

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Automatic Identifikasi System (AIS)

Automatic Identification System (AIS) merupakan sistem komunikasi otomatis berbasis *Very High Frequency* (VHF) yang dirancang untuk mentransmisikan dan menerima data navigasi kapal secara real-time. AIS dikembangkan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pelayaran dengan menyediakan informasi seperti identitas kapal, posisi geografis, arah haluan, kecepatan, dan tujuan pelayaran kepada kapal lain dan otoritas pantai. Sistem ini diatur oleh *International Maritime Organization* (IMO) melalui ketentuan *Safety of Life at Sea* (SOLAS) Chapter V Regulation 19, yang mewajibkan semua kapal di atas 300 GT dan kapal penumpang untuk memasang AIS sejak tahun 2004 [14].

Secara teknis, AIS bekerja melalui transmisi sinyal digital menggunakan *Self-Organizing Time Division Multiple Access* (SOTDMA), yang memungkinkan ribuan kapal berbagi frekuensi radio yang sama tanpa saling mengganggu. Setiap kapal yang dilengkapi dengan AIS akan mengirimkan pesan yang berisi data dinamis (seperti posisi, arah, dan kecepatan) serta data statis (seperti nama kapal, panjang, dan bendera negara). Informasi tersebut dapat diterima oleh kapal lain di sekitar, stasiun pantai, dan satelit. Menurut [16], AIS merupakan tulang punggung dalam sistem navigasi maritim modern karena kemampuannya mengintegrasikan komunikasi antar kapal dengan pengawasan berbasis data secara simultan.

Tujuan utama AIS adalah untuk meningkatkan situational awareness di laut dan mengurangi risiko kecelakaan melalui pertukaran informasi otomatis antar kapal dan otoritas pelabuhan. AIS memberikan manfaat strategis dalam mendukung sistem *Collision Avoidance*, *Vessel Traffic Service* (VTS), serta operasi pencarian dan penyelamatan (*Search and Rescue/SAR*). [17] menegaskan bahwa data AIS menjadi elemen kunci dalam pengawasan maritim karena memberikan representasi yang akurat tentang kondisi lalu lintas laut dan memungkinkan otoritas untuk memantau kepadatan serta mendeteksi potensi tabrakan secara dini.

AIS terbagi menjadi dua tipe utama, yaitu Class A dan Class B. *Class A* digunakan pada kapal komersial besar dan internasional wajib dipasang pada kapal

kargo > 300 GT, kapal penumpang dan tanker sesuai dengan SOLAS Chapter V, sedangkan *Class B* diperuntukkan bagi kapal kecil dan kapal rekreasi (< 300 GT) yang tidak wajib SOLAS tapi direkomendasikan untuk keselamatan serta dengan daya pancar lebih rendah terdapat pada peraturan menteri perhubungan No. PM 18 tahun 2022. Selain itu, terdapat pengembangan *Satellite-AIS* (S-AIS) yang memungkinkan pengawasan kapal di area laut lepas yang tidak terjangkau oleh stasiun Pantai [18] menyoroti bahwa S-AIS telah menjadi instrumen penting dalam mendukung *Maritime Domain Awareness* (MDA) global, memungkinkan pemantauan terhadap lebih dari 200.000 kapal aktif di seluruh dunia. Di Indonesia, penerapan AIS dikembangkan melalui kolaborasi antara Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (DJPL), Badan Keamanan Laut (Bakamla), dan Badan Informasi Geospasial (BIG). Sistem ini digunakan untuk mendukung *Vessel Traffic Service* (VTS) dan pengawasan terhadap kapal asing yang melintas di perairan Indonesia. Studi oleh [17] menunjukkan bahwa penerapan AIS di pelabuhan besar seperti Tanjung Priok dan Surabaya telah meningkatkan efektivitas pemantauan lalu lintas kapal serta mempercepat respons terhadap potensi insiden laut.

Meski memberikan banyak manfaat, AIS juga menghadapi tantangan seperti manipulasi data (*AIS spoofing*), jangkauan sinyal terbatas, dan potensi kebocoran informasi sensitif. mengusulkan pendekatan *Hybrid AIS Monitoring System* yang menggabungkan AIS dengan radar dan sensor optik untuk meningkatkan akurasi dan keamanan sistem. Ke depan, pengembangan AIS diarahkan menuju integrasi dengan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Big Data Analytics* untuk meningkatkan kemampuan prediksi dan deteksi dini terhadap risiko navigasi serta aktivitas maritim ilegal [18].

2.1.1. Ciri-ciri dan komponen AIS

Automatic Identification System (AIS) memiliki karakteristik teknis dan fungsional yang membedakannya dari sistem navigasi konvensional. Ciri utama AIS adalah kemampuannya melakukan pertukaran data secara otomatis dan real-time tanpa perlu intervensi manual, yang menjadikannya bagian penting dalam sistem navigasi modern. Sistem ini mampu memberikan identifikasi, pelacakan, dan transmisi data posisi kapal secara kontinu melalui gelombang *Very High*

Frequency (VHF) [19] karakteristik mendasar AIS dapat dijelaskan melalui beberapa aspek berikut:

1. Otomatisasi data – seluruh informasi dikirim dan diterima tanpa operasi manual dari kru kapal, sehingga mengurangi potensi kesalahan manusia.
2. Pertukaran dua arah (*two-way communication*) – kapal tidak hanya mengirim tetapi juga menerima data kapal lain yang berada dalam jangkauan sinyal radio.
3. Konektivitas luas – AIS dapat diakses baik oleh kapal, stasiun pantai, maupun satelit (*Satellite-AIS/S-AIS*), memungkinkan pemantauan lintas batas wilayah laut.
4. Integrasi sistem – AIS dapat dihubungkan dengan sistem navigasi lainnya seperti Radar, *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS), dan *Vessel Traffic Monitoring System* (VTMS) untuk meningkatkan kesadaran situasional di laut.

Dari segi komponen teknis, sistem AIS tersusun atas beberapa perangkat utama, di antaranya [20]:

1. AIS Transponder, yaitu alat utama yang memancarkan dan menerima sinyal dari kapal lain serta stasiun pantai.
2. GPS *Receiver*, berfungsi menentukan posisi geografis kapal dengan akurasi tinggi.
3. VHF Antenna, digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal AIS dalam rentang frekuensi 156–162 MHz.
4. Display Unit atau AIS Monitor, menampilkan data posisi dan pergerakan kapal lain di sekitar area navigasi.
5. *Interface System*, yaitu koneksi yang menghubungkan AIS dengan sistem lain di kapal, seperti radar dan peta digital.

Menurut [21] keunggulan AIS tidak hanya pada kemampuannya menyampaikan data dengan cepat, tetapi juga pada kemampuannya menjaga konsistensi dan akurasi informasi dalam berbagai kondisi cuaca. Oleh karena itu, AIS berperan penting dalam membentuk *digital situational awareness* di laut, di

mana seluruh pergerakan kapal dapat dipantau secara dinamis dan berkesinambungan.

Secara keseluruhan, kombinasi karakteristik otomatis, dua arah, dan integratif menjadikan AIS sebagai tulang punggung sistem navigasi modern yang mendukung keselamatan, efisiensi, dan keamanan pelayaran internasional.

2.1.2. Indikator optimalisasi AIS

Optimalisasi Automatic Identification System (AIS) berarti bagaimana sistem ini dioperasikan, dimanfaatkan, dan diintegrasikan secara maksimal untuk mencapai efisiensi dan efektivitas dalam mendukung keselamatan serta keamanan maritim. Menurut [20] optimalisasi AIS mencakup upaya peningkatan fungsi teknis, manajerial, dan regulatif agar sistem dapat memberikan manfaat maksimal bagi pelayaran.

Beberapa indikator optimalisasi AIS yang diadaptasi dari penelitian terbaru dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Ketersediaan dan Keaktifan Perangkat AIS Indikator ini mengukur sejauh mana kapal di wilayah tertentu telah dilengkapi dengan AIS aktif. Tingkat keaktifan AIS berbanding lurus dengan kemampuan otoritas maritim memantau lalu lintas kapal secara menyeluruh.
2. Keakuratan dan Konsistensi Data Transmisi AIS yang optimal harus mampu mengirimkan data posisi, kecepatan, dan arah kapal secara akurat dan tanpa gangguan menekankan pentingnya keandalan sinyal dan sinkronisasi waktu pengiriman sebagai tolok ukur efektivitas sistem.
3. Integrasi dengan Sistem Navigasi dan Pemantauan Lain
Menurut efektivitas AIS meningkat signifikan bila diintegrasikan dengan radar, VTMS, dan sistem pemantauan satelit, sehingga data dapat dikonversi menjadi *maritime intelligence* untuk mendeteksi anomali aktivitas kapal.
4. Kompetensi Pengguna dan Operator Optimalisasi tidak hanya terkait dengan perangkat keras, tetapi juga kemampuan awak kapal dalam mengoperasikan dan menafsirkan data AIS. Pelatihan navigasi dan pemahaman teknis menjadi kunci dalam memastikan sistem berjalan efisien.

5. Ketersediaan Infrastruktur dan Kebijakan bahwa optimalisasi AIS juga bergantung pada dukungan kebijakan pemerintah, regulasi penggunaan AIS di kapal kecil, serta pembangunan infrastruktur digital di pelabuhan.

Dengan demikian, keberhasilan optimalisasi AIS tidak dapat diukur dari sisi teknologi semata, tetapi juga dari keterpaduan antara faktor teknis, manusia, dan kelembagaan. Semakin tinggi integrasi dan kompetensi operator, semakin besar pula dampak AIS terhadap peningkatan keselamatan dan keamanan laut nasional.

2.1.3. Cara kerja AIS di kapal

Transponder AIS menampilkan informasi secara otomatis, seperti lokasi, kecepatan, dan kondisi navigasi dalam jangka waktu tertentu melalui pemancar VHF yang terpasang di transponder tersebut. Informasi tersebut didapat langsung dari sensor navigasi kapal, terutama dari penerima sistem satelit navigasi umum (GNSS) dan alat gyrokompasnya. Informasi tambahan seperti nama kapal dan kode panggil VHF diinput saat memasang peralatan tersebut juga dikirim secara rutin. Sinyal tersebut diterima oleh transponder AIS yang dipasang di kapal atau di darat, tergantung pada jenis sistem yang digunakan, misalnya pada sistem VTS. Informasi yang diterima bisa ditampilkan di layar atau grafik yang menunjukkan posisi kapal lain dengan tampilan yang sama seperti pada layar datar. AIS beroperasi dengan menggunakan frekuensi yang sangat tinggi, yaitu Very High Frequency (VHF), yang berada dalam rentang 156 hingga 162 MHz. Sistem yang digunakan umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu AIS Class A dan AIS Class B [21]. Namun, AIS yang memenuhi standar IMO adalah AIS kelas A, yaitu jenis AIS yang menggunakan sistem akses komunikasi berupa *Self-organized Time Division Multiple Access* (SO-TDMA). Sementara itu, AIS kelas A memiliki daya hingga 12,5 watt, sedangkan AIS kelas B menggunakan sistem *Carrier-sense Time Division Multiple Access* (CS-TDMA). Daya pancar AIS kelas B hanya 2 watt, sedangkan fasilitas lain yang dimiliki oleh AIS kelas A lebih lengkap dibandingkan AIS kelas B [22]. Perbedaan singkat antara kedua jenis AIS tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kelas A bisa memberikan laporan setiap 10 detik, sedangkan kelas B setiap 30 detik.
2. Class A bisa mengirimkan nomor IMO, sedangkan class B tidak bisa.

3. Kelas A bisa mengirimkan tujuan kapal, sedangkan kelas B tidak bisa.
4. C Class B hanya bisa menerima pesan keselamatan yang tertulis, sedangkan class A harus bisa mengirim dan menerima pesan tersebut.
5. Class B hanya bisa menerima pesan biner, sedangkan Class A harus bisa mengirim dan menerima pesan.
6. Kelas B tidak wajib mengirimkan informasi tentang kecepatan belok kapal (draft statis maksimum yang ada), sedangkan kelas A wajib mengirimkan.
7. Kelas B tidak wajib mengirimkan surat kapal (maksimum keadaan air yang ada), sedangkan kelas A harus mengirimkannya.

Keunggulan AIS dibandingkan dengan alat navigasi elektronik lainnya adalah kemampuannya untuk mengetahui dan memberikan informasi yang lengkap mengenai profil sebuah kapal, termasuk kapal-kapal lain di sekitar kapal kita. Hal ini tidak bisa ditemukan pada alat navigasi elektronik lainnya. Selain itu, AIS juga digunakan sebagai alat untuk memeriksa dan mencegah terjadinya tabrakan di laut. Saat sebuah kapal berlabuh, navigator perlu memperhatikan gerakan dan identitas kapal lain agar dapat membuat keputusan tepat dalam menghindari tabrakan dengan kapal lain atau bahaya akibat karang. Penggunaan RADARARPA sering kali tidak optimal atau terbatas kemampuannya dalam mengamati dan menghitung gerakan kapal di sekitarnya, terutama pada jam sibuk. Hal ini kadang menghambat tindakan cepat untuk menghindari kecelakaan. Class A bisa mengirimkan sistem navigasi, sedangkan Class B tidak bisa [23]. Selain itu juga karena kurangnya pengenalan target pada lapisan RADAR. Kekurangan dari AIS sendiri adalah AIS bergantung pada listrik. Jadi kalau listrik di kapal padam, maka sistem AIS juga akan padam. Selain itu, jika kapal lain tidak memiliki AIS atau tidak mengaktifkan AIS-nya, maka kapal tersebut tidak dapat diawasi melalui AIS. Peta yang terdapat di AIS juga perlu diperbarui atau diupdate, karena hubungan dengan bahaya navigasi di setiap tempat berbeda-beda [24].

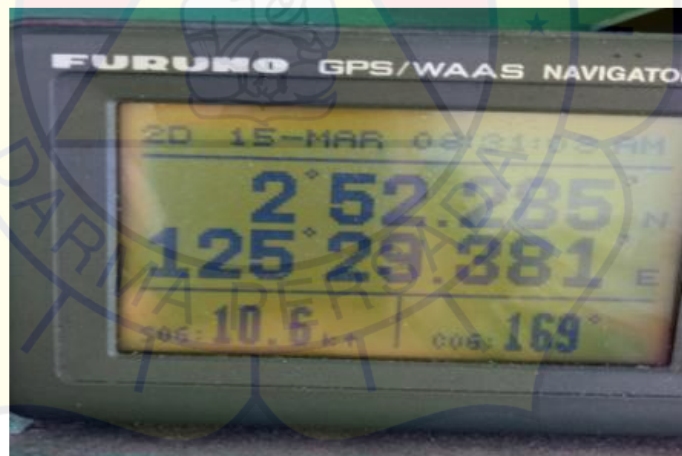
2.1.4. Alat-alat navigasi

Navigasi adalah cara untuk memantau dan mengatur pergerakan seseorang atau alat transportasi, seperti mobil, kapal, atau pesawat, dari suatu tempat ke tempat lain. Perkembangan navigasi terus berkembang pesat. Orang-orang dulu

memanfaatkan lingkungan sekitar untuk mengetahui di mana mereka berada. Kemudian, seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, manusia membuat peta yang menunjukkan kondisi dunia saat itu serta alat bantu untuk menavigasi [20] Memahami cara menentukan posisi kapal menggunakan alat navigasi elektronik sangat penting bagi para awak kapal agar perjalanan laut tetap aman. Alat bantu navigasi yang digunakan untuk berlayar dan operasi penangkapan adalah:

1. GPS (*Global Position System*)

GPS pada kapal berfungsi untuk mengetahui letak kapal di laut ketika sedang memancing atau mengambil umpan hidup, menemukan posisi rumpon, serta mengukur jarak perjalanan dari dermaga pemancingan ke area pemancingan dan sebaliknya. GPS (Sistem Posisi Global) di kapal menggunakan merek Furuno. GPS sangat penting digunakan sebagai alat bantu untuk menuntun kegiatan menangkap ikan.



Gambar 2.1 GPS (*Global Position System*)

2. Kompas Magnet

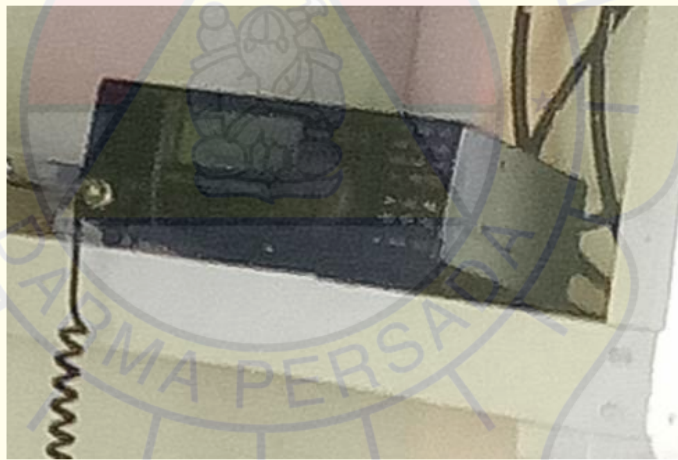
Kompas magnet digunakan untuk mengetahui arah dan posisi kapal. Kompas berada di tengah-tengah anjungan dan dekat kemudi. Penggunaan kompas sangat berguna dalam pelayaran sebagai alat untuk menjangkau peta, menentukan arah serta besar sudut suatu lokasi berdasarkan peta jalur pelayaran. Kompas yang digunakan adalah kompas magnet basah merek Tokyo Keiki.



Gambar 2.2 Kompas Magnet

3. Radio SSB (*Single Side Band*)

Radio SSB (*Single Side Band*) digunakan untuk berkomunikasi antara kapten kapal dengan kapten kapal lainnya atau dengan perusahaan. Komunikasi itu bisa berupa penyebaran informasi lokasi ikan dan pemberitahuan tentang bahaya.



Gambar 2.3 Radio SSB

4. Teropong

Teropong adalah alat bantu navigasi yang digunakan oleh juru umpan atau buoy untuk melihat kelompok ikan, kondisi laut, dan posisi rumpon. Nakhoda dan juru mudi juga menggunakan teropong untuk melihat kondisi sekitar kapal saat kapal akan berlabuh atau mendekati dermaga agar bisa mengetahui bahaya yang ada di sekitar kapal.



Gambar 2.4 Teropong

Alat navigasi digunakan dalam operasi pole and line untuk menangkap ikan. Alat navigasi tersebut dalam kondisi layak dan bisa digunakan dengan baik, hanya saja sistem *Automatic Identification System* (AIS) tidak bisa digunakan. Sistem Identifikasi Otomatis (AIS) adalah sebuah sistem yang bisa memberikan informasi tentang kapal dan mengirimkannya dari kapal ke kapal atau dari kapal ke daratan dengan menggunakan gelombang radio secara otomatis. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 7 Tahun 2019 menentukan bahwa kapal yang digunakan untuk menangkap ikan dan memiliki ukuran minimal 60 GT (enam puluh Gross Tonnage) wajib menggunakan sistem *Automatic Identification System* (AIS).

2.2 Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok

Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok adalah unit teknis yang berada di bawah Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan. Unit ini bertugas mengelola perairan di wilayah DKI Jakarta, Jawa Barat, Banten, Lampung, Bengkulu, dan Bangka Belitung. Distrik Navigasi memainkan peran penting dalam menjaga keselamatan kapal dengan melakukan berbagai kegiatan navigasi, seperti mengelola sarana bantu navigasi, layanan komunikasi laut, pembuatan jalur laut, pemandu kapal, serta mengawasi keselamatan di perairan Indonesia [14].

Menurut Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, kegiatan kenavigasian bertujuan untuk memperbaiki keamanan dan keselamatan

dalam pelayaran serta membantu jalannya transportasi laut dengan lancar. Dalam menjalankan tugasnya, Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok juga melakukan perawatan terhadap sarana bantu navigasi pelayaran untuk mendukung keamanan dan keselamatan pelayaran di area tanggung jawabnya [25].



Gambar 2.5 Kantor Distrik navigasi

Sumber: Google Maps

2.2.1. Operasional Dan Lalu Lintas Kapal

Operasional pelayaran di Pelabuhan Tanjung Priok merupakan seluruh rangkaian kegiatan pelayanan kenavigasian yang dilakukan untuk menjamin keselamatan, keamanan, ketertiban, dan kelancaran pelayaran kapal di wilayah perairan pelabuhan maupun alur pelayaran sekitarnya. Operasional ini mencakup pengawasan pergerakan kapal, pengaturan jalur pelayaran, pemantauan kondisi alur laut, penyediaan informasi navigasi, hingga pengoperasian Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) seperti mercusuar, rambu suar, pelampung suar, dan sistem *Vessel Traffic Service* (VTS). Seluruh kegiatan tersebut dilaksanakan secara terkoordinasi untuk membantu nahkoda dalam menentukan jalur pelayaran yang aman ketika kapal memasuki kawasan pelabuhan, melakukan kegiatan bongkar muat, berlabuh, maupun keluar dari Pelabuhan [26]. Operasional pelayaran juga

bertujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan laut, seperti tubrukan kapal, kandas, maupun gangguan navigasi yang dapat membahayakan keselamatan manusia, kapal, dan lingkungan maritim. Selain itu, kegiatan operasional di Pelabuhan Tanjung Priok memiliki peranan yang sangat penting karena pelabuhan ini merupakan salah satu pusat kegiatan pelayaran dan distribusi logistik terbesar di Indonesia. Tingginya aktivitas kapal yang datang dan keluar setiap hari menyebabkan perlunya pengawasan dan pengendalian lalu lintas pelayaran secara optimal. Dalam pelaksanaannya, Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok bekerja sama dengan syahbandar, operator pelabuhan, pandu kapal, dan instansi terkait lainnya untuk memastikan seluruh kegiatan pelayaran berjalan sesuai dengan ketentuan keselamatan pelayaran internasional maupun nasional. Melalui sistem pengawasan yang terintegrasi, setiap kapal yang melintas dapat dipantau posisi, arah, kecepatan, dan tujuan pelayarannya sehingga potensi gangguan navigasi dapat diketahui lebih awal [27].

Lalu lintas kapal di Pelabuhan Tanjung Priok dapat diartikan sebagai seluruh aktivitas pergerakan kapal yang berlangsung di alur masuk pelabuhan, kolam pelabuhan, maupun wilayah perairan sekitarnya. Aktivitas tersebut meliputi kapal yang datang, keluar, berpindah area sandar, menunggu giliran bongkar muat, hingga kapal yang hanya melintas pada jalur pelayaran tertentu. Kepadatan lalu lintas kapal di kawasan Tanjung Priok dipengaruhi oleh tingginya aktivitas perdagangan, distribusi barang, dan transportasi laut nasional maupun internasional. Kondisi ini menyebabkan wilayah pelayaran Tanjung Priok memiliki tingkat risiko kecelakaan yang cukup tinggi apabila tidak didukung dengan sistem pengawasan dan pengaturan lalu lintas yang baik. Dalam mengatur lalu lintas kapal, Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok menggunakan berbagai sistem pengawasan modern, salah satunya adalah *Automatic Identification System* (AIS) dan *Vessel Traffic Service* (VTS) [28]. Sistem tersebut memungkinkan petugas untuk memantau posisi kapal secara real time sehingga pergerakan kapal dapat dikendalikan dengan lebih efektif. Informasi yang diperoleh dari AIS dan VTS digunakan untuk memberikan arahan kepada kapal terkait kondisi alur pelayaran, kepadatan lalu lintas, cuaca, maupun potensi bahaya di laut. Dengan adanya

pengaturan lalu lintas kapal yang baik, maka risiko terjadinya tabrakan antar kapal, kemacetan pelayaran, serta keterlambatan operasional pelabuhan dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, operasional dan lalu lintas kapal di Pelabuhan Tanjung Priok merupakan bagian penting dalam mendukung keselamatan dan keamanan maritim nasional. Pengelolaan operasional yang baik tidak hanya berfungsi menjaga kelancaran arus transportasi laut, tetapi juga mendukung stabilitas distribusi logistik dan perekonomian nasional. Oleh karena itu, Distrik Navigasi Tipe B Tanjung Priok memiliki tanggung jawab besar dalam memastikan seluruh aktivitas pelayaran berjalan secara aman, tertib, efisien, dan sesuai dengan ketentuan keselamatan pelayaran yang berlaku [29].

2.3 Keselamatan dan keamanan maritim

2.3.1. Keselamatan maritim

Keselamatan pelayaran merupakan pondasi utama dalam penyelenggaraan transportasi laut yang berkelanjutan serta mencakup seluruh aspek yang berkaitan dengan pencegahan kecelakaan, perlindungan lingkungan laut, serta pemeliharaan sistem navigasi dan komunikasi maritim. Dalam dunia pelayaran modern, konsep keselamatan tidak hanya sebatas pada penghindaran kecelakaan fisik, tetapi juga meliputi dimensi manajerial, regulatif, dan teknologi [30]. Menurut [26] keselamatan pelayaran terdiri atas tiga dimensi utama, yaitu:

1. Pencegahan Kecelakaan (*Accident Prevention*) Upaya ini mencakup pemeliharaan kondisi kapal, pemeriksaan rutin terhadap alat navigasi, serta pemanfaatan teknologi digital seperti *Automatic Identification System* (AIS) dan Radar untuk memantau posisi kapal lain di sekitar perairan. Penggunaan teknologi ini dapat mendeteksi potensi tabrakan sejak dini dan memberikan informasi yang akurat kepada operator kapal.
2. Kesiapsiagaan (*Preparedness*) Melibatkan pelatihan awak kapal untuk menghadapi keadaan darurat seperti kebakaran, kandas, atau kebocoran bahan bakar. Standar pelatihan ini merujuk pada konvensi STCW 2010, yang menekankan pentingnya kemampuan teknis dan mental kru dalam menjaga keselamatan kapal.

3. Tanggap Darurat (*Response and Recovery*) Mencakup mekanisme penanganan kecelakaan melalui sistem *Search and Rescue* (SAR), komunikasi darurat berbasis AIS, serta koordinasi dengan stasiun pantai dan otoritas pelabuhan. Menurut *International Maritime Rescue Federation* (IMRF, 2022) [18], implementasi sistem SAR berbasis AIS dapat mempercepat waktu respon hingga 45% lebih cepat dibanding metode konvensional.

Dalam konteks Indonesia, kecelakaan laut seperti tabrakan dan kapal tenggelam masih sering terjadi, terutama akibat kurangnya pemeliharaan alat navigasi dan human error. Berdasarkan penelitian [28], optimalisasi pengoperasian AIS mampu menurunkan risiko kecelakaan kapal di jalur padat hingga 30%. AIS membantu meningkatkan kesadaran situasional (*situational awareness*) dan memudahkan komunikasi antar kapal maupun antara kapal dengan stasiun pantai.

Selain itu, [24] menyoroti pentingnya integrasi data keselamatan antar pelabuhan dan lembaga terkait. Mereka menegaskan bahwa peningkatan keselamatan pelayaran tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh efektivitas koordinasi kelembagaan, kejelasan regulasi, serta budaya keselamatan di kalangan awak kapal. Dengan demikian, keselamatan pelayaran merupakan hasil sinergi antara teknologi, manusia, dan regulasi. Pemanfaatan sistem seperti AIS, VTMS, dan ECDIS menjadi salah satu strategi paling efektif untuk mewujudkan transportasi laut yang aman, efisien, dan berdaya saing global.

2.3.2. Keamanan maritim

Keamanan pelayaran (*maritime security*) berfokus pada perlindungan terhadap kapal, pelabuhan, dan perairan dari ancaman yang bersifat disengaja, seperti pembajakan, penyelundupan, perompakan, dan terorisme [31]. Dalam era globalisasi maritim, keamanan pelayaran tidak hanya berkaitan dengan pertahanan, tetapi juga berdampak langsung terhadap stabilitas ekonomi nasional dan kepercayaan dunia terhadap sistem transportasi laut suatu negara.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO), keamanan pelayaran melibatkan langkah-langkah pencegahan (*preventive measures*), perlindungan (*protective measures*), dan respons (*response measures*) terhadap

ancaman di laut. Implementasinya diatur dalam *International Ship and Port Facility Security* (ISPS) Code tahun 2004, yang mewajibkan setiap kapal dan pelabuhan internasional memiliki sistem keamanan terintegrasi, termasuk *Ship Security Plan* (SSP) dan *Port Facility Security Plan* (PFSP) [32]. Dalam konteks Indonesia, tantangan keamanan maritim mencakup :

1. Perompakan dan pembajakan di wilayah perbatasan
2. Penyelundupan barang dan manusia
3. Pelanggaran batas wilayah laut oleh kapal asing
4. *Illegal fishing* dan kegiatan maritim non-tradisional lainnya

Menurut [26], kelemahan utama sistem keamanan laut Indonesia terletak pada tumpang tindih kewenangan antar lembaga seperti Bakamla, TNI AL, KPLP, dan Polairud, serta belum optimalnya sistem integrasi data lintas instansi. Di sinilah *Automatic Identification System* (AIS) berperan penting sebagai alat bantu pengawasan yang mampu menyediakan data posisi dan pergerakan kapal secara real-time. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi AIS dengan sistem radar dan *Vessel Traffic Monitoring System* (VTMS) meningkatkan efektivitas deteksi ancaman hingga 40%. Dengan demikian, AIS tidak hanya berfungsi sebagai alat navigasi, tetapi juga sebagai sistem intelijen maritim yang mendukung penegakan hukum dan pengawasan wilayah laut.

Lebih jauh, menurut [29], optimalisasi keamanan pelayaran di Indonesia memerlukan pengembangan sistem nasional berbasis *Maritime Domain Awareness* (MDA). Melalui sistem ini, seluruh aktivitas di wilayah laut dapat dipantau, dianalisis, dan dikendalikan secara terpusat, sehingga setiap anomali dapat segera direspons. Sementara [33] menegaskan bahwa pemanfaatan *big data analytics* dari sinyal AIS memungkinkan pemerintah untuk memprediksi pola pelanggaran maritim, termasuk jalur perdagangan ilegal dan aktivitas penyelundupan lintas negara.

Dengan kata lain, keamanan pelayaran merupakan hasil sinergi antara kebijakan pemerintah, kemampuan teknologi, dan koordinasi antarlembaga. Penerapan AIS yang optimal akan memperkuat posisi Indonesia dalam sistem

keamanan maritim regional dan global, sekaligus mendukung tercapainya visi Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia [34].

2.3.3. Peralatan Keselamatan

International Convention for the Safety of Life at Sea tahun 1960 atau disebut juga SOLAS 1960 adalah aturan yang mengatur berbagai alat keselamatan yang wajib dimiliki oleh kapal, agar dapat memastikan keamanan dan keselamatan para penumpang dan awak kapal di laut. Berdasarkan fungsinya, alat keselamatan dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: alat bantu keselamatan (*life saving appliances*), alat pemadam api (*fire appliances*), dan tanda bahaya berupa cahaya atau suara (*light and sound signals*). Alat-alat bantuan keselamatan (*life saving appliances*) mencakup: sekoci (*life boat*) beserta perengkapannya, pelampung bantuan (*life buoy*), jaket bantuan otomatis (*life jacket atau life belt*), rakit bantuan otomatis (*inflatable life craft*), serta alat peluncur dewi-dewi (*davits*) [20]. Alat-alat penolong memiliki persyaratan umum, yaitu:

1. Alat-alat tersebut selalu harus siap digunakan jika kapal sedang dalam situasi darurat.
2. Jika diturunkan ke dalam air, prosesnya harus bisa dilakukan dengan mudah dan cepat, bahkan dalam kondisi yang kurang menguntungkan, seperti ketika kapal miring 15 derajat.
3. Penempatan setiap alat bantu dilakukan dengan cara yang tepat agar tidak mengganggu alat lainnya ketika digunakan.

2.3.4. Pengaturan Hukum Mengenai Keselamatan dan Keamanan maritim

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki keanekaragaman dan potensi wisata di setiap pulau yang terletak di kawasan nusantara, sehingga untuk sampai ke sebuah pulau biasanya harus menggunakan alat angkutan. Karena pemerintah kurang memperhatikan aspek kemaritiman, masyarakat melakukan usaha pengangkutan sendiri, tetapi usaha tersebut tidak diawasi dengan baik. Akibatnya, banyak kapal yang dijalankan, baik oleh orang pribadi maupun perusahaan, kurang memperhatikan aspek keselamatan pelayaran [31].

Selain itu, proses dalam penerapan hukum dan peraturan di bidang transportasi laut masih belum dilakukan dengan baik. Hal itu lah yang sering menyebabkan terjadinya kecelakaan di laut. Akhirnya, masyarakat yang menggunakan transportasi lautlah yang merasa dirugikan. Berdasarkan amanat Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008, pelayaran termasuk dalam sarana transportasi laut yang sangat penting bagi wawasan nasional. Selain itu, pelayaran juga merupakan sarana yang vital dalam mendukung tujuan persatuan dan kesatuan bangsa, karena dapat mempermudah akses dan hubungan antar wilayah melalui perairan [24].

Dalam Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008, tepatnya Pasal 1 bagian 32, disebutkan bahwa keselamatan dan keamanan pelayaran adalah kondisi di mana persyaratan tentang keselamatan dan keamanan dalam angkutan di perairan, ke pelabuhan, serta lingkungan laut telah terpenuhi. Kelayakan kapal diatur dalam Pasal 124 Undang-Undang tersebut, yang menyatakan bahwa setiap pembuatan, pembangunan, dan pemeliharaan kapal beserta peralatannya serta pengoperasiannya di perairan Indonesia harus memenuhi persyaratan keselamatan kapal. Persyaratan keselamatan kapal seperti yang dimaksud pada ayat (1) mencakup: bahan dan konstruksi, bangunan, mesin dan listrik, stabilitas, tata susunan, serta perlengkapan yang mencakup alat bantu penyelamatan dan radio, serta peralatan elektronik kapal [25].

Kapal yang siap berlayar setelah memenuhi syarat keselamatan akan diberi sertifikat oleh menteri sesuai pasal 126 UU Pelayaran. Sertifikat tersebut mencakup sertifikat keselamatan kapal penumpang, sertifikat keselamatan kapal barang, serta sertifikat kelayakan dan pengawakan kapal penangkap ikan Pasal 154 UU Pelayaran menyatakan bahwa status hukum kapal dapat ditentukan setelah melalui proses pengukuran, pendaftaran, dan penetapan kebangsaan kapal. Setiap kapal sebelum dimulai operasinya harus diukur oleh pejabat pemerintah yang memiliki wewenang yang diberikan oleh Menteri [16].

Pengukuran kapal seperti yang disebutkan dalam ayat (1) dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: 1. pengukuran dalam negeri untuk kapal yang panjangnya kurang dari 24 meter; 2. pengukuran internasional untuk kapal yang panjangnya 24

meter atau lebih; dan 3. pengukuran khusus untuk kapal yang akan melewati terusan tertentu. Manajemen Keselamatan dan Pencegahan Pencemaran dari Kapal Pasal 169 Pemilik atau operator kapal yang menjalankan kapal untuk jenis dan ukuran tertentu harus memenuhi persyaratan manajemen keselamatan dan pencegahan pencemaran dari kapal. Setelah itu, kapal akan diberikan sertifikat, yaitu Sertifikat Manajemen Keselamatan dan Pencegahan Pencemaran. Sertifikat tersebut berupa Dokumen Penyesuaian Manajemen Keselamatan (DOC) untuk perusahaan dan Sertifikat Manajemen Keselamatan (SMC) untuk kapal [32].

2.3.5. Upaya Penanganan Keselamatan Dan Keamanan maritim Di Laut Berdasarkan Hukum Nasional Di Indonesia

Semua orang yang menggunakan transportasi laut di Indonesia dan di berbagai negara biasanya selalu memprioritaskan isu keselamatan dan keamanan terlebih dahulu, kemudian mengikutinya dengan pertimbangan biaya yang murah, kecepatan, ketepatan waktu, serta kenyamanan. Kecelakaan kapal seperti tenggelam atau kebakaran adalah contoh kasus yang terkait dengan keselamatan dan keamanan dalam transportasi laut. Untuk meningkatkan keselamatan saat berlayar, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut telah menerbitkan beberapa kebijakan guna meminimalkan terjadinya kecelakaan kapal. Contohnya adalah memberikan informasi terkait pengawasan keselamatan bagi kapal yang mengangkut penumpang, serta menyampaikan informasi mengenai kondisi cuaca di perairan Indonesia, seperti telegram yang memberitahukan adanya cuaca buruk di laut. Keselamatan dalam berlayar sangat penting dan berperan besar dalam semua hal yang berkaitan dengan dunia pelayaran [35].

Faktor-faktor yang memengaruhi keselamatan dalam pelayaran mencakup sikap, prinsip, dan tindakan para pelaku transportasi laut dalam memenuhi standar keselamatan dan keamanan di laut serta di pelabuhan. Agar transportasi laut di Indonesia yang berbentuk kepulauan lebih nyaman, keamanan dan keselamatan di laut harus jadi prioritas utama. Karena Indonesia memiliki kekuasaan penuh atas laut wilayahnya, laut memainkan peran penting baik dalam mempersatukan rakyat dan wilayah Republik Indonesia maupun sebagai aset yang sangat berharga bagi bangsa dan masa depan Indonesia [31].

Dengan menguasai laut, pemerintah bertugas untuk menegakkan hukum di laut serta mencegah pelanggaran dan memastikan keamanan kapal. Penegakan hukum di wilayah laut sangat sulit karena harus memahami batas wilayah dan teritorial, sehingga dibutuhkan lembaga khusus yang bertugas menegakkan hukum di wilayah laut Indonesia. Badan Keamanan Laut, Polisi Republik Indonesia, TNI Angkatan Laut, Kesatuan Penjaga Laut dan Pantai, Penyidik Pegawai Negeri Sipil, Pejabat Bea dan Cukai, serta instansi penegak hukum lainnya bertugas menjaga hukum di wilayah laut. Karena ada banyak lembaga yang bertugas mengadili hukum di wilayah laut, maka terjadi tumpang tindih dalam wewenang mereka. Ini terjadi karena setiap penegak hukum memiliki kebijakan yang hampir berlawanan satu sama lain. Akibatnya, penerapan hukum di daerah laut belum mencapai tingkat yang cukup baik [29]. Persyaratan keselamatan dan keamanan dalam pelayaran yang berkaitan dengan keadaan kapal, penerapan tanda-tanda pelayaran dari dan ke pelabuhan, serta kondisi lingkungan laut harus terpenuhi.

Untuk meningkatkan keselamatan kerja dan keselamatan dalam pelayaran, PBB dalam konferensinya pada tahun 1948 menyetujui pembentukan sebuah lembaga internasional yang khusus mengurus isu-isu yang berkaitan dengan laut. Hal ini dilakukan karena jumlah kecelakaan kapal terus meningkat, sehingga dibutuhkan aturan yang mengatur tentang keselamatan dalam dunia pelayaran. Menurut pasal 1 nomor 34 dalam undang-undang nomor 17 tahun 2008 tentang pelayaran, setiap kapal yang ukurannya lebih dari 7 GT wajib mendapatkan sertifikat keselamatan setelah melewati pemeriksaan dan pengujian. Sertifikat ini tidak diberikan kepada kapal militer, kapal pemerintah, atau kapal yang digunakan untuk kegiatan olahraga. Persyaratan keselamatan kapal ini berlaku untuk semua kegiatan pembelian, pembuatan, dan pengerjaan kapal, termasuk peralatannya, serta selama kapal tersebut beroperasi di perairan Indonesia [34].

2.3.6. Optimalisasi penggunaan AIS dalam keselamatan dan keamanan maritim

Keselamatan pelayaran merupakan sektor transportasi laut yang berkaitan langsung dengan perlindungan jiwa manusia, perlindungan lingkungan laut, serta keberlangsungan rantai logistik global. Salah satu teknologi penting yang mendukung tercapainya tujuan tersebut adalah *Automatic Identification System* (AIS). Sistem ini dikembangkan berdasarkan *International Maritime Organization* (IMO) untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan pelayaran dengan menyediakan data posisi, arah, kecepatan, dan identitas kapal secara real-time [36].

AIS bekerja dengan memanfaatkan gelombang radio VHF untuk mentransmisikan informasi antara kapal dan stasiun pantai. Setiap kapal yang dilengkapi AIS dapat mengetahui posisi kapal lain dalam radius tertentu (sekitar 40 mil laut), sehingga risiko tabrakan dapat diminimalkan. Namun, potensi terbesar AIS tidak hanya terletak pada fungsi identifikasi, tetapi juga pada kemampuan pengumpulan data yang besar untuk analisis keselamatan maritim berbasis data [37].

2.3.7. Dampak terhadap Regulasi Keselamatan

Berdasarkan analisis dari berbagai literatur dan studi empiris, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi AIS memiliki pengaruh yang signifikan terhadap dua aspek utama dalam manajemen maritim, yaitu keselamatan (*safety*) dan keamanan (*security*). Implementasi AIS yang terintegrasi dengan sistem digital lain terbukti mampu menurunkan risiko kecelakaan laut, meningkatkan efisiensi pemantauan, serta memperkuat pertahanan maritim nasional [38].

Dalam konteks keselamatan pelayaran menunjukkan bahwa integrasi antara AIS, radar, dan *Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)* menurunkan risiko tabrakan hingga 35% di perairan padat lalu lintas. Dengan analisis data kepadatan lalu lintas berbasis AIS, otoritas pelabuhan dapat mengatur pola *Traffic Separation Scheme (TSS)* yang lebih aman dan adaptif terhadap perubahan arus laut serta volume kapal.

Sementara dalam keamanan maritim, AIS berperan penting sebagai alat deteksi dini aktivitas ilegal seperti penyelundupan, pencurian sumber daya laut, dan

pelanggaran batas wilayah. menunjukkan bahwa penggunaan *Satellite-AIS* mampu mendeteksi kapal yang mematikan transponder (*dark vessels*) di wilayah laut lepas, memperluas jangkauan pengawasan global hingga 98% area maritim dunia. Namun, optimalisasi AIS tidak lepas dari tantangan teknis dan kebijakan. Salah satu isu terbesar adalah keamanan data dan potensi manipulasi informasi (*AIS spoofing*). Kasus pemalsuan data AIS pernah ditemukan di Teluk Aden dan Laut Cina Selatan, di mana kapal-kapal tertentu memalsukan lokasi mereka untuk menghindari sanksi atau kegiatan ilegal. Oleh karena itu, integrasi AIS dengan sistem *hybrid monitoring* berbasis sensor optik dan radar menjadi solusi penting di masa depan [14].

Dari perspektif kebijakan nasional, Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki kepentingan strategis untuk memaksimalkan pemanfaatan AIS dalam kerangka *Blue Economy* dan *Maritime Security*. Studi oleh Wulandari (2022) menegaskan bahwa penerapan AIS di sistem *Vessel Traffic Service (VTS)* Tanjung Priok dan Surabaya telah meningkatkan transparansi dan deteksi dini terhadap kapal asing tanpa izin [33].

Arah pengembangan AIS akan mengarah pada integrasi penuh dengan teknologi *Artificial Intelligence (AI)*. Pendekatan ini memungkinkan prediksi risiko navigasi, deteksi pola pelayaran abnormal, serta rekomendasi rute aman secara otomatis [30]. Di samping itu, harmonisasi kebijakan internasional antarnegara melalui IMO juga menjadi faktor penting untuk mencegah ketimpangan standar dan keamanan data lintas batas. Secara keseluruhan, optimalisasi AIS mencerminkan sinergi antara teknologi, kebijakan, dan kesadaran maritim global. Dengan dukungan infrastruktur digital dan regulasi yang kuat, AIS dapat menjadi fondasi menuju *maritime intelligent system* yang tidak hanya menjamin keselamatan pelayaran, tetapi juga memperkuat kedaulatan dan ketahanan laut nasional [28].

2.4 Kecelakaan Kapal

Kecelakaan kapal merupakan suatu peristiwa yang tidak direncanakan (*unplanned event*) dan tidak diinginkan (*undesired event*) yang terjadi dalam kegiatan pelayaran, baik saat kapal berlayar di laut lepas, berada di perairan sempit, maupun ketika melakukan aktivitas di pelabuhan. Peristiwa ini dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi serius, seperti kerusakan pada struktur kapal,

gangguan operasional, kerugian ekonomi, pencemaran lingkungan, hingga menimbulkan korban jiwa baik pada awak kapal maupun penumpang. Secara lebih formal, kecelakaan kapal juga dapat dipahami sebagai bagian dari kecelakaan transportasi laut yang terjadi akibat kegagalan sistem pelayaran, baik yang disebabkan oleh faktor internal kapal maupun faktor eksternal. Dalam konteks keselamatan maritim, kecelakaan kapal tidak hanya dilihat sebagai kejadian tunggal, tetapi sebagai hasil dari rangkaian kegagalan (*chain of failures*) yang saling berkaitan [35].

Menurut sebagian besar kecelakaan kapal di Indonesia disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor utama, yaitu faktor manusia (*human error*), faktor teknis, faktor lingkungan, serta faktor organisasi atau manajemen keselamatan. Faktor manusia sering kali menjadi penyebab dominan, misalnya kesalahan dalam pengambilan keputusan, kurangnya kompetensi awak kapal, kelelahan (*fatigue*), serta rendahnya kepatuhan terhadap prosedur keselamatan pelayaran. Selain itu, faktor teknis juga memiliki kontribusi besar terhadap terjadinya kecelakaan kapal. Faktor ini meliputi kerusakan mesin utama, kegagalan sistem navigasi, kebocoran lambung kapal, serta kurangnya perawatan (*maintenance*) terhadap peralatan kapal. Kapal yang tidak laik laut (*unseaworthy*) memiliki risiko lebih tinggi mengalami kecelakaan, terutama dalam kondisi cuaca ekstrem [39].

Faktor lingkungan juga menjadi salah satu penyebab penting, seperti kondisi cuaca buruk (angin kencang, gelombang tinggi), arus laut yang kuat, kabut yang mengurangi jarak pandang, serta kondisi geografis perairan seperti adanya karang atau perairan dangkal. Dalam kondisi tertentu, kombinasi antara faktor lingkungan dan kesalahan manusia dapat meningkatkan risiko kecelakaan secara signifikan. Di samping itu, faktor manajemen dan organisasi juga berperan dalam terjadinya kecelakaan kapal. Hal ini mencakup lemahnya sistem manajemen keselamatan (*safety management system*), kurangnya pengawasan dari otoritas terkait, serta tidak optimalnya penerapan regulasi internasional seperti SOLAS (*Safety of Life at Sea*) [40]. Kegagalan dalam aspek manajemen sering kali menjadi akar penyebab (*root cause*) dari kecelakaan yang terjadi. Lebih lanjut, perkembangan aktivitas pelayaran yang semakin meningkat berdampak pada tingginya risiko kecelakaan kapal, terutama di wilayah dengan kepadatan lalu lintas tinggi seperti Pelabuhan Tanjung Priok. Pada area tersebut, potensi terjadinya tabrakan (*collision*) dan hampir tabrakan (*near miss*) menjadi lebih besar akibat

tingginya intensitas pergerakan kapal Dalam konteks ini, penggunaan teknologi navigasi modern seperti *Automatic Identification System* (AIS) menjadi sangat penting dalam upaya pencegahan kecelakaan kapal. AIS memungkinkan kapal untuk saling bertukar informasi posisi, kecepatan, dan arah secara real-time, sehingga membantu meningkatkan kesadaran situasional (*situational awareness*) dan mengurangi risiko tabrakan di laut [35]

2.4.1. Jenis-jenis Kecelakaan Kapal

Kecelakaan kapal dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan bentuk kejadian, penyebab, serta dampak yang ditimbulkan. Klasifikasi ini penting dalam analisis keselamatan maritim karena membantu mengidentifikasi pola kecelakaan serta menentukan langkah pencegahan yang tepat. Secara umum, jenis kecelakaan kapal yang sering terjadi di dunia pelayaran meliputi tabrakan, kandas, tenggelam, kebakaran, ter balik, dan kerusakan mesin [35].

1. Tabrakan Kapal (*Collision*)

Tabrakan kapal merupakan kecelakaan yang terjadi akibat benturan antara dua kapal atau antara kapal dengan objek lain seperti dermaga, kapal yang sedang berlabuh, anjungan lepas pantai, maupun benda terapung. Kecelakaan ini umumnya terjadi di jalur pelayaran yang padat seperti pelabuhan atau selat sempit. Penyebab utama tabrakan adalah kesalahan navigasi, kurangnya komunikasi antar kapal, kegagalan dalam menjaga jarak aman, serta keterbatasan visibilitas akibat kabut atau cuaca buruk. Selain itu, tidak optimalnya penggunaan teknologi navigasi seperti radar dan AIS juga dapat meningkatkan risiko terjadinya tabrakan.

2. Kapal Kandas (*Grounding*)

Kapal kandas terjadi ketika kapal menyentuh dasar laut, karang, atau perairan dangkal sehingga tidak dapat melanjutkan pelayaran. Kondisi ini biasanya disebabkan oleh kesalahan dalam membaca peta laut (*nautical chart*), kurangnya informasi mengenai kedalaman perairan (*bathymetry*), serta kesalahan dalam menentukan jalur pelayaran. Faktor lain yang mempengaruhi adalah perubahan kondisi pasang surut air laut dan kegagalan sistem navigasi. Kapal kandas dapat menyebabkan kerusakan serius pada lambung kapal dan berpotensi menimbulkan kebocoran bahan bakar yang mencemari lingkungan laut. ,m.

3. Kapal Tenggelam (*Sinking*)

Kapal tenggelam adalah kondisi di mana kapal kehilangan daya apung (*buoyancy*) sehingga tidak mampu lagi bertahan di permukaan air. Peristiwa ini dapat terjadi secara tiba-tiba maupun bertahap, tergantung pada tingkat kerusakan yang dialami kapal. Penyebab utama kapal tenggelam antara lain kebocoran lambung, kelebihan muatan (*overloading*), kerusakan struktur kapal, serta kondisi cuaca ekstrem. Dalam banyak kasus, tenggelamnya kapal merupakan akibat lanjutan dari kecelakaan lain seperti tabrakan, kandas, atau kebakaran yang tidak dapat ditangani dengan baik.

4. Kebakaran dan Ledakan (*Fire and Explosion*)

Kebakaran dan ledakan merupakan salah satu jenis kecelakaan kapal yang paling berbahaya karena dapat menyebar dengan cepat dan sulit dikendalikan di ruang terbatas seperti kapal. Penyebab kebakaran umumnya meliputi korsleting listrik, kebocoran bahan bakar, gesekan mesin, serta kesalahan dalam penanganan muatan berbahaya seperti bahan kimia atau gas. Jika kebakaran tidak segera ditangani, maka dapat berkembang menjadi ledakan yang mengakibatkan kerusakan besar pada kapal serta meningkatkan risiko korban jiwa.

5. Kapal Terbalik (*Capsizing*)

Kapal terbalik terjadi ketika kapal kehilangan stabilitasnya sehingga miring dan akhirnya terbalik. Stabilitas kapal sangat dipengaruhi oleh distribusi muatan, kondisi gelombang, serta desain kapal itu sendiri. Kesalahan dalam penataan muatan (*cargo stowage*), kelebihan muatan, serta pengaruh gelombang tinggi dapat menyebabkan kapal kehilangan keseimbangan. Kapal yang terbalik memiliki risiko tinggi menyebabkan korban jiwa karena proses evakuasi yang sulit dan cepat.

6. Kerusakan Mesin (*Machinery Failure*)

Kerusakan mesin merupakan kondisi di mana sistem penggerak utama atau sistem pendukung kapal mengalami kegagalan fungsi. Meskipun tidak selalu langsung menyebabkan kecelakaan, kerusakan mesin dapat menjadi pemicu terjadinya kecelakaan lain seperti tabrakan atau kandas, terutama jika terjadi di jalur pelayaran yang padat atau kondisi cuaca buruk. Penyebab utama kerusakan mesin meliputi kurangnya perawatan, keausan komponen, serta kesalahan operasional. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin dan pemeriksaan teknis sangat penting untuk mencegah terjadinya kecelakaan.

Jenis-jenis kecelakaan kapal sangat beragam dan masing-masing memiliki karakteristik serta penyebab yang berbeda. Namun, secara umum kecelakaan tersebut saling berkaitan dan sering kali terjadi sebagai rangkaian kejadian. Oleh karena itu, pemahaman terhadap jenis kecelakaan kapal sangat penting dalam analisis keselamatan maritim, terutama dalam penggunaan metode seperti *Event Tree Analysis* (ETA) untuk mengidentifikasi kemungkinan kejadian dan dampaknya [29].

2.4.2. Dampak Kecelakaan Kapal

Kecelakaan kapal tidak hanya berdampak pada kapal itu sendiri, tetapi juga memberikan dampak luas terhadap manusia, lingkungan, serta sektor ekonomi dan sosial. Dampak ini dapat bersifat langsung maupun tidak langsung, serta jangka pendek maupun jangka panjang. Oleh karena itu, pemahaman terhadap dampak kecelakaan kapal sangat penting dalam upaya meningkatkan keselamatan pelayaran dan meminimalkan risiko di masa depan antara lain [35]:

1. Dampak terhadap manusia (korban jiwa)

Dampak paling serius dari kecelakaan kapal adalah adanya korban jiwa, baik meninggal dunia, luka ringan, maupun luka berat. Dalam beberapa kasus, kecelakaan kapal juga menyebabkan hilangnya korban (*missing persons*) akibat tenggelam di laut. Selain dampak fisik, korban yang selamat sering mengalami trauma psikologis seperti stres, ketakutan, dan gangguan mental pasca kejadian. Kondisi ini dapat mempengaruhi kualitas hidup korban dalam jangka panjang serta memerlukan penanganan khusus.

2. Kerugian ekonomi dan material

Kecelakaan kapal menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar, baik bagi pemilik kapal, perusahaan pelayaran, maupun negara. Kerugian tersebut meliputi kerusakan kapal, kehilangan muatan, biaya evakuasi, serta biaya perbaikan dan investigasi. Selain itu, terganggunya aktivitas pelayaran dapat menghambat distribusi barang dan jasa, yang berdampak pada sektor perdagangan dan logistik. Dalam skala besar, kecelakaan kapal juga dapat mempengaruhi stabilitas ekonomi, terutama di wilayah yang bergantung pada transportasi laut.

3. Pencemaran lingkungan laut

Salah satu dampak paling signifikan dari kecelakaan kapal adalah pencemaran lingkungan laut, terutama jika kapal mengangkut bahan berbahaya seperti minyak, bahan kimia, atau limbah beracun. Tumpahan minyak (*oil spill*) dapat menyebabkan kerusakan ekosistem laut, membunuh biota laut seperti ikan, terumbu karang, dan burung laut, serta mencemari wilayah pesisir. Dampak pencemaran ini tidak hanya bersifat sementara, tetapi juga dapat berlangsung dalam jangka panjang dan sulit dipulihkan.

4. Gangguan operasional pelabuhan dan jalur pelayaran

Kecelakaan kapal yang terjadi di pelabuhan atau jalur pelayaran sibuk dapat menyebabkan gangguan operasional yang signifikan. Kapal yang mengalami kecelakaan dapat menghalangi jalur pelayaran, sehingga kapal lain tidak dapat melintas dengan lancar. Hal ini menyebabkan antrean kapal, keterlambatan pengiriman barang, serta meningkatnya biaya operasional. Dalam beberapa kasus, pelabuhan harus menghentikan sementara aktivitasnya untuk proses evakuasi dan investigasi.

5. Dampak sosial dan psikologis

Selain kerugian fisik dan ekonomi, kecelakaan kapal juga menimbulkan dampak sosial yang cukup besar. Masyarakat yang bergantung pada sektor maritim, seperti nelayan dan pekerja pelabuhan, dapat kehilangan mata pencaharian akibat terganggunya aktivitas laut. Selain itu, keluarga korban juga mengalami beban psikologis dan sosial akibat kehilangan anggota keluarga. Dampak ini sering kali berlangsung lama dan mempengaruhi kondisi sosial masyarakat secara keseluruhan.

6. Dampak terhadap reputasi dan regulasi

Kecelakaan kapal juga dapat berdampak pada reputasi perusahaan pelayaran maupun pemerintah dalam hal keselamatan transportasi laut. Tingginya angka kecelakaan dapat menurunkan kepercayaan masyarakat dan pengguna jasa transportasi laut. Selain itu, kejadian kecelakaan biasanya mendorong pemerintah dan organisasi internasional untuk memperketat regulasi serta meningkatkan pengawasan terhadap keselamatan pelayaran, seperti penerapan standar dari *International Maritime Organization* (IMO).

Dampak kecelakaan kapal sangat luas dan kompleks, mencakup aspek manusia, ekonomi, lingkungan, sosial, hingga regulasi. Oleh karena itu, diperlukan upaya pencegahan yang komprehensif, termasuk peningkatan keselamatan operasional kapal, pengawasan yang ketat, serta pemanfaatan teknologi seperti AIS untuk mengurangi risiko kecelakaan di laut [42].

2.4.3 Peran AIS dalam Pencegahan Kecelakaan dan Peningkatan Navigasi

Perkembangan teknologi digital dan sistem informasi dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan besar terhadap pola operasional sektor maritim global. Salah satu inovasi terpenting yang merevolusi cara dunia maritim bekerja adalah *Automatic Identification System* (AIS). Teknologi ini pada dasarnya merupakan sistem komunikasi berbasis *Very High Frequency* (VHF) yang secara otomatis mentransmisikan dan menerima data navigasi kapal, seperti identitas, posisi geografis, kecepatan, arah haluan, serta status operasional secara real-time. Sejak diwajibkan penggunaannya oleh *International Maritime Organization* (IMO) melalui regulasi *SOLAS Chapter V Regulation 19* pada tahun 2002, kapal tertentu

diwajibkan dilengkapi dengan Automatic Identification System (AIS) yang mampu menyediakan informasi kapal secara otomatis, termasuk identitas, jenis kapal, posisi, haluan, kecepatan, status navigasi, serta informasi lain yang berkaitan dengan keselamatan. AIS juga berfungsi untuk menerima informasi dari kapal lain, melakukan pemantauan dan pelacakan kapal, serta melakukan pertukaran informasi dengan fasilitas berbasis darat. Ketentuan tersebut menunjukkan bahwa AIS memiliki peran penting dalam mendukung keselamatan navigasi melalui peningkatan ketersediaan informasi mengenai pergerakan kapal [39]. Sebelumnya, sistem komunikasi antar kapal bergantung pada *radar* dan komunikasi suara (*VHF voice*), yang memiliki keterbatasan terutama dalam hal akurasi posisi dan identifikasi kapal lain di sekitar. Dengan hadirnya AIS, setiap kapal kini dapat “melihat” kapal lain bahkan dalam kondisi visibilitas rendah, serta memberikan data tambahan seperti jenis kapal, pelabuhan tujuan, dan estimasi waktu kedatangan (ETA). Hal ini tidak hanya meningkatkan *situational awareness*, tetapi juga memperkecil kemungkinan tabrakan di jalur padat seperti Selat Malaka dan Selat Singapura [41].

Dengan demikian, fungsi AIS berkembang dari sekadar alat navigasi menjadi komponen vital dalam *Maritime Domain Awareness* (MDA), yaitu kemampuan suatu negara atau organisasi untuk memahami segala aktivitas di wilayah lautnya. Dengan teknologi ini, aktivitas kapal yang mencurigakan, seperti perubahan arah mendadak atau pemadaman sinyal di area sensitif, dapat dianalisis secara otomatis oleh sistem pengawasan. data AIS merupakan sumber informasi terbesar di dunia maritim dengan jutaan pesan dikirim setiap jam dari ribuan kapal aktif di seluruh dunia. Ketika data ini diolah menggunakan metode *machine learning*, pola perilaku kapal dapat dianalisis untuk mendeteksi penyimpangan operasional, potensi kecelakaan, hingga indikasi aktivitas ilegal [1].

Dengan berkembangnya teknologi komunikasi satelit, kini tersedia *Satellite-AIS* (S-AIS) yang memungkinkan pemantauan kapal di wilayah laut lepas yang sebelumnya tidak tercakup oleh stasiun darat. Hal ini memperluas jangkauan pengawasan global, serta menjadi instrumen penting bagi lembaga keamanan dan penegakan hukum laut seperti *European Maritime Safety Agency* (EMSA) dan

Badan Keamanan Laut Indonesia (BAKAMLA) [2]. Secara keseluruhan, optimalisasi AIS menjadi langkah strategis dalam mendukung penerapan smart maritime sistem - sistem pelayaran cerdas berbasis data besar (Big Data) yang menjadikan laut lebih aman, efisien, dan transparan. AIS tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu navigasi, tetapi juga sebagai komponen penting dalam diplomasi dan pertahanan maritim di era digital [34].

2.5 Event Tree Analysis (ETA)

Event Tree Analysis (ETA) merupakan salah satu metode analisis risiko yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi berbagai kemungkinan kejadian lanjutan (*event sequences*) yang dapat terjadi setelah suatu kejadian awal (*initiating event*). Metode ini banyak digunakan dalam kajian keselamatan sistem karena mampu menggambarkan bagaimana suatu kejadian awal dapat berkembang menjadi berbagai konsekuensi, baik yang bersifat aman maupun yang berujung pada kecelakaan. ETA bersifat induktif, yaitu analisis dimulai dari satu kejadian awal kemudian dikembangkan ke berbagai kemungkinan hasil berdasarkan kondisi sistem yang ada. Secara konseptual, ETA berfokus pada hubungan sebab-akibat yang terjadi setelah suatu kejadian awal. Metode ini mengasumsikan bahwa setiap sistem pengaman atau tindakan mitigasi memiliki dua kemungkinan, yaitu berhasil (*success*) atau gagal (*failure*). Dengan demikian, ETA membantu dalam mengidentifikasi jalur kegagalan yang paling kritis serta menentukan bagaimana kombinasi kegagalan tersebut dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan. Pendekatan ini sangat berguna dalam memahami kompleksitas sistem yang memiliki banyak variabel dan interaksi antar komponen [43].

ETA biasanya divisualisasikan dalam bentuk diagram pohon (*event tree diagram*), di mana setiap cabang menggambarkan jalur kemungkinan kejadian yang berbeda. Setiap percabangan menunjukkan hasil dari suatu sistem pengaman, sehingga membentuk rangkaian skenario dari awal hingga akhir. Diagram ini memudahkan peneliti dalam melihat secara sistematis bagaimana suatu kejadian dapat berkembang, serta membantu dalam menghitung probabilitas masing-masing skenario. Oleh karena itu, ETA sering digunakan dalam analisis risiko berbasis probabilitas (*probabilistic risk assessment*) [44].

Dalam penerapannya, ETA tidak hanya digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kejadian, tetapi juga untuk mengevaluasi efektivitas sistem keselamatan yang ada. Dengan mengetahui jalur-jalur risiko yang mungkin terjadi, peneliti dapat menentukan titik-titik kritis yang memerlukan perbaikan atau peningkatan sistem. Hal ini menjadikan ETA sebagai alat yang penting dalam proses manajemen risiko, khususnya dalam industri yang memiliki tingkat risiko tinggi seperti transportasi laut, energi, dan industri kimia. Dalam konteks keselamatan maritim, ETA sering digunakan untuk menganalisis risiko kecelakaan kapal, seperti tabrakan (*collision*), kandas (*grounding*), atau kebakaran (*fire*). Analisis ini mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi keselamatan pelayaran, seperti kondisi navigasi, kepadatan lalu lintas kapal, faktor manusia, serta penggunaan teknologi navigasi modern seperti *Automatic Identification System* (AIS). Dengan memanfaatkan data AIS, analisis ETA dapat menjadi lebih akurat karena didukung oleh data real-time mengenai posisi, kecepatan, dan arah kapal [45].

Selain itu, ETA juga berperan penting dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis risiko (*risk-based decision making*). Hasil analisis ETA dapat digunakan untuk menentukan prioritas tindakan pencegahan, meningkatkan sistem keselamatan, serta mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan di masa depan. Dengan demikian, ETA tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai dasar dalam perencanaan strategi keselamatan yang lebih efektif dan efisien [43].

2.5.1. Langkah-langkah Analisis *Event Tree Analysis* (ETA)

Penerapan teknik ETA dapat dilaksanakan dengan mengikuti langkah-langkah yang tertera di bawah ini [43]:

1. Tentukan peristiwa risiko awal (*initial event*).

Contoh dari peristiwa risiko awal bisa berupa ledakan kecil yang berakibat pada kebakaran. Umumnya, peristiwa risiko awal dikelompokkan ke dalam salah satu dari empat kategori berikut:

- a. Kegagalan perangkat atau mesin untuk bekerja sesuai dengan peruntukannya

- b. Kesalahan manusia
- c. Kegagalan sistem
- d. Kejadian eksternal seperti bencana alam dan lain sebagainya.

2. Tentukan skenario suatu peristiwa

Setelah mengidentifikasi peristiwa risiko awal, langkah selanjutnya adalah merancang skenario tentang bagaimana peristiwa tersebut akan ditangani atau diatasi. Berbagai langkah untuk mengurangi dampak dari peristiwa tersebut kemudian disusun dengan urutan horizontal.

3. Tentukan tingkat kemungkinan berhasil dan gagalnya suatu penanganan

Untuk setiap langkah yang ditetapkan, penting untuk mencantumkan tingkat kemungkinan berhasil serta tingkat kemungkinan gagal. Angka kemungkinan ini dapat ditentukan berdasarkan penilaian dari para ahlinya atau dengan menggunakan perangkat lunak tertentu. Perlu dicatat bahwa angka kemungkinan dalam analisis pohon kejadian adalah angka probabilitas bersyarat.

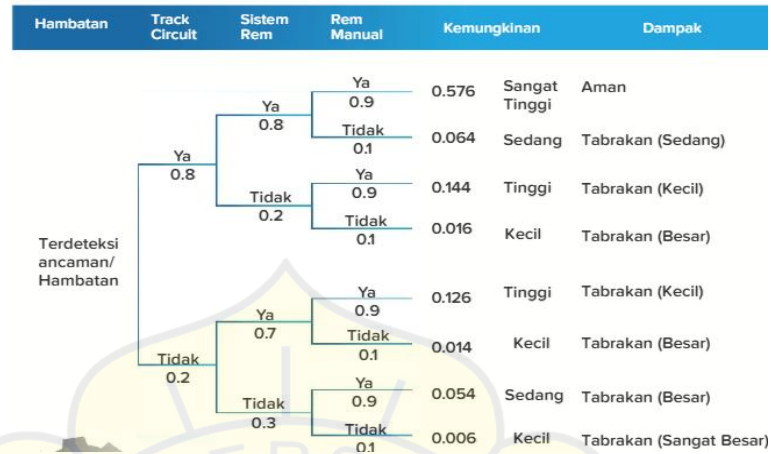
4. Tentukan tingkat dampak apabila suatu skenario terjadi

Dari setiap skenario yang telah dirumuskan, tentukan hasil akhir ETA dengan mengestimasi tingkat dampak yang mungkin akan terjadi jika suatu peristiwa menimpa. Dalam fase ini, Anda bisa menentukan tingkat dampak dari suatu risiko dengan cara mengidentifikasi tingkat kriteria dampak risiko terlebih dahulu pada tahap penetapan cakupan, konteks, dan kriteria dalam proses manajemen risiko (ISO 31000:2018).

5. Lakukan Evaluasi dan Berikan Rekomendasi

Hasil akhir dari ETA perlu dianalisis untuk memastikan bahwa semua upaya penanganan terhadap peristiwa penting telah dimasukkan dalam analisis dan dihitung hasilnya. Setelah analisis selesai dan tidak ada hal yang perlu ditambahkan

atau diperbaiki, maka dapat memberikan rekomendasi berupa keputusan yang akan diambil atau saran terkait keputusan yang akan diambil [43].



Gambar 2.6 Contoh event tree analysis Tingkat kemungkinan dan dampak

2.6 Tinjauan penelitian

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
1	Alam et al. (2025)	<i>Multi-vessel Interaction-Aware Trajectory Prediction and Collision Risk Assessment</i>	Mengembangkan model Transformer berbasis data AIS yang mampu memprediksi lintasan beberapa kapal secara simultan dan menghitung risiko tabrakan menggunakan DCPA dan TCPA.	Penelitian berfokus pada prediksi lintasan dan collision risk, namun belum mengkaji hubungan akurasi ETA terhadap probabilitas kecelakaan menggunakan metode probabilistik seperti Event Tree Analysis.	Mengintegrasikan data AIS untuk analisis ETA sekaligus menghitung probabilitas kecelakaan navigasi menggunakan Event Tree Analysis.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
2	Zhu et al. (2022)	<i>Multi-Ship Encounter Situation Identification and Analysis Based on AIS Data and Graph Complex Network Theory</i>	Menggunakan data AIS dan teori graf untuk mengidentifikasi situasi pertemuan banyak kapal serta membantu pengambilan keputusan penghindaran tabrakan.	Fokus penelitian hanya pada identifikasi encounter dan jaringan interaksi kapal tanpa melakukan analisis probabilitas kecelakaan maupun estimasi waktu kedatangan.	Mengembangkan analisis hubungan kepadatan lalu lintas kapal terhadap keterlambatan ETA dan risiko kecelakaan dengan pendekatan probabilistik.
3	Lee et al. (2024)	<i>Application of Simulated AIS Data to Study the Collision Risk System of Ships</i>	Mengembangkan model collision risk menggunakan data AIS simulasi dengan mempertimbangkan DCPA, TCPA, kecepatan relatif dan sudut pertemuan kapal secara real time.	Menggunakan data simulasi sehingga belum merepresentasikan kondisi operasional nyata serta belum menghubungkan hasilnya dengan akurasi ETA.	Menggunakan data AIS aktual untuk menganalisis ETA dan probabilitas kecelakaan navigasi pada jalur pelayaran nyata.
4	Asana et al. (2025)	<i>Real-Time Web-Based Ship Collision Risk Detection Using AIS Data and Collision</i>	Mengembangkan sistem web berbasis AIS yang mampu mendeteksi risiko tabrakan secara real-time menggunakan DBSCAN dan	Penelitian hanya menghasilkan klasifikasi tingkat risiko tanpa menghitung peluang terjadinya kecelakaan	Mengombinasikan data AIS, analisis ETA dan Event Tree Analysis sehingga risiko dapat dihitung dalam bentuk probabilitas.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
		<i>Risk Index (CRI)</i>	Collision Risk Index (CRI).	menggunakan metode probabilitas maupun analisis ETA.	
5	Shi et al. (2022)	<i>Abnormal Ship Behavior Detection Based on AIS Data</i>	Mengembangkan metode deteksi perilaku kapal abnormal menggunakan graph learning, Rayda Criterion dan Isolation Forest berbasis data AIS.	Penelitian difokuskan pada deteksi perilaku abnormal, belum mengevaluasi dampaknya terhadap estimasi waktu kedatangan maupun risiko kecelakaan.	Mengkaji pengaruh perilaku kapal terhadap perubahan ETA dan probabilitas kecelakaan navigasi.
6	Goudos & Katsikas (2022)	<i>Secure Automatic Identification System (SecAIS): Proof-of-Concept Implementation</i>	Mengembangkan sistem keamanan AIS berbasis kriptografi sehingga data AIS memiliki autentikasi, enkripsi dan perlindungan terhadap pemalsuan data.	Penelitian lebih menitikberatkan pada keamanan komunikasi AIS tanpa mengevaluasi dampaknya terhadap keselamatan navigasi dan analisis risiko kecelakaan.	Meneliti kontribusi kualitas data AIS terhadap keakuratan ETA dan hasil analisis probabilitas kecelakaan.
7	Nikolic et al. (2023)	<i>Increasing Maritime Safety and Security in the Off-Shore Activities with HFSWRs as</i>	Mengintegrasikan AIS dengan High Frequency Surface Wave Radar (HFSWR) untuk mendeteksi	Fokus penelitian pada integrasi sensor dan keamanan maritim, belum membahas estimasi ETA	Memanfaatkan data AIS sebagai dasar analisis ETA dan pengukuran probabilitas kecelakaan di wilayah pelayaran padat.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
		<i>Primary Sensors for Risk Assessment</i>	kapal non-kooperatif serta meningkatkan risk assessment pada aktivitas lepas pantai.	maupun analisis probabilitas kecelakaan navigasi.	
8	Soeanu et al. (2015)	<i>Transportation Risk Analysis Using Probabilistic Model Checking</i>	Mengembangkan pendekatan Probabilistic Model Checking untuk mengevaluasi risiko transportasi dan alternatif mitigasi risiko.	Penelitian masih bersifat umum pada sistem transportasi dan belum diterapkan secara spesifik pada navigasi kapal berbasis AIS.	Mengadaptasi konsep probabilistik tersebut pada analisis kecelakaan navigasi kapal menggunakan Event Tree Analysis berbasis data AIS.
9	Setiyantara et al. (2023)	<i>Optimalisasi Pengoperasian AIS (Automatic Identification System) Dalam Upaya Menjaga Keselamatan Pelayaran</i>	Menunjukkan bahwa optimalisasi penggunaan AIS meningkatkan keselamatan pelayaran melalui peningkatan pemahaman awak kapal terhadap fungsi AIS.	Penelitian hanya mengevaluasi aspek operasional AIS tanpa mengukur dampaknya terhadap ETA maupun probabilitas kecelakaan.	Menilai pengaruh optimalisasi AIS terhadap ketepatan ETA dan penurunan probabilitas kecelakaan menggunakan pendekatan kuantitatif.
10	Matruty et al. (2022)	<i>Analisis Keberhasilan Automatic Identification System (AIS) pada Kapal Tug Boat Leo Power 2206</i>	Menganalisis tingkat keberhasilan pengiriman data AIS melalui komunikasi VHF dan kaitannya dengan	Penelitian hanya mengevaluasi performa sistem AIS tanpa menganalisis hubungan dengan prediksi	Menghubungkan kualitas transmisi data AIS terhadap akurasi ETA dan probabilitas kecelakaan navigasi.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
			keselamatan pelayaran.	kecelakaan maupun estimasi waktu kedatangan kapal.	
11	Kurniawan et al. (2025)	<i>Analisis Kebutuhan Energi Automatic Identification System (AIS) pada Kapal Latih Barombong Sebagai Upaya Peningkatan Keandalan Sistem Navigasi</i>	Menunjukkan bahwa keberlangsungan operasi AIS dipengaruhi oleh kecukupan suplai energi sehingga diperlukan sistem catu daya yang lebih andal.	Penelitian berfokus pada aspek kelistrikan AIS dan belum membahas dampaknya terhadap keselamatan pelayaran melalui analisis risiko.	Mengkaji hubungan keandalan operasional AIS terhadap akurasi ETA dan probabilitas kecelakaan navigasi.
12	Felski & Jaskolski (2012)	<i>Analysis of AIS Availability</i>	Menganalisis tingkat ketersediaan dan kualitas data AIS untuk mendukung keselamatan navigasi dan pemantauan lalu lintas kapal.	Belum mengaitkan kualitas data AIS dengan prediksi risiko tabrakan kapal secara real-time.	Mengembangkan model prediksi risiko tabrakan berbasis kualitas data AIS dan data navigasi real-time.
13	Vespe et al. (2015)	<i>Waypoint Density Algorithm for Maritime Route Extraction</i>	Mengembangkan algoritma waypoint density dan incremental DBSCAN untuk identifikasi	Fokus pada ekstraksi rute dan pola pelayaran, belum membahas prediksi collision risk.	Mengintegrasikan hasil ekstraksi rute dengan model prediksi risiko tabrakan kapal.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
			jalur pelayaran dari data AIS.		
14	Sheng et al. (2016)	<i>Trajectory Extraction Using Minimum Description Length Principle</i>	Mengembangkan metode ekstraksi lintasan kapal menggunakan prinsip Minimum Description Length (MDL).	Parameter model sulit digeneralisasi untuk berbagai jenis kapal dan belum mendukung analisis risiko.	Mengembangkan model ekstraksi lintasan adaptif yang terintegrasi dengan analisis risiko tabrakan.
15	Dobrko vic et al. (2018)	<i>Genetic Algorithm-Based Vessel Route Generation and Clustering</i>	Menggunakan algoritma genetika untuk clustering data posisi kapal dan pembentukan rute pelayaran.	Belum membahas reduksi data untuk prediksi risiko tabrakan dan sistem peringatan dini.	Mengombinasikan clustering rute dengan Collision Risk Index (CRI).
16	Prasad, Vatsal, & Roy Chowdhury (2021)	<i>Maritime Vessel Route Extraction and Automatic Information System (AIS) Spoofing Detection</i>	Mengembangkan algoritma ekstraksi rute kapal dan deteksi spoofing AIS menggunakan DBSCAN serta deteksi anomali perilaku kapal.	Fokus pada keamanan dan validasi data AIS, belum mengembangkan sistem prediksi risiko tabrakan kapal.	Mengintegrasikan deteksi anomali AIS dengan sistem prediksi Collision Risk Index (CRI).
17	Huang et al. (2022)	<i>Research on Uncertainty Evolution of Ship Collision Status Based on Navigation</i>	Mengembangkan model evolusi ketidakpastian risiko tabrakan kapal berdasarkan data AIS dan faktor	Belum menerapkan machine learning untuk prediksi risiko secara otomatis dan real-time.	Mengembangkan sistem peringatan dini berbasis AI dengan mempertimbangkan faktor lingkungan.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
		<i>Environment</i>	lingkungan pelayaran.		
18	Zhou et al. (2022)	<i>The Application of Automatic Identification System Information and PSO-LSTM Neural Network in CRI Prediction</i>	Menggunakan metode PSO-LSTM untuk memprediksi Collision Risk Index (CRI) dengan akurasi yang tinggi.	Pengujian masih terbatas pada data tertentu dan belum banyak menggunakan data AIS aktual secara real-time.	Mengimplementasikan deep learning pada data AIS real-time di wilayah perairan Indonesia.
19	Chou et al. (2022)	<i>Integrating AIS, GIS and E-Chart to Analyze the Shipping Traffic and Marine Accidents at the Kaohsiung Port</i>	Mengintegrasikan AIS, GIS, dan E-Chart untuk menganalisis hubungan lalu lintas kapal dan kecelakaan laut.	Belum menyediakan sistem prediksi risiko dan peringatan dini secara otomatis.	Mengembangkan sistem monitoring dan prediksi kecelakaan berbasis integrasi AIS-GIS.
20	Hwang & Youn (2022)	<i>Collision Risk Situation Clustering to Design Collision Avoidance Algorithms for Maritime Autonomous</i>	Mengembangkan metode clustering kondisi risiko tabrakan untuk perancangan algoritma penghindaran tabrakan kapal otonom.	Fokus pada kapal otonom (MASS), belum diterapkan pada kapal konvensional.	Adaptasi metode clustering untuk sistem monitoring kapal konvensional berbasis AIS.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Arah Penelitian Baru
		<i>Surface Ships</i>			

Berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Automatic Identification System* (AIS) memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keselamatan dan keamanan maritim. AIS terbukti mampu membantu dalam pemantauan pergerakan kapal, mendeteksi potensi tabrakan, serta menganalisis risiko pelayaran melalui berbagai pendekatan, seperti sistem real-time, simulasi, dan metode berbasis kecerdasan buatan. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan AIS telah berkembang menjadi salah satu komponen utama dalam sistem navigasi modern yang berbasis data.

Namun demikian, sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan yang cukup signifikan. Banyak penelitian yang belum mengintegrasikan data AIS dengan metode analisis risiko yang mampu menggambarkan skenario kecelakaan secara sistematis dan berurutan, seperti *Event Tree Analysis* (ETA). Selain itu, penggunaan data kecelakaan kapal secara langsung juga masih terbatas, sehingga hasil analisis yang dihasilkan cenderung belum sepenuhnya mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Beberapa penelitian juga lebih berfokus pada aspek teknis, seperti keamanan sistem AIS atau deteksi anomali, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan analisis kecelakaan kapal.

Oleh karena itu, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian berupa belum optimalnya integrasi antara data AIS, data kecelakaan nyata, dan metode analisis risiko berbasis skenario. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menggabungkan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka analisis yang lebih komprehensif. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai skenario kecelakaan serta tingkat risikonya, sehingga dapat mendukung upaya peningkatan keselamatan dan keamanan maritim, khususnya di wilayah Pelabuhan Tanjung Priok.