkan Hambatan Gesek. Energi kapal yang digunakan kapal untuk membentuk gelombang di haluan dan buritan menghasilkan Hambatan Gelombang. Selain itu, bagian atas kapal yang berinteraksi dengan angin menimbulkan Hambatan Udara (Analisa hambatan kapal 2017, n.d.).

2.7 Hambatan Gesek (Frictional Resistance)

Hambatan gesek merupakan komponen hambatan utama yang muncul akibat adanya pengaruh kekentalan atau viskositas pada fluida air laut saat mengalir dan bersentuhan langsung dengan seluruh bagian permukaan lambung kapal yang tercelup di bawah garis air (wetted surface area) (Nur Iqbal et al., 2020). Ketika kapal Trawler Fishing Vessel (T 071) bergerak maju membelah perairan, viskositas fluida tersebut menyebabkan terbentuknya suatu lapisan (Boundary layer) di sepanjang permukaan kulit lambung, dimana aliran fluida mengalami gradien perubahan kecepatan secara drastis dari kecepatan nol tepat di permukaan pelat lambung (no-slip condition) hingga berangsur meningkat mencapai kecepatan bebas fluida pada jarak tertentu di luar lapisan batas tersebut. Dalam sistem komputasi hidrodinamika pada perangkat lunak Maxsurf Resistance, besarnya nilai luas permukaan basah lambung (S) diekstrak secara otomatis dan presisi langsung dari model geometris permukaan 3D yang diimpor dari Maxsurf Modeler. Perangkat lunak ini mengalkulasi karakteristik friksi tersebut melalui pendekatan integrasi matematis fisis fluida tanpa memerlukan proses pembagian jaringan sel numerik (meshing) yang rumit. Untuk menentukan nilai akhir dari gaya hambat gesek ini, algoritma didalam Maxsurf Resistance sepenuhnya mengadopsi standarisasi korelasi hidrodinamika internasional yang ditetapkan oleh International Towing Tank Conference (ITTC) 1957. Proses perhitungan diawali dengan menentukan karakteristik rezim aliran fluida di sepanjang-panjang garis efektif kapal (LWL) melalui formulasi parameter tanpa dimensi yang dikenal sebagai Angka Reynolds (R_n).

$$R_n = \frac{V \cdot L_{WL}}{v}$$

Setelah nilai angka Reynolds berhasil diperoleh, Maxsurf Resistance akan menggunakannya untuk menghitung nilai Koefisien Hambatan Gesek dua dimensi (CF) melalui korelasi standar ITTC 1957 Line. Persamaan koefisien tersebut dirumuskan sebagai:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} \frac{R_n}{n} - 2)^2}$$

Melalui perolehan koefisien tersebut, nilai Hambatan Gesek total (RF) pada setiap variasi kecepatan operasional kapal ikan dapat diselesaikan secara simultan menggunakan persamaan dasar mekanika fluida. Persamaan Hambatan Gesek total tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S \cdot V^2$$

Nilai RF yang dihitung secara kontinu dari kecepatan 10 hingga 20 knot ini nantinya akan diintegrasikan dengan komponen hambatan lainn ya untuk membentuk kurva performa hambatan total lambung pada tahapan analisis data berikutnya.

2.7 Hambatan Tekanan (*Pressure Resistance*) dalam Pendekatan Maxsurf

Hambatan Tekanan timbul akibat adanya ketidakseimbangan distribusi tekanan fisis pada permukaan lambung ketika kapal bergerak membelah fluida air laut. Saat aliran air mengalir mengikuti kontur lambung, terjadi variasi percepatan dan perlambatan aliran lokal yang memunculkan akumulasi perbedaan gaya tekan antara area haluan (bow) yang menerima tekanan tinggi dan area buritan (stern) yang cenderung menerima tekanan lebih rendah. Dalam pendekatan komputasi hidrodinamika standar pada perangkat lunak Maxsurf Resistance, komponen hambatan tekanan akibat pengaruh bentuk tiga dimensi lambung ini tidak dihitung secara terpisah lewat pembacaan sel fluida lokal, melainkan dimodelkan secara matematis melalui penggunaan faktor bentuk (form factor, 1+k). Faktor ini berfungsi untuk mengoreksi nilai hambatan gesek dua dimensi (RF) menjadi nilai hambatan viskos total (RV) yang representatif terhadap geometri nyata tiga dimensi kapal melalui persamaan hambatan viskos dirumuskan:

$$R_V = (1 + k)R_F$$

Di dalam sistem internal Software Maxsurf Resistance, nilai k diestimasi berdasarkan formula empiris bawaan yang mengintegrasikan rasio dimensi utama lambung seperti perbandingan panjang terhadap lebar (L/B) serta lebar terhadap sarat air (B/T) beserta kelangsungan profil garis air kapal. Profil geometri haluan kapal penembus gelombang seperti perubahan progresif pada potongan penampang melintang lambung dan sudut masuk haluan. Bentuk haluan yang streamline tersebut mampu mengarahkan dan menyebarkan aliran air di bagian depan secara halus, sehingga menekan kenaikan nilai faktor bentuk (k), mengoptimalkan transisi aliran menuju buritan, dan menjaga stabilitas estimasi hambatan total disepanjang rentang kecepatan jelajah kapal Trawler (T 071) yang diuji.

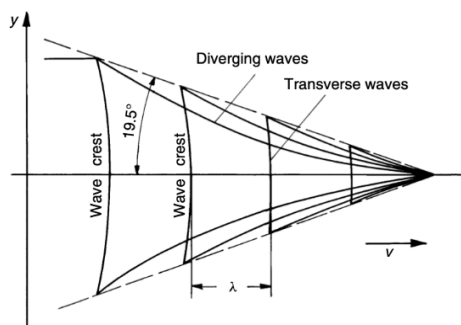
2.8 Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*)

Hambatan gelombang dapat dipahami sebagai bagian dari gaya hambat kapal yang muncul akibat kebutuhan energi yang terus-menerus untuk membangkitkan gelombang di permukaan perairan selama kapal bergerak. Ketika kapal melaju, interaksi antara lambung dan air menghasilkan pembentukan sistem gelombang yang menyebar di sekitar kapal. Sistem tersebut umumnya terdiri atas dua bentuk utama, yakni gelombang yang menjalar

melintang terhadap arah gerak serta gelombang yang menyebar ke samping dan belakang kapal. Proses pembangkitan gelombang ini memerlukan energi yang tidak sedikit, sehingga besarnya dinamika gelombang yang terjadi berpengaruh langsung terhadap kebutuhan daya kapal. Oleh karena itu, hambatan gelombang dipandang sebagai salah satu unsur penting yang menyusun total hambatan kapal secara keseluruhan (Hambatan Total Cathedral Hull Pada Kapal Amphibious High-Speed Craft Romadhoni et al., 2024).

Gelombang transversal terbentuk dengan arah rambat yang tegak lurus terhadap lintasan gerak kapal dan menampilkan pola berulang di sepanjang permukaan air di sekitar lambung. Pada kondisi kecepatan rendah, panjang gelombang yang dihasilkan umumnya masih lebih pendek dibandingkan panjang kapal, sehingga beberapa puncak gelombang dapat muncul secara berurutan di sepanjang badan kapal. Situasi ini terjadi karena gelombang yang terbentuk di bagian haluan belum berkembang secara penuh dan masih dipengaruhi oleh interaksi langsung dengan bentuk serta permukaan lambung. juga menjelaskan bahwa pada kecepatan rendah, pola gelombang yang terbentuk hanya menyerap energi dalam jumlah terbatas, sehingga kontribusi hambatan gelombang terhadap total hambatan kapal relatif kecil dibandingkan pada kondisi kecepatan yang lebih tinggi.

Seiring meningkatnya kecepatan kapal, panjang gelombang transversal juga bertambah. Ketika panjang gelombang mendekati panjang kapal, hambatan/gelombang (*wave making resistance*) akan meningkat secara signifikan. Pada kecepatan tertentu, ketika panjang gelombang dari sistem transversal sama dengan panjang kapal, kondisi ini dikenal sebagai *hull speed*. Di atas kecepatan *hull speed*, hambatan gelombang meningkat sangat tajam, sehingga menambah hambatan total secara drastis. Selain sistem transversal, terbentuk pula sistem gelombang divergen. Sistem ini muncul akibat interaksi fluida dengan dua titik kritis kapal, yaitu haluan dan buritan. Interaksi antara kedua gelombang ini menghasilkan pola kurva hambatan yang menampilkan fenomena *hump* dan *hollow*. Fenomena *hump* terjadi ketika gelombang haluan dan gelombang buritan bertemu dalam fase yang sama (puncak bertemu puncak), sehingga terjadi superposisi yang meningkatkan amplitudo gelombang. Sebaliknya, fenomena *hollow* terjadi ketika kedua gelombang berada dalam fase berlawanan (puncak bertemu lembah), menghasilkan interferensi destruktif yang menurunkan amplitudo gelombang. Pola ini menyebabkan kurva hambatan menunjukkan naik turun sesuai karakteristik interaksi gelombang.



Gambar 2.6 Gelombang Transver dan Divergen

Sumber: <https://pttensor.com>

2.9 Hambatan Viskositas

Hambatan Viskositas pada kapal merupakan akibat dari distribusi tekanan yang tidak seragam di sepanjang permukaan lambung. Distribusi tekanan ini dipengaruhi oleh bentuk lambung dan karakteristik aliran fluida yang bergerak melewati kapal. Pada kapal yang memiliki bentuk lambung penih seperti kapal, perubahan penampang yang terjadi dari haluan ke tengah kapal cenderung lebih cepat dan tajam sehingga menghasilkan gradien tekanan

besar. Kondisi tersebut menyebabkan aliran di sekitar lambung kehilangan kestabilannya dan berpotensi mengalami pemisahan aliran (*flow separation*). Ketika aliran terpisah, muncul daerah tekanan rendah dan pusaran (*vortex*) di bagian belakang titik pemisahan yang menyebabkan energi hilang lebih banyak, sehingga nilai hambatan viskositas meningkat. hambatan viskositas sangat dipengaruhi oleh kemampuan lambung dalam mengarahkan aliran secara mulus sepanjang permukaan kapal (Rizka Maulidah et al., n.d.). Bentuk lambung yang tidak streamline akan menimbulkan peningkatan tekanan secara mendadak atau *adverse pressure gradient*. Jika tekanan meningkat terlalu cepat, aliran fluida tidak mampu mempertahankan momentum sehingga mengalami perlambatan drastis. Akibatnya, terjadi pemisahan aliran pada area yang memiliki perubahan kelengkungan besar. Fenomena ini umum terjadi pada haluan kapal konvensional dan buritan kapal, sehingga komponen hambatan ini cenderung signifikan (n.d.).

Pada haluan tipe tertentu, seperti *Bulbous Bow tipe Nabla*, hambatan viskositas menunjukkan perilaku yang sangat bergantung pada kecepatan operasi kapal. Haluan tipe ini dirancang untuk bekerja optimal pada kecepatan desain tertentu. Ketika kapal bergerak di bawah atau di atas kecepatan desain, pola tekanan di sekitar bulb menjadi tidak stabil. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya pemisahan aliran disisi bulb sehingga meningkatkan hambatan viskositas secara drastis. (Dewi dan Prasetyo, 2023) mencatat bahwa pada kondisi *off-design*, nilai *form factor* pada *Bulbous Bow* dapat meningkatkan hingga 20-30% dibandingkan kondisi idealnya. Peningkatan *form factor* tersebut menunjukkan besarnya pengaruh bentuk lambung terhadap besarnya hambatan viskositas. Sebaliknya, pada desain haluan *Ulstein X-Bow*, karakteristik alirannya lebih stabil karena bentuk haluannya yang memanjang ke bawah dan melengkung secara mulus. Bentuk ini menghasilkan distribusi tekanan yang lebih halus tanpa adanya peningkatan tekanan yang *abrupt*. Aliran mampu mengikuti kontur lambung dengan baik, sehingga risiko pemisahan aliran jauh lebih kecil. Dengan rendahnya tingkat *flow separation*, energi yang hilang akibat pusaran dapat diminimalisir, sehingga nilai hambatan viskositas menjadi lebih rendah dan lebih stabil pada berbagai kondisi kecepatan. (n.d.) menyatakan bahwa haluan X-Bow memiliki nilai *form factor* yang lebih kecil 10-18% dibandingkan haluan konvensional, menegaskan efektivitasnya dalam mengurangi hambatan viskositas. Secara matematis, hambatan viskositas dihitung berdasarkan rekomendasi ITTC, nilai hambatan viskositas dirumuskan sebagai:

$$R_v = (1+k) R_f$$

Dengan R_f merupakan hambatan gesek dan k adalah faktor bentuk. Nilai k menjadi indikator seberapa besar pengaruh bentuk lambung terhadap pembentukan komponen hambatan viskositas. Kapal dengan bentuk lambung ramping memiliki k yang relatif kecil, sedangkan kapal dengan lambung penuh memiliki k yang besar. Dalam konteks penelitian ini, perbedaan bentuk haluan antara *Ulstein X-Bow* dan *Bulbous Bow tipe Nabla* menjadi salah satu faktor utama yang menentukan variasi nilai R_v pada masing-masing konfigurasi. Hambatan Viskositas merupakan komponen hambatan yang sangat dipengaruhi oleh geometri lambung dan pola aliran fluida. Kapal dengan haluan yang mampu menjaga aliran tetap menempel pada permukaan lambung, seperti *Ulstein X-Bow*, cenderung memiliki hambatan viskositas yang lebih rendah. Sebaliknya, bentuk haluan yang menghasilkan peningkatan tekanan mendadak atau pemisahan aliran berpotensi meningkatkan hambatan viskositas secara signifikan. Pemahaman tentang karakteristik hambatan ini menjadi penting dalam analisis komparatif desain haluan untuk meningkatkan efisiensi hidrodinamika kapal (Suryawanshi, 2020)

Coefficient of Viscous Resistance (cont)

• **Coefficients of Viscous Resistance**

- Non-dimensional quantity of viscous resistance
- It consists of tangential and normal components.

$$C_V = C_{\text{tangential}} + C_{\text{normal}} = C_F + KC_F$$



• **Tangential Component : C_F**

- Tangential stress is parallel to ship's hull and causes a net force opposing the motion ; **Skin Friction**
- It is assumed C_F can be obtained from the experimental data of flat plate.

Gambar 2.7 Coefficient of Viscous Resistance

Sumber: <https://image.slidesharecdn.com>

2.10 Hambatan Tambahan (Added Resistance)

Hambatan tambahan merupakan gaya hambat ekstra yang dialami kapal akibat faktor lingkungan nyata yang tidak ditemui pada kondisi air tenang (Calm Water). Dalam operasional kapal, hambatan ini menjadi parameter kritis karena menentukan seberapa besar cadangan daya (Sea margin) yang harus disediakan oleh mesin utama. Berdasarkan Studi Hidrodinamika modern (FEBRIANI ROHMA DHANA ITS, n.d.2018), komponen hambatan tambahan ini terdiri dari beberapa poin utama:

1. Hambatan Gelombang Laut (*Raw*): Di saat kapal beroperasi di laut nyata, kapal akan berinteraksi dengan gelombang, energi dari gelombang yang datang dari arah depan akan terpantul oleh lambung kapal, menciptakan gaya hambat tambahan yang signifikan.
2. Hambatan Akibat Gerakan Kapal (*Motion-Induced Resistance*): Ombak menyebabkan kapal bergerak naik-turun (*Heaving*) dan mengganggu (*Pitching*). Setiap kali haluan kapal terangkat dan jatuh kembali ke air, terjadi kehilangan energi kinetik.
3. Hambatan Angin (*Wind Resistance*): Gaya hambat ini muncul dari interaksi antara udara dengan bagian kapal di atas garis air. Pada kecepatan tinggi (10-20 knot), hambatan angin menjadi faktor yang tidak bisa diabaikan. Berdasarkan standar (ITTC, 2024), bentuk haluan yang lebih aerodinamis akan membantu mengurangi koefisien hambatan udara, Hambatan Akibat kekasaran Lambung : Di laut nyata, lambung kapal akan mengalami penempelan organisme laut (*Biofouling*) atau korosi. Hal ini meningkatkan kekasaran permukaan lambung yang secara langsung menambah hambatan gesek. Faktor ini biasanya dimasukkan sebagai nilai korelasi tambahan untuk mendekati kondisi operasional yang sebenarnya.

2.11 Hambatan Total

Hambatan total Merupakan gaya fluida yang bekerja dengan arah gerak maju kapal. pemahaman mengenai komponen hambatan sangat penting untuk memprediksi kebutuhan daya mesin, terutama pada kapal dengan kecepatan operasional tinggi (Sb yunus, n.d.2018). Secara matematis, Hambatan total (RT) dapat di hitung menggunakan persamaan dasar berikut:

$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot CT \cdot S \cdot V^2$$

Dimana :

CT : Koefisien hambatan total

S : Luas permukaan basah lambung kapal

(m^2) V/1 : Kecepatan kapal (m/s)

ρ/l : Massa jenis fluida (kg/m^3)

Hambatan total merupakan akumulasi dari tiga komponen utama yang bekerja secara simultan, yaitu Hambatan Viskositas, Hambatan Gelombang, dan Hambatan akibat lingkungan. Hubungan ini dirumuskan sebagai berikut:

$$RT = RV + RW + RAdded$$

Dimana :

RV/I : Hambatan Viskositas (akibat kekentalan fluida)

RW : Hambatan Gelombang (akibat pembentukan gelombang di permukaan)

$Radded$: Hambatan Tambahan (beban ekstra akibat angin dan ombak nyata)

Dalam operasionalnya, besar hambatan kapal akan meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya kecepatan. Pada kapal trawler yang memiliki koefisien blok (CB) besar, fenomena peningkatan hambatan yang signifikan sering terjadi saat mendekati kecepatan dinas akibat besarnya volume air yang dipindahkan. (ahmad zulfiqar n.d.2022)) menyatakan bahwa desain haluan menjadi variabel paling kritis dalam memanipulasi aliran air untuk menekan lonjakan hambatan tersebut. Pengguna teknologi haluan inovatif, seperti Bulbous Bow tipe Nabla, telah menjadi standar industri untuk menciptakan mekanisme interferensi gelombang destruktif yang mampu membatalkan puncak gelombang haluan. Namun, efektivitas Bulbous bow ini sangat terbatas pada satu titik kecepatan desain tertentu (Chrismianto et al., 2014) . Sebagai solusi alternatif teknologi Ulstein X-Bow hadir dengan prinsip wave piercing yang membelah gelombang secara kontinu tanpa bergantung pada interferensi volumetrik semata. (Ulstein, 2023), kapal tanpa optimasi haluan cenderung mengalami hambatan yang jauh lebih tinggi karena aliran air di sekitar haluan mengalami turbulensi dan pemisahan aliran (flow separation) yang besar. Hal ini dipertegas oleh (Romansah e), yang menyatakan bahwa integrasi desain haluan yang tepat tidak hanya menurunkan hambatan gelombang (Rw), tetapi juga meminimalkan hambatan tambahan di laut nyata, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan sesuai dengan standar emisi maritim global.

2.12 Metode Perhitungan Hambatan Kapal dengan Metode Empris (Maxsurf Resistance)

Metode analisa hambatan kapal yang umum digunakan meliputi yaitu:

A. Metode Guldhamer-Holtrop-Yamagata

Metode Guldhamer, Holtrop, dan Yamagata merupakan metode statistik-analitis yang umum digunakan untuk menghitung hambatan kapal pada tahap desain awak. Di antara ketiganya Holtrop-Mennen adalah yang paling sering diandalkan untuk kapal karena keakuratannya dalam memprediksi pengaruh bentuk haluan Bulbous Bow terhadap hambatan total. Penggunaan kombinasi metode ini bertujuan untuk mendapatkan estimasi hambatan yang lebih presisi dengan mempertimbangkan berbagai parameter, seperti koefisien blok (CB), Luas permukaan basah, dan efek gelombang pada variasi kecepatan (Suardi et al., 2024).

B. Metode Savitsky

Metode Savitsky merupakan standar perhitungan untuk memprediksi hambatan pada kapal tipe planing (kapal cepat). Dikembangkan oleh Daniel Savitsky, metode ini fokus pada perhitungan gaya angkat hidrodinamika (hydrodynamic lift) dan stabilitas kapal saat melaju pada bilangan Froude (F_n) yang tinggi. Dalam konteks kapal, metode ini biasanya digunakan sebagai studi literatur pembandingan. Hal ini dikarenakan Kapal umumnya beroperasi sebagai kapal displacement (Dian Alfanda et al., n.d.).

C. Metode Compton

Metode Compton adalah metode perhitungan hambatan yang dikembangkan berdasarkan hasil uji coba sistematis terhadap seri kapal dengan buritan transom (buritan datar). Metode ini fokus pada kapal-kapal yang memiliki body cukup lebar namun pendek, yang biasanya sulit dihitung secara akurat menggunakan metode konvensional. Dalam perancangan kapal, metode ini memberikan keunggulan dalam memprediksi Hambatan Residu (CR) atau hambatan sisa yang disebabkan oleh bentuk lambung di bawah permukaan air. Dengan menggunakan plot data non dimensional, metode Compton membantu desainer memperkirakan bagaimana perubahan kecepatan akan memengaruhi pola aliran air di bagian belakang kapal, sehingga sangat berguna sebagai dasar pembandingan untuk mengoptimalkan efisiensi bahan bakar.

2.13 Formulasi Perhitungan Hambatan Berdasarkan Standar ITTC

Di dalam algoritma Maxsurf Resistance, Perhitungan komponen hambatan kapal secara umum mengadopsi standarisasi korelasi dari ITTC (International Towing Tank Conference)(Call for Papers Special Issue of ITTC (ITTC Journal): 1 St Issue, n.d.), yang membagi komponen Hambatan Total (RT) menjadi komponen Hambatan Viskositas/Gesek (RV) dan Hambatan gelombang (RW)(Call for Papers Special Issue of ITTC (ITTC Journal): 1 St Issue, n.d.). Formulasi dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$RT = RV + RW$$

$$RT = (1+k) R_F + RW$$

Dimana

1. RT = Hambatan Total Kapal (Newton, N)
2. $1 + k$ = Faktor bentuk (*form factor*) lambung kapal untuk mengoreksi pengaruh geometri tiga dimensi terhadap aliran fluida
3. R_F = Hambatan gesek dua dimensi (*Frictional Resistance*).
4. RW = Hambatan gelombang (*Wave-Making Resistance*).

Untuk menghitung nilai komponen Hambatan Gesek (R_F), *Maxsurf Resistance* menggunakan garis korelasi standar **ITTC 1957** dengan rumus:

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot C_F \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

1. ρ = Massa jenis fluida/air laut (1.025 t/m^3)
2. S = Luas permukaan basah lambung / *Wetted Surface Area* (m^2)
3. V = Kecepatan kapal saat bergerak di air (m/s)
4. C_F = Koefisien hambatan gesek, yang dicari berdasarkan angka Reynolds (Re)

Melalui persamaan:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R - 2)^2}$$

Serta nilai Angka Reynolds (R_e) ditentukan dari formula:

$$R_e = \frac{v \cdot L_{WL}}{\nu}$$

Dimana ν adalah viskositas kinematik dari air laut standar.

2.14 Penerapan Metode Slender Body untuk Haluan Ulstein X-Bow

Pemilihan Metode empiris spesifik di dalam menu Maxsurfe Resistance harus disesuaikan dengan jenis karakteristik bentuk lambung kapal yang diuji, Metode empiris standar seperti Holtrop & Mennen atau Taylor-Gertler umumnya memiliki keterbatasan sensitivitas jika diaplikasikan Pada kapal berhaluan tidak konvensional, karena basis data metode-metode konvensional tersebut didominasi oleh kapal berhaluan standar seperti Bulbous Bow. Untuk kapal nelayan dengan variasi Wave-piercing seperti Ulstein X-Bow, metode yang paling tepat dan direkomendasikan di dalam Maxsurf Resistance adalah Metode Slender Body (Metode lambung Langsing)(Simanjuntak et al., 2022).

Metode Slender Body tidak hanya melihat parameter dimensi utama secara global, melainkan bekerja dengan cara membagi seluruh panjang lambung menjadi beberapa stasiun potongan melintang secara progresif. Secara matematis, metode ini mengintegrasikan perubahan distribusi volume dan luas penampang melintang di sepanjang garis air (LWL), terutama pada area masuknya air di bagian haluan (entrance angle). Dengan pendekatan fisis ini, Maxsurfe Resistance mampu mendeteksi secara sensitif bagaimana bentuk lengkungan ekstrem ke belakang dan ketajaman haluan Ulstein X-Bow dalam membelah atau memotong formasi gelombang, sehingga menghasilkan prediksi penurunan nilai komponen Hambatan Gelombang (RW) yang valid pada kondisi kecepatan operasional tinggi (10 hingga 20 knot).

2.15 Perhitungan Daya Efektif Kapal (*Effective Horse Power/EHP*)

Setelah nilai Hambatan Total (RT) pada setiap variasi kecepatan operasional berhasil dikalkulasi oleh Maxsurfe Resistance, langkah krusial berikutnya adalah mengonversikan nilai gaya tersebut menjadi besaran daya. Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan lambung kapal pada kecepatan tertentu tanpa memperhitungkan efisiensi sistem propulsi dan transmisi disebut sebagai Daya Efektif Kapal atau Effective Horse Power (EHP). Secara fisis, (Priohutomo & Permana, 2022) EHP merupakan hasil perkalian langsung antara gaya hambat total yang dialami lambung dengan kecepatan laju kapal di atas air. Di dalam algoritma perhitungan Maxsurf Resistance, persamaan dasar yang digunakan untuk menentukan EHP adalah sebagai Berikut:

$$EHP = R_T \cdot v$$

Dimana:

1. $EHP = \text{Effective Horse Power}$ (Watt atau diubah ke Horse Power, HP)
2. $R_T =$ Hambatan Total Hasil kalkulasi metode empiris (N)
3. $v =$ Kecepatan kapal (m/s)

Data tren kurva hambatan total (RT) dan kebutuhan daya (EHP) inilah yang selanjutnya disajikan secara grafis di Bab IV untuk membandingkan tingkat efisiensi hidrodinamika antara haluan lambung Ulstein X-Bow.

2.16 Model Ship

Model Ship Extrapolation adalah proses perhitungan secara matematis untuk memprediksi hambatan kapal ukuran penuh (full scale/prototype) berdasarkan data hambatan yang diperoleh dari hasil pengujian model (baik melalui tangki percobaan / tow tank maupun hasil numerik Maxsurf Resistance). Metode ekstrapolasi yang paling umum digunakan dan diakui secara internasional adalah metode ITTC 1978 (International Towing Tank Conference). Prinsip dasar dari ekstrapolasi ini didasarkan pada hukum kesamaan (law of comparison), yang dikemukakan oleh Wiliam Froude, yang membagi hambatan total kapal (CT) menjadi dua komponen utama:

- A. Hambatan Viskositas (C_V) : Berhubungan dengan kekentalan air dan gesekan lambung (dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds*, R_n).
- B. Hambatan Sisa/Gelombang (C_R Atau C_W): Berhubungan dengan gaya gravitasi dan pola gelombang yang dibentuk kapal (dipengaruhi oleh bilangan froude, F_n).

Prinsip kesamaan Froude, agar data dari model dapat dikonversi kapal asli, simulasi atau pengujian harus dilakukan pada bilangan Froude yang sama ($F_{nm}=F_{ns}$). Persamaan hambatan total koefisien menurut ITTC 1978 secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$CTS = (1+k) CFS + CW + CA$$

Keterangan :

CTS : Koefisien hambatan total kapal asli (*Ship*)

(1+k) : Faktor bentuk (form factor) untuk memperhitungkan pengaruh bentuk lambung terhadap hambatan viskositas.

CFS : Koefisien hambatan gesek kapal asli (berdasarkan rumus ITTC 1957).

CW : Koefisien hambatan gelombang yang dianggap sama antara model dan kapal asli

CA : Koefisien korelasi model kapal (*incremental resistance*) untuk mengompensasi kekasaran lambung kapal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Desain

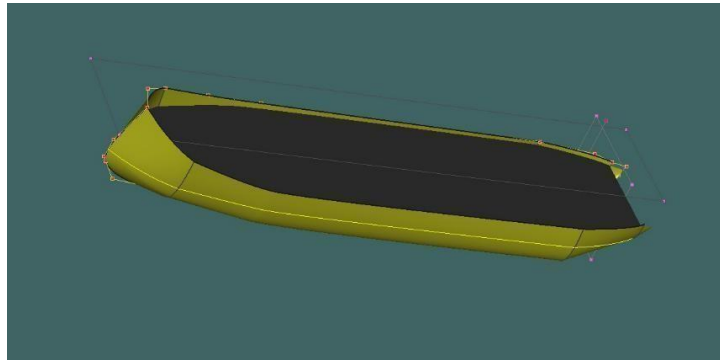
Penelitian yang dilakukan menggunakan objek kapal sumber referensi data kapal dan serta data kapal yang sudah ada di sumbernya.

Tabel 3.1 Data Ukuran Kapal Ikan

Keterangan	Ukuran Kapal
Length	63.40 m
Beam	15.205 m
Draught	8.10 m
Tonnage (GT)	175 GT

3.2 Alat

Alat yang digunakan untuk pengujian numerik yaitu : *Maxsurf Resistance*. Untuk Rencana Kapal Ikan dengan menggunakan Lambung Ulstein.



Gambar 3.1 Bentuk Kapal Ikan lambung Ulstein X-Bow

3.3 Tempat Pelaksanaan

Untuk tempat pelaksanaan yang dikerjakan di Lab computer TRKP Universitas Diponegoro, pem buatan Desain 3D Model kapal dengan Lambung Ulstein.

3.4 Metode

Penelitian ini dilakukan analisis hambatan kapal nelayan dengan variasi haluan Ulstein X-Bow menggunakan perangkat *SoftWare Maxsurf Resistance* dilakukan dengan melalui tahapan-tahapan sistematis Holtrop.

3.5 Variabel Penelitian

Untuk memberikan batasan yang jelas serta mempermudah proses pengukuran dan pengolahan data pada tahap komputasi empiris, variabel-variabel dalam penelitian ini ditentukan secara terintegrasi berdasarkan fungsi masing-masing, variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan operasional kapal (V_s), yang secara operasional didefinisikan sebagai lajur gerak maju kapal saat membelah media fluida yang diatur pada rentang tertentu di dalam menu Speed Trim pada perangkat lunak Maxsurf Resistance. Indikator pengukuran kecepatan ini menggunakan satuan knot, yang kemudian dikonversi oleh sistem

kedalam satuan meter per detik (m/s), di mana variasi titik uji kecepatan yang diaplikasikan meliputi 10 knot, 12 knot, 14 knot, 16 knot, 18 knot, 20 knot.

3.6 Output

Output yang dihasilkan dari penelitian ini berupa:

1. HAKI (Hak Kekayaan Intelektual) berupa Karya Rekaman Video.
2. Paper atau Artikel Ilmiah dan paten sederhana.

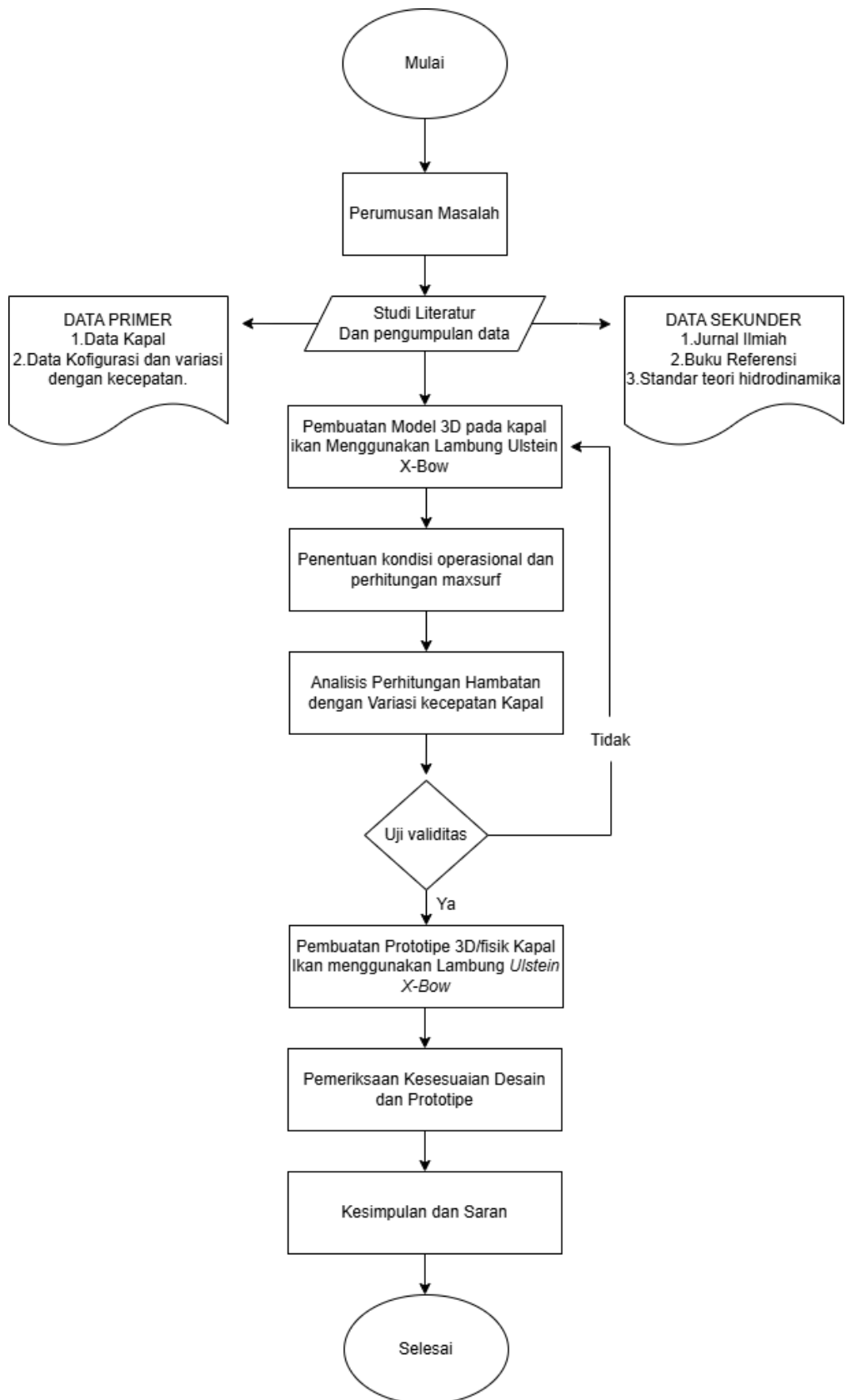
3.7 Jadwal Kegiatan

Adapun jadwal kegiatan yang akan kami lakukan ialah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Studi Pustaka /Literatur								
2	Pengumpulan Data								
3	Pembuatan Model								
4	Pengujian Design Lambung								
5	Pembuatan laporan TA								

3.8 Flowchart Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian