

**PENGUNAAN DATA AIS UNTUK MONITORING
AKTIVITAS PERKAPALAN DI PERAIRAN INDONESIA
SERTA KUNJUNGAN KE PELABUHAN LUAR NEGERI**

LADISA BUSAINA

222011349

**PROGRAM STUDI : KOMPUTASI STATISTIK PROGRAM DIPLOMA IV
PEMINATAN : SAINS DATA**



POLITEKNIK STATISTIKA STIS

JAKARTA

2024

**PENGUNAAN DATA AIS UNTUK MONITORING
AKTIVITAS PERKAPALAN DI PERAIRAN INDONESIA
SERTA KUNJUNGAN KE PELABUHAN LUAR NEGERI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Sebutan
Sarjana Terapan Statistika pada Politeknik Statistika STIS**

Oleh:

LADISA BUSAINA

222011349



POLITEKNIK STATISTIKA STIS

JAKARTA

2024

PERNYATAAN

Skripsi dengan Judul

**PENGUNAAN DATA AIS UNTUK MONITORING
AKTIVITAS PERKAPALAN DI PERAIRAN INDONESIA
SERTA KUNJUNGAN KE PELABUHAN LUAR NEGERI**

Oleh:

LADISA BUSAINA

222011349

adalah benar-benar hasil penelitian sendiri dan bukan hasil plagiat atau hasil karya orang lain. Jika di kemudian hari diketahui ternyata skripsi ini hasil plagiat atau hasil karya orang lain, penulis bersedia skripsi ini dinyatakan tidak sah dan sebutan Sarjana Terapan Statistika dicabut atau dibatalkan.

Jakarta, 25 Juni 2024



Ladisa Busaina

**PENGUNAAN DATA AIS UNTUK MONITORING AKTIVITAS
PERKAPALAN DI PERAIRAN INDONESIA SERTA
KUNJUNGAN KE PELABUHAN LUAR NEGERI**

Oleh:
LADISA BUSAINA
222011349

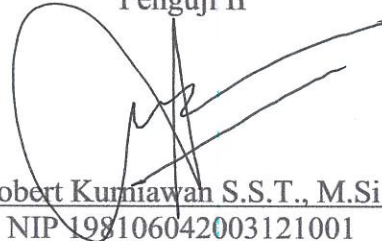
Tim Penguji

Penguji I



Dr. Eng. Lya Hullyyatus S., S.S.T., M.T.
NIP 198902072010122001

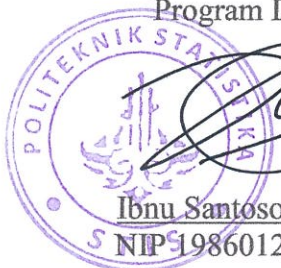

Penguji II



Robert Kurniawan S.S.T., M.Si.
NIP 198106042003121001


Mengetahui/Menyetujui

Ketua Program Studi Komputasi Statistik
Program Diploma IV



Ibnu Santoso, S.S.T., M.T.
NIP 198601202008011002

Pembimbing



Prof. Setia Pramana, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP 197707222000031002

© Hak Cipta milik Politeknik Statistika STIS, Tahun 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang

1. *Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis, hasil analisis, perancangan, basis data, program, dan artefak hasil skripsi ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya.*
 - a. *Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.*
 - b. *Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Statistika STIS.*
2. *Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis, hasil analisis, perancangan, basis data, program, dan artefak hasil skripsi ini dalam bentuk apapun tanpa seizin Politeknik Statistika STIS.*

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penggunaan Data AIS untuk Monitoring Aktivitas Perkapalan di Perairan Indonesia serta Kunjungan ke Pelabuhan Luar Negeri”. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Erni Tri Astuti M. Math., selaku Direktur Politeknik Statistika STIS;
2. Bapak Ibnu Santoso, SST., M.T., selaku Ketua Program Studi D-IV Komputasi Statistik Politeknik Statistika STIS;
3. Bapak Prof. Setia Pramana, S.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu dalam membimbing penyusunan skripsi ini;
4. Ibu Dr. Eng. Lya Hulliyyatus Suadaa SST., MT. dan Bapak Robert Kurniawan SST, M.Si, selaku dosen penguji atas koreksi dan saran yang disampaikan;
5. Ibu Dewi Krismawati. SST. M.T.I, Bapak Markie Muryawan, Bapak William Seitz, Ibu Cherryl Chico, dan pihak PT. Angkutan Sungai, Danau, dan Penyeberangan Indonesia Ferry (ASDP) Pelabuhan Merak yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan memberi masukan dalam penelitian ini;
6. Ibu, Ayah, serta keluarga besar saya yang telah memberikan banyak dukungan secara moril;
7. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih mempunyai kekurangan, baik dari isi maupun susunannya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, 25 Juni 2024

Ladisa Busaina

ABSTRAK

LADISA BUSAINA, “Penggunaan Data AIS untuk Monitoring Aktivitas Perkapalan di Perairan Indonesia serta Kunjungan ke Pelabuhan Luar Negeri”.

ix+179 halaman

Badan Pusat Statistik (BPS) memanfaatkan *big data* untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan data statistik. Salah satu bentuk *big data* yang populer adalah *Automatic Identification System* (AIS), yang digunakan untuk memantau dan mengomunikasikan pergerakan kapal. Penelitian ini bertujuan membangun algoritma untuk memonitor aktivitas perkapalan di perairan Indonesia, termasuk kapal yang masuk dan keluar, durasi di pelabuhan, dan kunjungan ke luar negeri. Implementasinya menggunakan pendekatan Area of Interest (AOI) berbasis *Distance-Based* dan *Cluster-Based*, serta Apache Spark untuk pengolahan data besar. Penelitian ini juga mengembangkan Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk *preprocessing* data AIS, mencakup validasi, deteksi dan penanganan data hilang atau tidak konsisten, serta koreksi kesalahan manual. Salah satu langkahnya adalah memastikan format Maritime Mobile Service Identity (MMSI) benar. Dengan demikian, akurasi dan keandalan data AIS sebagai statistik resmi meningkat, memberikan nilai tambah dalam operasional, prediksi pasar, dan analisis dampak ekonomis sektor maritim di Indonesia.

Kata kunci: AIS, Kualitas Data, *Distance-Based* AOI, *Cluster-Based* AOI

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| PRAKATA | i |
| ABSTRAK | ii |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 5 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 7 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 8 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 8 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 9 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | 11 |
| 2.1 Landasan Teori | 11 |
| 2.2 Penelitian Terkait | 50 |
| 2.3 Kerangka Pikir | 55 |
| BAB III METODOLOGI | 57 |
| 3.1 Ruang Lingkup Penelitian | 57 |
| 3.2 Metode Pengumpulan Data | 58 |
| 3.3 Metode Pengolahan Data | 63 |
| 3.4 Metode Analisis | 72 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 75 |
| 4.1 Gambaran Umum Data AIS | 75 |
| 4.2 Standar Operasional Prosedur (SOP) <i>Preprocessing</i> sebagai Penjaminan Kualitas Data (<i>Quality Assurance</i>) | 84 |
| 4.3 Pembangunan Algoritma Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia | 99 |
| 4.4 Pembangunan Algoritma Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia | 107 |
| 4.5 Pembangunan Algoritma Deteksi Kunjungan Indonesia ke Luar Negeri | 108 |
| 4.6 Hasil Implementasi Algoritma Deteksi Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia | 116 |

| | |
|---|------------|
| 4.7 Hasil Implementasi Algoritma Penghitungan Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia | 126 |
| 4.8 Hasil Implementasi Algoritma Deteksi Kunjungan Indonesia ke Luar Negeri | 134 |
| 4.9 Visualisasi Hasil Implementasi Algoritma | 141 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 143 |
| 5.1 Kesimpulan | 143 |
| 5.2 Saran..... | 144 |
| DAFTAR PUSTAKA | 145 |
| LAMPIRAN..... | 153 |
| RIWAYAT HIDUP | 179 |

DAFTAR TABEL

| No. Tabel | Judul Tabel | Halaman |
|-----------|---|---------|
| 1. | Resolusi Hexagonal Hierarchical Geospatial Indexing System (H3) | 35 |
| 2. | Kompleksitas Notasi Big-O | 49 |
| 3. | Perbandingan Penelitian Terkait | 51 |
| 4. | Beberapa fitur yang terdapat pada data AIS | 59 |
| 5. | Beberapa fitur yang terdapat pada data IHS | 61 |
| 6. | Rentang dan Nilai Default Beberapa Fitur Data AIS | 63 |
| 7. | Statistical Summary Beberapa Fitur Data AIS | 82 |
| 8. | Distribusi SOG (Speed Over Ground) Menurut Status Navigasi | 84 |
| 9. | Hasil Penjaminan Kualitas Data AIS | 93 |
| 10. | Jumlah Data AIS pada Setiap Tahap Filter | 97 |
| 11. | Evaluasi Kinerja Algoritma pada Beberapa Pelabuhan Indonesia | 124 |

DAFTAR GAMBAR

| No. Gambar | Judul Gambar | Halaman |
|------------|---|---------|
| 1. | Halaman Sign In Platform UNGP | 15 |
| 2. | Alur pengiriman sinyal AIS dari kapal ke pengguna data..... | 17 |
| 3. | Tangkapan layar lalu lintas kapal berdasarkan data AIS..... | 18 |
| 4. | Ilustrasi COG dan Heading Kapal | 20 |
| 5. | Komponen Indikator Automatic Identification System..... | 29 |
| 6. | Heatmap Lokasi Automatic Identification System dalam Batas 22 km dari Pelabuhan Kolombo | 32 |
| 7. | Sistem pengindeksan geospasial dengan H3 | 34 |
| 8. | Ilustrasi H3 Index Resolusi 7, 8, dan 9 Politeknik Statistika STIS | 36 |
| 9. | Representasi Grafis dari Pengelompokan Spasial Berbasis Densitas dari DBSCAN..... | 40 |
| 10. | Kerangka Pikir Penelitian..... | 56 |
| 11. | Contoh Record Data AIS | 58 |
| 12. | Wilayah Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia | 60 |
| 13. | Contoh Record Data IHS | 62 |
| 14. | Skema Tahapan Preprocessing | 65 |
| 15. | Jumlah Record Data AIS per Bulan Tahun 2022 | 76 |
| 16. | Jumlah Record Data AIS dengan MMSI Unik per Bulan Tahun 2022 | 77 |
| 17. | Jumlah Record Data AIS dengan IMO Unik per Bulan Tahun 2022 | 78 |
| 18. | Jumlah Record Data AIS Menurut Status Navigasi Tahun 2022 | 79 |
| 19. | Jumlah Record Data AIS Menurut Tipe Kapal Tahun 2022 | 80 |
| 20. | Jumlah Record Data AIS Menurut Bendera Negara 2022 | 81 |
| 21. | Jumlah Record Duplikat | 85 |
| 22. | Jumlah Record Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Status Navigasi Tahun 2022..... | 86 |
| 23. | Jumlah Record Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Tipe Kapal Tahun 2022 | 87 |
| 24. | Jumlah Record Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Bendera Negara Kapal Tahun 2022 | 88 |
| 25. | Proporsi Nilai Valid, Default, Invalid, dan Missing Record Menurut Variabel | 89 |
| 26. | Jumlah Record yang Diindikasikan sebagai Pergerakan Anomali | 90 |
| 27. | Jumlah MMSI yang Memiliki Jumlah Record Kurang dari 10 | 92 |
| 28. | Jumlah MMSI dengan SOG > 3 Kurang dari 20 Record | 93 |
| 29. | Proporsi Nilai Valid, Default, Invalid, dan Missing Record Menurut Variabel | 95 |
| 30. | Proporsi Kecocokan Data AIS dan Data IHS | 96 |
| 31. | Contoh Record Hasil Pencocokan Data AIS dan IHS Berdasarkan MMSI dan Nama Kapal | 97 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 32. | Distance-Based Area of Interest Pelabuhan Indonesia | 99 |
| 33. | Flowchart Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Indonesia dengan Distance-Based..... | 100 |
| 34. | Cluster-Based Area of Interest Pelabuhan Indonesia..... | 101 |
| 35. | Flowchart Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Indonesia dengan Cluster-Based | 102 |
| 36. | Flowchart Penentuan Posisi Kapal..... | 104 |
| 37. | Flowchart Penentuan Arus Kapal | 106 |
| 38. | Flowchart Algoritma Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia | 107 |
| 39. | Flowchart Penghitungan Waktu Kapal di Pelabuhan..... | 108 |
| 40. | Flowchart Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Dunia dengan Cluster-Based | 109 |
| 41. | Flowchart Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Dunia dengan Cluster-Based | 110 |
| 42. | Flowchart Penentuan Posisi Kapal..... | 112 |
| 43. | Flowchart Penentuan Arus Kapal | 113 |
| 44. | Flowchart Algoritma Deteksi Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri | 115 |
| 45. | Pergerakan Kapal antara Pelabuhan Merak dan Bekauheni | 116 |
| 46. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan (Distance-Based AOI)..... | 117 |
| 47. | Contoh Record dengan Selisih Waktu yang Besar dengan Record Setelahnya | 118 |
| 48. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (Distance-Based AOI)..... | 119 |
| 49. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (Distance-Based AOI)..... | 120 |
| 50. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan (Cluster-Based AOI)..... | 121 |
| 51. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (Cluster-Based AOI) | 122 |
| 52. | Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (Cluster-Based AOI) | 123 |
| 53. | Perbandingan Jumlah Kunjungan di Pelabuhan Teluk Bayur Menurut BPS dan Hasil Penghitungan Menggunakan Algoritma Distance-Based AOI | 125 |
| 54. | Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia (Distance-Based AOI) | 126 |
| 55. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan (Distance-Based AOI) | 127 |
| 56. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (Distance-Based AOI)..... | 128 |
| 57. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (Distance-Based AOI)..... | 129 |
| 58. | Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia (Cluster-Based AOI) .. | 130 |
| 59. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan (Cluster-Based AOI) .. | 131 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 60. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (Cluster-Based AOI)..... | 132 |
| 61. | Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (Cluster-Based AOI)..... | 133 |
| 62. | Pergerakan Kapal Indonesia | 134 |
| 63. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan (Distance-Based AOI) | 135 |
| 64. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Negara Asal (Distance-Based AOI) | 136 |
| 65. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal (Distance-Based AOI) | 137 |
| 66. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan (Cluster-Based AOI) | 138 |
| 67. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Negara Asal (Cluster-Based AOI)..... | 139 |
| 68. | Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal (Cluster-Based AOI)..... | 140 |
| 69. | Dashboard Monitoring Aktivitas Perkapalan | 141 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. Lampiran | Judul Lampiran | Halaman |
|--------------|--|---------|
| 1. | Sistem Pengkodean Tipe Kapal | 153 |
| 2. | Fitur lengkap data AIS yang digunakan..... | 176 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Pusat Statistik (BPS) memiliki peran yang penting untuk memenuhi kebutuhan data pemerintah, dunia usaha, dan masyarakat dalam usaha mendukung pertumbuhan negara. Sebagai “pemasok tunggal” data pemerintah, BPS harus menyediakan data yang strategis, lengkap, akurat, tepat waktu, benar, relevan, dan berkualitas. Data dengan karakteristik-karakteristik tersebut merupakan kunci utama dalam persaingan antarnegara serta dunia usaha (BPS Provinsi Jambi, 2022). Hal ini dikarenakan program pemerintah serta dunia usaha memerlukan data cepat agar dapat bersaing. Agar kualitas data dapat ditingkatkan, dibutuhkan SDM kompeten dan teknologi yang memadai. Selain itu, diperlukan juga inovasi untuk pencarian dan pengolahan data, mengimbangi kebutuhan data cepat dan akurat. Karenanya, BPS berkomitmen menyediakan data berkualitas sesuai standar nasional dan internasional, mendukung Sistem Statistik Nasional yang berkesinambungan, dan membangun SDM yang profesional (Badan Pusat Statistik, 2021).

Saat ini, pengumpulan dan pengolahan data mulai berubah mengikuti perkembangan digital. Contoh nyatanya adalah penggunaan *big data* untuk statistik resmi (Badan Pusat Statistik, 2021). *Big data* kini menjadi sumber data baru yang dapat dimanfaatkan untuk memperkuat statistik yang telah dikumpulkan sehingga data yang disajikan menjadi lebih akurat dan cepat sesuai dengan kebutuhan pengguna (Badan Pusat Statistik, 2024). BPS sendiri telah memanfaatkan *big data*

sebagai bentuk penerapan metode digital untuk mengumpulkan data lebih cepat dan akurat (BPS Provinsi Jambi, 2022). Implementasi *big data* oleh BPS telah berlangsung sejak 2015 untuk berbagai keperluan, seperti estimasi jumlah wisatawan, analisis *event*, mobilitas komuter, dan statistik pariwisata. Nilai tambah dari *big data* sangat penting untuk berbagai hal seperti operasional, penjualan, layanan, dan prediksi pasar.

Big data melibatkan teknologi untuk mengolah data besar dari berbagai sumber, seperti ponsel, transaksi keuangan, pencarian online. Salah satu *big data* yang sedang populer saat ini adalah data *Automatic Identification System* (AIS). AIS merupakan sistem otomatis komunikasi kapal serta navigasi di lautan. Penggunaan perangkat AIS bertujuan untuk membuat angka keselamatan di laut menjadi tinggi dengan meminimalisir terjadinya tabrakan antarkapal dan mengatur serta memantau lalu lintas kapal di lautan (Haryadi et al., 2019).

Pemantauan pergerakan kapal di lautan menggunakan AIS telah terbukti memberikan hasil yang sangat efektif karena adanya keakuratan dan ketepatan dari data AIS, khususnya data dinamis. Keefektifan tersebut menciptakan peluang penggunaan data AIS sebagai salah satu sumber data statistik resmi oleh instansi pemerintah, khususnya badan statistik, di beberapa negara di dunia untuk menghasilkan beberapa indikator baru. Beberapa statistik yang telah dihasilkan di antaranya, pemantauan lalu lintas kapal, estimasi volume perdagangan dan impor-ekspor, dan analisis dampak ekonomis dari sektor maritim. Pemanfaatan AIS sebagai statistik resmi ini dapat meningkatkan akurasi serta keandalan statistik dengan mengurangi potensi kesalahan manusia dalam proses pengumpulan dan pelaporan data (Badan Pusat Statistik, 2023).

Penggunaan AIS di Indonesia diatur oleh Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 7 Tahun 2019. Melalui peraturan yang berlaku pada 20 Agustus 2019 ini, pemerintah Indonesia mengharuskan seluruh kapal yang berlayar di perairan Indonesia, baik kapal dengan bendera Indonesia, maupun kapal asing, untuk mempunyai dan menggunakan perangkat AIS serta memberikan informasi yang benar melalui perangkat tersebut (Penca, 2009). Jika perangkat AIS tidak dapat berfungsi dengan baik, nakhoda kapal diwajibkan mencatat kejadian pada *log book* dan melaporkannya pada Syahbandar serta memberikan informasi kepada Stasiun Radio Pantai (SROP) atau *Vessel Traffic Services* (VTS) (Asian Development Bank, 2023).

Sebagai negara dengan bentuk kepulauan dan memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia, penggunaan perangkat AIS di Indonesia sangat bermanfaat untuk memantau aktivitas di laut. Salah satu manfaatnya adalah menjaga sumber daya alam yang berasal dari laut agar dapat dimanfaatkan secara maksimal demi kesejahteraan rakyat. Dengan AIS, pemantauan pada tindakan-tindakan ilegal di lautan, seperti penyeludupan dan IUU (*Illegal, Unreported, Unregulated*) Fishing dapat dilakukan. Selain itu, sebagian besar kapal penangkap ikan ukuran besar dengan ukuran di atas 24 m dapat dilacak oleh AIS. Karenanya, penggunaan AIS sangat penting bagi kelautan Indonesia.

AIS perlu dimanfaatkan dengan lebih optimal dalam pemantauan yang ketat terhadap perkapalan Indonesia sehingga datanya dapat digunakan sebagai statistik resmi. Untuk mewujudkan hal tersebut, diperlukan aturan hukum serta proses bisnis yang jelas dalam mengatur pengumpulan, pengolahan, dan penggunaan data AIS sebagai statistik resmi (Badan Pusat Statistik, 2023). Nyatanya, terdapat beberapa

tantangan dan kekurangan yang harus diatasi sebelum data AIS digunakan sebagai statistik resmi. Salah satu tantangan yang ditemui adalah AIS yang tidak bekerja dengan baik dalam melacak kapal dengan ukuran di bawah 24 m. Hal ini dibuktikan dengan kasus IUU *Fishing* di Indonesia yang masih tergolong tinggi. Di kawasan Laut Natuna Utara, pada Mei 2021, citra satelit berhasil mendeteksi sekitar 50 kapal Vietnam yang melakukan *illegal fishing* (Indonesia Ocean Justice Initiative, 2021). Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), sekitar 90% kapal melakukan pemalsuan dokumen volume kapal (*mark down*). Akibatnya, izin berada di provinsi, yang seharusnya dilakukan di pusat. Hal ini juga mengakibatkan adanya perbedaan data antara Kementerian dan Provinsi atau Kabupaten (Maulana, 2017).

Dalam menggunakan data AIS, kualitas data menjadi perhatian utama. Data AIS rentan memiliki kualitas yang rendah. Salah satu penyebabnya adalah hilangnya sinyal dari perangkat AIS yang akan mengirimkan data AIS. Walaupun pemerintah telah melarang hal tersebut, nahkoda atau awak kapal dapat dengan sengaja mematikan perangkat AIS dan tidak melaporkan data yang sebenarnya atau tidak melaporkan sama sekali keadaan kapalnya (Simau et al., 2023). Penyebab lainnya adalah data statis AIS yang rentan terhadap *error*. Kesalahan dapat terjadi karena terdapat data yang dimasukkan secara manual. Kesalahan data yang dimasukkan secara manual salah satunya dapat menyebabkan MMSI yang tidak sesuai dengan format. Format MMSI yang benar adalah kode yang terdiri dari sembilan digit dengan tiga digit pertama merupakan *Maritime Identification Digit* (MID) (Asian Development Bank, 2023).

Jika diterapkan penjaminan terhadap kualitasnya sebagai suatu Standar Operasional Prosedur (SOP) sebelum pengolahan data dilakukan, data AIS dapat

digunakan lebih efektif dan efisien. Salah satunya pemanfaatannya adalah membangun algoritma yang bisa dimanfaatkan dalam memonitor aktivitas perkapalan Indonesia dan di Indonesia. Algoritma ini kemudian divisualisasikan menggunakan Kepler.gl. Kemudian, Apache Spark akan digunakan untuk mengolah data AIS ini karena besarnya sumber daya yang diperlukan.

Oleh karena itu, penelitian ini akan membangun algoritma dengan memanfaatkan data AIS untuk memantau atau memonitor aktivitas perkapalan di perairan Indonesia dan aktivitas perkapalan Indonesia dengan tetap memperhatikan kualitas data yang digunakan. Aktivitas perkapalan yang dipantau di antaranya, kapal yang masuk ke Indonesia (berdasarkan seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia), kapal asing yang keluar dari Indonesia (berdasarkan seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia), durasi waktu suatu kapal berada di pelabuhan Indonesia, dan daerah (luar negeri) yang dikunjungi kapal Indonesia. Pembangunan algoritma tersebut akan didasari dengan pembuatan *Area of Interest* (AOI) menggunakan pendekatan *Distance-Based* dan *Cluster-Based*, seperti yang telah dilakukan oleh Asian Development Bank (2023). Pada penelitian ini, akan dilakukan penyesuaian *Distance-Based* AOI di perairan Indonesia. Kapal yang akan dipantau adalah kapal dengan tipe *sailing*, *tanker*, *other*, *pleasure craft*, *passenger*, *fishing*, *port tender*, *dredging*, dan *cargo*.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan diwajibkannya penggunaan perangkat AIS oleh pemerintah Indonesia bagi kapal-kapal yang memasuki kawasan laut Indonesia, data AIS dapat digunakan untuk memonitor lalu lintas perkapalan di perairan Indonesia. Namun,

potensi besar yang dimiliki AIS masih kurang dimanfaatkan di Indonesia. Penelitian tentang penggunaan data AIS di Indonesia juga masih kurang dibandingkan penelitian tentang penggunaan data AIS yang dilakukan di luar negeri.

Terdapat tahap penting yang harus dilakukan sebelum data AIS digunakan untuk memonitor aktivitas perkapalan di perairan Indonesia, yaitu tahap *preprocessing* data. Hal ini dikarenakan tidak semua perangkat AIS menghasilkan data yang siap untuk diolah dan sesuai aturan (Asian Development Bank, 2023). Tahap *preprocessing* juga diperlukan untuk mengurangi ukuran dan kompleksitas data. Pengurangan *noise* atau *outlier* pada data dengan menyeleksi data AIS yang tidak sesuai ketentuan atau aturan data AIS juga dapat dilakukan melalui tahap *preprocessing* ini. Artinya, penelitian tentang penggunaan data AIS di Indonesia dengan tahap *preprocessing* yang tepat sebagai bentuk penjaminan kualitas (*Quality Assurance*) penting untuk dilakukan. Nantinya, tahap *preprocessing* ini akan dijadikan sebagai Standar Operasional Prosedur (SOP) sebelum mengolah data AIS lebih lanjut.

Aktivitas perkapalan di Indonesia tidak lepas dari pelabuhan-pelabuhan yang ada. Maka, ketika ingin memonitor aktivitas perkapalan di perairan Indonesia, monitor terhadap seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia perlu dilakukan. Hal yang dimonitor adalah kegiatan masuk dan keluarnya seluruh kapal pada pelabuhan-pelabuhan tersebut. Monitor terhadap pelabuhan tidak hanya dapat digunakan untuk mengetahui lalu lintas kapal pada pelabuhan tersebut, tetapi juga dapat digunakan untuk mengetahui waktu yang dihabiskan kapal saat berada di Pelabuhan (Asian Development Bank, 2023). Hal yang sama berlaku jika ingin melakukan *monitoring* aktivitas kapal Indonesia di luar negeri, yaitu dengan

melakukan *monitoring* terhadap pelabuhan yang ada di luar negeri. Kegiatan *monitoring* akan dilakukan dengan membangun algoritma menggunakan data AIS.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini akan mengeksplorasi penggunaan data AIS dengan melakukan tahap *preprocessing* sebagai suatu SOP untuk memonitor aktivitas perkapalan Indonesia dan di perairan Indonesia. Setelah itu, dibangun algoritma yang dapat memonitor aktivitas perkapalan Indonesia dan di perairan Indonesia. Dengan demikian, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Standar Operasional Prosedur (SOP) tahap *preprocessing* data AIS yang tepat untuk menghasilkan data AIS yang berkualitas?
2. Bagaimana membangun algoritma berdasarkan seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia untuk mengetahui seluruh kapal yang masuk ke Indonesia dan mengetahui kapal asing yang keluar dari Indonesia?
3. Bagaimana membangun algoritma untuk mengetahui waktu yang dihabiskan suatu kapal saat berada di pelabuhan Indonesia?
4. Bagaimana membangun algoritma untuk mengetahui daerah (luar negeri) yang dikunjungi kapal Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini memiliki tujuan untuk:

1. Membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) tahap *preprocessing* sebagai bentuk penjaminan kualitas (*Quality Assurance*) pada data AIS.
2. Membangun algoritma berdasarkan seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia untuk:

- a. mengetahui seluruh kapal yang masuk ke Indonesia; dan
 - b. mengetahui kapal asing yang keluar dari Indonesia.
3. Membangun algoritma untuk mengetahui waktu yang dihabiskan suatu kapal saat berada di pelabuhan Indonesia.
4. Membangun algoritma untuk mengetahui pelabuhan (luar negeri) yang dikunjungi kapal Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. mengetahui Standar Operasional Prosedur (SOP) tahapan *preprocessing* yang dapat diterapkan sebagai bentuk penjaminan kualitas (*Quality Assurance*) pada data AIS;
2. berdasarkan seluruh pelabuhan yang ada di Indonesia, mengetahui seluruh kapal yang masuk ke Indonesia dan kapal asing yang keluar dari Indonesia;
3. mengetahui waktu yang dihabiskan suatu kapal saat berada di pelabuhan Indonesia; dan
4. mengetahui pelabuhan (luar negeri) yang dikunjungi kapal Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada pelabuhan yang karakteristiknya bersumber dari World Port Index (WPI), yaitu 123 pelabuhan di Indonesia dan 3685 pelabuhan di luar negeri. Kapal yang akan dipantau adalah kapal dengan tipe *sailing*, *tanker*, *other*, *pleasure craft*, *passenger*, *fishing*, *port tender*, *dredging*, dan *cargo*.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian Awal memuat Halaman Sampul, Halaman Judul, Halaman Pernyataan, Halaman Pengesahan, Prakata, Abstrak, Daftar Isi, Daftar Tabel, Daftar Gamber, Daftar Lampiran. Bagian Isi terdiri dari 5 (lima) bab, yaitu Bab Pendahuluan, Bab Kajian Pustaka, Bab Metodologi, Bab Hasil dan Pembahasan, serta Bab Kesimpulan dan Saran. Bab Pendahuluan memuat 5 (lima) sub bab, yaitu Latar Belakang, Identifikasi Masalah, Tujuan Penelitian, Keterbatasan Penelitian (*optional*), dan Sistematika Penulisan. Bab Kajian Pustaka memuat 4 (empat) sub bab, yaitu Landasan Teori (bisa mengenai Terapan atau Metode Statistik, tergantung apa yang diteliti), Penelitian Terkait (bisa mengenai Terapan atau Metode Statistik, tergantung apa yang diteliti), Kerangka Pikir, dan Hipotesis Penelitian (jika ada). Bab Metodologi memuat 3 (tiga) sub bab, yaitu Ruang Lingkup Penelitian, Metode Pengumpulan Data, dan Metode Analisis. Bab Hasil dan Pembahasan memuat hasil pengolahan berupa tabel dan atau grafik yang sudah disesuaikan dengan format penulisan, disertai dengan pembahasan yang diarahkan untuk menjawab tujuan penelitian. Bab Kesimpulan dan Saran memuat 2 (dua) sub bab, yaitu Kesimpulan dan Saran. Bagian Akhir memuat Daftar Pustaka, Lampiran, dan Riwayat Hidup.

“... sengaja dikosongkan ...”

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pemantauan Aktivitas Perkapalan Indonesia

Indonesia memiliki kondisi geografi yang dapat menjadi potensi sekaligus tantangan karena peran kawasan laut Indonesia yang menjadi signifikan. Potensi tersebut di antaranya adalah kawasan laut yang tentunya menyimpan banyak sumber daya alam dan energi laut yang harus dimanfaatkan dengan baik. Indonesia juga memiliki Tiga Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) yang merupakan jalur penting bagi transportasi berskala internasional. Selain itu, Indonesia menjadi negara poros maritim sesuai dengan program pemerintah yang disampaikan pada pidato presiden di Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) ke- 9 East Asia Summit (EAS) 13 November 2014 di Myanmar (Fadilah et al., 2019).

Namun, tantangannya, kawasan laut ini harus dikelola dan diamankan bagi kepentingan negara. Kawasan laut Indonesia yang strategis berpotensi menimbulkan ancaman bagi Indonesia. Salah satu ancaman yang sering terjadi adalah aktivitas ilegal di perairan Indonesia. Aktivitas ilegal tersebut di antaranya kasus pencurian ikan yang menimbulkan kerugian besar bagi Indonesia. Aktivitas ilegal lainnya adalah *transshipment*, yaitu proses memindahkan muatan di tengah laut dari satu kapal ke kapal lainnya (Fadilah et al., 2019).

Oleh karena itu, pemerintah dituntut untuk dapat menjaga, mempertahankan, dan mengelola kekayaan dan potensi laut di Indonesia. Kementerian Perhubungan memiliki peran penting dalam menjalankan dan mendukung program pemerintah

pada bidang kemaritiman. Melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 7 Tahun 2019, Kementerian Perhubungan mewajibkan seluruh kapal yang berlayar di perairan Indonesia, baik kapal dengan bendera Indonesia, maupun kapal asing untuk menggunakan perangkat *Automatic Identification System* (AIS) serta memberikan informasi yang benar melalui perangkat tersebut (Penca, 2009). Pada peraturan tersebut diatur juga sanksi administrasi yang akan diberikan bagi kapal-kapal yang melanggar aturan dengan mematikan perangkat atau tidak melaporkan informasi yang benar.

Keterbatasan Pemantauan Aktivitas Perkapalan Indonesia

Pada 31 Maret 2021, sebanyak 10 kapal ilegal terdeteksi di kawasan Laut Natuna Utara oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) (Wijayanti et al., 2021). Kemudian, pada Mei 2021, citra satelit juga berhasil mendeteksi sekitar 50 kapal Vietnam yang melakukan *illegal fishing* di kawasan Laut Natuna Utara (Initiative, 2021). Selain itu, menurut KKP, sekitar 90% kapal terdeteksi melakukan pemalsuan dokumen volume kapal (*mark down*) (Maulana, 2017).

Fenomena-fenomena tersebut membuktikan lemahnya pengawasan terhadap aktivitas perkapalan serta keamanan di kawasan perairan Indonesia. Akibatnya, kapal-kapal asing atau nelayan-nelayan asing dapat dengan mudah masuk ke wilayah perairan Indonesia, terutama kapal-kapal yang berasal dari negara-negara yang berbatasan langsung dengan Indonesia. Jika pihak berwenang tidak melakukan tindakan pencegahan, maraknya kasus *illegal fishing* yang terjadi di perairan Indonesia akan terus terjadi di masa yang akan datang (Wijayanti et al., 2021).

Big Data

Big Data adalah kumpulan data yang besar dan kompleks, baik terstruktur maupun tidak terstruktur, yang tidak dapat dioperasikan oleh teknik pemrosesan dan/atau algoritma tradisional. Dikatakan juga *big data* adalah informasi yang memiliki volume, kecepatan, dan variasi yang tinggi, yang membutuhkan teknik pemrosesan baru untuk memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik, penemuan wawasan, dan optimalisasi proses (Bolton et al., 2021).

Karakteristik dari *big data* adalah *volume*, *velocity*, dan *variety* atau yang dikenal dengan 3V. *Volume* adalah ukuran data. Misalnya, dalam satuan petabytes (PB) dan zettabytes (ZB). *Velocity* adalah kecepatan data yang masuk dan keluar, seperti *batch*, *near time*, *real time*, dan *streams*. Terakhir, *variety* adalah variasi sumber dan tipe data. Secara umum, ada tiga tipe data dari *big data*, antara lain data terstruktur, tidak terstruktur, dan semi terstruktur yang merupakan kombinasi dari data terstruktur dan tidak terstruktur. Selanjutnya, IBM dan Microsoft menambahkan *veracity* atau *variability* dan McKinsey menambahkan *value* sebagai karakteristik *big data*. *Veracity* atau *variability* adalah kekacauan dan keterpercayaan data, sedangkan *value* adalah nilai informasi yang tersembunyi dalam *big data* (Saeed & Husamaldin, 2021).

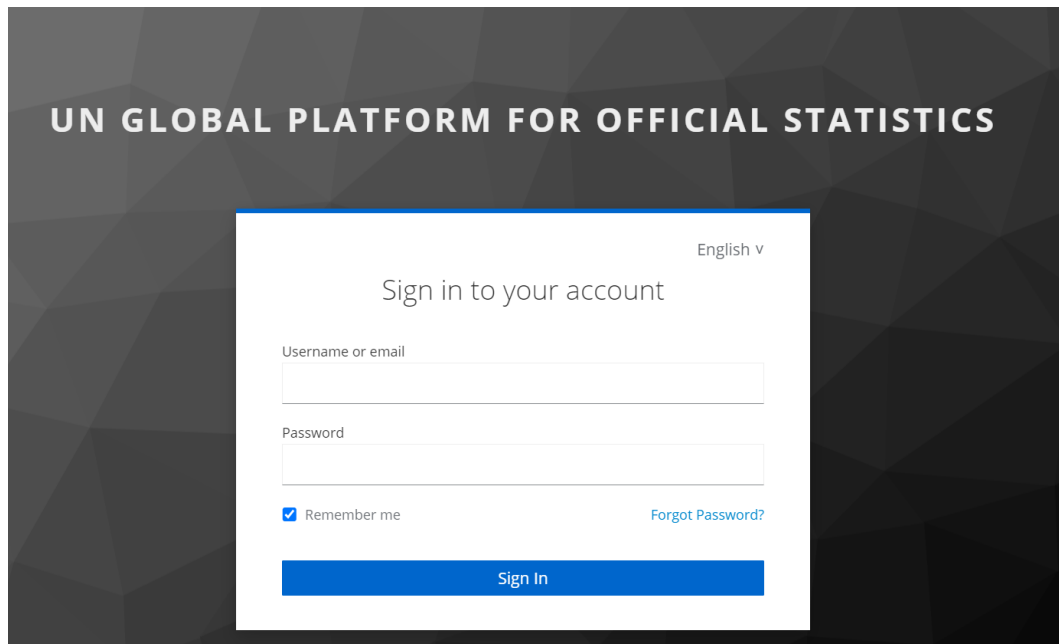
Big data memiliki banyak manfaat. Dengan *big data*, manusia akan mendapat informasi yang akurat karena *big data* mengandung nilai, koneksi, tren, dan pola. *Big data* juga dapat meningkatkan proses pengambilan keputusan karena data yang dimiliki banyak serta mengurangi biaya perawatan peralatan karena peralatan tertentu kemungkinan besar akan aus setelah beberapa tahun sehingga butuh banyak biaya untuk mengganti teknologi dan *file*. Selain itu, *big data* dapat

meningkatkan layanan pelanggan karena *big data* memuat informasi tentang referensi pelanggan (Brady, 2019).

Namun, *big data* juga memiliki berbagai tantangan. Tantangan *big data* meliputi tantangan dalam data, proses, dan manajemen. Tantangan data merupakan tantangan dalam karakteristik data, seperti volume, variasi, kecepatan, kebenaran, volatilitas, kualitas, penemuan, dan dogmatisme dari data; tantangan proses adalah serangkaian teknik bagaimana menangkap, mengintegrasikan, dan mengubah data serta memilih model yang tepat untuk analisis dan memberikan hasil; dan tantangan manajemen mencakup privasi, keamanan, tata kelola, dan etika (Brady, 2019).

United Nations Global Platform

Platform Global UN merupakan platform penyedia data AIS exactEarth yang dapat diakses pada <https://id.officialstatistics.org/>. Platform ini dapat diakses setelah mendapatkan izin atau hak akses dari pihak UN. Pengajuan hak akses dapat dilakukan dengan mengirimkan surat elektronik menggunakan akun resmi instansi kepada pihak UN, yaitu ke support@officialstatistics.org. Jika pengajuan diterima, pihak UN akan mengirimkan surat elektronik balasan yang berisi izin akses yang diberikan dan *password* yang digunakan untuk mengakses Platform.



Sumber: UNGP, 2024

Gambar 1. Halaman *Sign In* Platform UNGP

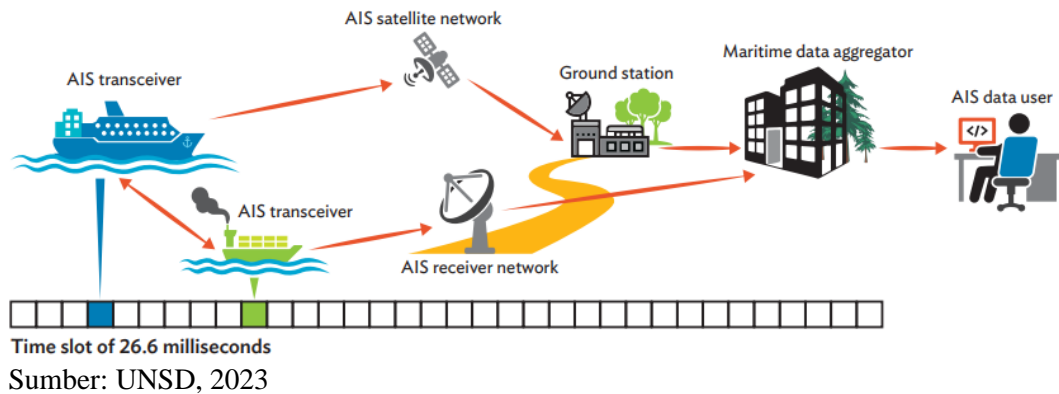
Platform Global UN menyediakan *cloud environment* karena menggunakan Amazon Web Service (AWS) sehingga data dapat diakses secara daring melalui Jupyter Hub. Pengaksesan melalui Jupyter Hub dapat dilakukan menggunakan akun khusus. Jupyter Hub merupakan sebuah aplikasi berbasis konsol yang dapat diakses oleh banyak pengguna dengan bahasa pemrograman Python dengan kegunaan seperti Jupyter Notebook, yaitu sebagai alat untuk menganalisis data atau membuat pemodelan statistik (Klever, 2020).

Automatic Identification System (AIS)

Automatic Identification System (AIS) adalah sistem pelacakan yang secara otomatis dapat melacak kapal beserta lalu lintasnya (Haryadi et al., 2019). Dengan menggunakan transponder *Very High Frequency (VHF)*, AIS memungkinkan kapal untuk bertukar informasi seputar navigasi atau data kapal dengan kapal sendiri,

kapal lain yang berdekatan, AIS *base station*, satelit (*Satellite AIS/Sat-AIS/S-AIS*), ataupun stasiun pantai dan AtoN (*Aids to Navigation*) (Karim, 2019). Pesan yang disiarkan perangkat AIS terdiri dari sembilan digit angka *Maritime Mobile Service Identity* (MMSI) untuk terhubung dengan jaringan telekomunikasi umum, identitas kapal berupa nomor *International Maritime Organization* (IMO), posisi kapal yang terdiri lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*), arah (*Course Over Ground* (COG)), kecepatan (*Speed Over Ground* (SOG)), dan informasi lainnya yang kemudian digolongkan menjadi data tetap, data dinamis, dan data lainnya (Points & Kim, 2023). Informasi tersebut akan diterima secara berkala oleh kapal lain, AIS *base station*, satelit, atau stasiun pantai dan AtoN (*Aids to Navigation*) yang berada dalam jangkauan kapal yang mengirimkan informasi. Informasi dari perangkat AIS ini akan diproses dan digambarkan menjadi grafik di komputer atau peralatan navigasi elektronik, seperti peta elektronik atau *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS) menggunakan suatu perangkat lunak (Bonham et al., 2018).

Sinyal AIS dikirim dari kapal pengirim pesan AIS dan diterima oleh AIS *base station*, satelit (*Satellite AIS/Sat-AIS/S-AIS*), ataupun stasiun pantai dan AtoN (*Aids to Navigation*). Sinyal yang telah ditangkap kemudian diteruskan dan diolah oleh pengolah data maritim sehingga data menjadi bersih dan terstruktur dan siap digunakan oleh pengguna data AIS. Penerimaan sinyal oleh penerima sinyal AIS dari berbagai kapal pengirim pesan AIS terjadi secara cepat dan simultan dikarenakan AIS menggunakan slot waktu 26,6 milidetik, seperti pada Gambar 2.

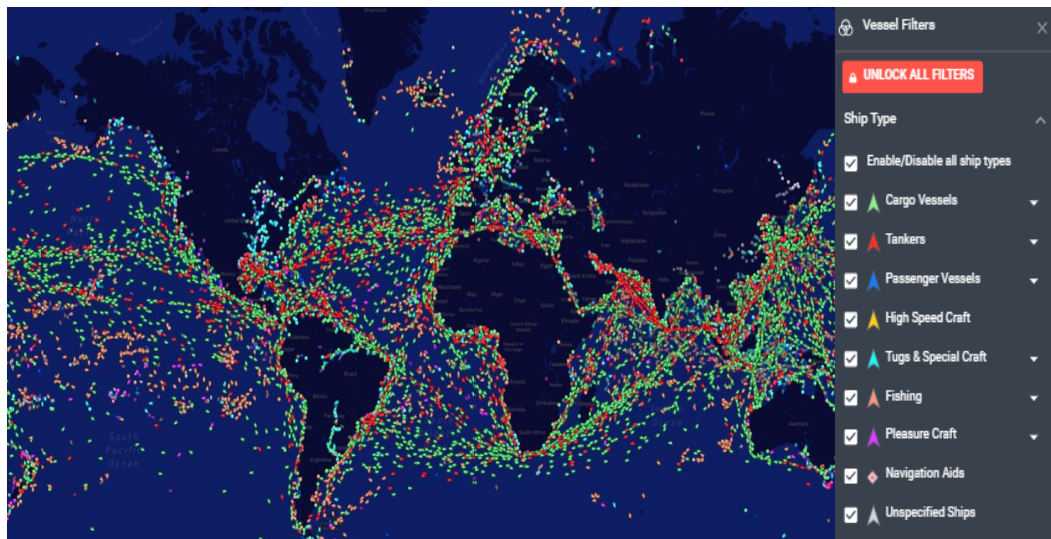


Gambar 2. Alur pengiriman sinyal AIS dari kapal ke pengguna data

Berdasarkan aturan yang dibuat oleh *Safety of Life at Sea* (SOLAS), terdapat dua jenis AIS, yaitu AIS kelas A dan AIS kelas B. AIS kelas A memiliki *transmitter* dan *receiver* yang diperuntukkan bagi kapal yang melakukan pelayaran internasional dengan bobot di atas 300 GT, seperti kapal penumpang dan kapal komersial. AIS kelas B memiliki *transmitter* dan *receiver* yang diperuntukkan bagi kapal dengan fungsi terbatas, seperti kapal layar (*yacht*). Perangkatnya dibagi menjadi tiga kelas, yaitu kelas A, kelas B, dan kelas B+. Perbedaan yang paling mendasar dari ketiga kelas tersebut adalah skema yang digunakan untuk berkoordinasi dengan kapal terdekat lain. Perangkat AIS kelas A dan kelas B+ menggunakan skema *Self-Organized Time-Division Multiple Access* (SOTDMA) sehingga menyiarkan pesan pada waktu yang berbeda. Sebaliknya, perangkat AIS kelas B menggunakan skema *Carrier Sense Time-Division Multiple Access* (CSTDMA) yang mengakibatkan perangkat harus mencari slot yang tidak dipakai dan menggunakan slot yang tidak dipakai tersebut agar dapat menyiarkan pesan (Simau et al., 2023).

Pada awalnya, AIS dibangun untuk membantu *Vessel Traffic Services* (VTS). Penggunaannya pun saat itu masih di sepanjang pesisir Inggris dan lainnya.

Tujuannya adalah untuk menjamin keselamatan di lautan. Kemudian, pada tahun 2002, berdasarkan *International Maritime Organization* (IMO) dan Konvensi Internasional untuk Keselamatan Jiwa di Laut atau SOLAS, semua kapal dengan bobot di atas 300 GT dalam pelayaran internasional diwajibkan membawa serta mengoperasikan perangkat AIS (Maulidi, 2019). Hingga tahun 2017, AIS telah disiarkan oleh sekitar 60.000 kapal penangkap ikan yang 22.000 di antaranya telah sesuai dengan daftar kapal yang tersedia. Karenanya, penggunaan AIS meluas menjadi alat pemantauan pergerakan kapal di lautan. Pada Gambar 3, ditampilkan lalu lintas kapal kapal di dunia berdasarkan data AIS.



Sumber: Marine Traffic, 2024

Gambar 3. Tangkapan layar lalu lintas kapal berdasarkan data AIS

Pada 2002, *International Maritime Organization* (IMO) mulai mewajibkan pemasangan perangkat AIS pada semua kapal dalam pelayaran internasional yang memiliki bobot 300 *gross tonnage* (GT) atau lebih, dan semua kapal penumpang (Simau et al., 2023). Melalui perangkat AIS, pergerakan serta lalu lintas kapal dapat diawasi, seperti pada Gambar 3, karena adanya otomatisasi pada pengiriman pesan

AIS setiap beberapa detik melalui gelombang radio dengan *Very High Frequency* (VHF) atau berfrekuensi sangat tinggi serta dilengkapi dengan sistem GPS (*Global Positioning System*).

Kategori Data AIS

Menurut United Nations Statistics Division (2023), terdapat tiga kategori informasi pada data AIS, yaitu:

1. Data statis

Data statis merupakan data dengan informasi tentang karakteristik kapal. Data ini diisi secara langsung oleh awak kapal dan ditransmisikan setiap enam menit. Beberapa fitur yang termasuk data statis, yaitu:

- a. MMSI, rangkaian sembilan digit yang dikirim dalam bentuk digital melalui saluran frekuensi radio untuk mengidentifikasi stasiun radio kapal, stasiun bumi kapal, stasiun radio pantai, stasiun bumi pantai, dan panggilan grup secara unik
- b. Nomor IMO, nomor identitas permanen kapal berdasarkan *International Maritime Organization* yang terdiri atas tiga huruf "IMO" dan tujuh digit nomor khusus serta bersifat unik untuk setiap kapal (tidak pernah dialihkan ke kapal lain).
- c. *Call sign*, kode yang terdiri dari urutan huruf dan angka sebagai tanda panggilan radio internasional yang diberikan kepada kapal berdasarkan negara atau tempat yang terdaftar di IMO serta digunakan untuk menghindari ambiguitas dalam komunikasi radio.
- d. Nama kapal.

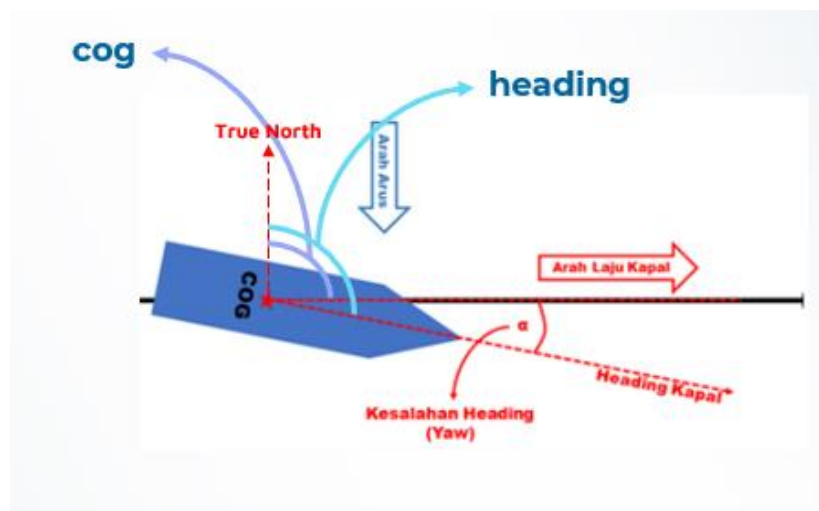
- e. Tipe kapal, tipe kapal yang telah terdaftar di AIS, seperti *fishing*, *pleasure craft*, *cargo*, *tanker*, dll.
- f. Dimensi kapal, perkiraan ukuran atau dimensi kapal dalam meter.

2. Data dinamis

Data dinamis merupakan data dengan informasi terkait posisi dan pergerakan kapal. Secara otomatis, ketika kapal bergerak, data ini akan ditransmisikan setiap dua sampai sepuluh detik, kecuali untuk fitur status navigasi. Ketika kapal diam, data ini akan ditransmisikan setiap enam menit. Beberapa fitur yang terdapat pada data dinamis, yaitu:

- a. Posisi kapal, meliputi garis lintang dan garis bujur posisi kapal saat itu.
- b. SOG (*Speed over Ground*), kecepatan kapal di air dalam knot.
- c. Heading, arah haluan kapal yang mengacu pada Utara sebenarnya (*True North*) dalam derajat.
- d. COG (*Course over Ground*), arah haluan atau pergerakan atau perjalanan kapal di air yang mengacu pada Utara sebenarnya (*True North*) dalam derajat.

Berikut ilustrasi dari COG dan heading.



Sumber: SAMOS, 2019

Gambar 4. Ilustrasi COG dan Heading Kapal

- e. ROT (*Rate of Turn*), kecepatan perubahan haluan kapal dalam satuan derajat per menit.
 - f. Status navigasi, status navigasi kapal yang telah terdaftar di AIS, seperti berlayar dengan menggunakan mesin, barlayar, berlabuh, berlabuh jangkar, tidak dapat dikendalikan, dll.
3. Data terkait pelayaran

Data terkait pelayaran merupakan data dengan informasi mengenai pelayaran kapal pada saat itu. Sama seperti data statis, data ini juga ditransmisikan setiap enam menit. Beberapa fitur yang terdapat pada data ini, yaitu:

- a. Tujuan pelayaran.
- b. Estimasi waktu sampai.
- c. *Draught*, jarak antara lambung kapal dan permukaan air.
- d. Waktu, yang disediakan oleh penerima AIS.

Pemanfaatan Data AIS

Awalnya, penggunaan AIS ditujukan untuk melakukan pelacakan pada kapal, menghindari terjadinya tabrakan antar kapal, serta membantu pengawasan lalu lintas di lautan oleh otoritas pelabuhan. Dengan berkembangnya zaman, penggunaan AIS ikut berkembang. AIS mulai digunakan dalam berbagai bidang dengan berbagai tujuan, seperti untuk mengestimasi emisi CO₂ oleh kapal, membentuk statistik perikanan, membentuk indikator ekonomi dan perdagangan, dan mengawasi aktivitas pelabuhan (United Nations Statistics Division, 2023). Lembaga atau organisasi yang memanfaatkan Data AIS pun beragam, seperti AIS Task Team dan Asian Development Bank. Perkembangan penggunaan AIS oleh

berbagai organisasi atau lembaga ini mengindikasikan bahwa AIS memiliki potensi untuk dimanfaatkan untuk pengawasan kelautan secara optimal yang dimulai dari pengawasan pada pelabuhan.

Mulai tahun 2018, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) menerbitkan tabel *port calls* internasional setiap enam bulan sekali. Tabel ini menampilkan variabel seperti jumlah kunjungan pelabuhan, waktu penyelesaian, dan ukuran dan usia rata-rata kapal pada delapan kategori kapal (*liquid bulk carriers, LPG carriers, LNG carriers, dry bulk carriers, dry break bulk carriers, roll-on/roll-off vessels, container vessels, and passenger vessels*). Untuk jumlah kunjungan pelabuhan, hanya kedatangan yang didefinisikan sebagai *port calls* dan tidak menghitung *passenger vessels*. *Turnaround time* dihitung menggunakan median karena adanya *outliers* yang signifikan akibat perbaikan kapal. Di masa yang akan datang, data AIS diharapkan dapat melengkapi *Liner Shipping Connectivity Index* (LSCI) yang juga dikelola oleh UNCTAD karena indeks ini berasal dari jadwal kapal dan bukan pergerakan kapal yang sebenarnya (Asian Development Bank, 2023).

Kualitas Data AIS

Dalam studinya pada tahun 1999, English menggambarkan subjektivitas kualitas data. Cara terbaik untuk mengevaluasi kualitas data adalah dengan mempertimbangkan arti kualitas data secara umum dan menetapkan arti kualitas untuk kumpulan data tertentu. Oleh karena itu, hal ini merupakan praktik umum untuk menentukan kualitas pengumpulan data berdasarkan kondisi yang sesuai untuk digunakan seperti “Apakah bebas dari kesalahan?”, “Apakah memenuhi

harapan konsumen?”, “Apakah data sesuai dengan standar yang telah ditetapkan?” dan seterusnya (English, 1999).

Data AIS sebagai *big data* memiliki kerentanan dalam kualitas data. Masalah kerentanan ini dapat muncul dari sumber mentah dan pada penyedia data AIS hingga pada tahap pemrosesan data. Berikut beberapa potensi masalah kualitas data AIS (Asian Development Bank, 2023).

1. Sinyal perangkat AIS hilang

Nahkoda atau awak kapal dapat dengan sengaja mematikan perangkat AIS dan tidak melaporkan data yang sebenarnya atau tidak melaporkan sama sekali keadaan kapalnya (Simau et al., 2023). Padahal pemerintah telah melarang kapal untuk mematikan perangkat AIS yang dimiliki. Meskipun begitu, data AIS yang disediakan oleh United Nations Global Platform (UNGP), exactEarth memastikan bahwa peristiwa ini tidak berdampak pada data karena sumber data telah ditingkatkan.

2. Data terkait pelayaran AIS rentan terhadap *error*

Data terkait pelayaran adalah pesan yang diinput secara manual sehingga dapat terjadi salah input atau tidak diinput sama sekali. Contohnya *draught* yang telah digunakan untuk memperkirakan volume kargo dengan menghitung perubahan ukuran untuk sebuah kapal antara kedatangan dan keberangkatannya dari pelabuhan. Arslanalp et al. (2021) mencatat contoh ketika *draught* belum diperbarui saat meninggalkan pelabuhan, membuat draft yang diambil selama keberangkatan dari pelabuhan tidak dapat diandalkan.

Contoh lain adalah tujuan, yaitu data yang didapatkan dengan melaporkan pelabuhan keberangkatan dan pelabuhan singgah berikutnya dengan menggunakan *United Nations Code for Trade and Transport Locations* (UN/LOCODE). Namun, karena kolom untuk data tujuan adalah teks bebas, format ini tidak diikuti secara ketat.

3. MMSI yang tidak sesuai dengan format

MMSI adalah pengenalan unik bagi mereka yang beroperasi dengan jaringan seluler maritim layanan. Format MMSI yang benar adalah kode yang terdiri dari sembilan digit dengan tiga digit pertama merupakan *Maritime Identification Digit* (MID). Digit pertama dari MID berkisar dari 201 hingga 775 dan menunjukkan wilayah ekonomi asal operator. Namun, posisi digit pertama pada MID bervariasi dari pertama, kedua, atau ketiga digit. Jika mengikuti aturan MID, sekitar 12% dari total MMSI dari UNGP-AIS tidak mengikuti format ini.

4. Penipuan atau anomali

Terdapat posisi anomali yang teramati untuk kapal-kapal di UNGP-AIS. Hal ini dikarenakan data AIS rentan terhadap pemalsuan yang disengaja (Androjna et al., 2021) yang juga dapat digunakan untuk menyembunyikan aktivitas maritim dengan menggunakan sinyal palsu tersebut.

IHS Markit

IHS Markit menyediakan data register kapal. IHS Markit merupakan otoritas satu-satunya yang bertanggung jawab untuk menetapkan dan memvalidasi nomor International Maritime Organization (IMO). Nomor-nomor tersebut dikeluarkan dari *database* maritim global yang dikelola oleh IHS Markit dan terdiri

dari tujuh digit nomor unik. IHS Markit mengelola skema ini atas nama International Maritime Organisation (IMO) (IHS Global Limited, 2024).

Sesuai dengan Surat Edaran IMO 1886/Rev.6, IHS Markit menerbitkan Nomor Kapal IMO pada tahap permohonan yang telah dikonfirmasi secara gratis untuk galangan kapal, pemilik/operator kapal, administrasi dan masyarakat klasifikasi. Para pembuat kapal dan pemilik kapal dianjurkan untuk memberikan rincian semua permohonan baru kepada IHS Markit agar dapat difasilitasi pemberian Nomor Kapal IMO pada tahap awal. Permohonan dapat dilakukan dengan mengisi formulir *online* atau dengan mengunduh formulir dalam format Word atau PDF dan mengirimkannya ke ship.imo@ihs.com. Balasan biasanya akan dikirimkan dalam beberapa hari kerja sejak tanggal permohonan diterima. IHS Markit berhak untuk menolak memberikan Nomor IMO Kapal sampai semua kriteria identifikasi dipenuhi dan mengenakan biaya untuk memproses permintaan dalam jumlah besar. Permohonan yang melibatkan lebih dari satu kapal hanya diterima untuk satu kapal per formulir (IHS Global Limited, 2024).

Nomor Kapal IMO dapat diverifikasi pada produk dan layanan IHS Markit. Sebagai alternatif, situs publik gratis Equasis (www.equasis.org) dan situs online GISIS milik IMO (www.imo.org) dapat diakses untuk melihat nomor IMO Kapal. Kedua situs tersebut dilengkapi dengan pembaruan informasi mingguan dari database IHS Markit (IHS Global Limited, 2024).

Tipe Kapal

IMO memberikan mandat kepada sebuah perusahaan untuk menghasilkan IMO *Ship Identification Number Scheme* (Badan Pusat Statistik, 2023). Sejalan dengan mandat dari IMO, IHS Markit memiliki *database* maritim global dan

menjadi satu-satunya otoritas yang bertanggung jawab untuk menetapkan dan memvalidasi IMO *Ship Identification Number Scheme*.

IHS Markit juga menetapkan lima level dalam sistem pengkodean kapal (Badan Pusat Statistik, 2023). Pada level 1, terdapat lima tipe kapal, yaitu *cargo carrying*, *non merchant*, *non propelled*, *non ship structure*, dan *work vessel*. Kapal dengan tipe *non merchant* merupakan kapal militer (kapal naval), *sail training ships* (kapal untuk berlatih layar), dan *yacht*. Kemudian, kapal *non propelled* adalah perahu datar (*pontoon/flat boat*) dan tongkang. Terakhir, kapal dengan tipe *non ship structure* atau struktur mengapung yang bukan kapal adalah *buoy* (pelampung laut untuk navigasi), *floating dock*, dan *hovercraft*.

Pada level 2, tipe kapal *cargo carrying* dibagi lagi menjadi *bulk carriers*, *dry cargo/passanger*, *tankers*, dan *non-merchant*. Kemudian, tipe kapal *work vessels* dibagi menjadi *fishing miscellaneous*, dan *offshore*. Kapal kargo dengan tipe *tankers* pada level 3 dikategorikan menjadi *chemical*, *liquefied gas*, *oil*, dan *other liquids*. Sistem pengkodean kapal yang lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pelabuhan

Pelabuhan merupakan salah satu sarana utama bagi transportasi perairan, seperti transportasi di sungai, di danau, dan di laut. Pelabuhan juga merupakan sarana penting untuk menghubungkan pulau-pulau dan negara-negara. Karena itu, pelabuhan memiliki peran dalam pertumbuhan industri dan perdagangan suatu daerah. Sebagai sistem transportasi dan logistik, pelabuhan memberikan kontribusi bagi perekonomian dan pembangunan nasional (Humaira Ninvika et al., 2023).

Data mengenai seluruh pelabuhan dan karakteristiknya terdapat pada *website* Maritime Safety Information dengan *database* World Port Index. World

Port Index (WPI) merupakan *database online* yang menyediakan informasi mengenai pelabuhan maritim di seluruh dunia yang berfungsi sebagai referensi umum dan alat perencanaan navigasi bagi para pelaut. WPI menyediakan lokasi geografis umum dengan lebih dari 100 karakteristik dan layanan utama dari ribuan pelabuhan di seluruh dunia. Sumber informasi utama dalam WPI adalah petunjuk arah pelayaran dan peta yang diterbitkan oleh National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), tetapi apabila informasi dari sumber-sumber tersebut kurang atau tidak lengkap, WPI akan menggunakan sumber-sumber otoritatif lainnya, baik dari dalam maupun luar negeri. WPI sama sekali tidak menggantikan peta-peta dan publikasi terkait yang membahas secara rinci pelabuhan-pelabuhan yang dirangkum di sini. Untuk perencanaan operasional yang lebih rinci, referensi harus selalu mengacu pada peta dan publikasi terbaru (World Port Index, 2023).

Pelabuhan Indonesia

Sebagai negara kepulauan, pelabuhan memiliki peran penting bagi Indonesia. Ditambah dengan fakta bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan, pelabuhan menjadi sarana yang sangat dibutuhkan dalam mobilitas. Kehadiran pelabuhan yang memadai berperan besar dalam menunjang mobilitas barang dan manusia di negeri ini.

Menurut Kementerian Perhubungan (2023), terdapat 306 pelabuhan di Indonesia dengan tiga jenis pelabuhan yang berbeda, yaitu pelabuhan pelabuhan laut yang melayani angkutan laut, pelabuhan laut yang melayani angkutan penyeberangan, dan pelabuhan sungai dan danau. Dari 306, tidak semuanya terdaftar pada WPI. WPI hanya mencatat sebanyak 123 pelabuhan di Indonesia beserta karakteristiknya.

Pelabuhan Luar Negeri

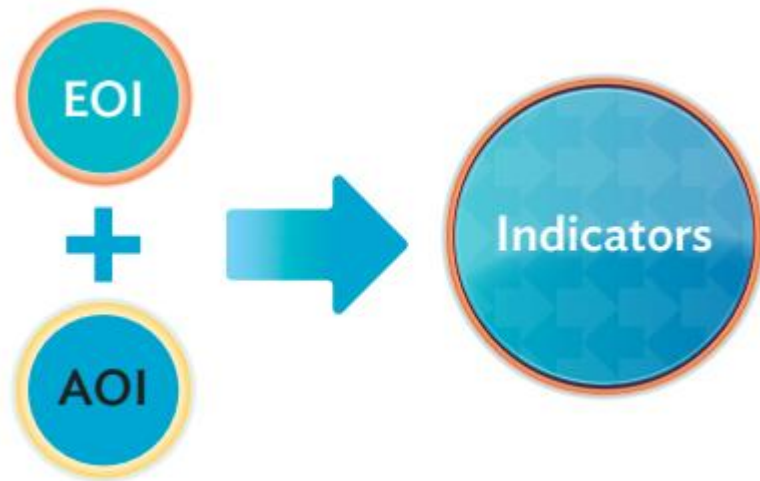
Dalam melakukan aktivitas ekspor, Indonesia memiliki beberapa negara yang menjadi tujuan utama. Negara-negara ini menjadi tujuan utama dari ekspor Indonesia dikarenakan tingginya aktivitasnya ekspor Indonesia dengan negara-negara tersebut yang dapat dilihat dari nilai dan volume ekspor tiap tahunnya. Terdapat sekitar 30 negara yang menjadi tujuan utama ekspor Indonesia dengan rincian 9 negara ASEAN, 5 negara Asia lainnya, 2 negara Australia, 3 negara Amerika, dan 11 negara Eropa.

Negara-negara tersebut juga memiliki pelabuhan yang menjadi sarana penghubung dengan Indonesia melalui lautan. Pelabuhan-pelabuhan tersebut tercatat pada WPI. Pelabuhan yang menjadi fokus pada penelitian ini tidak hanya pelabuhan yang ada pada negara-negara yang menjadi tujuan utama ekspor Indonesia, tetapi juga pelabuhan yang terdapat pada negara-negara lain, sesuai yang tercatat pada WPI. Jumlah pelabuhan luar negeri yang tercatat pada WPI beserta karakteristiknya adalah sekitar 3685 pelabuhan.

Event of Interest (EOI) dan Area of Interest (AOI)

Event of Interest (EOI) adalah sebuah kegiatan atau aktivitas maritim khusus yang relevan dengan indikator target. Sementara itu, *Area of Interest (AOI)* adalah lokasi geografis tempat terjadinya peristiwa tersebut. Keduanya membantu mengekstrak titik data yang relevan menjadi indikator yang diinginkan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Contohnya adalah penggunaan EOI dan AOI untuk mendapatkan indikator tentang volume lalu lintas di Pelabuhan Shanghai (Asian Development Bank, 2023). EOI merupakan semua kegiatan yang dilakukan kapal di Pelabuhan Shanghai, seperti pemuatan kargo, pengisian bahan bakar, dan

berlabuh. Sementara itu, AOI adalah batas-batas Pelabuhan Shanghai. EOI-AOI yang telah ditentukan kemudian memfilter kapal-kapal yang cocok dalam bentuk kumpulan data. Lalu, kumpulan data tersebut diringkas menjadi sebuah indikator.



Sumber: Asian Development Bank, 2023

Gambar 5. Komponen Indikator Automatic Identification System

Mendefinisikan AOI untuk sebuah pelabuhan bukanlah hal sepele dan mudah dilakukan. Walaupun infrastruktur pelabuhan, seperti dermaga, sudah terdefinisi dengan baik, hal yang sama tidak berlaku untuk area berlabuh di lepas pantai. Daerah labuh—sebagai bagian intrinsik pelabuhan—merupakan bagian penting dari kegiatan di pelabuhan. Hal ini dikarenakan kegiatan pelabuhan juga dapat dilakukan di daerah labuh, terutama untuk kapal dengan ukuran besar yang tidak dapat berlabuh di pelabuhan karena adanya pembatasan *draught*. Kapal besar akan memindahkan muatannya ke kapal yang lebih kecil di daerah labuh. Menentukan luas area berlabuh harus dilakukan dengan hati-hati karena dapat mengubah nilai indikator turunan.

Asian Development Bank (2023) mengidentifikasi tiga pendekatan yang dapat dilakukan untuk menentukan AOI dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing, yaitu sebagai berikut.

1. *Manual Approach*, yaitu teknik mendefinisikan kawasan pelabuhan secara manual.
2. *Distance-Based Approach*, yaitu teknik menentukan batas pelabuhan berdasarkan jarak yang telah ditentukan sebelumnya. Implementasinya adalah menggambarkan sebuah persegi yang berpusat pada koordinat pelabuhan, dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 22 km.
3. *Cluster-Based Approach*, yaitu gabungan dari teknik *Manual Approach* dan *Distance-Based Approach*. Pendekatan ini digunakan untuk mendeteksi perubahan batas pelabuhan.

Manual Approach

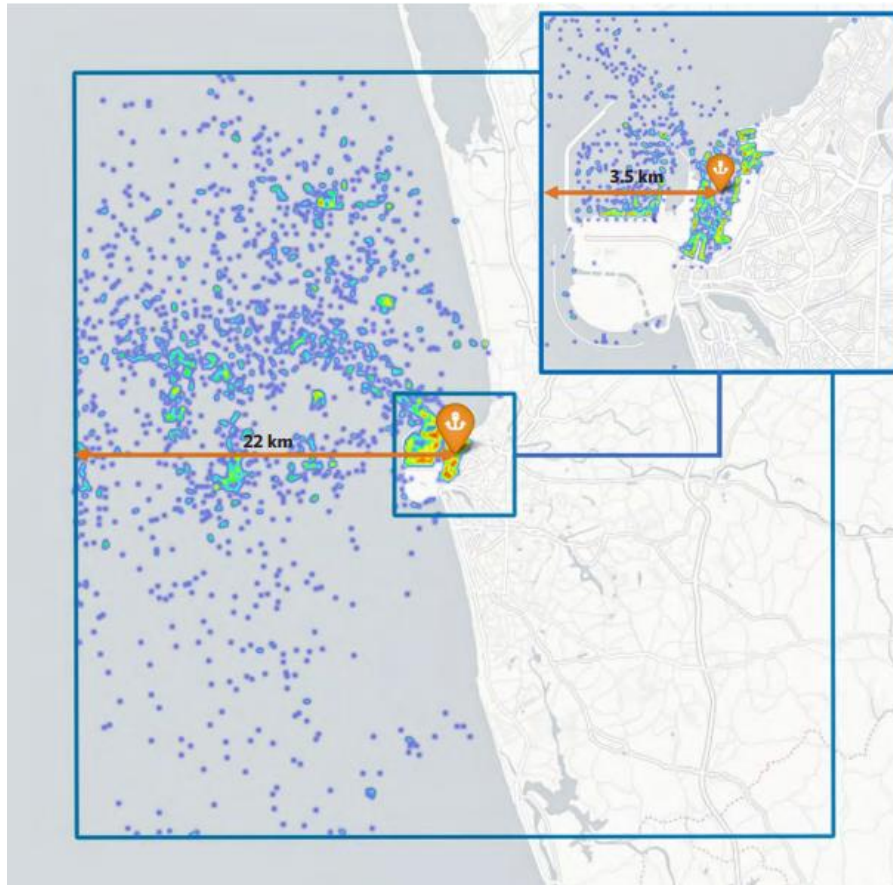
Manual Approach merupakan pendekatan yang paling mudah untuk dilakukan. Caranya adalah dengan menentukan batas-batas pelabuhan secara manual. Jika dilakukan dengan masukan dari ahli atau data permukaan tanah berkualitas tinggi, pendekatan ini dapat menghasilkan AOI yang paling akurat. Namun, ada tingkat penilaian pribadi yang signifikan, yang dapat menghasilkan keputusan yang tidak konsisten ketika dihadapkan pada kasus-kasus yang ambigu. Pendekatan ini juga menjadi lebih tidak praktis seiring dengan meningkatnya jumlah pelabuhan yang dipertimbangkan (Asian Development Bank, 2023).

Distance-Based Approach

Distance-Based Approach mengadopsi pendekatan yang berbasis aturan, yaitu dengan menetapkan batas-batas pelabuhan sebagai jarak dari pusatnya yang telah ditentukan sebelumnya. *Distance-Based Approach* telah digunakan sebagai sarana reduksi data dan batas-batas pelabuhan (Arslanalp et al., 2019). United Nations Convention on Laws of the Sea (UNCLOS) menetapkan zona teritorial suatu negara sejauh 12 mil laut (22 km) dari garis pantai sehingga 22 km merupakan kandidat yang baik untuk menetapkan batas jarak.

Asian Development Bank (2023) menggunakan sebuah bujur sangkar yang berpusat pada koordinat pelabuhan, dengan jarak terpendek dari titik pusat ke sisi bujur sangkar adalah 22 km. Pendekatan ini dapat dengan mudah dikembangkan serta dapat menghilangkan penilaian subjektif. Namun, tidak ada jaminan yang dapat diberikan mengenai seberapa akurat batas yang dihasilkan. Batas 22 km mungkin cukup besar untuk menangkap pelabuhan-pelabuhan yang berdekatan. Selain itu, batas-batas pelabuhan dapat berubah dari waktu ke waktu karena perluasan dan penutupan.

Pada Gambar 6 ditunjukkan ilustrasi *bounding box* (kotak batas) 22 km di sekitar Pelabuhan Kolombo, Sri Lanka. Heatmap berupa titik-titik menggambarkan kapal-kapal yang tidak bergerak yang dikumpulkan dari pesan-pesan AIS pada tahun 2019. Meskipun kotak tersebut cukup untuk menangkap keseluruhan area sandar pelabuhan (*bounding box* 3,5 km) dan area labuh, tetapi dapat dikatakan bahwa kotak tersebut mencakup area yang luas yang seharusnya tidak menjadi bagian dari pelabuhan, seperti terminal di dekatnya, dan kapal-kapal yang sedang transit. Menetapkan batas secara manual juga akan menimbulkan masalah karena luas area labuh tidak jelas.



Sumber: Asian Development Bank, 2023

Gambar 6. Heatmap Lokasi *Automatic Identification System* dalam Batas 22 km dari Pelabuhan Kolombo

Sebagai penyesuaian dengan kondisi pelabuhan di Indonesia, jarak terpendek dari titik pusat ke sisi bujur sangkar ditetapkan sebesar 3,3 km. Jarak ini telah mencakup luas perairan pelabuhan terbesar di Indonesia, yaitu pelabuhan Tanjung Perak, yang memiliki luas perairan sebesar 2500 hektar atau 25 km².

Cluster-Based Approach

Cluster-Based Approach merupakan metode yang menggabungkan manfaat serta pertimbangan setiap kasus dari *Manual Approach* pendekatan manual dan metode prosedural dari *Distance-Based Approach* adalah yang menggunakan

teknik algoritmik untuk menetapkan AOI pelabuhan. Penentuan batas-batas dengan pendekatan ini didasarkan identifikasi kelompok dalam pesan AIS, yang di sekelilingnya digambar poligon cembung untuk membatasi AOI. Pendekatan ini telah digunakan untuk mendeteksi jangkar (Fuentes & Adland, 2020) dan menangkap potensi perubahan batas-batas pelabuhan (Arslanalp et al., 2019). Pendekatan ini juga telah digunakan secara khusus untuk negara-negara Kepulauan Pasifik karena luar areanya yang kecil (Arslanalp et al., 2021). Pendekatan ini menggunakan *machine learning* untuk membentuk AOI.

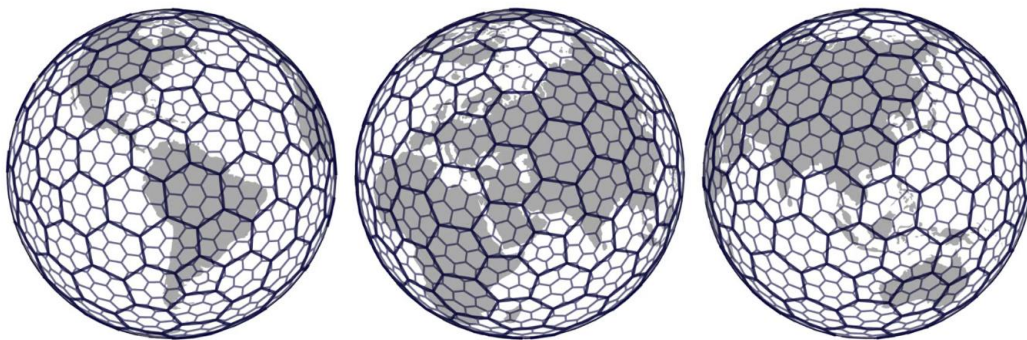
Di antara algoritma *machine learning* yang ada, hanya algoritma yang didasarkan pada kepadatan klaster dapat secara akurat mengidentifikasi pengelompokan untuk *dataset* dengan bentuk yang tidak beraturan serta dapat memisahkan *noise* dari data secara desain. Algoritma berbasis kepadatan yang paling populer adalah *Density Based Spatial Clustering Algorithm with Noise* (DBSCAN) yang memandang klaster sebagai area dengan kepadatan tinggi yang dipisahkan oleh klaster dengan kepadatan rendah. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, DBSCAN adalah algoritma yang dipilih untuk *Cluster-Based Approach*. Kemampuannya untuk menangani klaster dengan berbagai bentuk, mempertimbangkan kepadatan informasi, dan mengidentifikasi pencilaan membuatnya cocok untuk mengidentifikasi AOI secara akurat (Asian Development Bank, 2023).

Keuntungan dari pendekatan berbasis klaster adalah pendekatan ini menetapkan batas-batas pelabuhan sesuai dengan perilaku kapal yang sebenarnya, yang tidak hanya berpotensi lebih akurat, tetapi juga lebih responsif terhadap perluasan dan penutupan pelabuhan. Pendekatan ini lebih mudah untuk

ditingkatkan daripada pendekatan manual, meskipun karena melibatkan *machine learning*, sumber daya komputasi dapat menjadi faktor pembatas. Elemen penilaian subjektif juga tidak dapat dihindari karena adanya pemilihan hiperparameter (Asian Development Bank, 2023).

Hexagonal Hierarchical Geospatial Indexing System (H3)

Hexagonal Hierarchical Geospatial Indexing System (H3) merupakan sistem pengindeksan geospasial dengan penggunaan grid berbentuk heksagonal atau segi enam dalam mengelompokkan data spasial yang diilustrasikan pada Gambar 7. Segi enam (heksagon) teruji sebagai bentuk yang dapat melakukan analisis spasial secara efisien serta dapat digunakan untuk membuat perhitungan yang konsisten (Jordan Bean, 2022). Dengan bentuk segi enam (heksagon), didapatkan jarak yang sama untuk semua tetangga (Uber Technologies, Inc., 2023).



Sumber: Isaac Brodsky, 2018

Gambar 7. Sistem pengindeksan geospasial dengan H3

Setiap heksagon pada H3 memiliki nomor identitas unik, yaitu H3 index. Selain dapat memetakan lokasi geospasial permukaan bumi dalam sebuah heksagon, menggunakan dua heksagon sebagai perwakilan dua lokasi yang berbeda, H3 index

dapat digunakan untuk menghitung jarak antara dua lokasi tersebut. Sistem H3 memiliki struktur hierarkis yang memungkinkan identifikasi unik dan hubungan antara sel-sel heksagonal pada berbagai tingkat resolusi. Pada Tabel 1, ditampilkan 16 resolusi H3 serta luas area tiap resolusinya.

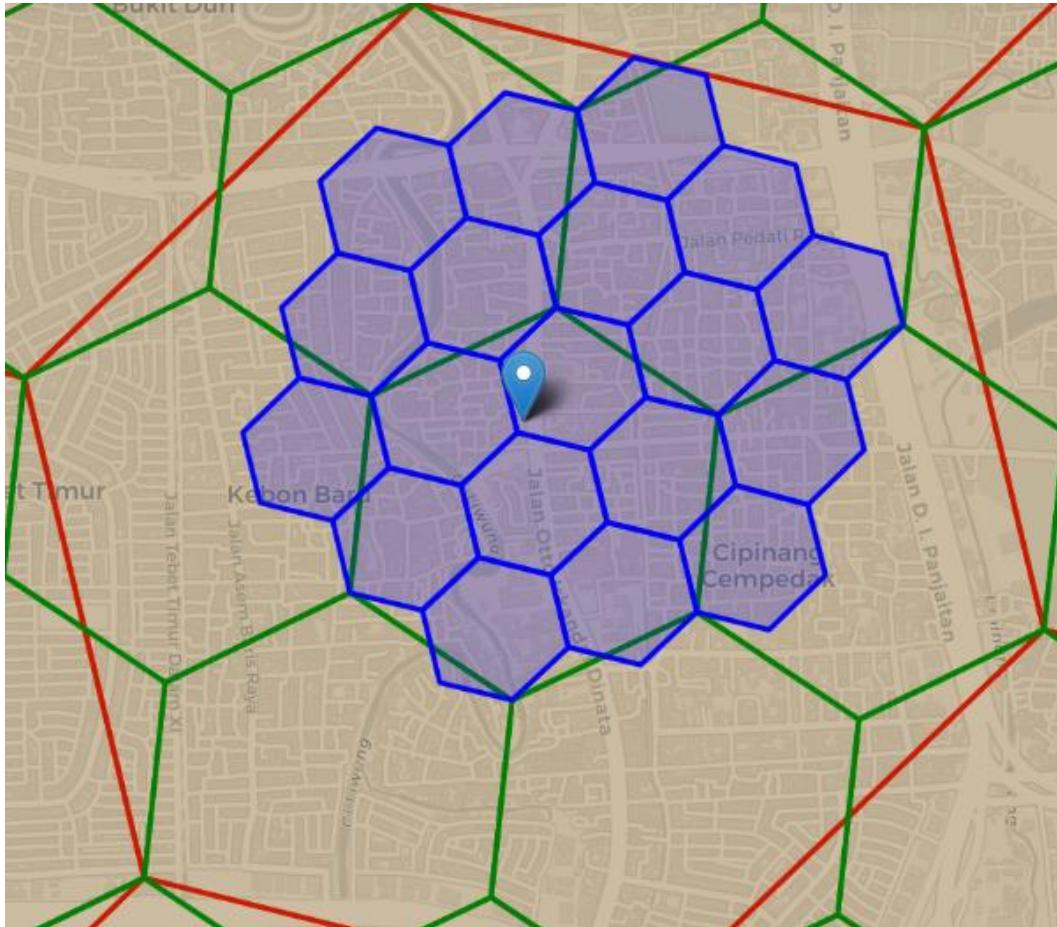
Tabel 1. Resolusi Hexagonal Hierarchical Geospatial Indexing System (H3)

| Resolusi | Rata-Rata Area Heksagon (km ²) |
|----------|--|
| (1) | (2) |
| 0 | 4,357,449.416078381 |
| 1 | 609,788.441794133 |
| 2 | 86,801.780398997 |
| 3 | 12,393.434655088 |
| 4 | 1,770.347654491 |
| 5 | 252.903858182 |
| 6 | 36.129062164 |
| 7 | 5.161293360 |
| 8 | 0.737327598 |
| 9 | 0.105332513 |
| 10 | 0.015047502 |
| 11 | 0.002149643 |
| 12 | 0.000307092 |
| 13 | 0.000043870 |
| 14 | 0.000006267 |
| 15 | 0.000000895 |

Sumber: Uber Technologies, Inc., 2023

Semakin tinggi resolusi H3, semakin kecil luas dari heksagon yang terbentuk. Artinya, semakin tinggi resolusi H3, dibutuhkan semakin banyak heksagon untuk mencakup suatu daerah. Pada Gambar 8, diilustrasikan perbedaan luas H3 index resolusi 7, 8, dan 9 dengan lokasi Politeknik Statistika STIS, yaitu warna merah untuk H3 index resolusi 7, warna hijau untuk H3 index resolusi 8, dan warna biru untuk H3 index resolusi 9. Untuk penelitian ini, digunakan H3 index

resolusi 8 dengan pertimbangan luas area yang dicakup tidak terlalu luas dan tidak terlalu sempit.



Gambar 8. Ilustrasi H3 Index Resolusi 7, 8, dan 9 Politeknik Statistika STIS

Adanya tingkat resolusi tersebut memungkinkan operasi spasial, seperti agregasi dan filtrasi, serta indeks dan pengambilan data geospasial yang efisien. Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan penggunaan segi enam (heksagon) dalam H3 menurut Andrey Sekste & Eduard Kazakov (2022), yaitu:

Kelebihan:

1. *Centroid* heksagon memiliki jarak yang sama dengan *centroid* heksagon yang berdekatan dalam setiap arah sehingga penghitungan jarak ke daerah tetangga

lebih mudah dan efisien untuk dilakukan. Kesamaan jarak antar *centroid* heksagon yang berdekatan ini juga dapat menyederhanakan proses kueri spasial.

2. Heksagon memiliki rasio *perimeter-to-area* yang rendah, atau bentuk poligonal paling "melingkar" yang mengurangi bias dan *outlier* pengambilan sampel yang diciptakan oleh efek tepi yang dapat timbul lebih banyak jika menggunakan bentuk segi empat atau segitiga dengan ukuran yang sama.
3. Geometri segi enam memudahkan representasi kurva objek di kehidupan nyata, seperti jalan dan sungai.
4. Di area yang luas, kelengkungan bumi menyebabkan lebih sedikit distorsi pada kisi heksagonal daripada kisi persegi.

Kekurangan:

1. Jaringan heksagonal tidak selalu optimal secara universal. Bahkan, seringkali dalam analisis GIS dan pemetaan tematik dapat ditemukan jaringan persegi. Ketika suatu heksagon H3 mencakup wilayah dengan batas-batas tertentu, seperti air dan permukaan tanah, akan timbul masalah dalam mewakili data yang tepat di dalam heksagon tersebut.
2. H3 memiliki kesulitan tersendiri untuk disampaikan pada khalayak.
3. Menggunakan H3 akan membuat keterangan terkait wilayah administratif hilang. Dalam banyak kasus, alasan dalam penentuan batasan administratif mungkin tidak relevan dengan kasus penggunaan.

Machine Learning

Machine learning merupakan salah satu *artificial intelligence* dengan algoritma atau program komputer yang dapat menemukan serta mengaplikasikan

pola-pola dalam data (Cholissodin & Soebroto, 2021). Algoritma *machine learning* dapat menyelesaikan prediksi, klasifikasi, dan klastering. Berdasarkan teknik pembelajarannya, ada empat jenis *machine learning*, yaitu *supervised learning*, *unsupervised learning*, *semi-supervised learning*, dan *reinforcement learning*.

Supervised learning merupakan teknik *machine learning* yang menggunakan data *training* berlabel. Data *training* tersebut diidentifikasi sebagai label input. Kemudian, data itu digunakan untuk melakukan prediksi dan klasifikasi. Algoritma yang termasuk *supervised learning* adalah *Decision Tree*, *K-Nearest Neighbor* (KNN), *Naive Bayes*, Regresi, dan *Support Vector Machine* (Retnoningsih & Pramudita, 2020).

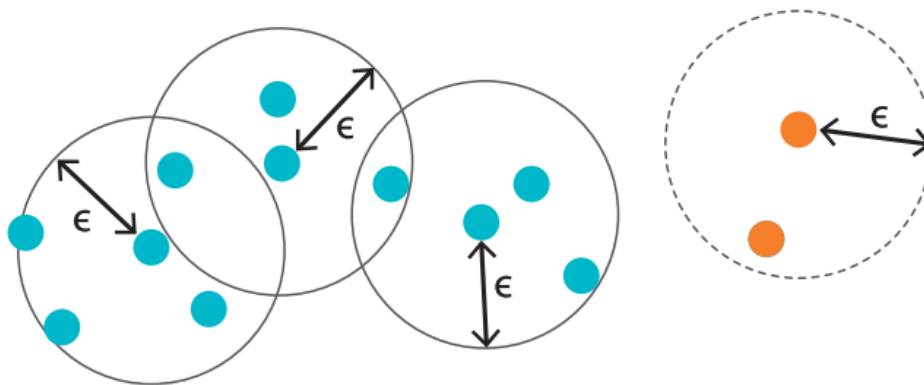
Teknik *unsupervised learning* tidak seperti *supervised learning*. Teknik ini mengembangkan klasifikasi label secara otomatis. Algoritma *unsupervised learning* bertujuan mencari kesamaan karakteristik dari objek dalam data. Kemudian, dilakukan pengelompokan otomatis menjadi sebuah kluster. Algoritma yang termasuk *unsupervised learning* adalah *k-means*, *apriori*, *Independent Subspace Analysis* (ASI), dan DBSCAN (Roihan et al., 2020). Sementara itu, *semi-supervised learning* merupakan pertengahan dari *supervised learning* dan *unsupervised learning*. *Semi-supervised learning* menggabungkan data berlabel dengan data yang tidak berlabel selama *training* (Pratama, 2020).

DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise*)

DBSCAN merupakan algoritma *clustering* berbasis kepadatan atau yang dikenal dengan konsep *density-connected*. Berdasarkan kepadatan data yang saling terhubung, DBSCAN membentuk kluster menggunakan parameter epsilon (ϵ) dan minimal point (MinPts). Kelebihan DBSCAN berada pada kemampuan untuk

mendeteksi *outlier*. Jika sekumpulan titik atau data berada dalam jangkauan epsilon (ϵ) dan syarat minimal point sebuah klaster terpenuhi, titik-titik atau data-data tersebut tergolong ke dalam klaster tersebut. Namun, jika suatu titik atau data tidak berada dalam jangkauan atau jika tingkat kepadatan titik atau data tersebut melebihi MinPts, titik atau data tersebut digolongkan sebagai *outlier* (Armiady, 2022).

Cara kerja DBSCAN diilustrasikan pada Gambar 9 Lingkaran-lingkaran mewakili sekumpulan titik yang satu sama lainnya berada dalam jarak tertentu. Ketiga lingkaran berisi titik-titik biru dengan masing-masing lingkaran memiliki empat titik dan berbagi beberapa titik dengan lingkaran lain. Dengan MinPts bernilai empat, semua titik biru dikelompokkan menjadi satu klaster. Di sisi lain, kumpulan titik oranye tidak memenuhi jumlah titik minimum yang diperlukan sehingga titik-titik tersebut dianggap sebagai *noise*. Jika MinPts bernilai ke 2, kumpulan titik oranye akan membentuk klaster lain. Titik-titik oranye tersebut juga tidak bergabung dalam klaster titik-titik biru karena tidak ada titik oranye yang berada dalam jarak yang dekat dengan titik biru. Jika jarak antara titik disesuaikan menjadi jarak terdekat antara titik biru dan titik oranye, semua titik-titik tersebut, titik-titik biru dan oranye, akan membentuk sebuah klaster. Pemilihan epsilon (ϵ) dan MinPts merupakan faktor penting dalam kinerja algoritma DBSCAN. Pemilihan kedua parameter tersebut harus mempertimbangkan karakteristik set data dan hasil yang diinginkan (Asian Development Bank, 2023).



Sumber: Asian Development Bank, 2023

Gambar 9. Representasi Grafis dari Pengelompokan Spasial Berbasis Densitas dari DBSCAN

Apache Spark

Apache Spark adalah *platform* pemrosesan data ukuran besar yang mengadaptasi kerangka kerja *hybrid*. Kerangka kerja hibrida memiliki kemampuan pemrosesan *batch* dan *streaming*. Spark memiliki banyak kesamaan prinsip dengan mesin Hadoops MapReduce. Meskipun begitu, Spark memiliki keunggulan dalam hal kinerja. Spark memiliki fitur “*full in-memory computation*” sehingga Spark bisa lebih cepat melakukan pemrosesan *batch* dibandingkan dengan MapReduce yang menggunakan pembacaan dan penulisan secara tradisional ke *disk*. Spark juga dapat berjalan dalam mode mandiri atau dapat dikombinasikan dengan Hadoop untuk menggantikan mesin MapReduce (Shaikh et al., 2019).

Kelebihan utama Spark dibandingkan MapReduce adalah komputasi dalam memori. Spark berinteraksi dengan disk hanya untuk dua tugas, yaitu memuat data awalnya ke dalam memori dan menyimpan hasil akhir kembali ke memori. Semua hasil lain di antara kedua hal tersebut diproses dalam memori. Pemrosesan dalam memori ini membuat Spark bekerja jauh lebih cepat dibandingkan Hadoop. Untuk mendukung fitur komputasi dalam memori, Spark menggunakan *Resilient*

Distributed Datasets (RDD). RDD adalah struktur data *read-only* yang disimpan dalam memori untuk menjadikan Spark sebagai kerangka kerja yang memiliki toleransi kesalahan tanpa harus menulis ke *disk* setiap selesai mengerjakan suatu operasi (Shaikh et al., 2019).

Berikut beberapa fitur yang dimiliki Apache Spark beserta penjelasannya (Shaikh et al., 2019).

1. *Speed*: Apache Spark adalah alat yang dapat digunakan untuk menjalankan aplikasi Spark di *cluster* Apache Hadoop. Apache Spark seratus kali lebih cepat dibandingkan Apache Hadoop dan sepuluh kali lebih cepat dibandingkan mengakses data dari *disk*. Spark memanfaatkan gagasan *Resilient Distributed Dataset* (RDD), dan memungkinkannya menyimpan data secara jelas di dalam memori.
2. *Usability*: Spark memungkinkan pengguna dengan cepat menulis aplikasi dalam berbagai bahasa pemrograman seperti Java, Scala, R dan Python. Hal ini membantu pemrogram untuk mengembangkan dan menjalankan aplikasi mereka dalam bahasa yang mereka kenal sehingga memudahkan pengembangan aplikasi paralel.
3. *Advanced analytics*: Selain operasi peta dan pengurangan yang sederhana, Sparks dapat melakukan kueri SQL, *streaming* data, dan analitik rumit lainnya seperti pembelajaran mesin, dan algoritma grafik.
4. *Runs everywhere*: Apache Spark dapat dijalankan di berbagai platform seperti Apache Hadoop YARN, Mesos, EC2, Kubernetes atau di *cloud* menggunakan mode *cluster* mandiri Apache Spark.

5. *In-memory computing*: Komputasi klaster dalam memori memungkinkan Spark menjalankan algoritma pembelajaran mesin berulang dan membantu kueri bilateral dan analisis *streaming* data dengan kecepatan super cepat. Spark menyimpan data di server RAM sehingga data yang disimpan dapat diakses dengan cepat.
6. *Real-time stream processing*: Spark *streaming* melakukan pemrosesan *stream* secara *real-time* diikuti dengan konfigurasi lainnya sehingga dapat dikatakan bahwa spark *streaming* itu sederhana, toleran terhadap kesalahan, dan tidak terpisah.

Kepler.gl

Kepler.gl merupakan aplikasi berbasis web yang dapat digunakan secara efektif untuk eksplorasi visual semua jenis data geolokasi dalam skala besar. Kepler.gl dibangun di atas deck.gl. Aplikasi ini dapat menampilkan jutaan titik yang mewakili ribuan perjalanan dan secara *real-time* melakukan agregasi spasial. Pengguna dapat menginputkan data dalam format CSV atau GeoJSON ke browser, memvisualisasikannya dengan lapisan peta yang berbeda, mengeksplorasi data dengan memfilter dan mengagregasikan, serta mengeksport visualisasi akhir dalam bentuk peta statis atau video animasi (He, 2018).

Aplikasi ini merupakan salah satu kerangka visualisasi milik Uber yang dibuat untuk membuat peta berbasis data. Dengan aplikasi ini, pengguna dimungkinkan untuk mendapatkan wawasan dari lokasi dan memberikan hasil bisnis/ilmiah. Misalnya, Kepler.gl memungkinkan ilmuwan data untuk melihat beberapa aspek cuaca dalam satu visualisasi. Dengan begitu, akan didapatkan hasil

yang lebih baik dari analisis dan dihasilkan kesimpulan yang lebih baik (Koch et al., 2018).

Analisis Deskriptif

Menurut Syahrums dan Salim, analisis statistik deskriptif adalah mendapatkan makna terhadap fenomena atau peristiwa tertentu berdasarkan gambaran yang diberikan secara jelas oleh data penelitian berupa angka-angka yang telah dikumpulkan, disusun, disajikan, dan dianalisa (Siregar, 2021). Rusydi menyebutkan bahwa analisis statistik deskriptif memiliki tujuan untuk mengetahui gambaran atau kecenderungan data melalui tabel, grafik, mean, median, modus, atau teknik statistik lain dengan tidak melakukan generalisasi (Siregar, 2021). Dengan demikian, metode analisis deskriptif merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis data yang telah dikumpulkan dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data tersebut apa adanya secara jelas dengan tidak membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Metode analisis deskriptif digunakan untuk menganalisis hasil dari penelitian ini. Adapun visual yang digunakan antara lain:

1. Diagram Garis (*Line Chart*)

Diagram garis atau biasa disebut dengan line chart atau kurva merupakan visualisasi yang digunakan untuk menunjukkan nilai kuantitatif selama suatu periode waktu. Diagram ini terbentuk dari sistem koordinat yang terdiri dari sumbu vertikal dan horizontal. Sumbu-x menunjukkan rentang waktu data yang dipakai, sedangkan sumbu-y menunjukkan jumlah baris yang termasuk ke dalam indikator yang ingin dievaluasi. Setiap pasangan nilai dari kedua

sumbu kemudian akan disambung dengan garis. Diagram garis baik digunakan untuk memantau tren dari waktu ke waktu (Tableau Software, LLC, 2024).

2. Diagram Batang (*Bar Chart*)

Diagram batang digambarkan dengan sumbu horizontal dan vertikal dengan salah satu sumbunya berupa variabel kategorik. Setiap nilai dari kategori direpresentasikan dalam bentuk batang. Perbandingan antar kategori yang efisien dapat dilakukan dengan menggunakan visualisasi ini karena adanya perbedaan ketinggian/panjang dari setiap batang yang dapat memudahkan perolehan informasi secara pra-atentif. Untuk lebih mempermudah penyampaian informasi, pemberian warna pada batang tertentu dapat dilakukan dengan catatan tidak memberikan warna pada jumlah batang yang terlalu banyak. Selain itu, diagram batang juga dapat berfungsi untuk melakukan pemeringkatan antara kategori dengan baik (Tableau Software, LLC, 2024).

3. Diagram Lingkaran (*Pie Chart*)

Pie chart atau diagram lingkaran adalah jenis grafik yang menampilkan proporsi berbagai kategori dalam sebuah dataset. Setiap kategori direpresentasikan oleh sebuah potongan pada lingkaran. Ukuran potongan tersebut mencerminkan persentase relatif dari data dalam kategori tersebut. *Pie chart* sering digunakan untuk menggambarkan bagian-bagian dari suatu keseluruhan. Keunggulan *pie chart* terletak pada kemampuannya yang dapat dengan jelas menunjukkan bagian-bagian dari keseluruhan sehingga sangat cocok digunakan untuk perbandingan proporsi antarkategori. Selain itu, *pie chart* juga menarik perhatian pembaca dan mudah dipahami tanpa memerlukan pengetahuan statistik khusus. Namun, salah satu kelemahan *pie chart* adalah

kesulitan dalam membandingkan ukuran beberapa potongan yang hampir sama. Selain itu, jika terlalu banyak potongan, *pie chart* bisa menjadi sulit dibaca dan membingungkan (Mazza, 2009).

4. Diagram Kotak Garis (*Box Plot*)

Plot kotak dan kumis, dikenal juga sebagai plot kotak, adalah diagram yang digunakan untuk menunjukkan distribusi seluruh. Diagram ini sangat membantu untuk membandingkan distribusi banyak variabel satu sama lain. Diagram ini menampilkan rentang dalam variabel yang diukur, termasuk pencilan, median, modus, dan rentang sebagian besar data yang digambarkan dengan "kotak". Data atau titik dengan nilai terbesar disebut maksimum, sedangkan data atau titik dengan nilai terendah disebut minimum. Kedua nilai ini kemungkinan besar akan berada jauh di luar kotak dan keduanya berada di sisi yang berbeda (Tableau Software, LLC, 2024).

Diagram ini meringkas kumpulan data dalam lima nilai, yaitu kuartil bawah, kuartil atas, median di tengah, dan dua nilai 1,5 kali rentang interkuartil (kotak). Kuartil bawah, kuartil atas, dan median di tengah digambarkan dengan kotak yang juga menggambarkan sekitar 50 persen data berada. Median adalah nilai yang memisahkan bagian atas dan bagian bawah sampel data, populasi, atau distribusi probabilitas. Kuartil bawah adalah persentil ke-25, sedangkan kuartil atas adalah persentil ke-75. 1,5 kali rentang interkuartil (kotak) digambarkan dengan kumis (garis yang memanjang dari kotak di kedua sisi). Kumis ini digunakan untuk menetapkan batas dari data yang akan dianggap sebagai pencilan (Tableau Software, LLC, 2024).

Penelitian Kualitatif

Penelitian kualitatif adalah metode penelitian yang bertujuan mempelajari kondisi objek dalam lingkungan alaminya. Penelitian ini berupaya memahami kompleksitas fenomena yang diteliti, dengan peneliti bertindak sebagai instrumen utama. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui triangulasi, yaitu kombinasi antara observasi, wawancara, dan dokumentasi. Salah satu ciri khas penelitian kualitatif adalah keterlibatan manusia sebagai partisipan atau responden. Penelitian kualitatif berusaha menggali dan memahami makna kebenaran yang berbeda-beda bagi setiap individu. Tantangan dalam penelitian kualitatif terletak pada interpretasi hasil analisis, yang sangat dipengaruhi oleh latar belakang dan subjektivitas peneliti (Sarosa, 2021).

Dalam penelitian kualitatif, data yang diperoleh biasanya bersifat kualitatif, dengan hasil penelitian yang mencakup temuan potensi atau masalah, keunikan objek, proses, serta interaksi sosial. Analisis data dalam penelitian ini bersifat induktif, artinya kesimpulan muncul dari data dan kemudian diverifikasi dengan teori yang ada (Purnasari, 2021). Meskipun sebagian besar data bersifat non-numerik atau kualitatif, tidak jarang data numerik juga dianalisis, bahkan dengan menggunakan teknik statistik. Terdapat tiga metode pengumpulan data kualitatif yang melibatkan partisipan yang umum digunakan, yaitu wawancara, diskusi kelompok terarah (*focus group discussion*), dan pengamatan (observasi) (Sarosa, 2021).

Focus Group Discussion (FGD)

Focus Group Discussion (FGD) adalah bentuk khusus dari wawancara (Sarosa, 2021). FGD adalah metode pengumpulan data kualitatif yang mendalam

melalui diskusi kelompok tentang isu sosial atau topik tertentu. Karena pengumpulan data dilakukan secara mendalam, FGD dianggap sebagai metode eksploratif (Sugarda, 2020). FGD dapat didefinisikan sebagai kelompok kecil partisipan yang bersifat formal dan sementara, yang berinteraksi dan bekerja sama untuk mendalami suatu topik (Sarosa, 2021).

Dalam FGD, partisipan yang diwawancarai terdiri dari satu kelompok yang biasanya terdiri dari 6-10 orang, meskipun jumlahnya bisa lebih atau kurang. Anggota kelompok diharapkan berbicara, berinteraksi, dan berdiskusi secara bebas satu sama lain. Peneliti biasanya bertindak sebagai moderator dalam FGD. Moderator akan mengajukan pertanyaan yang menggali persepsi, pendapat, kepercayaan, dan sikap partisipan terhadap suatu topik. Topik diskusi bisa berupa produk, acara media elektronik, konsep, ide, kasus, masalah, kemasan, iklan, dan lainnya. FGD umumnya digunakan dalam dua jenis penelitian, yaitu penelitian yang menguji atau mengembangkan teori, dan penelitian terapan yang digunakan untuk pengambilan keputusan. Keberhasilan FGD sangat bergantung pada interaksi antaranggota kelompok (Sarosa, 2021).

Pengamatan (Observasi)

Observasi atau pengamatan adalah proses pengumpulan data atau informasi tentang fenomena, objek, atau peristiwa melalui indera atau alat pengukur. Dalam konteks penelitian dan ilmu pengetahuan, pengamatan dilakukan secara sistematis untuk mengidentifikasi, mendokumentasikan, dan menganalisis karakteristik atau perilaku subjek yang sedang diteliti. Pengamatan didefinisikan sebagai observasi terhadap objek atau peristiwa dalam “habitatnya”. Dalam pengamatan, peneliti berusaha menemukan habitat asli dari objek penelitiannya. Peneliti juga dapat

“tinggal” bersama objek penelitiannya. Dengan hidup bersama dan berperan dalam fungsi sosial yang sama, peneliti akan dianggap sebagai “sesama” oleh objek penelitiannya. Hal ini memudahkan peneliti untuk mengamati perilaku dan kehidupan objek penelitian tanpa merugikan atau mengganggu mereka (Sarosa, 2021).

Evaluasi Kinerja Algoritma

Pada penelitian ini, algoritma yang telah terbentuk akan dicek kinerjanya. Salah satu metode yang efektif mempelajari efisiensi algoritma adalah dengan menggunakan notasi *Big O*. Notasi *Big-O* didefinisikan sebagai representasi matematis dari pertumbuhan waktu algoritma seiring dengan penambahan ukuran masukan (Mahrozi & Faisal, 2023).

Misalkan $f(n)$ dan $g(n)$ adalah dua fungsi dari subset tertentu dari bilangan riil, maka

$$f(n) = O(g(n)) \text{ dimana } n \rightarrow \infty \quad (1)$$

Jika kompleksitas waktu algoritma adalah $(f(n))$, artinya saat nilai n semakin besar, waktu eksekusi algoritma tidak akan melebihi konstanta C dikalikan dengan $f(n)$. Dengan kata lain, $f(n)$ berfungsi sebagai batas atas dari waktu eksekusi algoritma untuk ukuran masukan yang besar (Gayathri Devi et al., 2011). Berikut beberapa fungsi yang biasa digunakan dalam notasi *Big-O*.

Tabel 2. Kompleksitas Notasi *Big-O*

| Notasi | Nama |
|----------------|----------------|
| (1) | (2) |
| $O(1)$ | Konstan |
| $O(\log n)$ | Logaritmik |
| $O(\log(n))^c$ | Polylogaritmik |
| $O(n)$ | Linear |
| $O(n^2)$ | Kuadratik |
| $O(n^c)$ | Polinomial |
| $O(c^n)$ | Ekspensial |

Sumber: Wikantiyoso, 2020

Evaluasi Performa Algoritma

Evaluasi terhadap algoritma perlu dilakukan untuk mengetahui performansinya. Metode evaluasi terhadap algoritma juga dapat digunakan untuk mengetahui algoritma paling optimal serta dapat digunakan untuk membandingkan ketepatan dua atau lebih pemodelan algoritma yang berbeda. Terdapat beberapa teknik untuk mengevaluasi performansi algoritma, di antaranya:

1. *Mean Squared Error* (MSE)

Mean Squared Error (MSE) merupakan metrik evaluasi yang menghitung kesalahan (*error*) dengan cara menjumlahkan kuadrat kesalahan setiap periode (Nuha, 2021). Suatu algoritma atau model mempunyai performa yang bagus apabila MSE yang dihasilkan minimum. Fungsi MSE dapat dituliskan seperti persamaan (2) berikut.

$$MSE = \sum_{t=1}^n \left(\frac{\hat{y}_t - y_t}{n} \right)^2, \quad (2)$$

dimana n adalah banyaknya observasi, \hat{y}_t adalah nilai prediksi ke- t , dan y_t adalah nilai observasi ke- t .

2. *Root Mean Squared Error* (RMSE)

Metrik evaluasi ini sama seperti MSE, tetapi RMSE adalah total kuadrat kesalahan setiap periode yang diakarkuadratkan (Hodson, 2022). Kesamaan lainnya, suatu algoritma atau model juga dikatakan memiliki performa yang bagus apabila RMSE yang dihasilkan minimum. Fungsi RMSE dapat dituliskan seperti persamaan (3).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \left(\frac{\hat{y}_t - y_t}{n} \right)^2}, \quad (3)$$

dimana n adalah banyaknya observasi, \hat{y}_t adalah nilai prediksi ke- t , dan y_t adalah nilai observasi ke- t .

3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE merupakan metrik evaluasi dengan menghitung kesalahan dalam bentuk persentase. Cara menghitungnya adalah dengan merata-ratakan nilai absolut hasil pembagian nilai kesalahan dengan data sebenarnya seluruh periode (Nabillah & Ranggadara, 2020). Semakin kecil MAPE, maka semakin baik pula metode pemodelan tersebut dalam melakukan peramalan. Fungsi MAPE dapat dituliskan seperti persamaan (4).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right| \times 100, \quad (4)$$

dimana n adalah banyaknya observasi, \hat{y}_t adalah nilai prediksi ke- t , dan y_t adalah nilai observasi ke- t .

2.2 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai pemanfaatan AIS data telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Berikut perbandingan dari penelitian-penelitian tersebut.

Tabel 3. Perbandingan Penelitian Terkait

| No. (1) | Nama (2) | Metode (3) | Hasil (4) |
|------------|---|--|---|
| 1. | Badan Pusat Statistik (2023) | <i>Bounding box</i> 12 mil, kolom <i>vessel_type</i> , identifikasi terhadap aktivitas pelabuhan | Penentuan/pendefenisian dasar yang diperlukan dalam pengolahan data AIS, yaitu defenisi pelabuhan, jenis kapal, dan rute kapal. |
| 2. | Asian Development Bank (2023) | Events of Interest (EOI) dan Areas of Interest (AOI) | Indikator yang diturunkan dari AIS sebagai alternatif untuk <i>official statistics</i> maritim. |
| 3. | Bonham et al. (2018) | Pendekatan dengan XGBoost untuk menangkap data nonlinier dan meningkatkan kinerja model. Model ini dapat digunakan dalam pemuatan pelabuhan simulasi, perencanaan skenario, dan optimalisasi operasi pelabuhan. | Penelitian ini mengeksplorasi pengoperasian, pemanfaatan, dan hubungan antar pelabuhan di Inggris pada tingkat makro dan perilaku serta karakteristik operasional kapal di level mikro. |
| 4. | Alex Noyvirt, Ioannis Kaloskampis, Stephen Campbell, Sumit Dey-Chowdhury (2019) | Indikator ' <i>time-in-port</i> ' agregat semua periode waktu yang dihabiskan kapal dengan status di dalam pelabuhan, sedangkan indikator ' <i>total traffic</i> ' dihitung dengan mengelompokkan data berdasarkan bulan dan status di pelabuhan dan menghitung jumlah kapal yang unik berdasarkan nomor MMSI kapal. | Penelitian ini menggunakan data AIS untuk membentuk indikator lain yang dapat melengkapi indikator perdagangan internasional, yaitu ' <i>time-in-port</i> ' dan ' <i>total traffic</i> '. |

Badan Pusat Statistik (2023) memaparkan cara mendefenisikan beberapa hal yang berkaitan dengan pengolahan data AIS, di antaranya pendefenisian pelabuhan, pendefenisian jenis kapal, dan pendefenisian rute. Untuk pendefenisian pelabuhan, digunakan data titik pelabuhan dari WPI dan *bounding box* sekitar 12 mil dari titik yang disediakan dalam WPI. Untuk melihat jenis kapal yang dalam *dataset* yang diakses melalui Platform Global PBB (UNGP), pengguna dapat mengakses kolom *vessel_type*. Terakhir, untuk pendefenisian rute, dilakukan identifikasi terhadap aktivitas pelabuhan. Metode yang dilakukan antara lain *geofencing* dengan membuat *geofences* di sekitar pelabuhan, analisis kecepatan dan arah, aktivitas berlabuh, jenis kapal tertentu, dan jenis pesan AIS, seperti laporan posisi dan laporan status navigasi.

Asian Development Bank (2023) menemukan potensi dari indikator yang diturunkan dari AIS sebagai alternatif untuk *official statistics* maritim yang dapat memberikan informasi penting sebelum *official statistics* maritim dirilis secara resmi. Events of Interest (EOI) dan Areas of Interest (AOI) digunakan sebagai komponen dasar dari indikator turunan AIS ini. Metode-metode ini mampu mengatasi tantangan umum dalam pemanfaatan data AIS, seperti kualitas data, pengolahan data besar, dan identifikasi batas-batas geografis. Penelitian ini mengidentifikasi kekurangan yang ditimbulkan oleh data AIS, seperti potensi kesenjangan sinyal dari transponder yang dimatikan, variasi dalam pengambilan sampel metode pengambilan sampel, kesalahan dalam bidang input secara manual, MMSI yang salah atau pengidentifikasi kapal, dan kemungkinan pemalsuan atau manipulasi. Penelitian ini juga menemukan bahwa untuk Pelabuhan Nuku'alofa, data AIS secara akurat mencerminkan lonjakan jumlah kapal dari Januari hingga

Februari 2022, termasuk kapal angkatan laut dan kapal penyelamat yang memberikan bantuan setelah letusan gunung berapi Hunga Tonga-Hunga Ha'apai di Tonga.

Bonham et al. (2018) juga melakukan penelitian mengenai pemanfaatan data AIS. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *machine learning* untuk memprediksi kemungkinan kapal akan tertunda tiba di pelabuhan di Inggris. Selain itu, dilakukan juga eksplorasi terhadap pengoperasian, pemanfaatan, dan hubungan antar pelabuhan di Inggris pada tingkat makro dan perilaku serta karakteristik operasional kapal di level mikro. XGBoost terbukti memberikan kinerja sedikit lebih baik dan digunakan sebagai algoritma pembuktian konsep yang ada. Pendekatan dengan XGBoost juga terbukti lebih bermanfaat secara akurat menangkap data non linier dan dapat meningkatkan kinerja model. Model ini dapat digunakan dalam pembuatan pelabuhan simulasi, perencanaan skenario, dan optimalisasi operasi pelabuhan.

Terakhir, Alex Noyvirt, Ioannis Kaloskamps, Stephen Campbell, Sumit Dey-Chowdhury (2019) melakukan eksplorasi penggunaan pergerakan kapal di UK untuk membentuk suatu indikator. Indikator-indikator ini memiliki kemungkinan untuk melengkapi indikator-indikator mengenai aktivitas perdagangan internasional. Indikator-indikator tersebut adalah '*time-in-port*' yang didasarkan pada waktu agregat yang dihabiskan oleh kapal di 10 pelabuhan utama di Inggris dan '*total traffic*' yang didasarkan pada jumlah kapal unik yang masuk 10 pelabuhan utama di Inggris.

Indikator '*time-in-port*' dihitung dengan menjumlahkan semua periode waktu yang dihabiskan kapal yang memiliki status di dalam pelabuhan sesuai

dengan pelabuhannya di setiap pelabuhan dan setiap bulan. Ketika transponder AIS kapal dimatikan di dalam pelabuhan, waktu kontribusinya terhadap indikator hanya dipertimbangkan jika pesan berikutnya yang diterima dari kapal juga berada di dalam pelabuhan yang sama. Aturan ini menghilangkan pencilaan dalam data yang dihasilkan dari kapal yang ditambatkan yang mematikan peralatan AIS mereka dan kemudian meninggalkan pelabuhan tanpa mengaktifkannya kembali atau dari kapal yang karena alasan tertentu mengubah MMSI mereka saat berada di pelabuhan. Kemudian, untuk indikator '*total traffic*', penghitungannya adalah dengan mengelompokkan data berdasarkan bulan dan status di pelabuhan dan menghitung jumlah kapal yang unik, yang diidentifikasi dengan nomor MMSI mereka. Ketika ada dua atau lebih posisi yang dilaporkan berbeda dalam waktu yang sangat singkat, kemungkinan karena gangguan, jika salah satu dari posisi ini dalam area pelabuhan yang ditentukan, keberadaan kapal dihitung dalam indikator.

Indikator-indikator tersebut dianggap penting dalam melengkapi pemahaman mengenai aktivitas perdagangan internasional. Data AIS pada Juli 2016 hingga Agustus 2018 dibandingkan dengan data *official statistics* nilai tambah bruto (NTB) dan statistik perdagangan. Penelitian oleh Alex Noyvirt dkk. (2019) menemukan korelasi yang sangat baik antara indikator *shipping* dan impor dengan sifat *noisy* dari variabel-variabelnya. Korelasi ini mungkin sebagian besar dipengaruhi oleh variasi musiman. Selain itu, meskipun korelasi keseluruhannya cukup baik, titik-titik yang ada dapat menyimpang jauh. Karena alasan-alasan ini, kami tidak indikator-indikator yang dihasilkan dari penelitian ini tidak direkomendasikan untuk digunakan sebagai prediktor PDB atau statistik ekonomi utama lainnya.

2.3 Kerangka Pikir

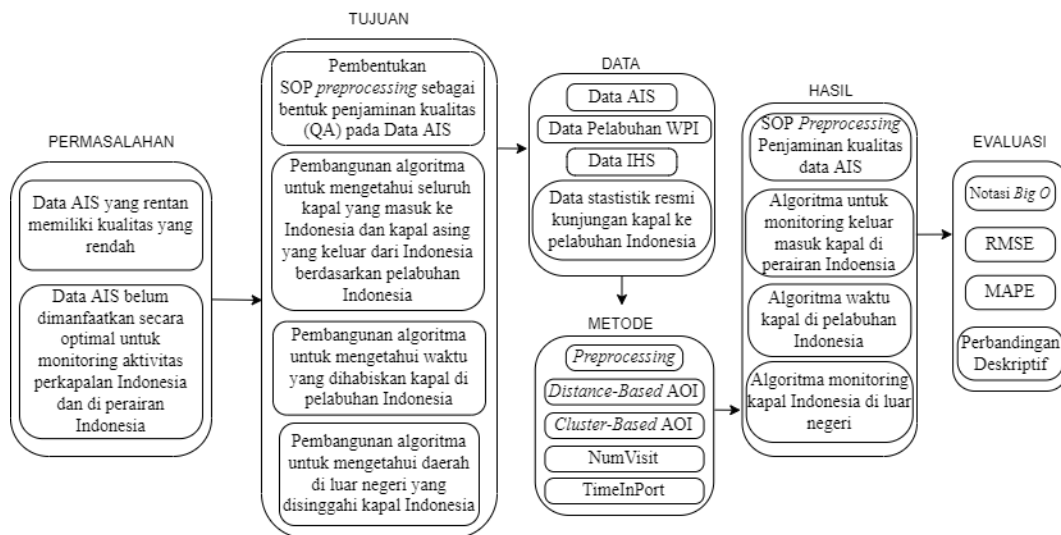
Penelitian ini dimulai dengan membentuk suatu Standar Operasional Prosedur (SOP) *preprocessing* sebagai penjaminan kualitas (QA) pada data AIS yang dihasilkan dari kapal-kapal. Penjaminan kualitas dilakukan karena data AIS yang merupakan *big data* memiliki kerentanan terhadap kualitas datanya. Untuk itu, diperlukan penjaminan kualitas untuk memastikan data AIS yang akan digunakan pada proses selanjutnya memiliki kualitas yang cukup baik dan layak untuk diolah. Salah satu *preprocessing* yang dilakukan adalah menggabungkan data AIS dan data IHS yang merupakan data registrasi kapal.

Data AIS akan dimanfaatkan dalam penelitian ini akan untuk mengetahui seluruh kapal yang masuk ke perairan Indonesia dan kapal asing yang keluar dari perairan Indonesia berdasarkan pelabuhan Indonesia. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui waktu yang dihabiskan di pelabuhan Indonesia serta mengetahui daerah di luar negeri yang dikunjungi kapal Indonesia. Hal-hal tersebut dilakukan karena minimnya pemanfaatan data AIS secara optimal dalam monitoring aktivitas perkapalan Indonesia dan di perairan Indonesia. Upaya mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membangun algoritma yang sesuai menggunakan *Area of Interest* pendekatan *Distance-Based* dan *Cluster-Based*. Algoritma yang dibangun diharapkan dapat mendeteksi seluruh kapal yang masuk ke perairan Indonesia dan kapal asing yang keluar dari perairan Indonesia berdasarkan pelabuhan Indonesia, mengetahui waktu yang dihabiskan di pelabuhan Indonesia, serta mengetahui daerah di luar negeri yang disinggahi atau dikunjungi kapal Indonesia.

Algoritma yang dibangun akan diterapkan pada data AIS. Untuk mengetahui tingkat keefisienan algoritma yang dibangun, akan dilakukan evaluasi

terhadap kinerja algoritma dengan Notasi *Big O*. Evaluasi kemudian dilanjut untuk mengukur performa algoritma melalui beberapa ukuran evaluasi, seperti RMSE dan MAPE. Performa dari algoritma juga akan diukur dengan membandingkan hasil yang didapat oleh algoritma dengan data statistik resmi kunjungan kapal ke pelabuhan Indonesia secara deskriptif.

Berdasarkan uraian di atas, dibentuklah kerangka pikir yang menjadi acuan dalam penelitian ini, yakni seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODOLOGI

3.1 Ruang Lingkup Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data AIS, data IHS, data WPI, dan data maritim Indonesia. Data AIS akan diolah untuk membangun beberapa algoritma yang akan digunakan sebagai alat monitoring aktivitas perkapalan Indonesia dan di Indonesia dengan menggunakan *Event of Interest* dan *Area of Interest* sebagai pendekatan. Penyedia data exactEarth via Platform Global UN (UNGP) menjadi sumber dari data AIS dan IHS pada penelitian ini. Data AIS yang digunakan adalah data yang dikirim oleh kapal yang terdeteksi berada di wilayah perairan Indonesia, terutama di dalam wilayah 123 pelabuhan yang terdaftar di situs web *Maritime Safety Information* (MSI), serta kapal Indonesia. Rentang waktu dari data yang digunakan adalah data AIS yang tercatat sepanjang tahun 2022. Fitur dari data yang akan digunakan berjumlah tiga belas fitur yang terdiri dari data statis dan dinamis. Untuk data IHS, digunakan data tahun 2022 sebanyak 5 fitur.

Kemudian, data statistik resmi, data yang digunakan adalah data jumlah kunjungan kapal ke Indonesia yang bersumber dari BPS. Data jumlah kunjungan kapal ke Indonesia merupakan data bulanan jumlah kunjungan kapal domestik (dalam negeri) dan kapal luar negeri dalam satuan unit. Data yang digunakan merupakan data bulanan pada tahun 2022.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data AIS memanfaatkan fasilitas yang disediakan oleh penyedia data AIS exactEarth via Platform Global UN yang dapat diakses pada <https://id.officialstatistics.org/>. Data AIS yang disediakan oleh Platform Global UN terdiri dari data statis, data dinamis, dan data terkait pelayaran yang dikirim kapal dengan perangkat AIS setiap beberapa detik atau menit, tergantung jenis datanya. Data ini berbentuk satu tabel terstruktur berukuran besar dengan jumlah fitur sebanyak 56. Berikut adalah contoh dari *record* data AIS.

```
-RECORD 1-----
mmsi      | 273295870      | dt_static_utc   | 2022-11-19 12:37:44
imo       | 9167758        | dt_insert_utc   | 2022-11-19 17:33:12
vessel_name | ARKA-33        | vessel_type_main | null
callsign   | UBPW7          | vessel_type_sub  | null
vessel_type | Fishing        | message_type     | 1
vessel_type_code | 30            | eeid             | 6909951752121494014
vessel_type_cargo | null          | source_filename  | s3a://ungp-ais-da...
vessel_class | A              | H3index_0        | 8001ffffffffffff
length     | 0.0            | H3_int_index_0   | 576495936675512319
width      | 0.0            | H3_int_index_1   | 580968749977305087
flag_country | Russian Federation | H3_int_index_2   | 585469600825606143
flag_code   | 273            | H3_int_index_3   | 589998626659368959
destination | BARENTS SEA    | H3_int_index_4   | 594476585331982335
eta         | 8112200        | H3_int_index_5   | 598980183885611007
draught     | 5.0            | H3_int_index_6   | 603483783378763775
longitude   | 49.26321667    | H3_int_index_7   | 607987382905470975
latitude    | 76.70918333    | H3_int_index_8   | 612490982518161407
sog         | 0.8            | H3_int_index_9   | 616994582144483327
cog         | 63.3           | H3_int_index_10  | 621498181771821055
rot         | 0.0            | H3_int_index_11  | 626001781399183359
heading     | 352.0          | H3_int_index_12  | 630505381026551295
nav_status  | Under Way Using E... | H3_int_index_13  | 635008980653921599
nav_status_code | 0              | H3_int_index_14  | 639512580281292055
source      | S-AIS          | H3_int_index_15  | 644016179908662579
dt_pos_utc  | 2022-11-19 17:32:47 | month            | 11
            |                  | day              | 19
```

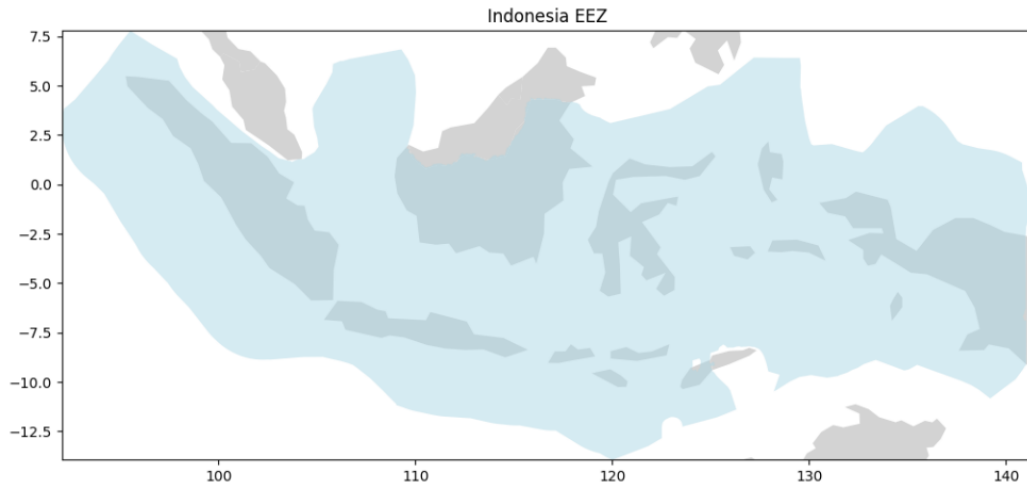
Gambar 11. Contoh *Record* Data AIS

Beberapa fitur data AIS di antaranya seperti terlihat pada Tabel 4 atau secara lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2. Fitur-fitur pada Tabel 4 ini yang nantinya akan digunakan pada penelitian.

Tabel 4. Beberapa fitur yang terdapat pada data AIS

| Nama Variabel | Keterangan |
|------------------|---|
| (1) | (2) |
| MMSI | Nomor unik <i>tranceiver</i> AIS Maritime Mobile Service Identity (MMSI) |
| IMO | Nomor unik kapal International Maritime Organization (IMO) |
| vessel_type | Tipe kapal, seperti 'cargo', 'tanker', 'tug', 'passenger', 'dredging', dll |
| vessel_type_code | Kode tipe kapal |
| flag_country | Negara dimana kapal terdaftar |
| flag_code | Kode negara dimana kapal terdaftar |
| nav_status | Status navigasi kapal, seperti 'at anchor', 'moored', 'aground', dll |
| nav_status_code | Kode status navigasi kapal |
| SOG | <i>Speed Over Ground</i> , kecepatan kapal terhadap tanah atau benda tetap lainnya (knot) |
| dt_pos_utc | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS dalam UTC [YYYY-MM-DD HH24:mm:ss] |
| longitude | Koordinat garis bujur dalam WGS 84 (derajat desimal) |
| latitude | Koordinat garis lintang dalam WGS 84 (derajat desimal) |
| H3_index_8 | H3 index resolusi 8 |

Pada penelitian ini, data AIS yang dikumpulkan adalah data AIS kapal yang sempat melintas di perairan Indonesia pada batas waktu 1 Januari 2022 hingga 31 Desember 2022 beserta jalur lain di luar perairan Indonesia yang dilintasi oleh kapal-kapal tersebut. Batas area perairan Indonesia didefinisikan sebagai Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) yang diperoleh melalui marineregions.org. Platform ini menggambarkan poligon ZEE Indonesia pada latitude -13.94210 hingga 7.78330 dan longitude 92.05060 hingga 141.40. Ilustrasi ZEE Indonesia terdapat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Wilayah Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia

Jumlah *record* yang berhasil diekstrak dari kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia beserta jalur lain selain perairan Indonesia yang dilintasinya sepanjang tahun 2022 berjumlah 1,77 milyar data.

Pengolahan data AIS juga melibatkan koordinat pelabuhan Indonesia yang kemudian dikembangkan menjadi *Area of Interest* (AOI). Daftar koordinat pelabuhan Indonesia tersebut didapat dari *database* WPI dengan menerapkan *web scraping* pada situs web Maritime Safety Information.

Platform Global UN juga menyediakan akses terhadap data register kapal dari IHS Markit. Data register kapal ini juga akan digunakan pada penelitian ini. Data utama yang disediakan oleh IHS Markit adalah Nomor Kapal IMO. Selain Nomor Kapal IMO, IHS Markit juga menyediakan informasi rinci mengenai kapal lainnya. Berikut adalah beberapa informasi/variabel/fitur yang terdapat pada data IHS Markit.

Tabel 5. Beberapa fitur yang terdapat pada data IHS

| Nama Variabel | Keterangan |
|---|--|
| (1) | (2) |
| MaritimeMobileServiceIdentityMMSINumber | Nomor unik <i>tranceiver</i> AIS Maritime Mobile Service Identity (MMSI) |
| LRIMOShipNo | Nomor unik kapal International Maritime Organization (IMO) |
| ShipName | Nama kapal |
| Gross Tonnage | Berat kapal, volume seluruh ruangan di bawah geladak dan seluruh ruangan tertutup di atas geladak kapal. |
| Operator Country Of Registration | Negara operator kapal terdaftar. |

Pada Platform Global UN, data register kapal dari IHS Markit yang disediakan sangat lengkap. Terdapat sekitar 107 fitur yang terkait register kapal disediakan oleh Platform Global UN dari IHS Markit. Berikut adalah contoh dari *record* data IHS.

| | | | |
|---|----------------|--------------------------------------|----------------------|
| RECORD 0----- | | | |
| imo_ihs | 1000019 | ClassificationSocietyCode | null |
| StatCode5 | X11A2YP | AuxiliaryEnginesNarrative | null |
| AlterationsDescriptiveNarrative | null | BreadthExtreme | 8.8 |
| PropulsionTypeCode | DD | BreadthMoulded | 0.0 |
| ShipName | LADY K II | ClassNarrative | null |
| ExName | Princess Tanya | ClassificationSociety | null |
| mmsi_ihs | null | ConstructionDescriptiveNarrative | Statcode5:X11A2YP... |
| RegisteredOwnerCode | 5976406 | ConsumptionSpeed1 | null |
| RegisteredOwnerCountryOfRegistration | Netherlands | ConsumptionSpeed2 | null |
| RegisteredOwnerCountryOfDomicile | Netherlands | ConsumptionValue1 | null |
| ShipManagerCompanyCode | 5976406 | ConsumptionValue2 | null |
| ShipManagerCountryOfRegistration | Netherlands | Depth | 4.08 |
| ShipManagerCountryOfDomicileName | Netherlands | Displacement | 0 |
| GroupBeneficialOwnerCompanyCode | 5976406 | SummerDraught | 3.95 |
| GroupBeneficialOwnerCountryOfRegistration | Netherlands | FlagName | Panama |
| GroupBeneficialOwnerCountryOfDomicile | Netherlands | FuelType1Capacity | 90.0 |
| OperatorCompanyCode | 5976406 | FuelType1First | Distillate Fuel |
| OperatorCountryOfRegistration | Netherlands | FuelType2Capacity | 0.0 |
| OperatorCountryOfDomicileName | Netherlands | FuelType2Second | Not Applicable |
| FlagCode | PAN | IceCapabilityDescriptiveNarrative | null |
| PortofRegistryCode | 1010 | LightDisplacementTonnage | 0 |
| Tonnagesystem09convention | I | MainEngineRPM | null |
| GrossTonnage | 551 | MainEngineStrokeType | 2 |
| Deadweight | 164 | MainEngineType | 011 |
| LengthOverallLOA | 57.6 | NetTonnage | 165 |
| LengthBetweenPerpendicularsLBP | 51.8 | NumberOfAllEngines | 2 |
| LengthRegistered | 0.0 | NumberOfAuxiliaryEngines | null |
| DateOfBuild | 196107 | NumberOfGenerators | null |
| ShipbuilderCompanyCode | GBI004351 | NumberOfPropulsionUnits | 2 |
| YardNumber | 819 | NumberOfThrusters | null |
| NumberOfDecks | 1 | Powerbhpiphshpservice | 0 |
| HoldsDescriptiveNarrative | null | Powerkuserservice | 0 |
| TanksDescriptiveNarrative | null | PrimeMoverDescriptiveNarrative | 2 oil engines wit... |
| NumberOfHatches | null | PropellerType | Fixed Pitch |
| NumberOfHolds | null | PropulsionType | Oil Engine(s), Di... |
| NumberOfTanks | null | ShipStatus | In Service/Commis... |
| InsulatedCapacity | 0 | ShiptypeLevel5 | Yacht |
| TEU | 0 | TotalBunkerCapacity | null |
| NumberOfMainEngines | 2 | TotalHorsepowerofAuxiliaryGenerators | 700 |
| Powerbhpiphshpmax | 1680 | TotalHorsepowerofMainEngines | 1680 |
| PowerKumax | 1236 | TotalHorsepowerofMainGenerators | null |
| MainEngineBuilderCode | SWZ501551 | TotalKilowattsofMainEngines | 1236 |
| MainEngineDesigner | Sulzer | TotalPowerOfAllEngines | 1236 |
| MainEngineModel | 8TAD24 | TotalPowerOfAuxiliaryEngines | null |
| Speed | 13.5 | | |
| Speedmax | 15.0 | | |
| Speedservice | 13.5 | | |
| FuelConsumptionTotal | 0.0 | | |
| CallSign | null | | |
| OfficialNumber | null | | |
| HullMaterialCode | ST | | |
| DeathDate | null | | |
| DateBreakingCommenced | null | | |
| CompensatedGrossTonnageCGT | 0 | | |
| HullTypeCode | SH | | |
| MARPOL13GPhaseoutCategory | null | | |
| PermanentBallastCapacity | null | | |
| SegregatedBallastTanks | null | | |
| HeatingCoilsinCargoTanks | No | | |
| FlashPointOver60c | null | | |
| FlashPointUnder60c | null | | |
| ShipStatusCode | S | | |
| ShipStatusEffectiveDate | 19610000 | | |

Gambar 13. Contoh *Record* Data IHS

Adapun untuk data statistik resmi yang digunakan adalah data jumlah kunjungan kapal domestik dan kapal luar negeri ke pelabuhan-pelabuhan Indonesia didapatkan dari Direktorat Statistik Distribusi Tim Transportasi Laut BPS RI. Data ini merupakan data kunjungan kapal domestik dan luar negeri menurut provinsi di pelabuhan yang dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo) dalam unit.

3.3 Metode Pengolahan Data

Tahap *Preprocessing* Data

International Telecommunication Union (ITU) merupakan badan khusus PBB untuk teknologi informasi dan komunikasi (TIK) (ITU, 2024). ITU memiliki sektor Radiokomunikasi (ITU-R) yang berperan menjamin penggunaan spektrum frekuensi radio yang rasional, adil, efisien dan ekonomis oleh semua pelayanan radiokomunikasi, termasuk layanan satelit. ITU-R menerbitkan berbagai seri rekomendasi guna melaksanakan perannya. Salah satu seri rekomendasi tersebut adalah mengenai *Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services* (Rec. ITU-R M). Pada rekomendasi ini, dijelaskan juga mengenai data AIS yang didasarkan pada pertimbangan International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA).

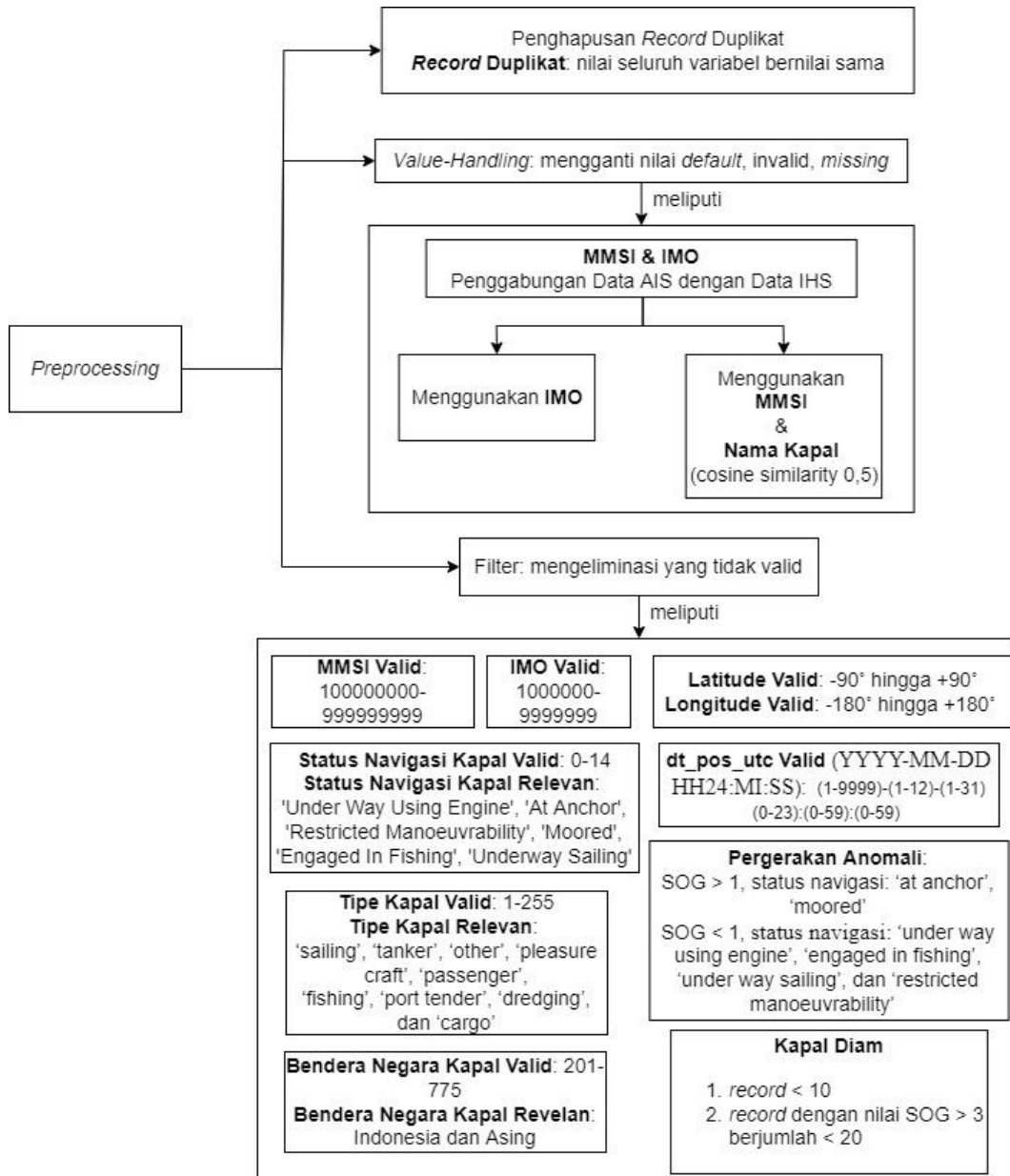
Berdasarkan Rec. ITU-R M.1371-5, fitur data AIS memiliki suatu rentang serta nilai *default*. Rentang dan nilai *default* beberapa fitur terdapat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rentang dan Nilai Default Beberapa Fitur Data AIS

| Fitur | Satuan | Rentang | N.A. <i>Default Value</i> |
|---------------------|--------|---------------------|---------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| MMSI | - | 100000000-999999999 | 0 |
| IMO | - | 1000000-9999999 | 0 |
| vessel_type_code | - | 1-255 | 0 |
| flag_code | - | 201-775 | 0 |
| nav_status_code | - | 0-14 | 15 |
| sog | knots | 0-102,2 | 102,3 |
| latitude | ° | ±90 | 91 |
| longitude | ° | ±180 | 181 |
| dt_pos_utc (year) | year | 1-9999 | 0 |
| dt_pos_utc (month) | month | 1-12 | 0 |
| dt_pos_utc (day) | day | 1-31 | 0 |
| dt_pos_utc (hour) | hour | 0-23 | 24 |
| dt_pos_utc (minute) | minute | 0-59 | 60 |
| dt_pos_utc (second) | second | 0-59 | 60 |

Jika data AIS memiliki pesan yang tidak sesuai dengan rentang pada Tabel 3, dapat dikatakan pesan tersebut memiliki nilai invalid atau *noise* atau *outlier*. Nilai lain yang tidak sesuai dengan rentang dan perlu diperhatikan adalah *default value* serta *missing value*.

Tidak seluruh pesan AIS memiliki MMSI yang sesuai dengan ketentuan (Asian Development Bank, 2023). Terdapat juga pesan yang tidak terkait dengan penelitian ini, seperti pesan yang dikirim oleh kapal militer. Karenannya, tahap *preprocessing* yang tepat perlu dilakukan untuk mengurangi *default value*, *invalid value* atau *noise* atau *outlier*, dan *missing value* pada data AIS serta mendapatkan data yang sesuai dengan cakupan penelitian. Tahap *preprocessing* ini dilakukan dengan menerapkan *value-handling* pada data AIS. *Default value*, *invalid value* atau *noise* atau *outlier*, dan *missing value* yang tidak dapat teratasi dengan *value-handling* akan ditangani menggunakan proses filter. Filter juga diterapkan agar didapatkan data yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Sebelum *value-handling* dan filter diterapkan, data telah dipastikan merupakan *record* unik dengan melakukan penghapusan *record* duplikat. Hal ini dikarenakan Data AIS sering kali mengandung *noise* berupa data yang duplikat (Emmens et al., 2021). Berikut skema tahap *preprocessing* yang dilakukan.



Gambar 14. Skema Tahapan *Preprocessing*

Value-handling yang diterapkan adalah sebagai berikut.

Pertama, dilakukan penghapusan terhadap *record* duplikat. Perangkat AIS memiliki potensi mengirimkan pesan yang sama pada satu waktu atau *record* duplikat. *Record* duplikat pada penelitian ini merupakan *record* dengan nilai

seluruh fiturnya bernilai sama dengan seluruh fitur yang bersesuaian dengan *record* lain.

Kemudian, diterapkan *value-handling* pada data AIS yang berfokus untuk mengatasi permasalahan pada fitur MMSI dan IMO. Kedua fitur yang termasuk data statis ini ditemui sering memiliki input yang kurang akurat (Anuoluwapo, 2023). Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan data IHS yang merupakan data register kapal sebagai dasar pencocokan. Pertama, dilakukan pencocokan identitas kapal. Identitas kapal (IMO) yang terdaftar dalam data AIS dicocokkan dengan data IHS untuk mendapatkan informasi spesifikasi kapal. Selanjutnya, dilakukan pencocokan identitas perangkat AIS kapal. Identitas perangkat AIS (MMSI) digunakan sebagai fitur dasar dalam pencocokan dengan data IHS karena IMO yang merupakan identitas kapal unik yang hanya digunakan oleh satu kapal memiliki kerentanan terhadap *default value*, *invalid value* atau *missing value*. Namun, MMSI sebagai identitas perangkat AIS kapal memiliki kemungkinan digunakan pada kapal lain. Oleh karena itu, pencocokan MMSI dilakukan bersamaan dengan pencocokan nama kapal yang terdaftar pada data AIS dan IHS. Nama kapal dari kedua data dicocokkan dengan menggunakan *cosine similarity*-nya. Berikut rumus *cosine similarity* yang digunakan (Faisal Rahutomo et al., 2012).

$$sim(name_{AIS}, name_{IHS}) = \frac{\overrightarrow{name_{AIS}} \cdot \overrightarrow{name_{IHS}}}{\|\overrightarrow{name_{AIS}}\| \cdot \|\overrightarrow{name_{IHS}}\|} \quad (5)$$

$\overrightarrow{name_{AIS}}$ merupakan vektor nama kapal dari data AIS dan $\overrightarrow{name_{IHS}}$ merupakan vektor nama kapal dari data IHS.

Kemiripan antara nama kapal dalam AIS dan IHS diukur dengan memperlakukan teks nama kapal sebagai vektor. Kemiripan antara dua vektor

diukur dengan perkalian antara vektor nama AIS dan vektor nama IHS dibandingkan dengan perkalian antara panjang vektor nama AIS dan panjang vektor nama IHS. Adapun nilai minimal kemiripan nama kapal dalam AIS dan HIS pada penelitian ini adalah 0,5. Penggunaan *cosine similarity* dilakukan dengan pertimbangan nama kapal pada pesan AIS dan data IHS memiliki kemungkinan ketidakidentikan, tidak seperti IMO dan MMSI.

Terakhir, setelah penghapusan *record* duplikat dan *value-handling* dilakukan, diterapkan beberapa filter sebagai berikut.

1. Filter 1: MMSI Valid

Pesan AIS yang masih memiliki nilai MMSI *default*, *invalid*, dan *missing* setelah melewati tahap *value-handling* akan dieliminasi dari data.

2. Filter 2: IMO Valid

Pesan AIS yang masih memiliki nilai IMO *default*, *invalid*, dan *missing* setelah melewati tahap *value-handling* akan dieliminasi dari data.

3. Filter 3: Status Navigasi Kapal Valid dan Relevan

Fitur *nav_status* pada data AIS menunjukkan status navigasi kapal, yaitu status kapal saat pesan tersebut dikirim. Beberapa status navigasi, di antaranya ‘under way using engine’, ‘at anchor’, ‘moored’, ‘sailing’, ‘engaged in fishing’, ‘not under command’, ‘restricted manoeuvrability’, ‘aground’, dan ‘not defined’. Status navigasi dikatakan valid jika *nav_status_code* memiliki nilai 0 hingga 14 (International Telecommunication Union, 2005). Setelah memastikan *nav_status_code* valid, filter dilakukan pada pesan AIS dengan status navigasi kapal yang terkait dengan aktivitas pada pelabuhan dan sekitarnya. Status navigasi yang dimaksud adalah ‘under way using engine’, ‘at anchor’,

‘restricted manoeuvrability’, ‘moored’, ‘engaged in fishing’, dan ‘under way sailing’. Kapal dengan status navigasi tersebut dapat mengindikasikan bahwa kapal sedang melakukan aktivitas di pelabuhan atau keluar-masuk pelabuhan (Asian Development Bank, 2023).

4. Filter 4: Tipe Kapal Valid dan Relevan

Pesan AIS yang masih memiliki nilai tipe kapal *default*, *invalid*, dan *missing* setelah melewati tahap *value-handling* akan dieliminasi dari data. Setelah memastikan data AIS memiliki tipe kapal yang valid, data AIS difilter berdasarkan tipe kapal yang terkait dengan penelitian ini, yaitu kapal ‘sailing’, ‘tanker’, ‘other’, ‘pleasure craft’, ‘passenger’, ‘fishing’, ‘port tender’, ‘dredging’, dan ‘cargo’.

5. Filter 5: Bendera Negara Kapal Valid dan Relevan

Pesan AIS yang masih memiliki nilai negara kapal *default*, *invalid*, dan *missing* setelah melewati tahap *value-handling* akan dieliminasi dari data. Kemudian, data AIS akan difilter sesuai dengan kebutuhan monitoring aktivitas perkapalan Indonesia, yaitu kapal dengan bendera Indonesia. Data AIS juga akan difilter untuk kebutuhan monitoring aktivitas perkapalan di perairan Indonesia, yaitu kapal dengan bendera Indonesia dan bendera negara lainnya.

6. Filter 6: Latitude dan Longitude Valid

Fitur latitude dan longitude pada data AIS dapat membantu untuk mengidentifikasi lokasi dari kapal yang mengirimkan pesan data AIS. Nilai latitude dikatakan valid jika berada dalam rentang -90° hingga $+90^{\circ}$, sedangkan nilai longitude dikatakan valid jika berada dalam rentang -180° hingga $+180^{\circ}$ (International Telecommunication Union, 2005).

7. Filter 7: dt_pos_utc Valid

Fitur dt_pos_utc pada data AIS memuat data mengenai waktu terakhir pesan AIS kapal tercatat dalam UTC dengan format YYYY-MM-DD HH24:MI:SS (jam-bulan-hari jam:menit:detik). Fitur dt_pos_utc dikatakan valid jika data tahun bernilai 1–9999, data bulan bernilai 1–12, data hari bernilai 1–31, data jam bernilai 0–23, data menit bernilai 0–59, dan data detik bernilai 0–59 (International Telecommunication Union, 2005).

8. Filter 8: Kapal yang Tidak Terindikasi Memiliki Pergerakan Anomali

Untuk memastikan kevalidan status navigasi kapal yang diketahui berdasarkan fitur nav_status pada data AIS, dilakukan pengecekan menggunakan kecepatan kapal di atas permukaan laut. Data kecepatan ini terdapat pada fitur *Speed Over Ground* (SOG) data AIS. Kapal akan memiliki SOG kurang dari satu saat kapal cenderung diam dan memiliki SOG lebih dari satu saat kapal bergerak (Asian Development Bank, 2023). Jadi, saat kapal memiliki status navigasi ‘at anchor’ dan ‘moored’ SOG harusnya bernilai kurang dari satu, sedangkan saat kapal memiliki status navigasi ‘under way using engine’, ‘engaged in fishing’, ‘under way sailing’, ‘restricted manoeuvrability’, ‘not under command’, dan ‘aground’ SOG harusnya bernilai lebih dari satu.

9. Filter 9: MMSI dengan *record* ≥ 10

Ada beberapa kapal yang tidak aktif melakukan aktivitas di laut serta pelabuhan dalam satu tahun karena memang sedang tidak melakukan aktivitas atau memiliki kendala pada perangkat AIS-nya. Namun, kapal-kapal tersebut sempat mengirimkan beberapa pesan AIS. Kapal yang aktif dalam setahun memiliki minimal 10 *record* (Jasper Faber, Shinichi Hanayama, Shuang Zhang,

Paula Pereda, Bryan Comer et al., 2020). Untuk memastikan pesan AIS yang diolah milik kapal yang aktif, dilakukan penyaringan terhadap *record* data AIS berdasarkan MMSI. MMSI yang memiliki *record* kurang dari 10 akan dieliminasi dari data.

10. Filter 10: MMSI dengan $\text{sog} > 3$ berjumlah ≥ 20

Selain berdasarkan jumlah *record* yang dimiliki oleh masing-masing MMSI, terdapat cara lain untuk memastikan keaktifan suatu kapal memang aktif dalam setahun. Kapal yang aktif dalam setahun memiliki minimal 20 *record* dengan nilai fitur SOG (*Speed Over Ground*)-nya lebih dari 3 knot (Jasper Faber, Shinichi Hanayama, Shuang Zhang, Paula Pereda, Bryan Comer et al., 2020). Untuk memastikan pesan AIS yang diolah milik kapal yang aktif, dilakukan penyaringan terhadap *record* data AIS berdasarkan MMSI. MMSI yang memiliki *record* dengan SOG lebih dari 3-nya kurang dari 20 akan dieliminasi dari data.

Pembentukan Algoritma

Dari data AIS yang telah dikumpulkan, akan dibentuk algoritma. Untuk algoritma pengawasan di kawasan pelabuhan, diperlukan definisi yang jelas mengenai kawasan pelabuhan, yang merupakan bagian dari penentuan *Area of Interest* (AOI). Terdapat tiga pendekatan yang dapat digunakan, yaitu *Manual Approach*, *Distance-Based Approach*, dan *Cluster-Based Approach* (Asian Development Bank, 2023). Pada penelitian ini akan digunakan dua pendekatan, yaitu *Distance-Based Approach* dan *Cluster-Based Approach*.

Setelah menentukan AOI, ditentukan juga *Event of Interest* (EOI). EOI dari penelitian ini adalah seluruh aktivitas keluar-masuk pada pelabuhan—yang merupakan AOI–Indonesia dan seluruh negara selain Indonesia yang karakteristik pelabuhannya terdokumentasikan pada WPI oleh seluruh kapal. Dari AOI dan EOI tersebut, dibentuklah indikator mengenai aktivitas perkapalan Indonesia dan di Indonesia. Berikut penjelasan dari metode pembentukan setiap indikator.

1. Jumlah kunjungan kapal (numVisit)

Jumlah kunjungan kapal dapat dihitung dengan menggunakan koordinat pesan AIS yang dikirimkan kapal. Apabila pesan sebelumnya dikirim di luar AOI, yaitu pelabuhan, pesan tersebut dihitung satu kunjungan pada pelabuhan tersebut. Fitur yang digunakan untuk membentuk ‘numVisit’ adalah ‘MMSI’, ‘dt_pos_utc’, ‘longitude’, ‘latitude’, dan ‘H3_index_8’.

2. Waktu kapal di pelabuhan (timeInPort)

Waktu kapal di pelabuhan merupakan rata-rata waktu yang dihabiskan kapal di suatu pelabuhan (AOI) dalam satuan detik. Indikator ini dihitung dengan menjumlahkan semua periode waktu yang dihabiskan kapal yang memiliki status di dalam pelabuhan sesuai dengan pelabuhannya di setiap pelabuhan dan setiap bulan. Ketika transponder AIS kapal dimatikan di dalam pelabuhan, waktu kontribusinya terhadap indikator hanya dipertimbangkan jika pesan berikutnya yang diterima dari kapal juga berada di dalam pelabuhan yang sama. Aturan ini menghilangkan pencilan dalam data yang dihasilkan dari kapal yang ditambatkan yang mematikan peralatan AIS mereka dan kemudian meninggalkan pelabuhan tanpa mengaktifkannya kembali atau dari kapal yang karena alasan tertentu mengubah MMSI mereka saat berada di pelabuhan. Fitur

yang digunakan untuk membentuk 'timeInPort' adalah 'MMSI', 'dt_pos_utc', 'longitude', dan 'latitude', dan 'H3_index_8'.

3.4 Metode Analisis

Visualisasi Data

Hasil pengaplikasian algoritma yang telah terbentuk pada data AIS akan divisualisasikan. Visualisasi akan dilakukan menggunakan Kepler.gl. Kepler.gl adalah aplikasi berbasis web yang sangat efektif untuk eksplorasi visual data geolokasi dalam skala besar (He, 2018). Aplikasi ini akan digunakan untuk memvisualisasikan kapal yang terdeteksi berada di perairan Indonesia serta kapal Indonesia yang terdeteksi berada di luar perairan Indonesia. Selain itu, visualisasi data yang telah terbentuk, termasuk diagram-diagram, akan ditampilkan dalam bentuk *dashboard*. *Dashboard* dibuat menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan *framework* Laravel dan Tailwind CSS. Diagram-diagram pada *dashboard* dibentuk menggunakan *library* JavaScript, yaitu High Charts.

Analisis Deskriptif

Metode analisis deskriptif digunakan untuk menganalisis hasil dari penelitian ini. Visualisasi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah diagram batang (*bar chart*), diagram garis (*line chart*), diagram lingkaran (*pie chart*), dan diagram kotak garis (*box plot*). Analisis deskriptif yang digambarkan dengan beberapa visualisasi tersebut akan dilengkapi dengan hasil diskusi *focus group discussion* (FGD) dengan beberapa ahli, yaitu Markie Muryawan dari Task Team on AIS Data United Nations, William Seitz dari World Bank, Cherry Chico dari

Asian Development Bank, Dewi Krismawati dari Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik BPS, dan pihak PT. Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) Indonesia Ferry (Persero) Pelabuhan Merak. Selain itu, dilakukan juga pengamatan (observasi) langsung terhadap keadaan dari pelabuhan Merak dan kapal-kapal yang berada di sana.

Evaluasi Kinerja Algoritma

Pada penelitian ini, algoritma yang telah terbentuk akan dicek kinerjanya. Metode yang digunakan untuk mengukur kinerja algoritma adalah notasi *Big O* dengan rumus tercantum pada persamaan (1). Notasi *Big-O* memudahkan pemahaman tentang bagaimana performa algoritma berubah seiring dengan pertumbuhan ukuran masukan. Analisis ini sangat bermanfaat untuk membandingkan dan memahami perbedaan kinerja antara berbagai algoritma.

Evaluasi Performa Algoritma

Pada penelitian ini, algoritma yang telah terbentuk akan diujikan kepada data AIS. Untuk mengetahui keakuratan dari algoritma, diperlukan evaluasi terhadap hasil dari algoritma tersebut. Teknik untuk mengevaluasi algoritma yang dihasilkan menggunakan RMSE dan MAPE dengan rumus tercantum pada persamaan (3) dan (4). Evaluasi terhadap algoritma juga dilakukan dengan membandingkan data yang dihasilkan oleh algoritma dengan data *official statistics* oleh Badan Pusat Statistik secara deskriptif.

“... sengaja dikosongkan ...”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

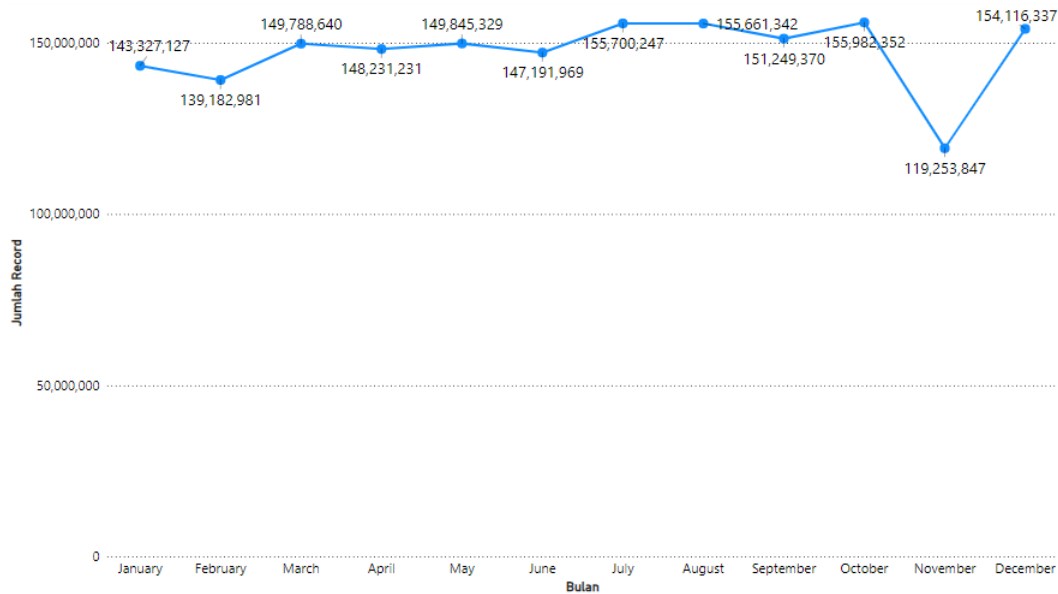
4.1 Gambaran Umum Data AIS

Data dinamis pada data AIS yang berisi informasi posisi dan pergerakan kapal merupakan pesan diperbarui secara otomatis. Data ini diperoleh dengan melakukan pengukuran yang langsung dapat dibaca oleh sensor perangkat AIS tanpa campur tangan manusia. Kerenanya, memeriksa rasionalitas dari kumpulan data ini memberikan penjelasan tentang kondisi sensor yang terhubung ke AIS (Anuoluwapo, 2023).

Meskipun data statis bukan data yang diperbarui secara otomatis, data ini tetap penting untuk diperhatikan. Hal ini dikarenakan data statis memiliki informasi mengenai karakteristik kapal. Tujuan dilakukannya pengamatan terhadap data statis adalah mengetahui ketepatan laporan oleh awak kapal dan kekuatan sinyal dari sensor AIS saat mentransmisikan pesan ini.

Pengamatan terhadap tipe data AIS akan dilakukan melalui pengamatan terhadap fitur-fitur yang tergolong sebagai tipe data statis atau dinamis tersebut. Sebelum melakukan pengamatan terhadap fitur-fitur data AIS, penting juga untuk mengamati karakteristik data AIS secara keseluruhan. Caranya adalah dengan melakukan eksplorasi terhadap *record* data AIS. Eksplorasi dilakukan pada data AIS yang sempat terdeteksi di Indonesia sepanjang tahun 2022. *Record* data AIS tersebut berjumlah 1.769.530.772 *record*.

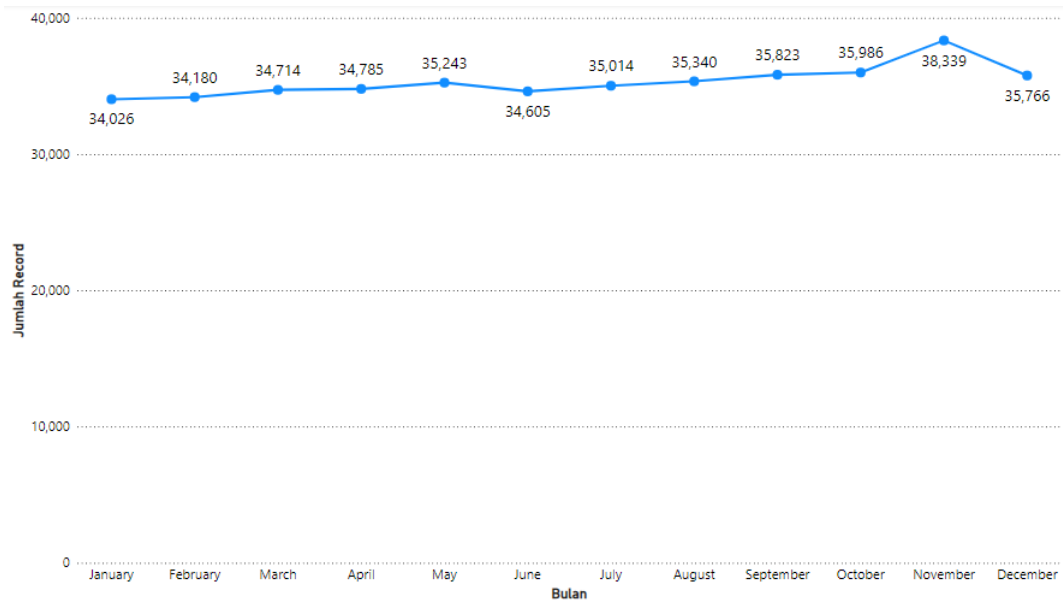
Jumlah *Records* Data AIS per Bulan Tahun 2022



Gambar 15. Jumlah *Record* Data AIS per Bulan Tahun 2022

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa jumlah *records* data AIS yang sempat terdeteksi di Indonesia setiap bulannya selama 2022 cenderung berfluktuatif. Artinya, terdapat jumlah *records* yang sangat tinggi di bulan tertentu dan terdapat jumlah *records* yang sangat rendah di beberapa bulan lainnya. Bulan dengan jumlah *records* tertinggi adalah bulan Juli, yaitu sebanyak 155.700.247 *records*, sedangkan bulan dengan jumlah *records* terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 119.253.647 *records*.

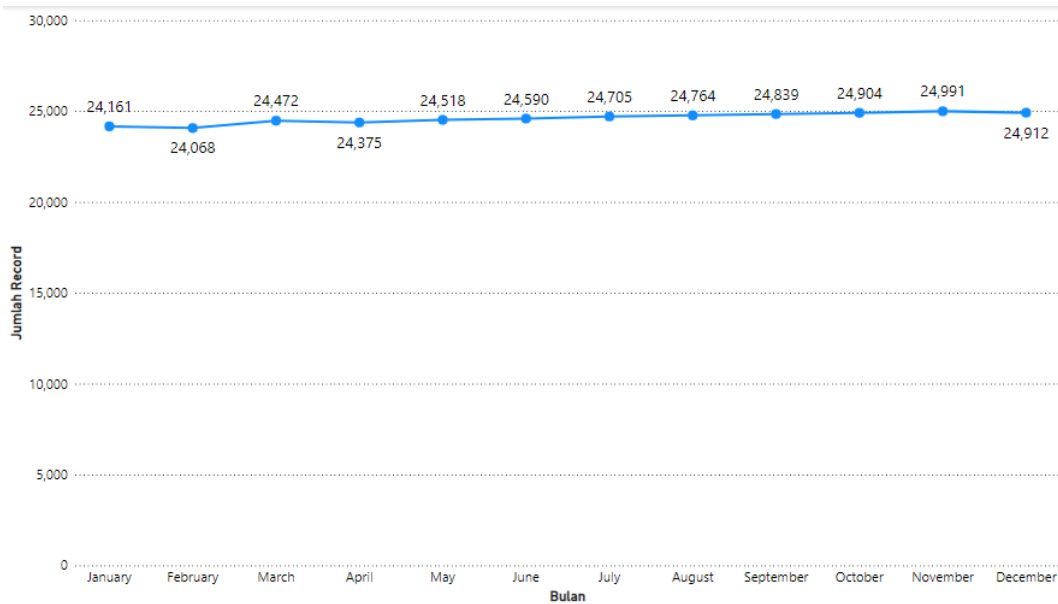
Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI Unik per Bulan Tahun 2022



Gambar 16. Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI Unik per Bulan Tahun 2022

Kemudian, dilakukan juga eksplorasi pada *recods* data AIS berdasarkan fitur-fitur yang menjadi identitas perangkat dan kapal. Fitur MMSI merupakan fitur yang menjadi identitas perangkat AIS kapal. Berdasarkan grafik tersebut, dengan fokus kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia, terlihat bahwa jumlah *records* dengan MMSI unik per bulan sepanjang tahun 2022 cenderung fluktuatif. Jumlah *records* dengan MMSI unik tertinggi terdapat pada bulan November, yaitu sebesar 38.399, dan terendah terdapat pada bulan Januari sebesar 34.026. Artinya, jumlah kapal yang memiliki perangkat AIS dan mengirimkan pesan pada tahun 2022 yang sempat terdeteksi di Indonesia terbanyak tercatat pada bulan November dan tersedikit tercatat pada bulan Januari.

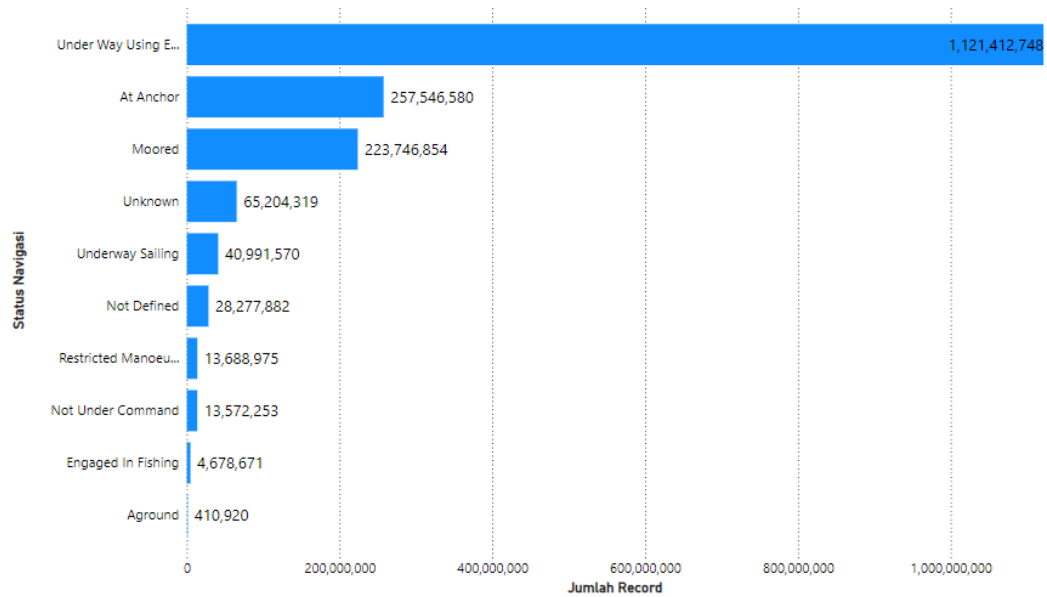
Jumlah *Record* Data AIS dengan IMO Unik per Bulan Tahun 2022



Gambar 17. Jumlah *Record* Data AIS dengan IMO Unik per Bulan Tahun 2022

Selanjutnya, dilakukan eksplorasi terhadap fitur identitas kapal data AIS, yaitu IMO. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa distribusi jumlah *records* dengan IMO unik per bulan sepanjang tahun 2022 cenderung konstan. Jumlah *records* dengan IMO unik tertinggi terdapat pada bulan November, yaitu sebesar 24.991, dan terendah terdapat pada bulan Februari sebesar 24.068. Artinya, jumlah kapal yang memiliki nomor IMO dan perangkat AIS serta mengirimkan pesan pada tahun 2022 yang sempat terdeteksi di Indonesia terbanyak tercatat pada bulan November dan tersedikit tercatat pada bulan Februari. Terlihat bahwa adanya perbedaan pola distribusi antara jumlah *records* dengan MMSI unik dan IMO unik sepanjang tahun 2022.

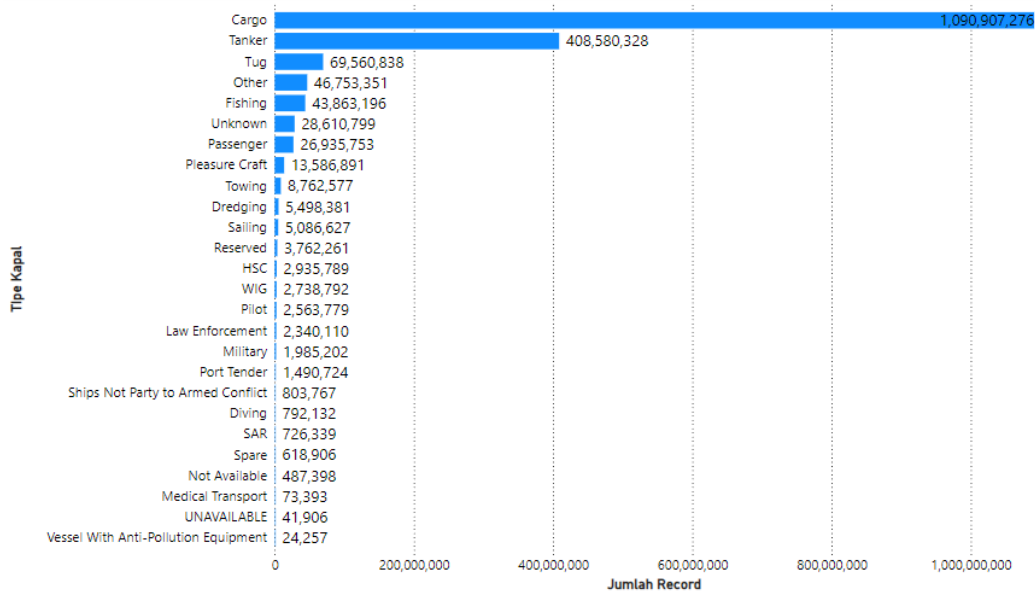
Jumlah *Record* Data AIS Menurut Status Navigasi Tahun 2022



Gambar 18. Jumlah *Record* Data AIS Menurut Status Navigasi Tahun 2022

Selain MMSI dan IMO yang menjadi identitas perangkat dan kapal, dilakukan juga eksplorasi pada *records* data AIS berdasarkan fitur status navigasi, tipe kapal, dan bendera negara. Berdasarkan grafik pada Gambar 18, dengan fokus kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia, terdapat 10 status navigasi yang berhasil terdeteksi dari 16 status navigasi yang ada, termasuk status navigasi *default*. Terlihat bahwa status navigasi dengan jumlah *records* tertinggi adalah ‘Under Way Using Engine’, yaitu sebanyak 1.121.412.748 *records*, dan status navigasi dengan jumlah *records* terendah adalah ‘Aground’, yaitu sebanyak 410.920 *records*. Artinya, kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia paling banyak mengirimkan pesan AIS saat dalam status navigasi ‘Under Way Using Engine’ dan paling sedikit mengirimkan pesan AIS saat dalam status navigasi ‘Aground’.

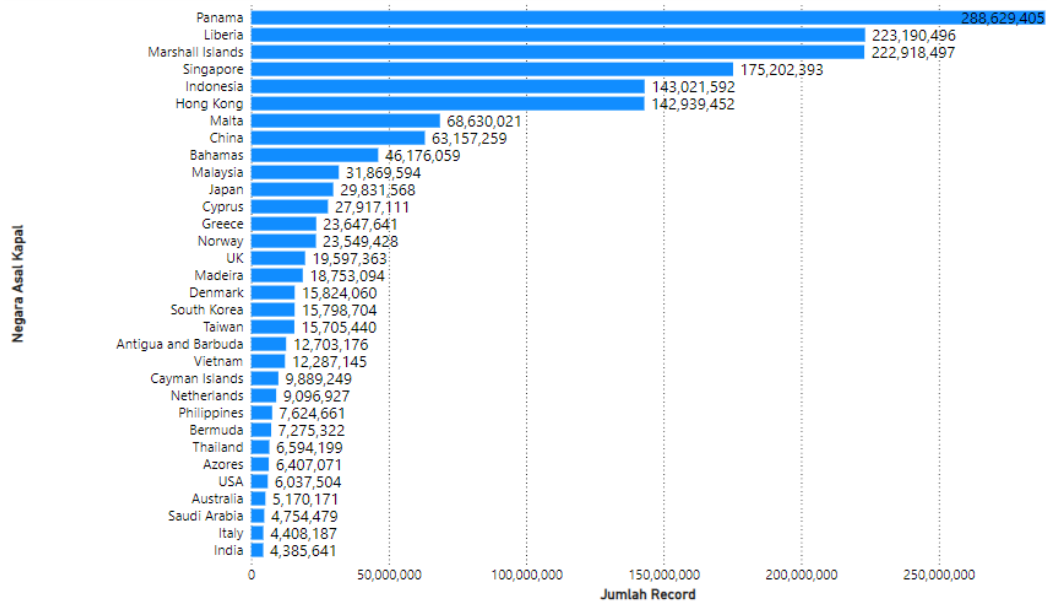
Jumlah *Record* Data AIS Menurut Tipe Kapal Tahun 2022



Gambar 19. Jumlah *Record* Data AIS Menurut Tipe Kapal Tahun 2022

Kemudian, untuk fitur tipe kapal, terdapat 26 tipe kapal yang berhasil terdeteksi dari 256 tipe kapal yang ada, termasuk tipe kapal *default*. Berdasarkan grafik pada Gambar 19, terlihat bahwa tipe kapal dengan jumlah *records* tertinggi adalah ‘Cargo’, yaitu sebanyak 1.090.907.276 *records*, diikuti dengan tipe kapal ‘Tanker’ sebanyak 408.580.328 *records*. Tipe kapal dengan jumlah *records* terendah adalah ‘Vessel with Anti-Pollution Equipment’, yaitu sebanyak 24.257 *records*. Artinya, kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia paling banyak mengirimkan pesan AIS memiliki tipe ‘Cargo’, diikuti kapal dengan tipe ‘Tanker’, serta paling sedikit mengirimkan pesan AIS dengan tipe kapal ‘Vessel with Anti-Pollution Equipment’.

Jumlah *Record* Data AIS Menurut Bendera Negara 2022



Gambar 20. Jumlah *Record* Data AIS Menurut Bendera Negara 2022

Terakhir, untuk fitur bendera negara, ditampilkan 32 bendera negara dengan jumlah *records* terbanyak dari 170 bendera negara yang berhasil terdeteksi dari 575 bendera negara yang ada, termasuk bendera negara *default*. Berdasarkan grafik pada Gambar 20, terlihat bahwa bendera negara dengan jumlah *records* tertinggi adalah Panama, yaitu sebanyak 288.629.405 *records*, diikuti dengan bendera negara Liberia sebanyak 233.190.496 *records* serta Marshall Islands sebanyak 222.918.497 *records*. Bendera negara dengan jumlah *records* terendah dari 32 bendera negara dengan jumlah *record* terbanyak adalah India, yaitu sebanyak 4.385.641 *records*. Artinya, kapal yang sempat terdeteksi di Indonesia paling banyak mengirimkan pesan AIS memiliki bendera negara Panam, diikuti kapal dengan bendera negara Liberia dan Marshall Islands, serta paling sedikit mengirimkan pesan AIS dengan bendera negara India 32 bendera negara dengan jumlah *record* terbanyak.

Setelah melakukan eksplorasi *records* data AIS secara keseluruhan untuk mengetahui karakteristiknya, eksplorasi dilanjutkan pada fitur-fitur data AIS. Fitur yang akan digunakan pada penelitian ini berjumlah tiga belas fitur yang terdiri dari data statis dan dinamis. Ada beberapa fitur yang merupakan bentuk lain dari fitur aslinya, yaitu *nav_status* dan *nav_status_code*, *vessel_type* dan *vessel_type_code*, serta *flag_country* dan *flag_code*. Eksplorasi akan dilakukan pada salah satu dari kedua fitur tersebut atau jika dibutuhkan akan dilakukan pada kedua fitur sekaligus.

Statistical Summary Data AIS

Di antara beberapa fitur yang ditampilkan pada Tabel 7, fitur yang termasuk data statis adalah *MMSI*, *IMO*, *vessel_type_code*, dan *flag_code*, sedangkan fitur yang termasuk data dinamis adalah *nav_status_code*, *sog*, *latitude*, *longitude*, dan *dt_pos_utc*. Cara cepat untuk menganalisis data statis dan dinamis adalah dengan membandingkannya dengan rentang nilai standar oleh Rec. ITU-R M.1371-5 yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 7. *Statistical Summary* Beberapa Fitur Data AIS

| Fitur | Count | Mean | Std | Min | Max |
|---------------------|------------|-------------|-------------|------|------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| MMSI | 1769530772 | 456786892,6 | 127765180,5 | 0 | 1073675264 |
| IMO | 1669108335 | 10113834,41 | 21608514,88 | 1 | 1073741823 |
| vessel_type_code | 1769530772 | 71,35 | 12,39 | 0 | 255 |
| flag_code | 1745077653 | 456,45 | 127,9 | 201 | 750 |
| nav_status_code | 1769530772 | 1,85 | 3,83 | 0 | 16 |
| sog | 1769530772 | 7,07 | 6,22 | 0 | 102,1 |
| latitude | 1769530772 | 5,83 | 25,34 | -90 | 90 |
| longitude | 1769530772 | 51,06 | 86,71 | -180 | 180 |
| dt_pos_utc (year) | 1769530772 | 2022 | 0 | 2022 | 2022 |
| dt_pos_utc (month) | 1769530772 | 6,51 | 3,41 | 1 | 12 |
| dt_pos_utc (day) | 1769530772 | 15,79 | 8,87 | 1 | 31 |
| dt_pos_utc (hour) | 1769530772 | 11,61 | 6,94 | 0 | 23 |
| dt_pos_utc (minute) | 1769530772 | 29,54 | 17,31 | 0 | 59 |
| dt_pos_utc (second) | 1769530772 | 29,25 | 17,39 | 0 | 59 |

Ringkasan statistik dari data statis dan dinamis pada Tabel 7 didapatkan dengan menggunakan fungsi `".describe()" pada pyspark.sql`. Berdasarkan ringkasan statistik pada Tabel 7 tersebut, hanya fitur `vessel_type_code` sebagai data statis yang memiliki nilai yang sesuai dengan rentang pada Rec. ITU-R M.1371-5, yaitu 0-255. Fitur lain dari data statis, yaitu `MMSI`, `IMO`, dan `flag_code`, masih menunjukkan ketidaksesuaian. Dapat dilihat pada Tabel 7 bahwa nilai maksimum dari fitur `MMSI` dan `IMO` memiliki angka sebanyak 10 digit. Merujuk pada Rec. ITU-R M.1371-5, nilai `MMSI` harusnya memiliki 9 digit (100000000-999999999) dan `IMO` 7 digit (1000000-9999999).

Untuk data dinamis, seluruh fitur yang tertera pada Tabel 7 telah memiliki nilai yang sesuai dengan standar Rec. ITU-R M.1371-5, kecuali satu fitur, yaitu `nav_status_code`. Kode status navigasi yang sesuai standar adalah berkisar antara 0 dan 15. Berdasarkan ringkasan statistiknya, fitur kode status navigasi tidak memenuhi kisaran standar ini. Hal ini dikarenakan fitur ini memiliki nilai maksimum 16.

Status Navigasi dan SOG (*Speed Over Ground*)

Pada pelabuhan, aktivitas umumnya terjadi ketika sebuah kapal melaporkan status navigasi ‘At Anchor’ atau ‘Moored’. Untuk *passageways*, kapal harus dalam keadaan transit atau ‘Underway’. Namun, informasi ini diperbarui secara manual sehingga ada kemungkinan terjadinya kesalahan manusia. Alternatifnya adalah dengan melihat kecepatan kapal di atas permukaan atau *Speed Over Ground* (SOG). Saat kapal yang sedang ‘At Anchor’ atau ‘Moored’, umumnya kapal akan diam, dan kapal yang sedang ‘Underway’ umumnya akan bergerak.

Tabel 8. Distribusi SOG (*Speed Over Ground*) Menurut Status Navigasi

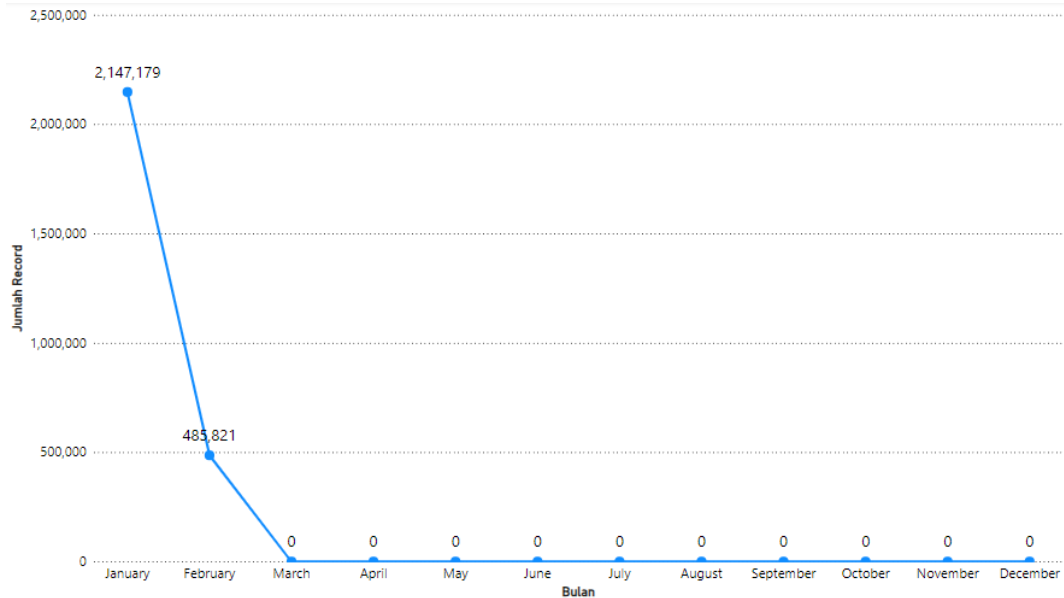
| Status Navigasi | Kuantil <i>Speed Over Ground</i> (SOG) | | | | | |
|----------------------------|--|------|------|------|------|-------|
| | 50% | 75% | 90% | 95% | 99% | 99,9% |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| Moored | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 8,0 | 16,2 |
| Restricted Manoeuvrability | 0,1 | 2,0 | 5,6 | 8,0 | 13,3 | 17,6 |
| Aground | 0,0 | 0,3 | 5,1 | 9,0 | 21,0 | 23,4 |
| Not Defined | 0,0 | 3,0 | 10,0 | 12,0 | 16,8 | 24,0 |
| Not Under Command | 1,0 | 1,9 | 3,3 | 8,0 | 13,0 | 17,9 |
| Engaged In Fishing | 3,9 | 8,4 | 10,9 | 11,8 | 13,7 | 15,0 |
| Underway Sailing | 0,2 | 8,0 | 12,0 | 13,2 | 17,7 | 26,8 |
| Unknown | 0,2 | 4,3 | 8,1 | 10,4 | 15,1 | 23,9 |
| At Anchor | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 3,5 | 12,4 |
| Under Way Using Engine | 11,5 | 13,0 | 15,7 | 17,5 | 19,8 | 22,0 |

Tabel 8 menunjukkan distribusi SOG menurut status navigasi dari 1% data AIS setiap bulan tahun 2022. Pada persentil ke-95, nilai SOG untuk ‘At Anchor’ dan ‘Moored’ kurang dari satu knot dan pada persentil ke-99 nilainya meningkat menjadi tujuh dan sembilan knot. Berdasarkan hal ini, batas satu knot dipilih untuk penelitian ini, setiap kapal dengan SOG kurang dari satu knot dianggap tidak bergerak dan sebaliknya.

4.2 Standar Operasional Prosedur (SOP) *Preprocessing* sebagai Penjaminan Kualitas Data (*Quality Assurance*)

Data AIS memerlukan kontrol kualitas (*quality control*) terhadap datanya. Hal ini dilakukan untuk menghindari diolahnya data yang tidak sesuai ketentuan, seperti data dengan *default value*, *invalid value*, *missing value*, dan *noise* atau *outlier*, serta mendapatkan data yang sesuai dengan cakupan penelitian. Berikut Standar Operasional Prosedur (SOP) *preprocessing* yang diterapkan terhadap data AIS dalam bentuk beberapa indikator *quality control*.

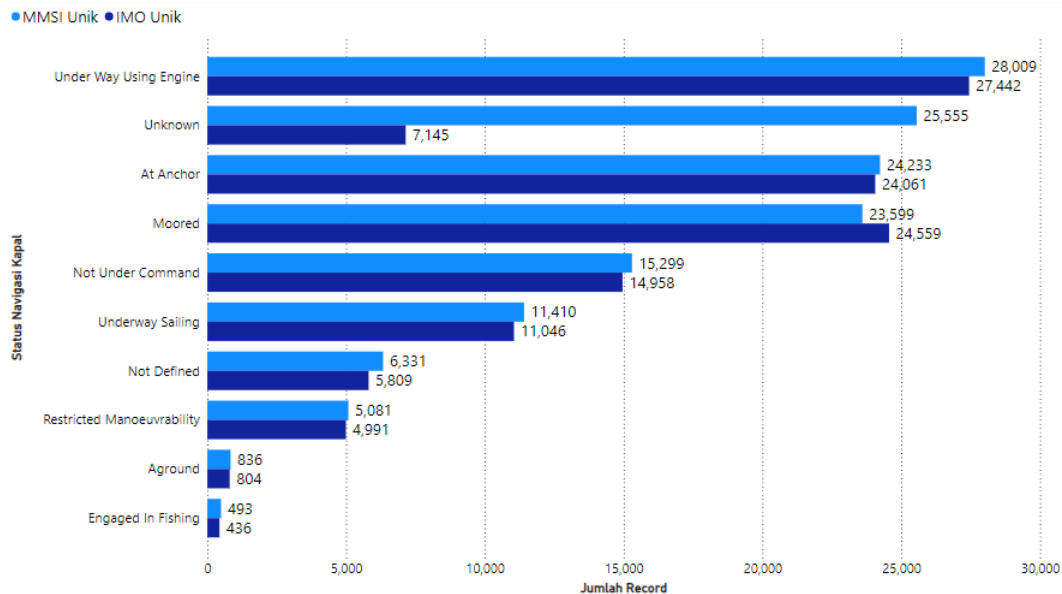
Record Duplikat



Gambar 21. Jumlah *Record Duplikat*

Records yang didefinisikan sebagai *record* duplikat adalah *record* dengan nilai seluruh fiturnya bernilai sama dengan seluruh fitur yang bersesuaian dengan *record* lain. Berdasarkan grafik pada Gambar 21, *records* terdeteksi pada awal tahun, yaitu pada bulan Januari dan Februari. Pada bulan Januari, terdapat cukup banyak *record* duplikat yang terdeteksi, yaitu sebanyak 2.147.179 *records*. Pada bulan Februari, jumlah *records* yang terdeteksi adalah 485.821 yang mengindikasikan adanya penurunan sebesar 77% dibandingkan bulan sebelumnya. Artinya, pada bulan Januari dan Februari, terdapat kapal yang mengirimkan pesan yang sama dan oleh penyedia data ExactEarth tidak dieliminasi.

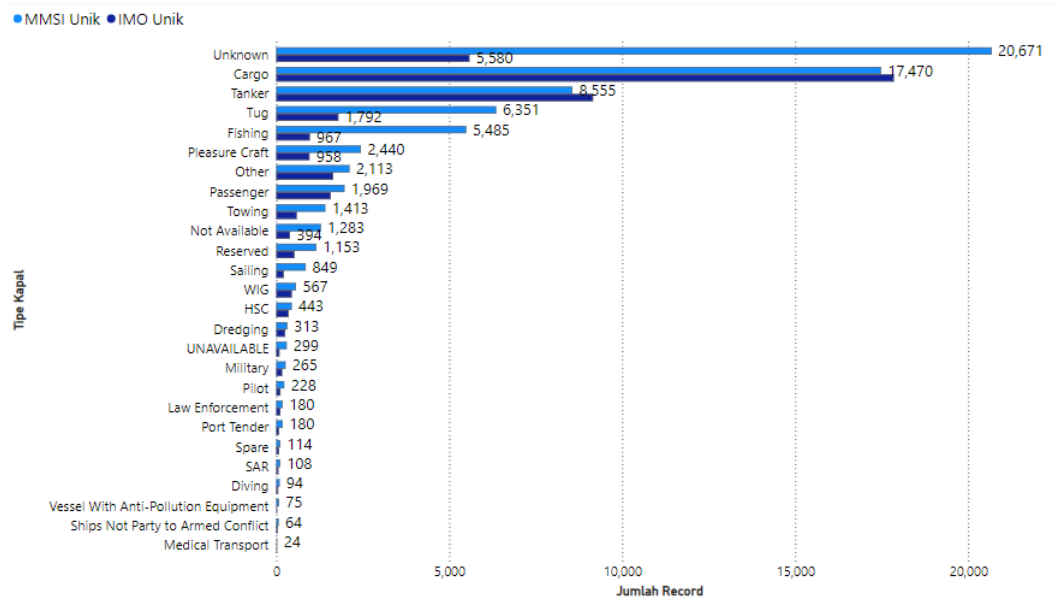
Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Status Navigasi



Gambar 22. Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Status Navigasi Tahun 2022

Berdasarkan diagram pada Gambar 22 tersebut, terdapat status navigasi kapal yang memiliki jumlah *records* dengan IMO unik kurang dari setengah jumlah *records* dengan MMSI unik, yaitu status navigasi ‘unknown’. Kemudian, untuk status navigasi ‘moored’, jumlah *records* dengan IMO unik lebih dari jumlah *records* dengan MMSI unik. Untuk delapan status navigasi lainnya, ‘under way using engine’, ‘at anchor’, ‘not under command’, ‘under way sailing’, ‘not defined’, ‘restricted manoeuvrability’, ‘aground’, dan ‘engaged in fishing’, memiliki jumlah *records* dengan IMO unik kurang dari jumlah *records* dengan MMSI unik, tetapi lebih dari setengahnya jumlah *records* dengan MMSI unik. Ini menunjukkan adanya ketimpangan jumlah IMO unik dan MMSI unik. Hal ini dapat terjadi karena adanya kapal yang memiliki perangkat AIS sehingga memiliki nomor MMSI, tetapi tidak memiliki nomor IMO sebagai identitas kapal.

Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Tipe Kapal



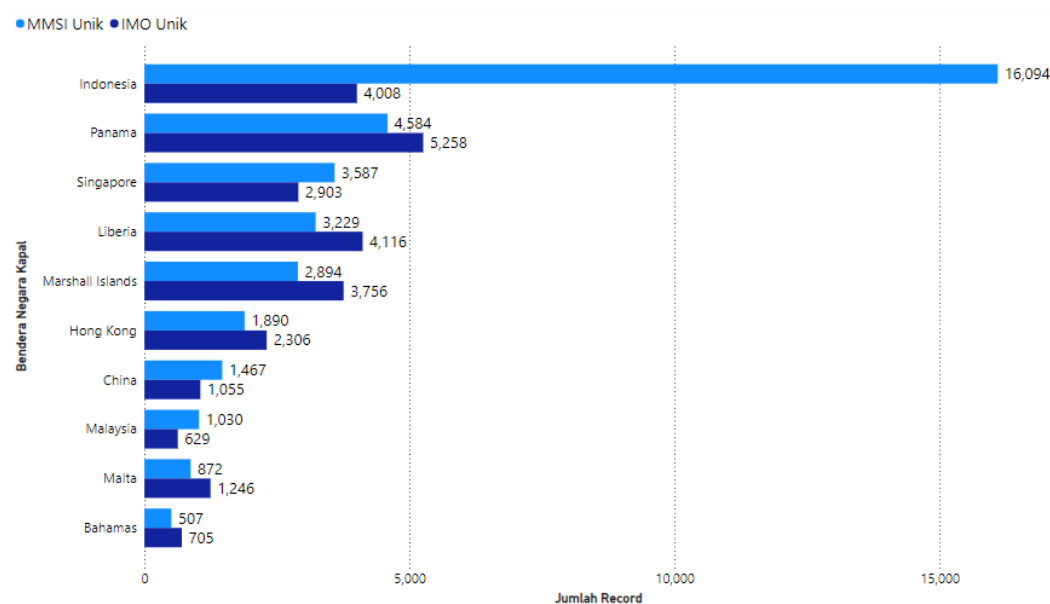
Gambar 23. Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Tipe Kapal Tahun 2022

Berdasarkan diagram pada Gambar 23 tersebut, ketimpangan jumlah *records* dengan IMO unik dan jumlah *records* dengan MMSI unik kembali terjadi. Sebagian besar tipe kapal memiliki jumlah *records* dengan IMO unik kurang dari setengah jumlah *records* dengan MMSI unik. Padahal, nomor IMO wajib dimiliki oleh semua kapal laut bertenaga penggerak dengan tonase kotor (GT) 100 ton atau lebih: kapal kargo, kapal penangkap ikan (sejak 2013), kapal kargo berpendingin (reefer), atau kapal suplai dengan panjang 12 meter atau lebih, kapal penumpang, kapal yang lebih kecil, dan kapal berlambung non-baja (sejak 2016) (SINAY Maritime Data Solution, 2022). Dapat dilihat dari diagram tersebut, kapal penangkap ikan ‘Fishing’ dan kapal penumpang ‘Pleasure Craft’ masih memiliki ketimpangan yang cukup signifikan antara jumlah *records* dengan IMO unik dan jumlah *records* dengan MMSI unik.

Selain untuk identifikasi, nomor IMO adalah alat utama bagi berbagai aktivitas industri transportasi laut, seperti membantu otoritas nasional untuk mengelola kapal yang mengibarkan benderanya dengan lebih baik dan mengontrol perairan mereka; meningkatkan transparansi dan konsistensi catatan hukum; serta meningkatkan pemantauan, pengawasan, dan kinerja operasional. Menurut peraturan SOLAS (Safety of Life at Sea), memiliki nomor IMO adalah prasyarat untuk berlayar dan menjual.

Jadi, ada beberapa kemungkinan penyebab terjadinya ketimpangan jumlah *records* dengan IMO unik dan jumlah *records* dengan MMSI unik dilihat dari tipe kapalnya, yaitu tipe kapal tersebut tidak diwajibkan untuk memiliki nomor IMO, kapal dengan tipe kapal yang diwajibkan untuk memiliki nomor IMO memiliki tonase kotor (GT) kurang dari 100 ton, dan kapal dengan tipe kapal dan berat yang diwajibkan memiliki nomor IMO tidak memiliki nomor IMO tersebut.

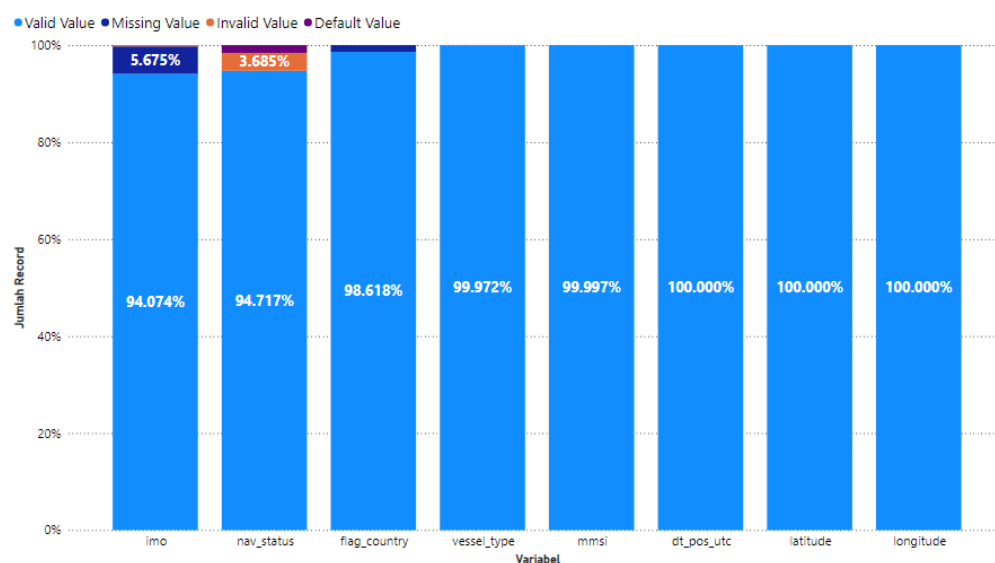
Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Bendera Negara Kapal



Gambar 24. Jumlah *Record* Data AIS dengan MMSI dan IMO Unik Menurut Bendera Negara Kapal Tahun 2022

Berdasarkan diagram pada Gambar 24 tersebut, ketimpangan jumlah *records* dengan IMO unik dan jumlah *records* dengan MMSI unik masih terjadi. Empat bendera negara terdaftar pada kapal yang memiliki jumlah *records* dengan MMSI unik tertinggi, yaitu Indonesia, Singapur, China, dan Malaysia, memiliki jumlah *records* dengan IMO unik kurang dari setengah jumlah *records* dengan MMSI unik. Artinya, negara-negara tersebut tidak memenuhi peraturan SOLAS (Safety of Life at Sea) untuk memiliki nomor IMO sebagai prasyarat untuk berlayar dan menjual. Beberapa kemungkinannya adalah, negara-negara tersebut memiliki kapal dengan tipe kapal yang tidak diwajibkan untuk memiliki nomor IMO, memiliki kapal dengan tipe kapal yang diwajibkan untuk memiliki nomor IMO memiliki tonase kotor (GT) kurang dari 100 ton, atau memiliki kapal dengan tipe kapal dan berat yang diwajibkan memiliki nomor IMO tidak memiliki nomor IMO tersebut.

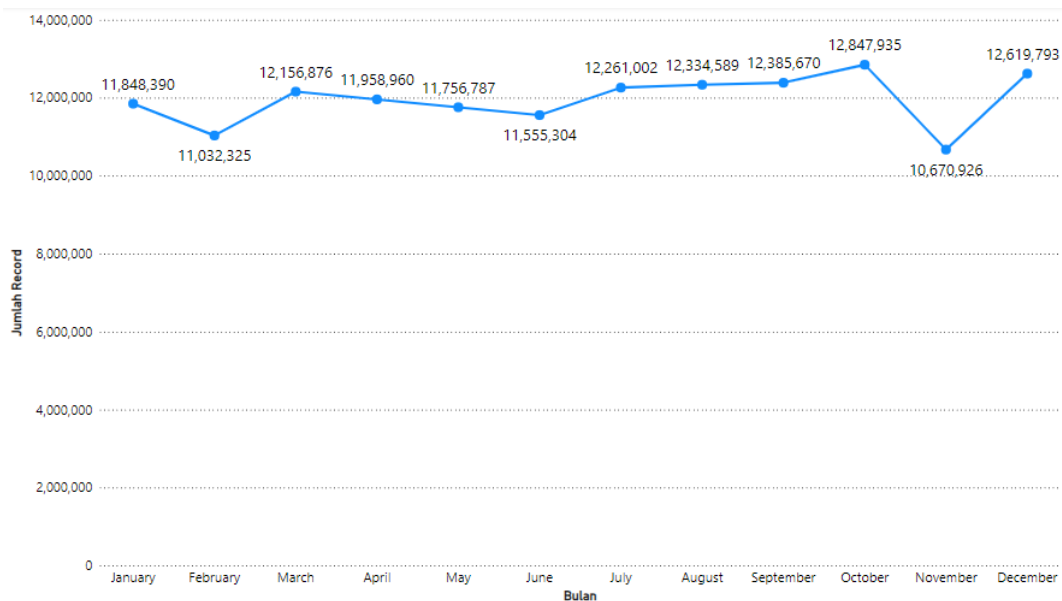
Proporsi Nilai Valid, *Default*, Invalid, dan *Missing* Record Data AIS Menurut Variabel (MMSI, IMO, Status Navigasi, Tipe Kapal, Negara Kapal, Lat, Long, dt_pos_utc)



Gambar 25. Proporsi Nilai Valid, *Default*, Invalid, dan *Missing* Record Menurut Variabel

Berdasarkan diagram pada Gambar 25 tersebut, terdapat tiga variabel atau fitur dengan nilai valid kurang dari 99%, yaitu IMO, status navigasi, dan bendera kapal. Sebesar 5,68% dari keseluruhan nilai IMO merupakan *missing value*, sedangkan status navigasi memiliki nilai invalid sebesar 3,69% dari keseluruhan datanya. Bendera negara juga memiliki beberapa nilai yang merupakan *missing value*, yaitu sekitar 1,38% dari keseluruhan datanya. Ini artinya perlu penanganan lebih lanjut terhadap nilai *missing*, *default*, dan invalid fitur IMO.

Pergerakan Anomali



Gambar 26. Jumlah Record yang Diindikasikan sebagai Pergerakan Anomali

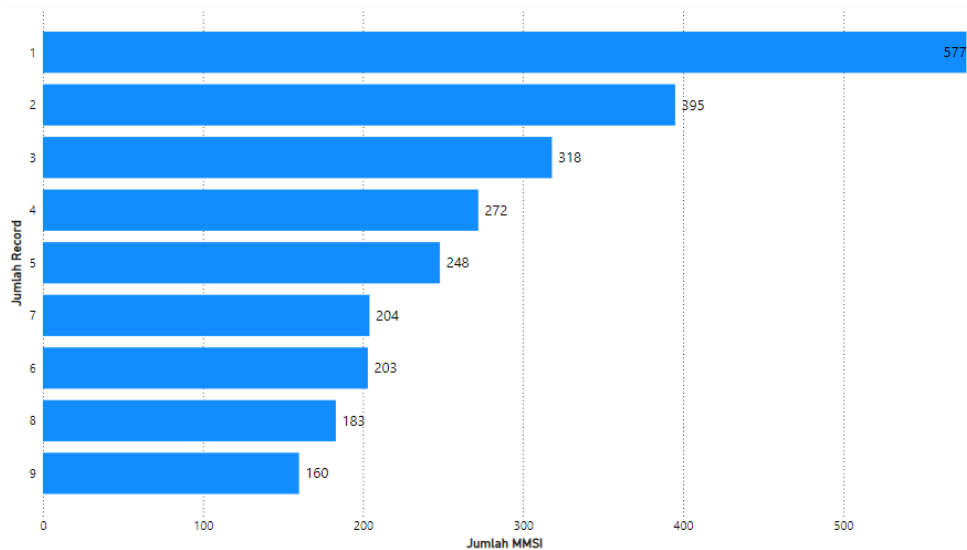
Records yang diindikasikan sebagai pergerakan anomali merupakan *records* dengan status navigasi dan SOG yang tidak selaras. Jadi, saat kapal memiliki status navigasi 'at anchor' dan 'moored' SOG bernilai lebih dari satu yang harusnya bernilai kurang dari satu, dan saat kapal memiliki status navigasi 'under way using

engine’, ‘engaged in fishing’, ‘under way sailing’, ‘restricted manoeuvrability’, ‘not under command’, dan ‘aground’ SOG bernilai kurang dari satu yang harusnya bernilai lebih dari satu.

Berdasarkan grafik pada Gambar 26, *records* yang diindikasikan sebagai pergerakan anomali memiliki pola fluktuatif. Artinya, terdapat bulan tertentu dengan jumlah *records* yang terindikasi sebagai pergerakan anomali yang sangat tinggi dan terdapat beberapa bulan lainnya dengan jumlah *records* yang terindikasi sebagai pergerakan anomali yang sangat rendah. Bulan dengan jumlah *records* yang terindikasi sebagai pergerakan anomali tertinggi adalah bulan Oktober, yaitu sebanyak 12.847.935 *records*, sedangkan bulan dengan jumlah *records* yang terindikasi sebagai pergerakan anomali terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 10.670.926 *records*.

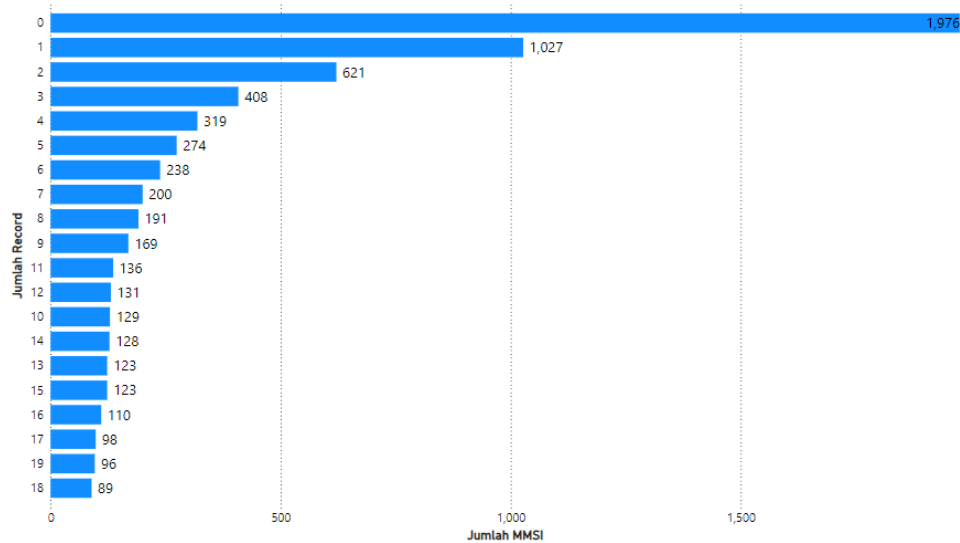
Kapal Diam

Kapal yang diindikasikan tidak bergerak atau diam sepanjang tahun memiliki karakteristik tertentu. Salah satunya adalah jumlah *records* dari kapal tersebut yang tidak lebih dari 10 *record* sepanjang tahun. Pada Gambar 27, terlihat bahwa terdapat sekitar 2.560 kapal yang terindikasi sebagai kapal diam. Jumlah *record* paling sedikit yang dikirimkan oleh kapal-kapal diam ini adalah 1 *record* dan paling banyak adalah 9 *record*.



Gambar 27. Jumlah MMSI yang Memiliki Jumlah *Record* Kurang dari 10

Selain itu, kapal yang diindikasikan tidak bergerak atau diam sepanjang tahun juga dapat diidentifikasi berdasarkan jumlah *record* dengan nilai SOG lebih dari 3 yang dimiliki kapal tersebut. Jika jumlahnya kurang dari 20, kapal tersebut diindikasikan tidak bergerak atau diam sepanjang tahun. Dari grafik pada Gambar 28, dapat dilihat bahwa terdapat sekitar 6.584 kapal yang terindikasi sebagai kapal diam. Dapat dilihat juga bahwa terdapat kapal yang sama sekali tidak memiliki *record* dengan nilai SOG lebih dari 3.



Gambar 28. Jumlah MMSI dengan SOG > 3 Kurang dari 20 Record

Secara keseluruhan, hasil dari penjaminan kualitas untuk data AIS adalah sebagai berikut.

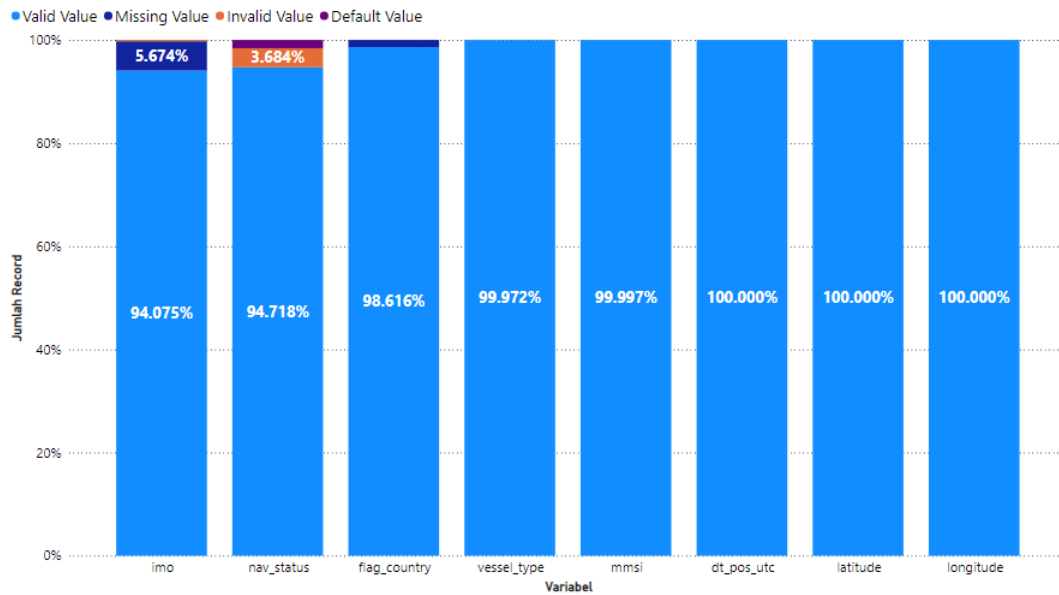
Tabel 9. Hasil Penjaminan Kualitas Data AIS

| Penjaminan Kualitas | Baik | Kurang Baik | Keterangan |
|--|------|-------------|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| <i>Records</i> Duplikat | | ✓ | Terdapat <i>records</i> yang merupakan <i>record</i> duplikat |
| Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO Unik menurut Status Navigasi | | ✓ | Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO unik tidak seimbang |
| Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO Unik menurut Tipe Kapal | | ✓ | Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO unik tidak seimbang |
| Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO Unik menurut Negara Kapal | | ✓ | Jumlah <i>records</i> dengan MMSI dan IMO unik tidak seimbang |
| Jumlah <i>records</i> dengan nilai <i>default</i> , <i>invalid</i> , <i>missing</i> menurut MMSI, IMO, <i>nav_status</i> , <i>vessel_type</i> , <i>flag_country</i> , <i>latitude</i> , <i>longitude</i> , <i>dt_pos_utc</i> | | ✓ | Terdapat fitur dengan nilai <i>default</i> , <i>invalid</i> , atau <i>missing value</i> |
| Pergerakan anomali | | ✓ | Banyaknya jumlah pergerakan anomali |
| Kapal diam | | ✓ | Terdapat kapal (MMSI) yang diindikasikan sebagai kapal diam |

Dapat disimpulkan bahwa kualitas data AIS masih belum baik. Karenanya, perlu dilakukan suatu SOP tahap *preprocessing* tertentu sebagai bentuk dari penjaminan kualitas data AIS.

Pertama, dilakukan penghapusan *record* duplikat. Tahap ini menyisakan sebanyak 1.766.897.772 *record*. Artinya, sebanyak 0,15% *record* telah berkurang dibandingkan jumlah *record* AIS yang sempat terdeteksi di Indonesia sepanjang tahun 2022 yang berjumlah 1.769.530.772 *record*. Pada tahap ini, masih terdapat fitur-fitur yang memiliki nilai *default*, *invalid*, *missing* seperti terlihat pada diagram Gambar 29.

Berdasarkan diagram tersebut, masih terdapat tiga variabel atau fitur dengan nilai valid kurang dari 99%, yaitu IMO, status navigasi, dan bendera kapal. Sebesar 5,67% dari keseluruhan nilai IMO merupakan *missing value*, sedangkan status navigasi memiliki nilai *invalid* sebesar 3,68% dari keseluruhan datanya. Bendera negara juga memiliki beberapa nilai yang merupakan *missing value*, yaitu sekitar 1,38% dari keseluruhan datanya. Selain itu, fitur MMSI sebagai fitur identitas perangkat AIS juga masih memiliki beberapa nilai *invalid*, yaitu sekitar 0,002% dari keseluruhan nilainya.

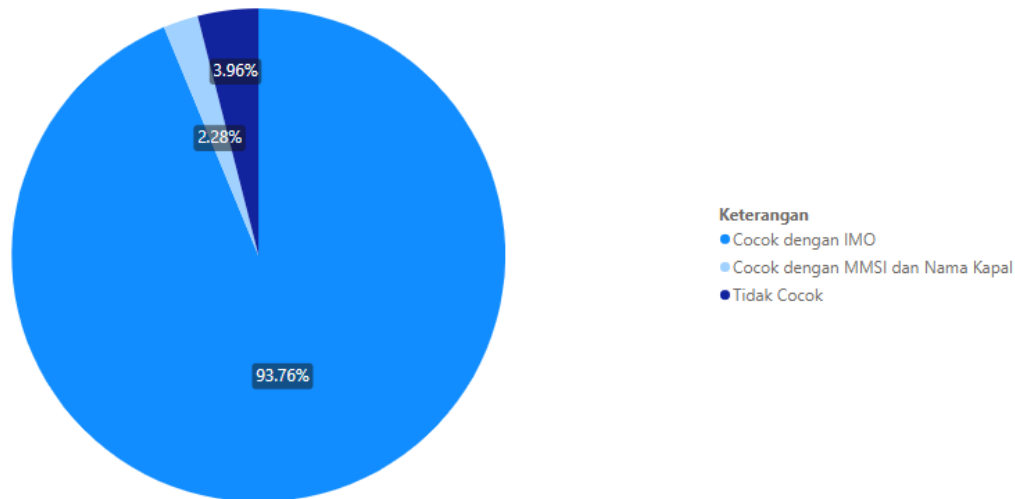


Gambar 29. Proporsi Nilai Valid, *Default*, Invalid, dan *Missing* Record Menurut Variabel

Untuk menangani hal tersebut, dilakukan penggabungan data AIS dengan data IHS sebagai bentuk *value handling* dari fitur IMO dan MMSI. Penggabungan data dilakukan dengan mencocokkan IMO serta MMSI dan nama kapal dengan kemiripan di atas 0,5 yang diukur menggunakan *cosine similarity* dengan rumus sesuai dengan persamaan (5). *Record* hasil penggabungan data AIS dan data IHS berjumlah 1.696.875.705 *record*. Artinya, sebanyak 4,11% *record* telah berkurang dibandingkan jumlah *record* AIS hasil penghapusan *record* duplikat yang berjumlah 1.766.897.772 *record*.

Grafik pada Gambar 30 menampilkan proporsi kecocokan data AIS dan data IHS. Pada grafik tersebut, dapat dilihat bahwa sebagian besar hasil penyocokkan data AIS dan data IHS merupakan hasil penyocokkan berdasarkan IMO, yaitu sebesar 1.656.571.464 *record* atau sebesar 93,76% dari 1.766.897.772 *record*. Kemudian, penyocokkan menggunakan MMSI dan nama kapal berhasil menyocokkan data AIS dan IHS sebanyak 40.304.241 *record* atau sebesar 2,28%

dari 1.766.897.772 *record*. Sisanya, sebanyak 70.022.067 *record* data AIS atau sebesar 3,96% dari 1.766.897.772 *record* tidak berhasil dicocokkan atau tidak cocok dengan data IHS.



Gambar 30. Proporsi Kecocokan Data AIS dan Data IHS

Pada Gambar 31, ditampilkan contoh *record* hasil pencocokan data AIS dan data IHS. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa dari hasil pencocokan menggunakan nama kapal dengan nilai *cosine similarity* atau kemiripan di atas 0,5 menghasilkan data AIS dengan nama kapal yang sangat mirip dengan data kapal IHS. Nama kapal data AIS dengan nilai *cosine similarity* yang paling rendah pada gambar, yaitu 0,75, terbukti memiliki nama kapal yang sama dengan nama kapal data IHS, tetapi dengan perbedaan spasi dan penggunaan huruf kapital.

| imo | mmsi | vessel_name | vessel_type | imo_ihs | mmsi_ihs | ShipName | ShipTypeLevel5 | similarity |
|---------|-----------|----------------------|-------------|---------|-----------|------------------------|----------------|--------------------|
| 9585716 | 533832000 | TEGUH 16501 | Tug | 9585716 | 533832000 | TEGUH 16501 | Tug | 0.9999999999999998 |
| 8775778 | 412329643 | LU WEI YUAN YU 868 | Fishing | 8775778 | 412329643 | LU WEI YUAN YU 868 | Fishing Vessel | 0.9999999999999998 |
| 8798330 | 412328741 | LU RONG YUAN YU 777 | Other | 8798330 | 412328741 | LU RONG YUAN YU 113 | Fishing Vessel | 0.7999999999999998 |
| 9937696 | 525201847 | TB AQUARIUS 1609 | Tug | 9937696 | 525201847 | AQUARIUS 1609 | Tug | 0.8164965809277259 |
| 9178032 | 525005392 | MAXIMUS 888 | Port Tender | 9178032 | 525005392 | MAXIMUS 888 | Tug | 0.9999999999999998 |
| 9254123 | 432282000 | SHOFUKU MARU NO.8 | Fishing | 9254123 | 432282000 | SHOFUKU MARU No. 8 | Fishing Vessel | 0.75 |
| 8678126 | 525022280 | TB.LIBERTY 3 | Tug | 8678126 | 525022280 | LIBERTY 3 | Tug | 0.8164965809277259 |
| 8775766 | 412329642 | LU WEI YUAN YU 858 | Fishing | 8775766 | 412329642 | LU WEI YUAN YU 858 | Fishing Vessel | 0.9999999999999998 |
| 9691993 | 416241800 | SHIN SHUEN FAR NO688 | Fishing | 9691993 | 416241800 | SHIN SHUEN FAR NO. 688 | Fishing Vessel | 0.6708203932499369 |
| 8548682 | 412440656 | FU YUAN YU YUN 688 | Cargo | 8548682 | 412440656 | FU YUAN YU YUN 688 | Fish Carrier | 0.9999999999999998 |
| 8921121 | 431702580 | SHOFUKU MARU NO88 | Fishing | 8921121 | 431702580 | SHOFUKU MARU No. 88 | Fishing Vessel | 0.5773502691896258 |
| 9955959 | 525301850 | TB FAREL 17 | Tug | 9955959 | 525301850 | FAREL 17 | Tug | 0.8164965809277259 |
| 8970794 | 576737000 | DA WEN | Fishing | 8970794 | 576737000 | DA WEN | Fishing Vessel | 0.9999999999999998 |
| 8798330 | 412328741 | LU RONG YUAN YU 777 | Other | 8798330 | 412328741 | LU RONG YUAN YU 113 | Fishing Vessel | 0.7999999999999998 |
| 4609086 | 548029500 | BRP RAMON ALCARAZ | Other | 4609086 | 548029500 | RAMON ALCARAZ | Patrol Vessel | 0.8164965809277259 |
| 8354392 | 525400644 | TB.KSA 87 | Tug | 8354392 | 525400644 | KSA 87 | Tug | 0.8164965809277259 |
| 9887839 | 525300935 | TB PRIMA SAKTI III | Towing | 9887839 | 525300935 | PRIMA SAKTI III | Tug | 0.8660254037844387 |
| 9785249 | 416004981 | CHUN FU FA NO.6 | Fishing | 9785249 | 416004981 | CHUN FU FA NO. 6 | Fishing Vessel | 0.9999999999999998 |
| 8874029 | 416842000 | AN SHENG | Fishing | 8874029 | 416842000 | AN SHENG | Fishing Vessel | 0.9999999999999998 |
| 9328833 | 533764000 | KENCANA MAKMUR 1 | Tug | 9328833 | 533764000 | KENCANA MAKMUR I | Tug | 0.6666666666666667 |

Gambar 31. Contoh *Record* Hasil Pencocokan Data AIS dan IHS Berdasarkan MMSI dan Nama Kapal

Kemudian, beberapa langkah filter diterapkan terhadap data AIS untuk mengeliminasi *default value*, *invalid value*, *missing value*, dan *noise* atau *outlier*, serta mendapatkan data yang terkait penelitian ini. Tabel 10 menunjukkan jumlah pesan AIS pada setiap tahap filter, mulai dari sebelum difilter hingga jumlah data setelah difilter, serta persentase pengurangan setiap tahap filter terhadap tahap sebelumnya.

Tabel 10. Jumlah Data AIS pada Setiap Tahap Filter

| Data | Jumlah Data AIS | Persentase Pengurangan |
|--|-----------------|------------------------|
| (1) | (2) | (3) |
| Pesan AIS cocok dengan Data IHS | 1.696.875.705 | - |
| Filter 1: MMSI Valid | 1.696.870.933 | 0,0000028% |
| Filter 2: IMO Valid | 1.696.870.933 | 0,0000000% |
| Filter 3: Status Navigasi Valid dan Relevan | 1.634.838.227 | 0,0365570% |
| Filter 4: Tipe Kapal Valid dan Relevan | 1.555.568.122 | 0,0467153% |
| Filter 5: Negara Kapal Valid dan Relevan | 1.535.096.720 | 0,0120642% |
| Filter 6: Latitude & Longitude Valid | 1.535.096.720 | 0,0000000% |
| Filter 7: dt_pos_utc Valid | 1.535.096.720 | 0,0000000% |
| Filter 8: Kapal yang Tidak Terindikasi Memiliki Pergerakan Anomali | 1.444.393.573 | 0,0534530% |
| Filter 9: MMSI dengan <i>record</i> ≥ 10 | 1.444.392.908 | 0,0000004% |
| Filter 10: MMSI dengan <i>sog</i> > 3 berjumlah ≥ 20 | 1.443.592.577 | 0,0004717% |

Pada Tabel 10, terlihat bahwa keseluruhan tahapan filter yang dilakukan mengurangi sekitar 0–0,05% dari data tahap sebelumnya. Pengurangan tertinggi terjadi pada filter kedelapan, keempat, dan ketiga. Pada filter kedelapan, dilakukan eliminasi kapal yang diindikasikan memiliki pergerakan anomali. Tahap ini mengurangi data sebesar 0,05%, yang pada tahap sebelumnya berjumlah 1.535.096.720 *record* menjadi 1.444.393.573 *record*. Terjadi pengurangan data yang cukup banyak pada tahap ini dikarenakan cukup banyaknya kapal yang diindikasikan memiliki pergerakan anomali terdeteksi pada tahun 2022. Pada filter keempat, dilakukan eliminasi kapal dengan tipe kapal yang tidak valid, di luar rentang 1-255, dan tidak relevan dengan penelitian, yaitu selain kapal dengan tipe ‘sailing’, ‘tanker’, ‘other’, ‘pleasure craft’, ‘passenger’, ‘fishing’, ‘port tender’, ‘dredging’, dan ‘cargo’. Tahap ini mengurangi data sebesar 0,047%, yang pada tahap sebelumnya berjumlah 1.634.838.227 *record* menjadi 1.555.568.122 *record*. Pada filter ketiga, dilakukan eliminasi kapal dengan tipe kapal yang tidak valid, di luar rentang 1-255, dan tidak relevan dengan penelitian, yaitu selain kapal dengan tipe ‘under way using engine’, ‘at anchor’, ‘engaged in fishing’, ‘under way sailing’, ‘restricted manoeuvrability’, dan ‘moored’. Tahap ini mengurangi data sebesar 0,037%, yang pada tahap sebelumnya berjumlah 1.696.870.933 *record* menjadi 1.634.838.227 *record*.

Selain itu, ada beberapa filter yang tidak memberikan dampak terhadap jumlah data AIS atau hanya mengurangi sedikit jumlah data AIS dari tahap filter sebelumnya, yaitu filter 1, filter 2, filter 6, filter 7, dan filter 9. Filter 1 dan filter 2 tidak banyak mengurangi data AIS dari data pada tahap filter sebelumnya karena fitur IMO dan MMSI telah dilakukan *handling* pada nilainya dengan melakukan

penggabungan data AIS dan data IHS. Untuk filter 7 dan filter 8, sesuai dengan Gambar 29, fitur latitude, longitude, dan dt_pos_utc tidak memiliki nilai *default*, *invalid*, dan *missing value*. Artinya, ketiga fitur ini memiliki nilai yang telah sesuai dengan format yang telah ditentukan. Terakhir, untuk filter 9, jumlah kapal diam dengan karakteristik memiliki *record* kurang dari 10 tidak terlalu banyak, sesuai dengan yang diilustrasikan pada grafik Gambar 27.

4.3 Pembangunan Algoritma Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia

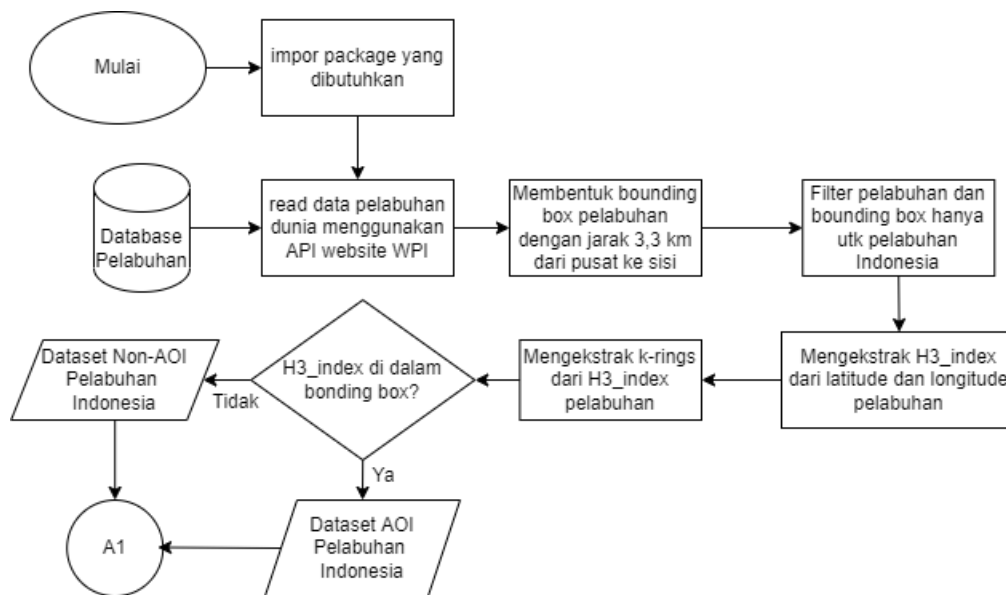
Penentuan Area of Interest dan Non Area of Interest dengan Distance-Based Area of Interest

Fokus area dari aktivitas perkapalan adalah pelabuhan. Untuk menentukan batas dari area pelabuhan, digunakan pendekatan berdasarkan jarak (*Distance-Based Area*) yang telah ditentukan sebelumnya. Implementasinya adalah menggambarkan sebuah persegi yang berpusat pada koordinat pelabuhan, dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 3,3 km untuk pelabuhan yang berada di Indonesia. Berikut adalah gambar *Area of Interest* dari 123 pelabuhan di Indonesia.



Gambar 32. *Distance-Based Area of Interest* Pelabuhan Indonesia

Agar arus keluar dan masuk pelabuhan dapat teridentifikasi dengan baik, ditentukan juga area selain dari fokus area (pelabuhan). Area ini merupakan area yang berada di sekitar pelabuhan. Tahapan penentuan AOI dan Non-AOI terdapat pada *flowchart* berikut.



Gambar 33. *Flowchart* Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Indonesia dengan *Distance-Based*

Langkah pertama dari penentuan AOI dan Non-AOI menggunakan *Distance-Based Area of Interest* ini adalah membaca data pelabuhan yang disediakan pada WPI. Kemudian, dilakukan pembentukan *bounding box* dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 3,3 km untuk pelabuhan Indonesia. Dari lintang dan bujur pelabuhan yang ada, diekstrak indeks H3 resolusi 8. Hasil ekstraksi indeks H3 resolusi 8 tersebut kemudian diberi label sesuai dengan daerahnya. Jika indeks H3 resolusi 8 yang telah diekstrak berada di dalam pelabuhan, area tersebut dilabeli sebagai *Area of Interest* dan jika indeks H3 resolusi 8 yang telah diekstrak berada di luar pelabuhan, area tersebut dilabeli

sebagai *Non Area of Interest*. *Area of Interest* dan *Non Area of Interest* yang dihasilkan kemudian disimpan dalam dataset yang berbeda.

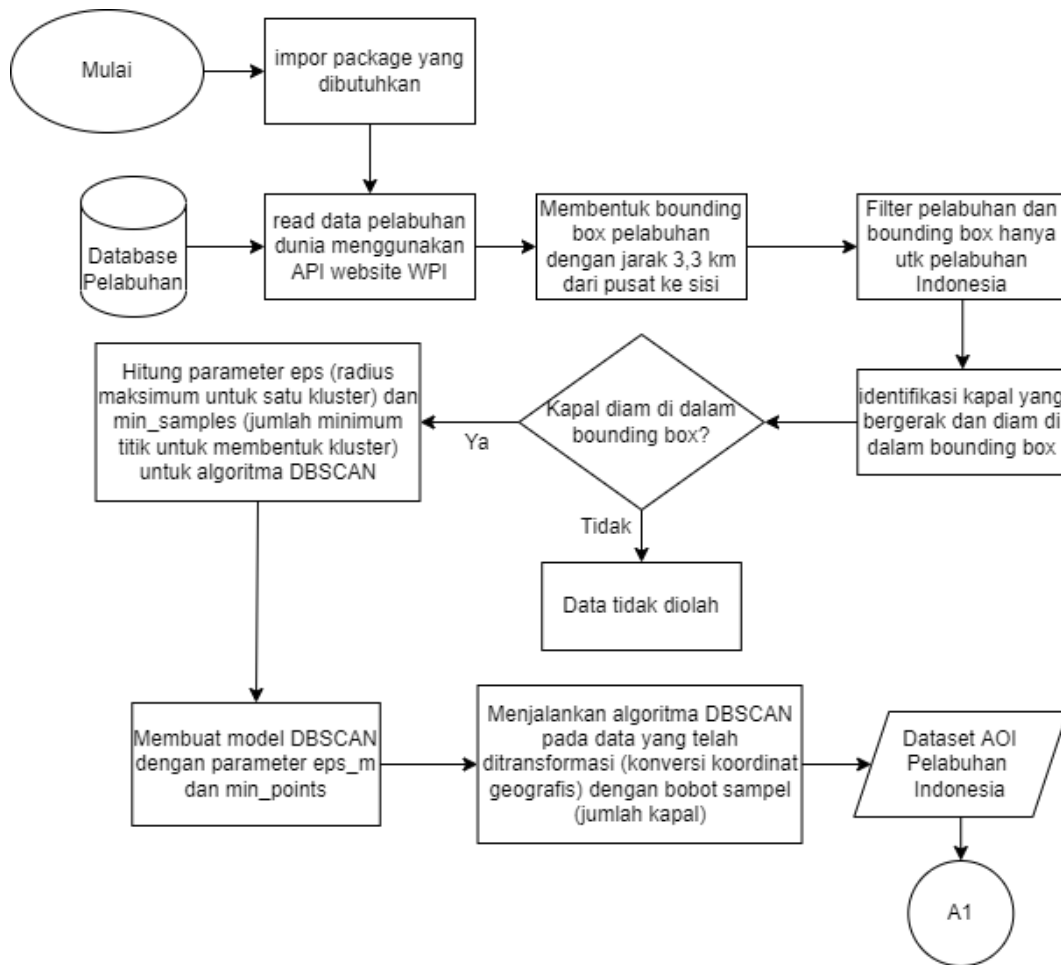
Penentuan *Area of Interest* dan *Non Area of Interest* dengan *Cluster-Based Area of Interest*

Selain menggunakan *Distance-Based*, penentuan batas dari area pelabuhan juga menggunakan pendekatan berdasarkan kluster (*Cluster-Based Area*) yang telah ditentukan sebelumnya. Implementasinya adalah menggambarkan sebuah poligon berdasarkan pengelompokan pesan-pesan AIS yang berada di sekitar pelabuhan menggunakan algoritma DBSCAN. Berikut adalah gambar *Area of Interest* dari 123 pelabuhan di Indonesia.



Gambar 34. *Cluster-Based Area of Interest* Pelabuhan Indonesia

Area selain dari fokus area (pelabuhan) atau area yang berada di sekitar pelabuhan juga dibentuk pada tahap ini. Tahapan penentuan AOI dan Non-AOI terdapat pada *flowchart* berikut.



Gambar 35. *Flowchart* Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Indonesia dengan *Cluster-Based*

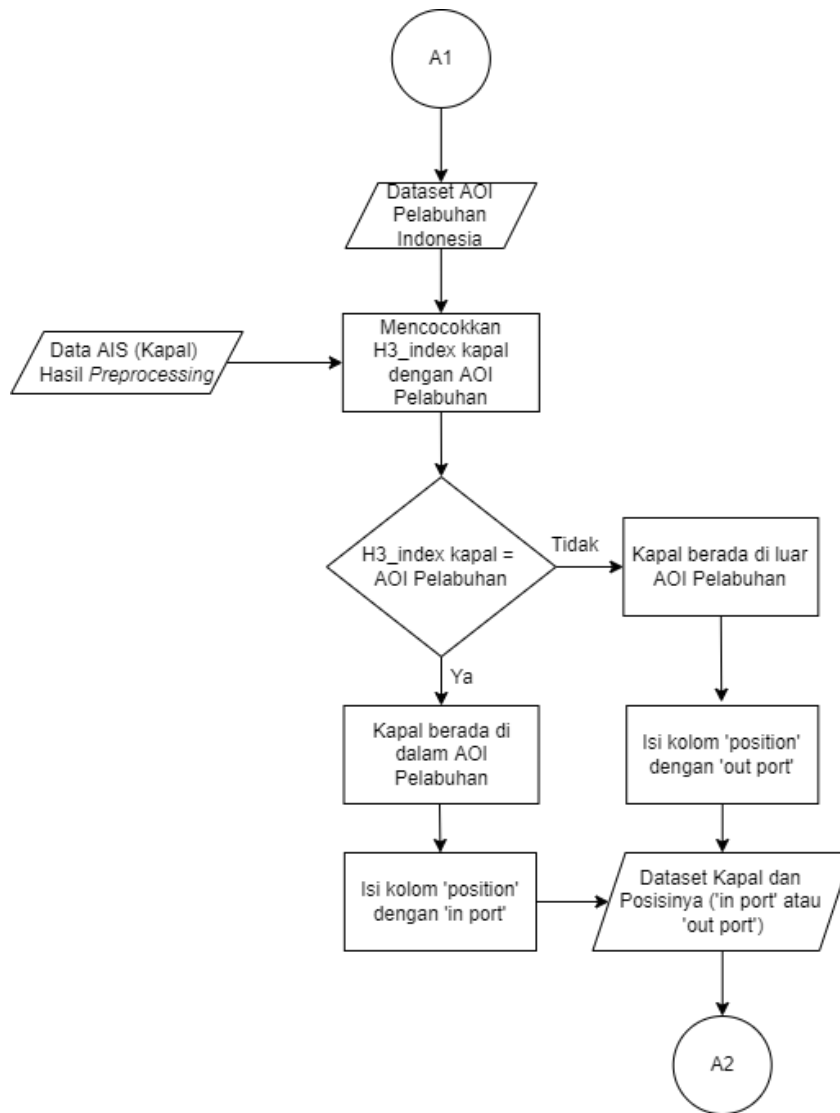
Langkah pertama dari penentuan AOI dan Non-AOI menggunakan *Cluster-Based Area of Interest* ini adalah membaca data pelabuhan yang disediakan pada WPI. Kemudian, dilakukan pembentukan *bounding box* dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 3,3 km untuk pelabuhan Indonesia. Dari *bounding box* yang telah dibuat, dilakukan identifikasi kapal yang bergerak dan diam di dalamnya. Jika terdapat kapal yang diam di dalam *bounding box* tersebut, data kapal tersebut dijadikan untuk menghitung parameter eps, yaitu radius maksimum untuk suatu kluster, dan parameter min_points, yaitu jumlah minimum titik untuk membentuk kluster. Parameter eps pada algoritma ini adalah panjang sisi

rata-rata dari index H3 resolusi 8 dan parameter *min_points*nya adalah frekuensi dari indeks H3 resolusi 8 dengan jumlah titik lokasi terendah, tetapi merupakan bagian dari indeks H3 resolusi 8 teratas yang mencakup persentase tinggi dari total frekuensi. Parameter-parameter tersebut kemudian digunakan untuk membuat model DBSCAN. Model DBSCAN yang telah terbentuk akan dijalankan pada data kapal yang telah ditransformasi koordinat geografisnya. Hasilnya adalah *Area of Interest* yang kemudian disimpan dalam sebuah dataset.

Mendeteksi Posisi Kapal

Dalam mendeteksi posisi dari kapal, fitur H3 index, yang pada penelitian ini menggunakan resolusi 8, yang disediakan oleh data AIS sangat bermanfaat. H3 index memetakan permukaan bumi dengan segi enam. Karena tujuannya adalah untuk mengetahui arus kapal pada suatu pelabuhan serta lamanya waktu yang dihabiskan pada suatu pelabuhan, posisi kapal yang dideteksi berfokus pada AOI dan Non-AOI yang telah ditentukan.

Tahap pertama yang dilakukan pada deteksi posisi kapal adalah menyamakan indeks H3 resolusi 8 kapal dari masing-masing *record* dan indeks H3 resolusi 8 pelabuhan. Kemudian, *record-record* tersebut akan diberi label sesuai dengan ketentuan. Jika nilai indeks H3 resolusi 8 kapal dari suatu *record* dan indeks H3 resolusi 8 pelabuhan sama, maka *record* tersebut diberi label ‘in port’, dan jika tidak, maka *record* tersebut diberi label ‘out port’. Tahapan penentuan posisi kapal ini diilustrasikan pada *flowchart* berikut.



Gambar 36. *Flowchart* Penentuan Posisi Kapal

Penentuan Arus Masuk-Keluar Kapal

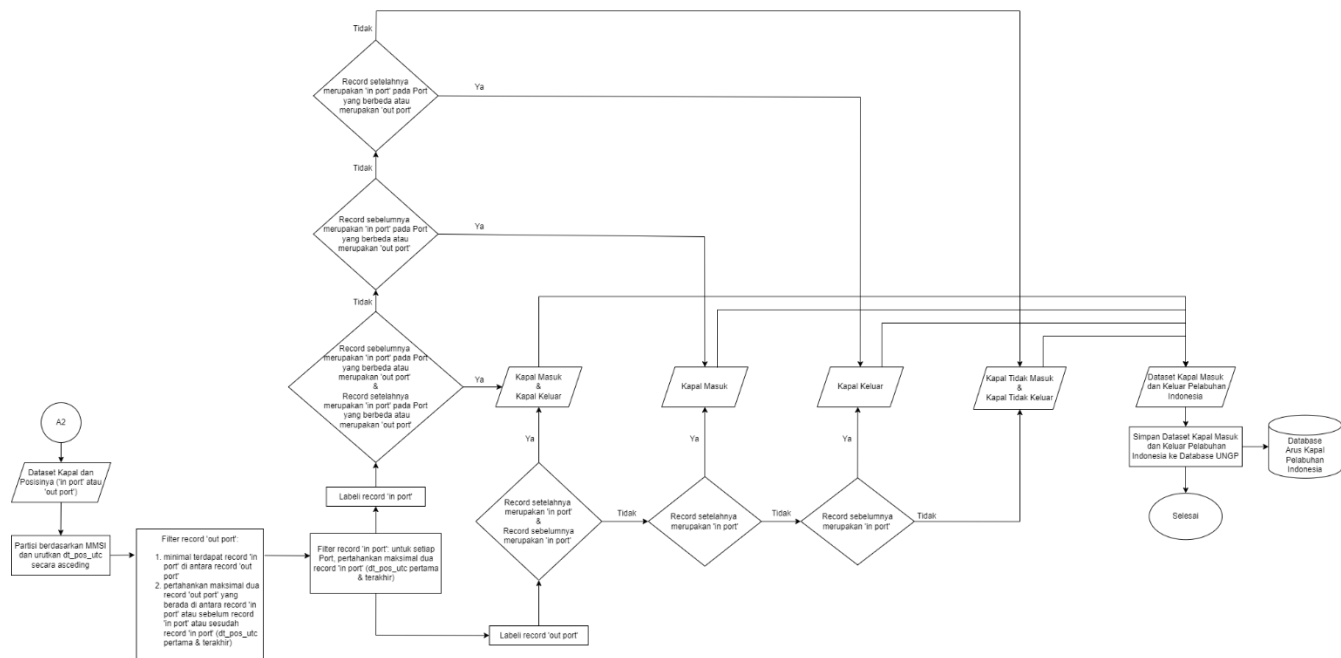
Tahap ini merupakan tahap akhir dari pembentukan algoritma arus masuk-keluar pelabuhan Indonesia. Setelah posisi suatu kapal telah dikonfirmasi berada di dalam atau luar pelabuhan, ditentukan arus dari kapal tersebut. Kapal yang terdeteksi berada di luar pelabuhan dahulu kemudian di dalam pelabuhan setelahnya, digolongkan sebagai kapal yang masuk ke pelabuhan. Sebaliknya, kapal

yang terdeteksi berada di dalam pelabuhan dahulu kemudian di luar pelabuhan setelahnya, digolongkan sebagai kapal yang keluar dari pelabuhan.

Secara rinci, tahap penentuan arus masuk-keluar kapal melalui tahapan yang panjang. Tahap pertama adalah melakukan partisi terhadap *record-record* yang ada berdasarkan MMSI dan mengurutkan *record-record* tersebut secara *ascending* menurut waktunya (*dt_pos_utc*). Kemudian, dilakukan filter terhadap *record* yang telah dipartisi dan diurutkan tersebut. *Record* dengan label ‘out port’ dipilih dengan ketentuan bahwa dalam MMSI yang sama terdapat minimal satu *record* lain dengan label ‘in port’. Jika kondisi tersebut telah terpenuhi, dipilih maksimal dua *record* label ‘out port’, yaitu yang berada tepat setelah dan sebelum *record* label ‘in port’. Untuk *record* dengan label ‘in port’, dipilih maksimal dua *record* pada masing-masing Pelabuhan, yaitu *record* dengan waktu terawal dan waktu terakhir.

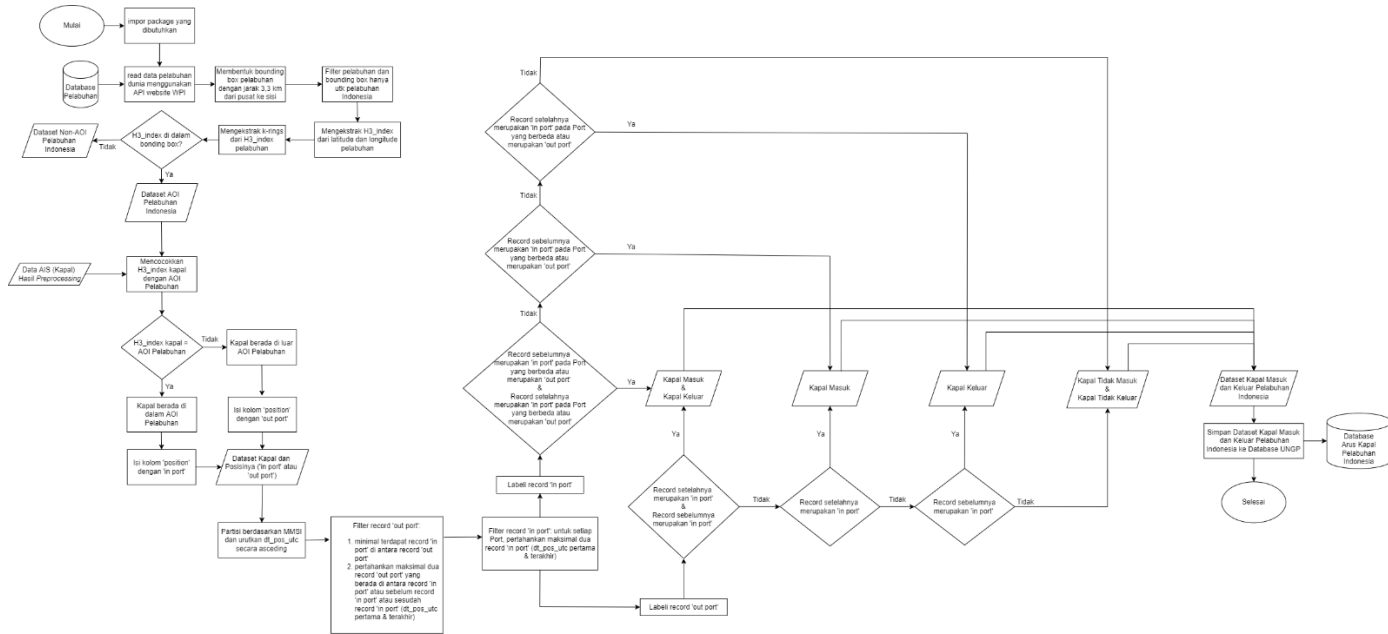
Kemudian, *record-record* yang telah difilter tersebut diberikan label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’ sesuai dengan ketentuan. Pemberian label didasarkan pada waktu masing-masing *record*. Untuk *record* label ‘in port’, jika *record* sebelumnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ dan *record* setelahnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’, *record* diberi label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’. Namun, jika salah satu dari kedua kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka *record* hanya akan diberikan salah satu label, ‘Masuk’ atau ‘Keluar’. Jika *record* sebelumnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ serta *record* setelahnya bukan merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda dan bukan merupakan ‘out port’, *record* diberi label ‘Masuk’. Jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ serta *record* sebelumnya

Untuk *record* label ‘out port’, jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ dan *record* sebelumnya merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’. Namun, jika salah satu dari kedua kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka *record* hanya akan diberikan salah satu label, ‘Masuk’ atau ‘Keluar’. Jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ dan *record* sebelumnya bukan merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Masuk’. Jika *record* sebelumnya merupakan ‘in port’ dan *record* setelahnya bukan merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Keluar’. Terakhir, setelah proses pelabelan selesai dilakukan, data arus masuk-keluar kapal disimpan dalam sebuah dataset. Tahapan penentuan arus kapal diilustrasikan pada *flowchart* berikut.



Gambar 37. *Flowchart* Penentuan Arus Kapal

Berdasarkan langkah-langkah tersebut, didapatkan jumlah kapal yang masuk-keluar pelabuhan Indonesia. Secara keseluruhan, tahapan pembentukan algoritma arus masuk-keluar pelabuhan Indonesia terdapat pada *flowchart* berikut.

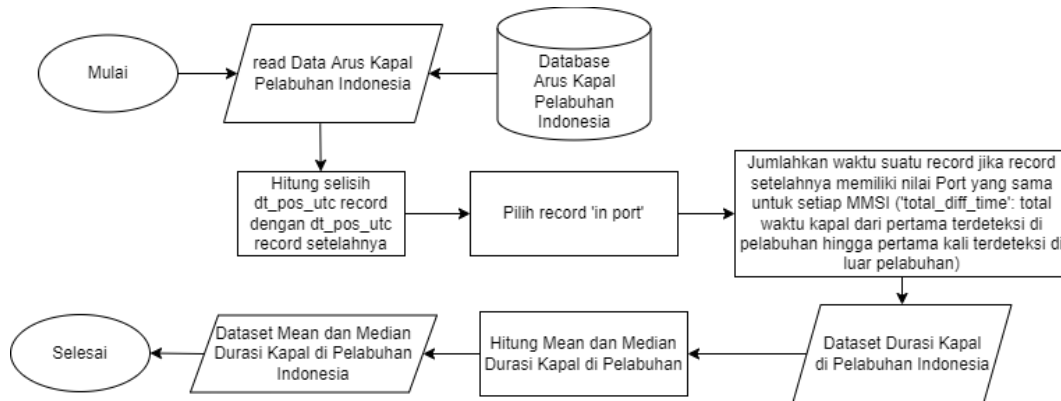


Gambar 38. *Flowchart* Algoritma Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia

4.4 Pembangunan Algoritma Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia

Penghitungan Waktu Kapal di Pelabuhan

Lamanya kapal di pelabuhan akan dihitung berdasarkan pesan AIS pertama yang diterima AIS base station, satelit, atau stasiun pantai saat kapal berada di pelabuhan dan pesan AIS pertama dan yang diterima AIS *base station*, satelit, atau stasiun pantai saat kapal berada di luar pelabuhan. Tahapan penghitungan waktu kapal di pelabuhan terdapat pada *flowchart* berikut.



Gambar 39. Flowchart Penghitungan Waktu Kapal di Pelabuhan

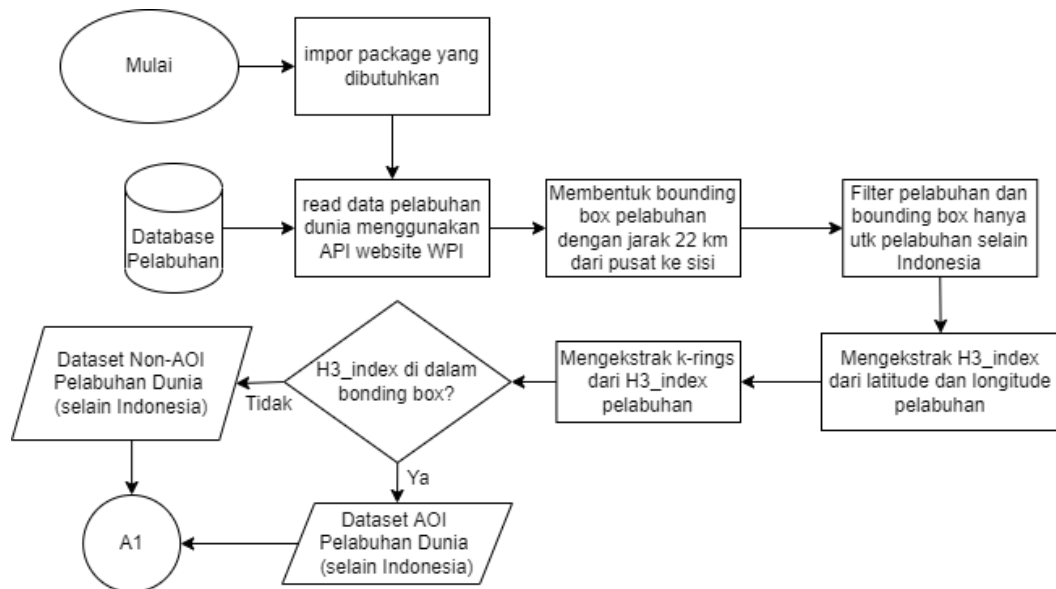
Tahap pertama yang dilakukan adalah membaca dataset arus kapal di pelabuhan Indonesia yang telah disimpan pada algoritma sebelumnya. Kemudian, dilakukan penghitungan selisih waktu masing-masing *record* dengan *record* setelahnya. Untuk proses penghitungan selanjutnya, *record* yang digunakan hanya *record* 'in port' sehingga tahap selanjutnya adalah memilih *record* dengan label 'in port'. Hasil penghitungan selisih waktu pada tahap sebelumnya kemudian dijumlahkan untuk setiap dua *record* berurutan pada pelabuhan yang sama. Hasil penjumlahan inilah yang disebut sebagai durasi kapal di pelabuhan dan disimpan dalam sebuah dataset. Dari durasi kapal yang telah dihitung, kemudian dihitung juga rata-rata dan median durasi kapal di pelabuhan.

4.5 Pembangunan Algoritma Deteksi Kunjungan Indonesia ke Luar Negeri

Tahapan pembangunan algoritma deteksi kunjungan Indonesia ke luar negeri kurang lebih sama dengan tahapan pembentukan algoritma arus masuk-keluar pelabuhan Indonesia. Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan.

Penentuan *Area of Interest* dan *Non Area of Interest* dengan *Distance-Based Area of Interest*

Tahapan penentuan AOI dan Non-AOI terdapat pada *flowchart* berikut.

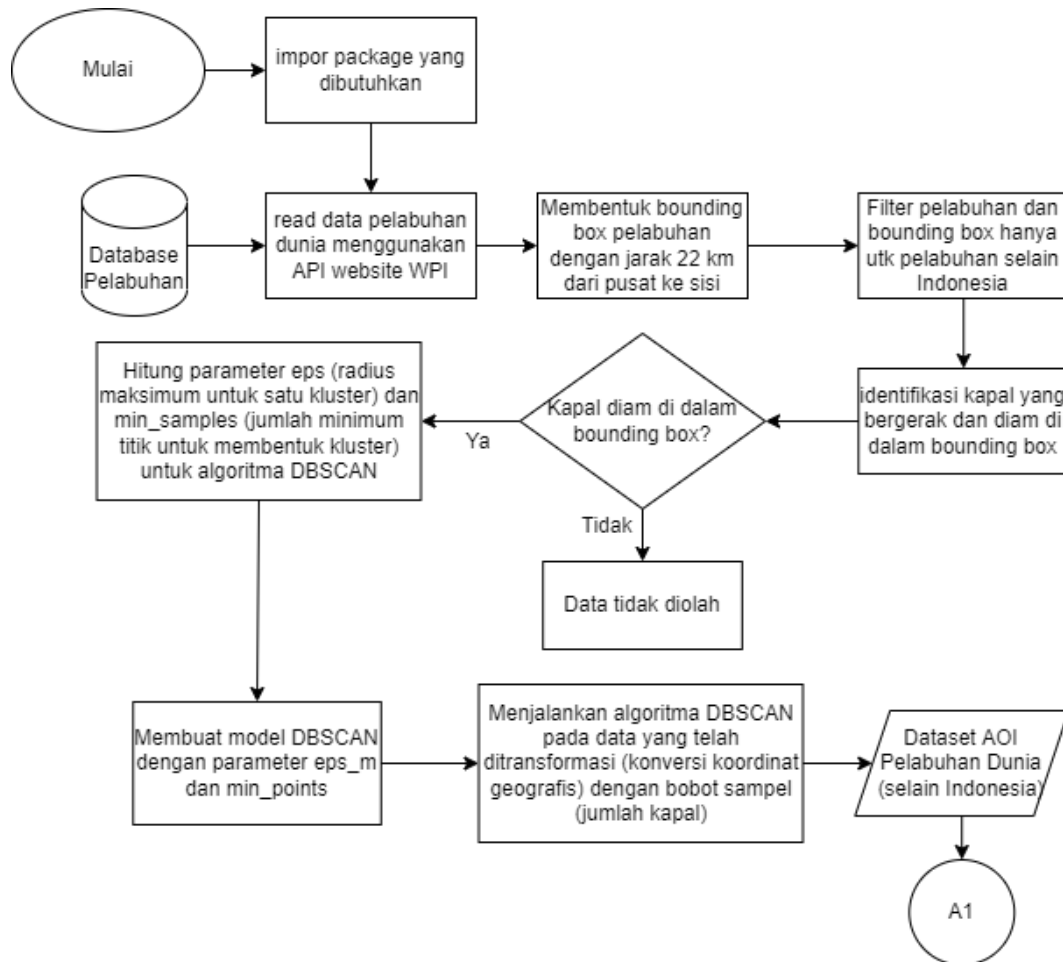


Gambar 40. *Flowchart* Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Dunia dengan *Cluster-Based*

Langkah pertama dari penentuan AOI dan Non-AOI menggunakan *Distance-Based Area of Interest* ini adalah membaca data pelabuhan yang disediakan pada WPI. Kemudian, dilakukan pembentukan *bounding box* dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 22 km untuk pelabuhan selain Indonesia. Dari lintang dan bujur pelabuhan yang ada, diekstrak indeks H3 resolusi 8. Hasil ekstraksi indeks H3 resolusi 8 tersebut kemudian diberi label sesuai dengan daerahnya. Jika indeks H3 resolusi 8 yang telah diekstrak berada di dalam pelabuhan, area tersebut dilabeli sebagai *Area of Interest* dan jika indeks H3 resolusi 8 yang telah diekstrak berada di luar pelabuhan, area tersebut dilabeli sebagai *Non Area of Interest*. *Area of Interest* dan *Non Area of Interest* yang dihasilkan kemudian disimpan dalam dataset yang berbeda.

Penentuan *Area of Interest* dan *Non Area of Interest* dengan *Cluster-Based Area of Interest*

Selain menggunakan *Distance-Based*, penentuan batas dari area pelabuhan juga menggunakan pendekatan berdasarkan kluster (*Cluster-Based Area*). Tahapan penentuan AOI dan Non-AOI terdapat pada *flowchart* berikut.



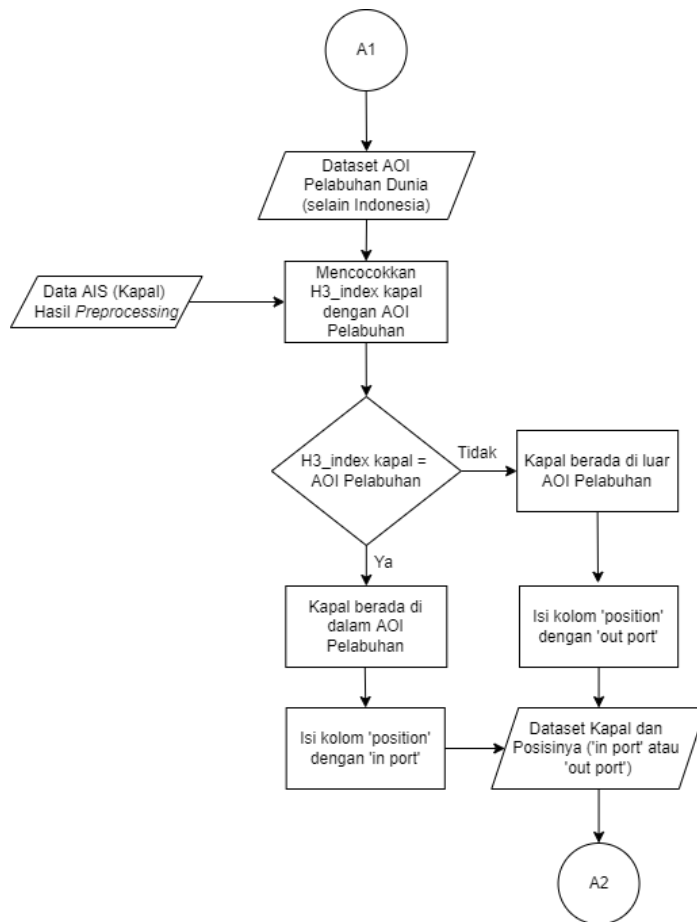
Gambar 41. *Flowchart* Penentuan AOI dan NonAOI Pelabuhan Dunia dengan *Cluster-Based*

Langkah pertama dari penentuan AOI dan Non-AOI menggunakan *Cluster-Based Area of Interest* ini adalah membaca data pelabuhan yang disediakan pada WPI. Kemudian, dilakukan pembentukan *bounding box* dengan jarak terpendek titik pusat terhadap sisi persegi adalah 22 km untuk pelabuhan selain Indonesia.

Dari *bounding box* yang telah dibuat, dilakukan identifikasi kapal yang bergerak dan diam di dalamnya. Jika terdapat kapal yang diam di dalam *bounding box* tersebut, data kapal tersebut dijadikan untuk menghitung parameter *eps*, yaitu radius maksimum untuk suatu klaster, dan parameter *min_points*, yaitu jumlah minimum titik untuk membentuk klaster. Parameter *eps* pada algoritma ini adalah panjang sisi rata-rata dari index H3 resolusi 8 dan parameter *min_points*nya adalah frekuensi dari indeks H3 resolusi 8 dengan jumlah titik lokasi terendah, tetapi merupakan bagian dari indeks H3 resolusi 8 teratas yang mencakup persentase tinggi dari total frekuensi. Parameter-parameter tersebut kemudian digunakan untuk membuat model DBSCAN. Model DBSCAN yang telah terbentuk akan dijalankan pada data kapal yang telah ditransformasi koordinat geografisnya. Hasilnya adalah *Area of Interest* yang kemudian disimpan dalam sebuah dataset.

Mendeteksi Posisi Kapal

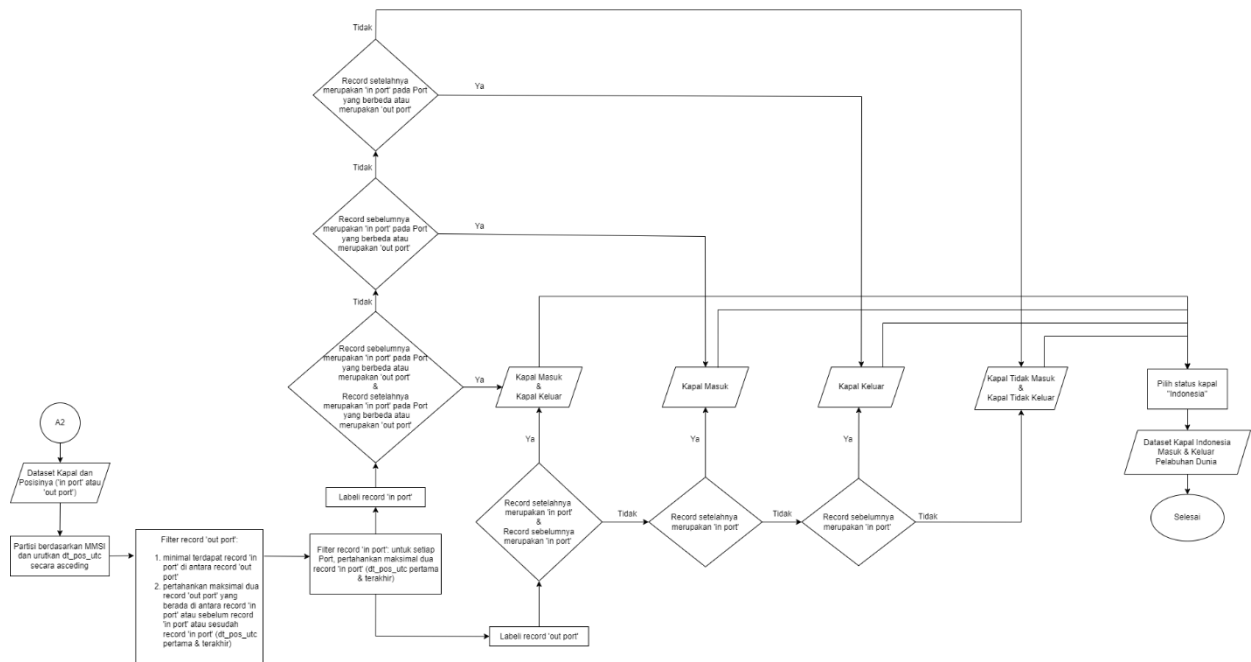
Tahap pertama yang dilakukan pada deteksi posisi kapal adalah menyamakan indeks H3 resolusi 8 kapal dari masing-masing *record* dan indeks H3 resolusi 8 pelabuhan. Kemudian, *record-record* tersebut akan diberi label sesuai dengan ketentuan. Jika nilai indeks H3 resolusi 8 kapal dari suatu *record* dan indeks H3 resolusi 8 pelabuhan sama, maka *record* tersebut diberi label ‘in port’, dan jika tidak, maka *record* tersebut diberi label ‘out port’. Tahapan penentuan posisi kapal ini diilustrasikan pada *flowchart* berikut.



Gambar 42. *Flowchart* Penentuan Posisi Kapal

Penentuan Arus Masuk-Keluar Kapal

Tahap ini merupakan tahap akhir dari pembentukan algoritma arus masuk-keluar pelabuhan dunia. Setelah posisi suatu kapal telah dikonfirmasi berada di dalam pelabuhan atau di luar pelabuhan, ditentukan arus dari kapal tersebut. Kapal yang terdeteksi berada di luar pelabuhan dahulu kemudian di dalam pelabuhan setelahnya, digolongkan sebagai kapal yang masuk ke pelabuhan. Sebaliknya, kapal yang terdeteksi berada di dalam pelabuhan dahulu kemudian di luar pelabuhan setelahnya, digolongkan sebagai kapal yang keluar dari pelabuhan. Tahapan penentuan arus kapal terdapat pada *flowchart* berikut.



Gambar 43. *Flowchart* Penentuan Arus Kapal

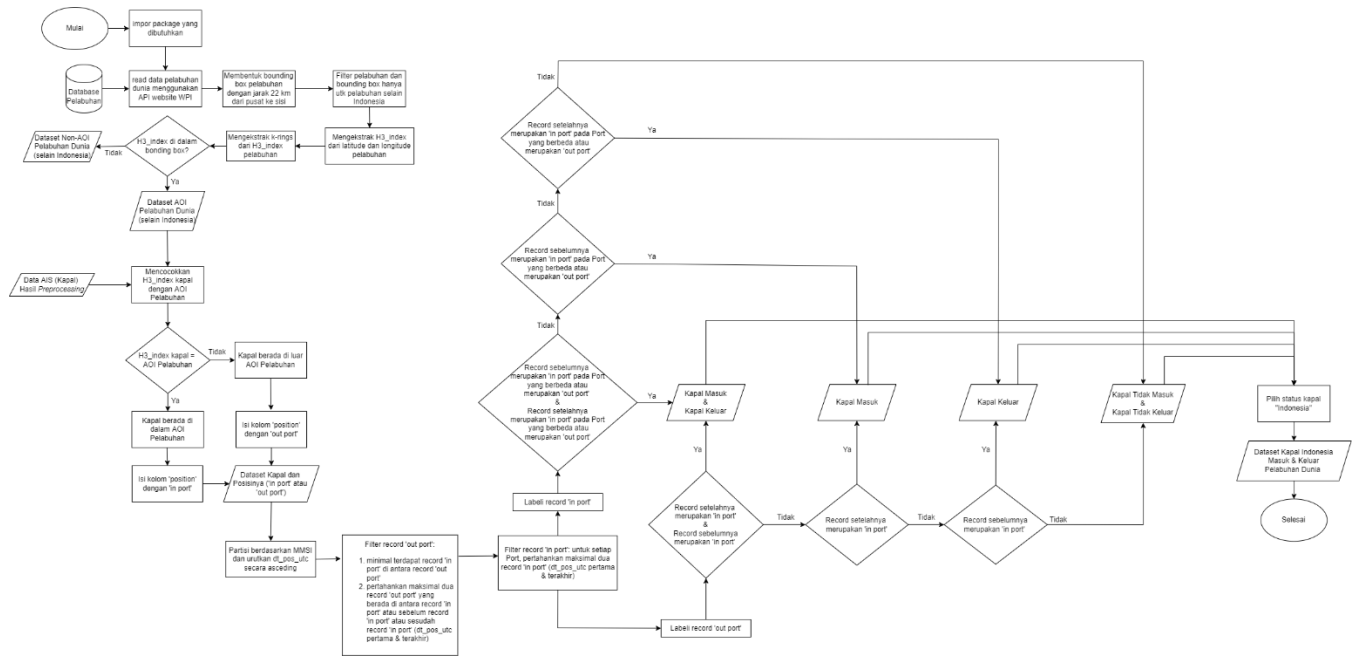
Secara rinci, tahap penentuan arus masuk-keluar kapal melalui tahapan yang panjang. Tahap pertama adalah melakukan partisi terhadap *record-record* yang ada berdasarkan MMSI dan mengurutkan *record-record* tersebut secara *ascending* menurut waktunya (*dt_pos_utc*). Kemudian, dilakukan filter terhadap *record* yang telah dipartisi dan diurutkan tersebut. *Record* dengan label 'out port' dipilih dengan ketentuan bahwa dalam MMSI yang sama terdapat minimal satu *record* lain dengan label 'in port'. Jika kondisi tersebut telah terpenuhi, dipilih maksimal dua *record* label 'out port', yaitu yang berada tepat setelah dan sebelum *record* label 'in port'. Untuk *record* dengan label 'in port', dipilih maksimal dua *record* pada masing-masing Pelabuhan, yaitu *record* dengan waktu terawal dan waktu terakhir.

Kemudian, *record-record* yang telah difilter tersebut diberikan label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’ sesuai dengan ketentuan. Pemberian label didasarkan pada waktu masing-masing *record*. Untuk *record* label ‘in port’, jika *record* sebelumnya

merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ dan *record* setelahnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’, *record* diberi label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’. Namun, jika salah satu dari kedua kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka *record* hanya akan diberikan salah satu label, ‘Masuk’ atau ‘Keluar’. Jika *record* sebelumnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ serta *record* setelahnya bukan merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda dan bukan merupakan ‘out port’, *record* diberi label ‘Masuk’. Jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda atau merupakan ‘out port’ serta *record* sebelumnya bukan merupakan ‘in port’ pada pelabuhan yang berbeda dan bukan merupakan ‘out port’, *record* diberi label ‘Keluar’.

Untuk *record* label ‘out port’, jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ dan *record* sebelumnya merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Masuk’ dan ‘Keluar’. Namun, jika salah satu dari kedua kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka *record* hanya akan diberikan salah satu label, ‘Masuk’ atau ‘Keluar’. Jika *record* setelahnya merupakan ‘in port’ dan *record* sebelumnya bukan merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Masuk’. Jika *record* sebelumnya merupakan ‘in port’ dan *record* setelahnya bukan merupakan ‘in port’, *record* diberi label ‘Keluar’. Terakhir, setelah proses pelabelan selesai dilakukan, data arus masuk-keluar kapal disimpan dalam sebuah dataset.

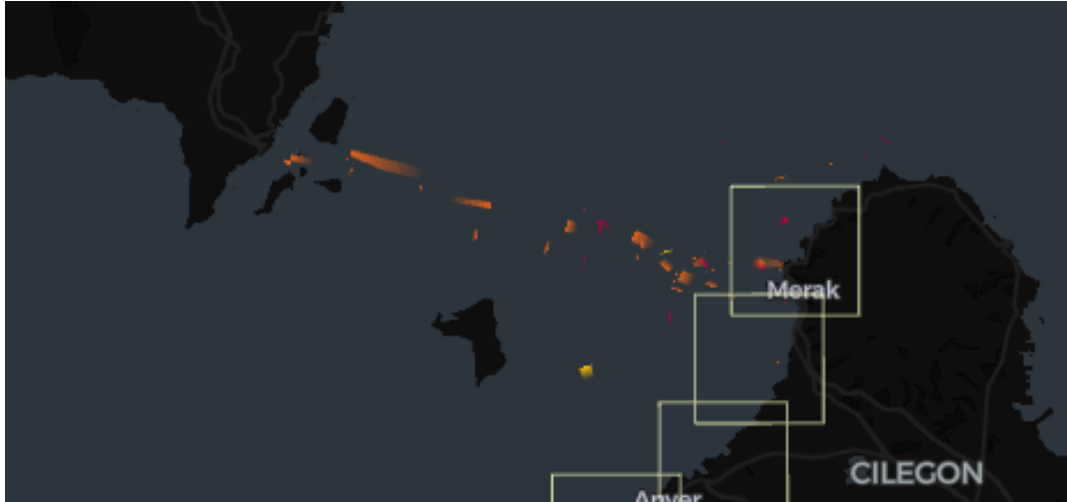
Berdasarkan langkah-langkah tersebut, didapatkan jumlah kapal yang masuk-keluar pelabuhan Indonesia. Secara keseluruhan, tahapan pembentukan algoritma deteksi kunjungan Indonesia ke luar negeri terdapat pada *flowchart* berikut.



Gambar 44. Flowchart Algoritma Deteksi Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri

4.6 Hasil Implementasi Algoritma Deteksi Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia

Visualisasi Pergerakan Kapal

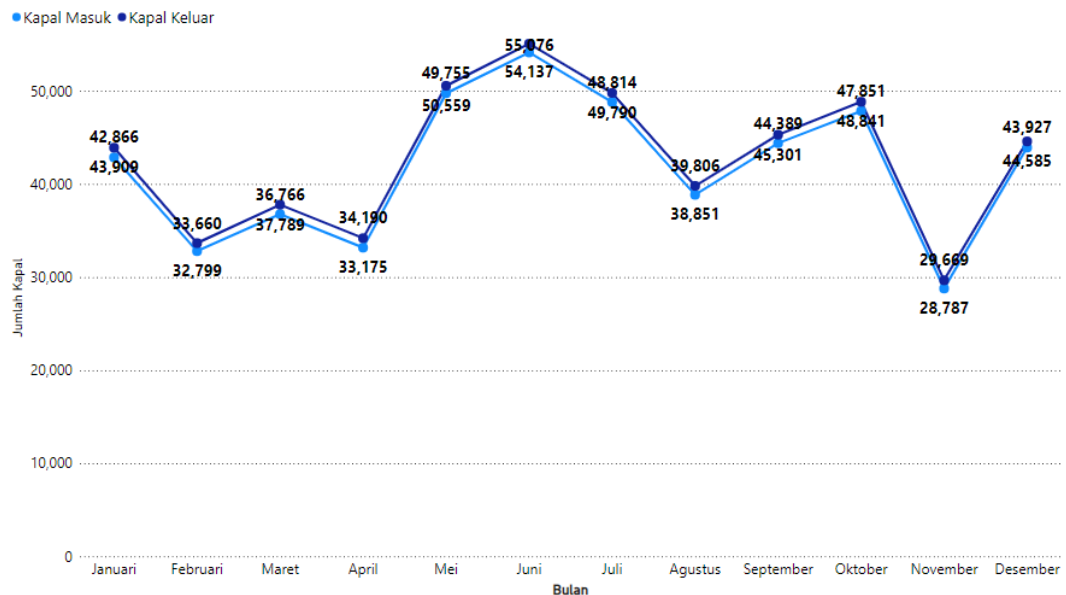


Gambar 45. Pergerakan Kapal antara Pelabuhan Merak dan Bekauheni

Pada Gambar 45, terdapat ilustrasi pergerakan kapal dari pelabuhan Merak dan Bekauheni. Dapat dilihat bahwa dalam satu waktu terdapat beberapa kapal yang bergerak sekaligus, baik dari pelabuhan Merak ke Bekauheni, ataupun dari pelabuhan Bekauheni ke Merak. Selain itu, kecepatan pergerakan dari kapal-kapal antara kedua pelabuhan tersebut juga beragam.

Analisis Deskriptif (*Distance-Based AOI*)

1. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan



Gambar 46. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan (*Distance-Based AOI*)

Dari grafik Gambar 46 di atas, terlihat bahwa jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia setiap bulannya selama 2022 cenderung berfluktuatif. Artinya, terdapat jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia yang sangat tinggi di bulan tertentu dan terdapat jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia yang sangat rendah di beberapa bulan lainnya. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia tertinggi adalah bulan Juni, yaitu sebanyak 54.137 kapal masuk dan sebanyak 55.076 kapal keluar. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 28.787 kapal masuk dan sebanyak 29.669 kapal keluar. Artinya, kapal banyak mengunjungi pelabuhan Indonesia pada bulan Juni dan paling sedikit mengunjungi pelabuhan Indonesia pada bulan November.

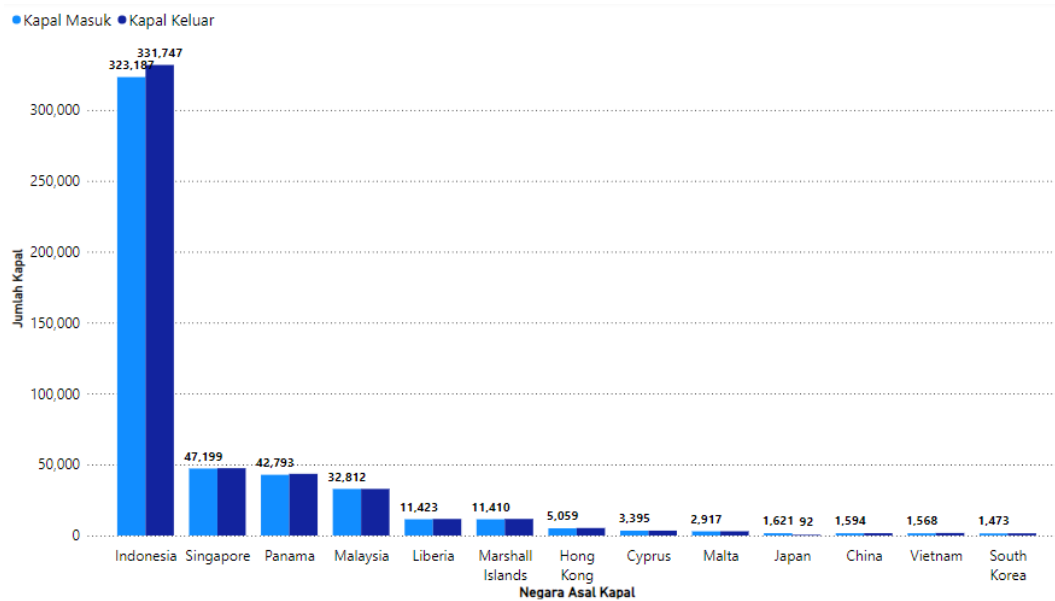
Dari grafik tersebut, terlihat juga adanya perbedaan antara jumlah kapal masuk dan jumlah kapal keluar. Perbedaan ini dikarenakan telah dilakukan eliminasi terhadap *record* yang memiliki selisih waktu yang besar dengan *record* setelahnya. Selisih maksimum waktu antar-*record* adalah 72 jam. Selain itu, eliminasi juga dilakukan pada kapal yang berada lebih dari 72 jam dalam suatu pelabuhan. Hal ini mengakibatkan jumlah kapal masuk lebih sedikit daripada jumlah kapal keluar. Waktu selisih 72 jam digunakan dengan pertimbangan waktu tersebut cukup untuk merepresentasikan waktu terlama yang dihabiskan suatu kapal. Berdasarkan hasil *ground check* atau observasi lapangan yang dilakukan di pelabuhan Merak, untuk kapal penumpang (Passanger), waktu yang dibutuhkan dari kapal berlabuh di pelabuhan kemudian memuat penumpang hingga berangkat kembali maksimal adalah 1,5 jam.

Berikut, pada Gambar 47, ditampilkan contoh *record* dengan selisih waktu yang besar dengan *record* setelahnya.

| mmsi | Port | dt_pos_utc | fc_vessel | sc_vessel | vessel_type | ns_vessel | draught |
|-----------|-------------------|---------------------|-----------|-----------|----------------|------------------------|---------|
| 525020039 | Jakarta | 2022-02-04 02:23:02 | Indonesia | Indonesia | Sailing | Underway Sailing | 3.9 |
| 525020039 | Ardjuna Oil Field | 2022-12-05 14:03:05 | Indonesia | Indonesia | Pleasure Craft | Underway Sailing | 3.9 |
| mmsi | Port | dt_pos_utc | fc_vessel | sc_vessel | vessel_type | ns_vessel | draught |
| 525006283 | Samarinda | 2022-04-03 02:14:55 | Indonesia | Indonesia | Cargo | Underway Sailing | 4.4 |
| 525006283 | Jakarta | 2022-12-30 01:34:44 | Indonesia | Indonesia | Cargo | Underway Sailing | 4.4 |
| mmsi | Port | dt_pos_utc | fc_vessel | sc_vessel | vessel_type | ns_vessel | draught |
| 525100031 | Tanjungpinang | 2022-04-06 07:35:04 | Indonesia | Indonesia | Tanker | Under Way Using Engine | 2.7 |
| 525100031 | null | 2022-12-28 08:59:16 | Indonesia | Indonesia | Tanker | Under Way Using Engine | 2.7 |

Gambar 47. Contoh *Record* dengan Selisih Waktu yang Besar dengan *Record* Setelahnya

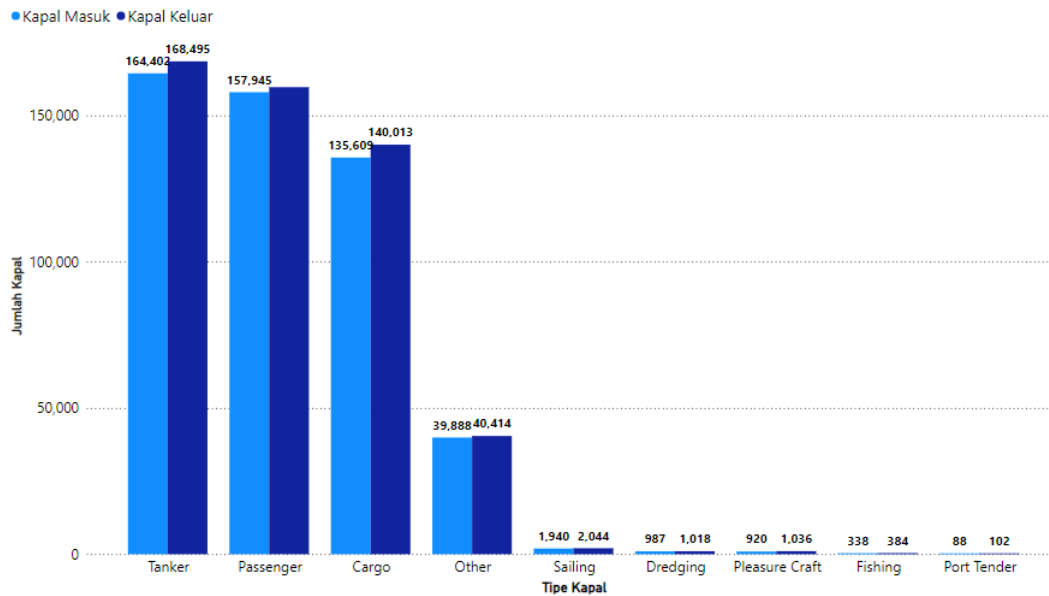
2. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal



Gambar 48. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (*Distance-Based AOI*)

Kemudian, jika dilihat berdasarkan negara asalnya, seperti yang ditunjukkan pada diagram Gambar 48, negara yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan Indonesia menggunakan kapal adalah negara Singapura, diikuti dengan Panama dan Malaysia. Jumlah kapal asal Singapura yang masuk ke pelabuhan Indonesia berjumlah sekitar 47.199 kapal, sedangkan jumlah kapal masuk asal Panama dan Malaysia berturut-turut adalah 42.793 dan 32.812 kapal.

3. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal

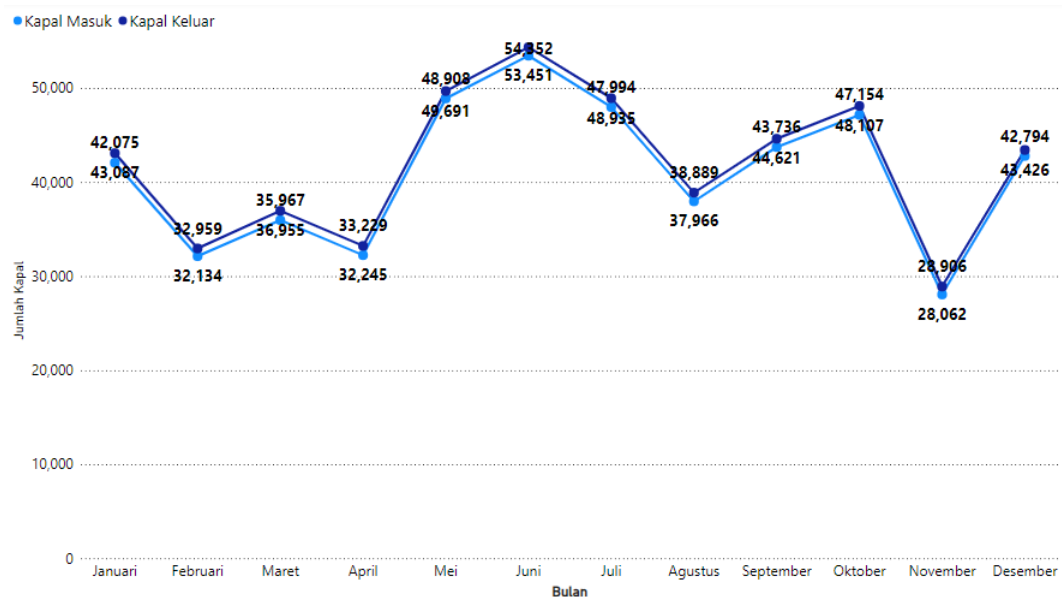


Gambar 49. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (*Distance-Based AOI*)

Lalu, jika dilihat berdasarkan tipe kapalnya, seperti yang ditunjukkan diagram Gambar 49, tipe kapal yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan Indonesia adalah kapal ‘Tanker’, diikuti dengan kapal ‘Passenger’ dan ‘Cargo’. Jumlah kapal ‘Tanker’ yang masuk ke pelabuhan Indonesia berjumlah sekitar 164.402 kapal, sedangkan jumlah kapal ‘Passenger’ dan ‘Cargo’ yang masuk ke pelabuhan Indonesia berturut-turut adalah 157.945 dan 135.609 kapal.

Analisis Deskriptif (*Cluster-Based AOI*)

1. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan

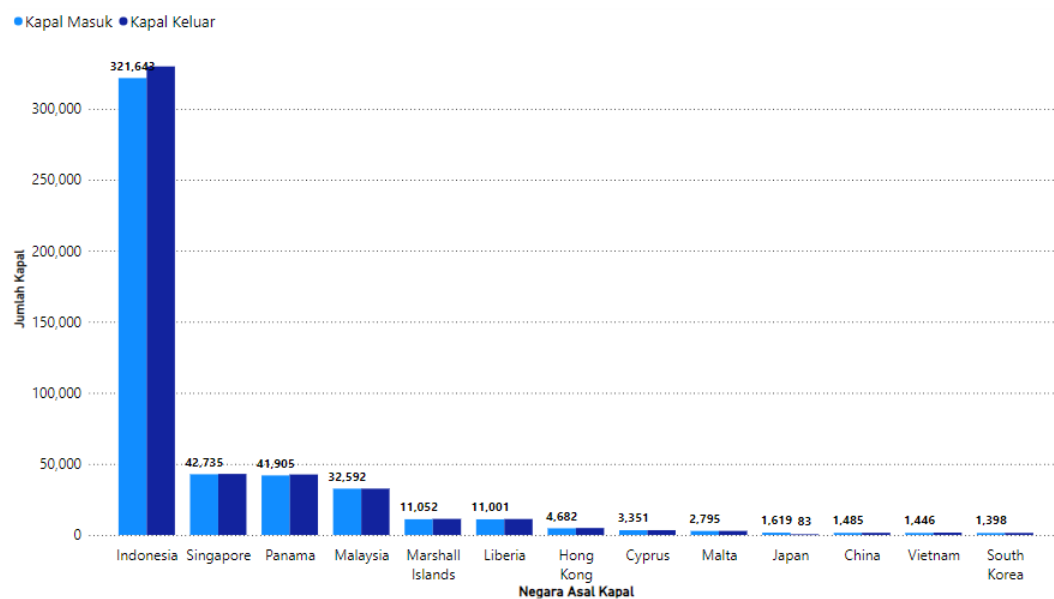


Gambar 50. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia per Bulan (*Cluster-Based AOI*)

Dari grafik Gambar 50 di atas, terlihat bahwa jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia setiap bulannya selama 2022 cenderung berfluktuatif. Artinya, terdapat jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia yang sangat tinggi di bulan tertentu dan terdapat jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia yang sangat rendah di beberapa bulan lainnya. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia tertinggi adalah bulan Juni, yaitu sebanyak 53.451 kapal masuk dan sebanyak 54.352 kapal keluar. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 28.062 kapal masuk dan sebanyak 28.906 kapal keluar. Artinya, kapal banyak mengunjungi pelabuhan Indonesia pada bulan Juni dan paling sedikit mengunjungi pelabuhan Indonesia pada bulan November. Seperti

yang telah dijelaskan sebelumnya, waktu yang dihabiskan kapal di pelabuhan yang bernilai lebih dari 72 jam telah dieliminasi dari data sehingga terdapat perbedaan jumlah kapal masuk dan kapal keluar.

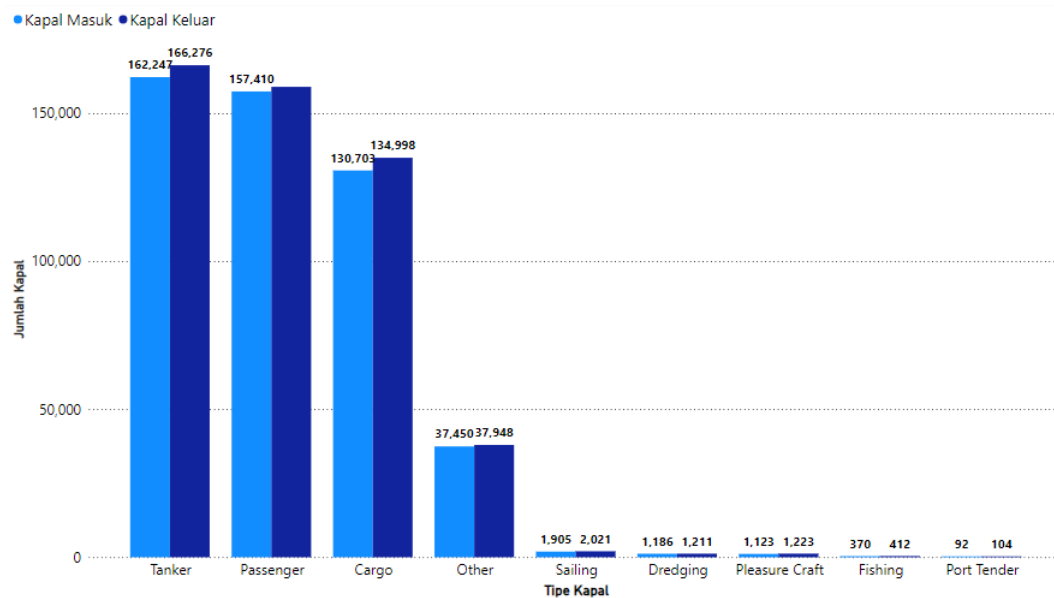
2. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal



Gambar 51. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (*Cluster-Based AOI*)

Kemudian, jika dilihat berdasarkan negara asalnya, seperti yang ditunjukkan pada diagram Gambar 51, negara yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan Indonesia menggunakan kapal adalah negara Singapura, diikuti dengan Panama dan Malaysia. Jumlah kapal asal Singapura yang masuk ke pelabuhan Indonesia berjumlah sekitar 321.643 kapal, sedangkan jumlah kapal masuk asal Panama dan Malaysia berturut-turut adalah 42.735 dan 41.905 kapal.

3. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal



Gambar 52. Jumlah Kapal Masuk-Keluar Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal
(Cluster-Based AOI)

Lalu, jika dilihat berdasarkan tipe kapalnya, seperti yang ditunjukkan diagram Gambar 52, tipe kapal yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan Indonesia adalah kapal ‘Tanker’, diikuti dengan kapal ‘Passenger’ dan ‘Cargo’. Jumlah kapal ‘Tanker’ yang masuk ke pelabuhan Indonesia berjumlah sekitar 162.247 kapal, sedangkan jumlah kapal ‘Passenger’ dan ‘Cargo’ yang masuk ke pelabuhan Indonesia berturut-turut adalah 157.410 dan 130.703 kapal.

Evaluasi Kinerja Algoritma

Berdasarkan algoritma-algoritma yang telah dibangun, berikut evaluasi kinerja menggunakan Notasi *Big-O*.

1. Notasi Big-O dari algoritma Arus Masuk-Keluar Kapal di Pelabuhan Indonesia adalah $O(n)$. Hal ini dikarenakan terdapat satu perulangan pada salah satu

perintah. Artinya, setiap dilakukan penambahan masukan, waktu untuk mengeksekusi algoritma akan bertambah secara konstan.

2. Notasi Big-O dari algoritma Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia adalah $O(n)$. Hal ini dikarenakan terdapat satu perulangan pada salah satu perintah. Artinya, setiap dilakukan penambahan masukan tidak akan berpengaruh terhadap waktu untuk mengeksekusi algoritma.
3. Notasi Big-O dari algoritma Deteksi Kunjungan Indonesia ke Luar Negeri adalah $O(n)$. Hal ini dikarenakan terdapat satu perulangan pada salah satu perintah. Artinya, setiap dilakukan penambahan masukan, waktu untuk mengeksekusi algoritma akan bertambah secara konstan.

Evaluasi Performa Algoritma

Setelah kinerja algoritma diketahui, algoritma juga dievaluasi berdasarkan performa. Evaluasi performa algoritma dihitung menggunakan RMSE yang rumus sesuai dengan persamaan (3) dan MAPE yang rumus sesuai dengan persamaan (4). Berdasarkan hasil penghitungan RMSE dan MAPE, diketahui bahwa algoritma menggunakan *Distance-Based* AOI menghitung jumlah kapal yang berkunjung ke pelabuhan Indonesia lebih baik daripada hasil penghitungan menggunakan algoritma *Cluster-Based* AOI. Berikut ditampilkan hasil penghitungan RMSE dan MAPE pada jumlah kunjungan kapal ke beberapa pelabuhan di Indonesia.

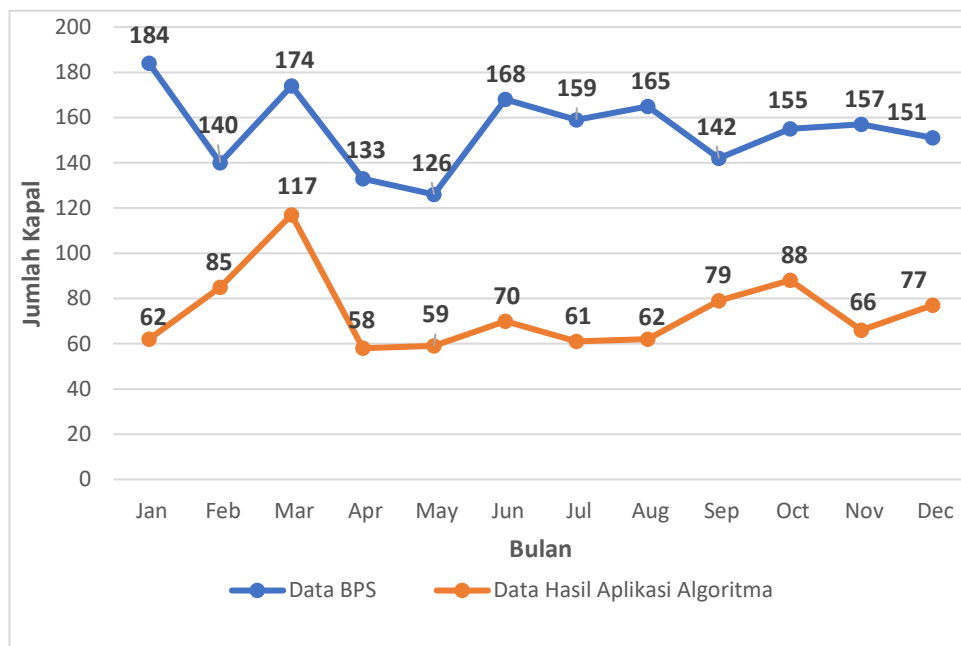
Tabel 11. Evaluasi Kinerja Algoritma pada Beberapa Pelabuhan Indonesia

| Pelabuhan yang Dikunjungi | <i>Distance-Based</i> AOI | | <i>Cluster-Based</i> AOI | |
|------------------------------|---------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | RMSE | MAPE | RMSE | MAPE |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Teluk Bayur | 83,31866538 | 52,07228907 | 82,76875417 | 51,65349462 |
| Cirebon | 148,1350735 | 91,21597754 | 142,3294301 | 87,80385546 |
| Banten | 1603,965658 | 133,6675182 | 4895,368151 | 412,9450644 |
| Benoa | 70,11003257 | 47,03633347 | 70,44527306 | 53,2503679 |

Tabel 12. Evaluasi Kinerja Algoritma pada Beberapa Pelabuhan Indonesia (Lanjutan)

| Pelabuhan yang Dikunjungi | <i>Distance-Based AOI</i> | | <i>Cluster-Based AOI</i> | |
|---------------------------|---------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | RMSE | MAPE | RMSE | MAPE |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Pontianak | 191,1661581 | 74,58477038 | 217,1898171 | 89,71506381 |
| Poso | 11,41271221 | 70,30092593 | 13,40708768 | 85,86805556 |
| Amamapare | 83,7744989 | 400,9215371 | 127,3908029 | 612,0061837 |
| 123 Pelabuhan | 8624,301405 | 42,27629581 | 8963,522752 | 43,93919217 |

Perbandingan dengan *Official Statistics*



Gambar 53. Perbandingan Jumlah Kunjungan di Pelabuhan Teluk Bayur Menurut BPS dan Hasil Penghitungan Menggunakan Algoritma *Distance-Based AOI*

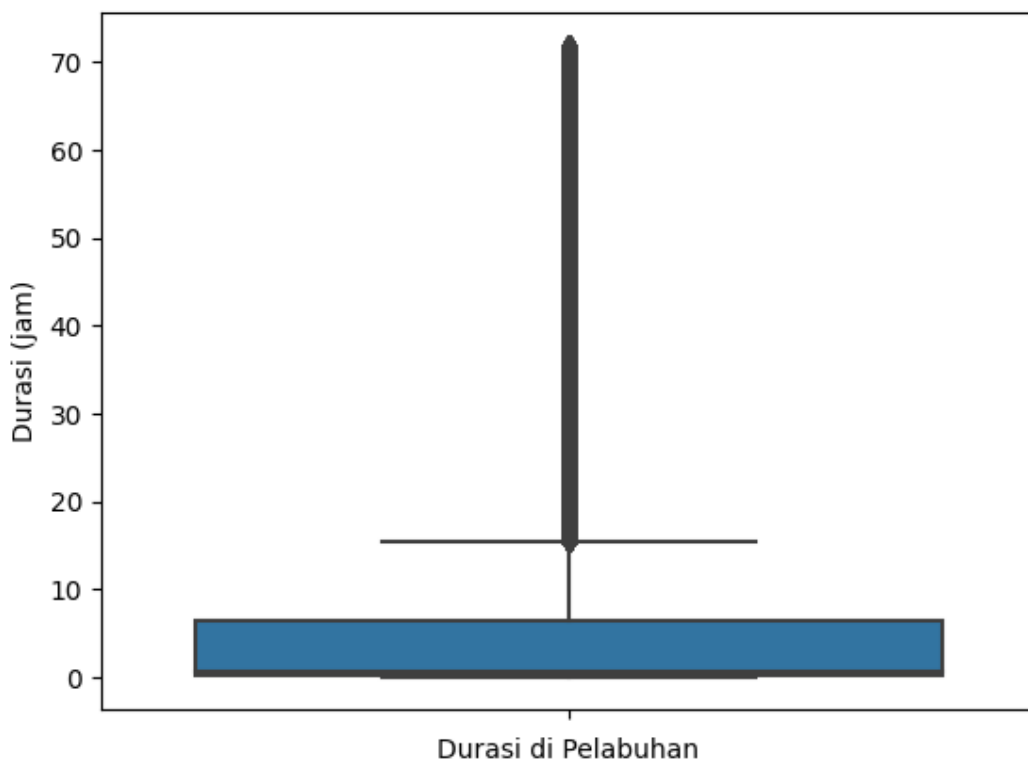
Selain menghitung RMSE dan MAPE pada jumlah kunjungan kapal ke beberapa pelabuhan di Indonesia, ditampilkan juga perbandingan jumlah kunjungan kapal di pelabuhan Teluk Bayur menggunakan diagram garis, seperti yang terlihat pada grafik Gambar 53. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat masih adalah perbedaan jumlah kunjungan kapal di pelabuhan Teluk Bayur yang telah dihitung menggunakan algoritma *Distance-Based AOI* dengan jumlah

kunjungan kapal di pelabuhan Teluk Bayur yang telah dihitung oleh Badan Pusat Statistik. Misalnya, pada bulan Januari, menurut data BPS, jumlah kunjungan kapal di pelabuhan Teluk Bayur adalah sebanyak 184 kapal, sedangkan berdasarkan hasil penghitungan menggunakan algoritma *Distance-Based AOI*, jumlah kunjungan kapal di pelabuhan Teluk Bayur adalah sebanyak 62 kapal. Terdapat selisih sebanyak 122 kapal.

4.7 Hasil Implementasi Algoritma Penghitungan Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia

Analisis Deskriptif (*Distance-Based AOI*)

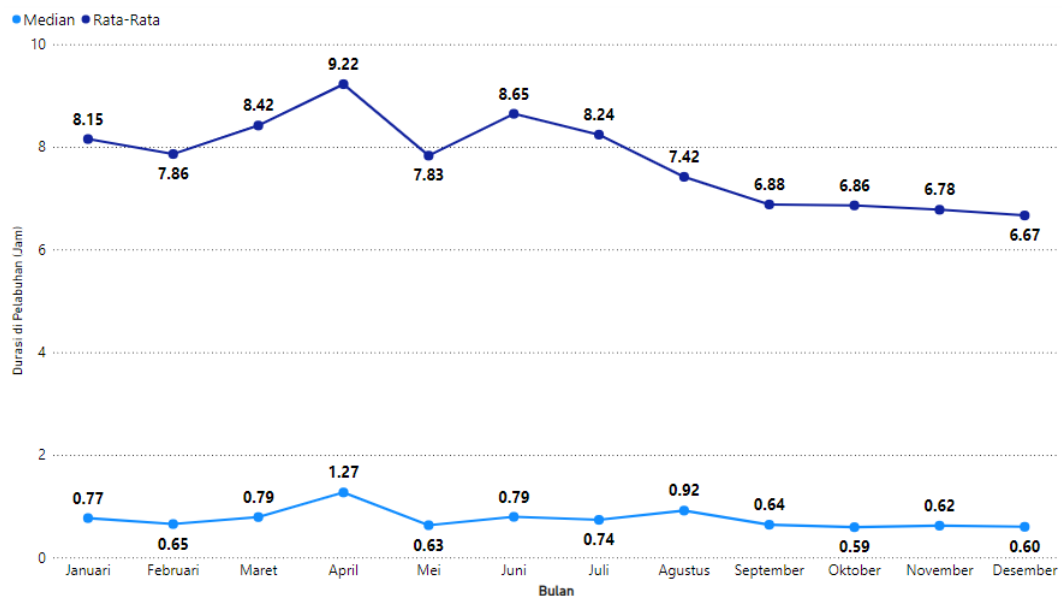
1. Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia



Gambar 54. Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia (*Distance-Based AOI*)

Untuk mengetahui lamanya kapal berada di pelabuhan, dihitung juga durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia. Dari Boxplot pada Gambar 54, dapat dilihat bahwa durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia berada pada rentang 0 hingga 20 jam. Dari plot durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tersebut diketahui juga bahwa terdapat durasi ekstrem yang berhasil terhitung, yaitu antara 20-72 jam. Artinya, ada beberapa kapal yang lumayan lama berada di pelabuhan Indonesia, yaitu mencapai 72 jam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, waktu yang dihabiskan kapal di pelabuhan yang bernilai lebih dari 72 jam telah dieliminasi dari data.

2. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan

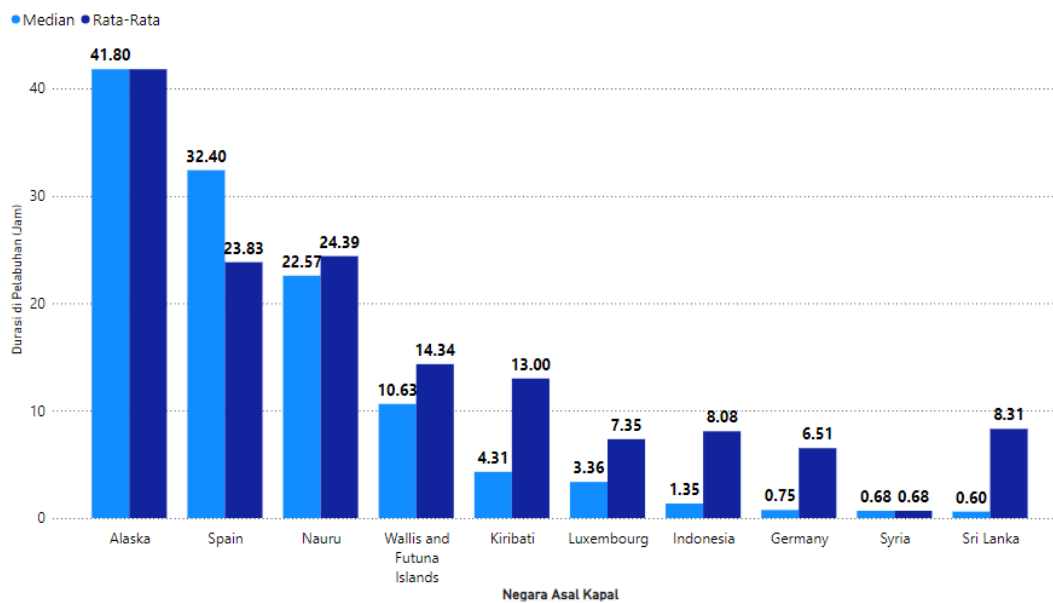


Gambar 55. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan (*Distance-Based AOI*)

Kemudian, dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia yang telah dihitung, dilakukan juga penghitungan rata-rata dan mediannya. Grafik pada Gambar 55 menampilkan rata-rata dan median dari durasi kapal saat berada di

pelabuhan Indonesia per bulannya selama tahun 2022. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa rata-rata durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi terjadi pada bulan April, yaitu 9,22 jam, dan terendah terjadi pada bulan Desember, yaitu 6,67 jam. Dari grafik tersebut, dapat dilihat juga bahwa median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi terjadi pada bulan April, yaitu 1,27 jam, dan terendah terjadi pada bulan Desember, yaitu 0,60 jam. Artinya, kapal yang berkunjung ke pelabuhan Indonesia paling lama melakukan aktivitas pada bulan April 2022.

3. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal

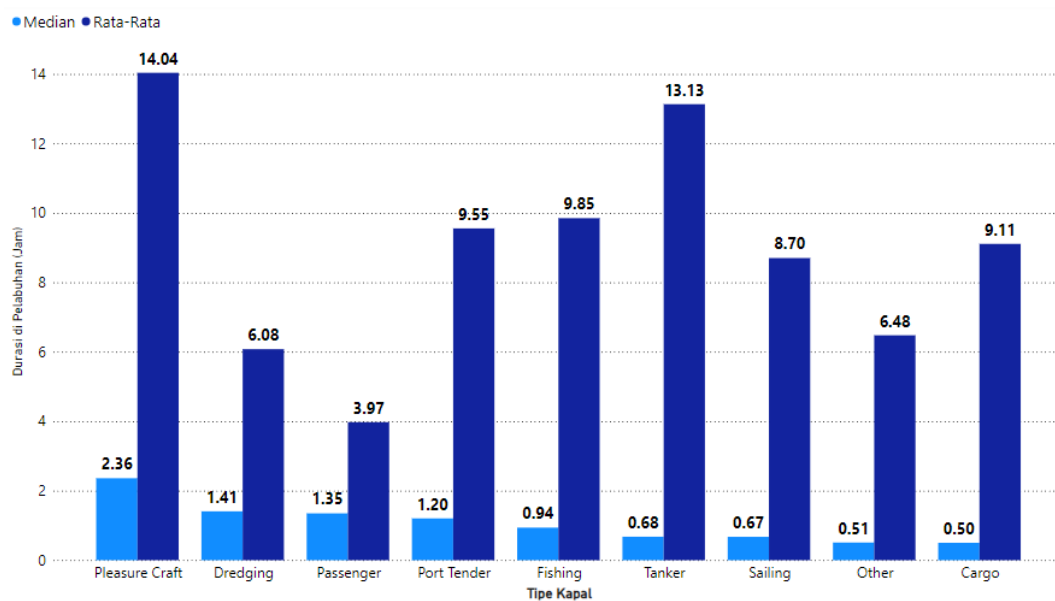


Gambar 56. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (*Distance-Based AOI*)

Lalu, ditampilkan juga 10 rata-rata dan median tertinggi dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia menurut negara asal kapal, seperti yang terlihat pada Gambar 56. Dari diagram pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kapal dengan median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi berasal

dari Alaska, yaitu 41,80 jam, dan terendah berasal dari Sri Lanka, yaitu 0,60 jam. Artinya, di antara 10 negara asal kapal dengan median durasi di pelabuhan Indonesia tertinggi, kapal yang paling lama melakukan aktivitas di pelabuhan Indonesia berasal dari negara Alaska.

4. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal

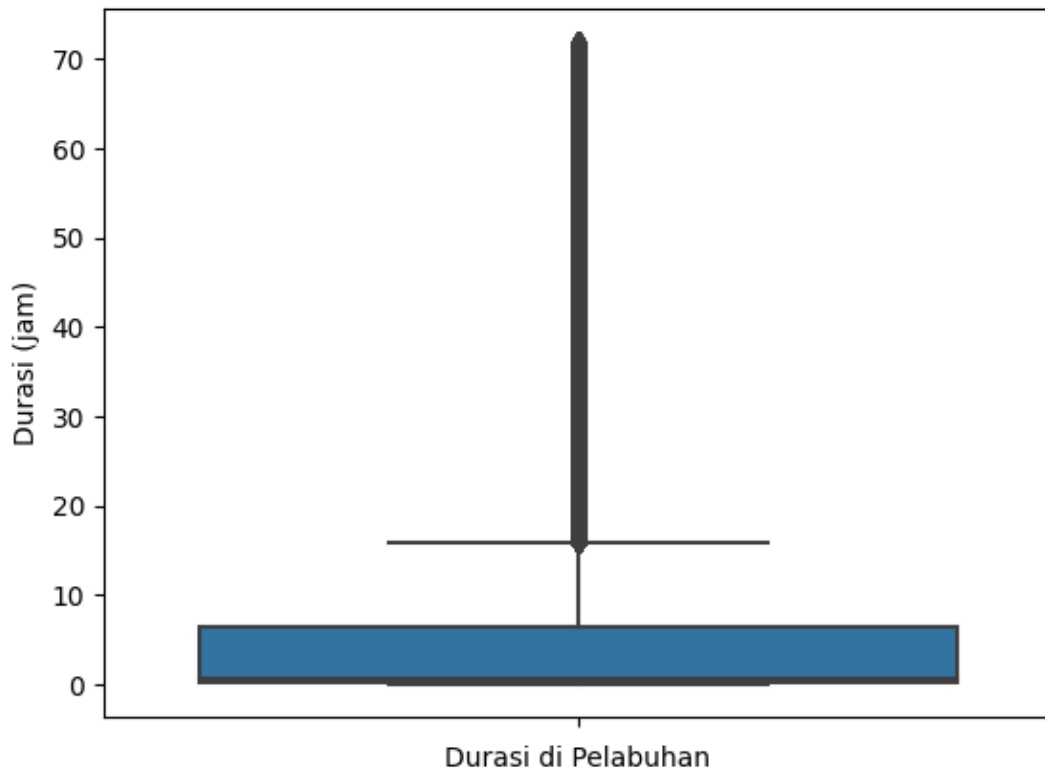


Gambar 57. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (*Distance-Based AOI*)

Terakhir, ditampilkan juga rata-rata dan median dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia menurut tipe kapal, seperti yang terlihat pada Gambar 57. Dari diagram pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kapal dengan median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi memiliki tipe ‘Pleasure Craft’, yaitu 2,36 jam, dan terendah memiliki tipe ‘Cargo’, yaitu 0,50 jam. Artinya, di antara tipe kapal yang ada, kapal yang paling lama melakukan aktivitas di pelabuhan Indonesia adalah kapal ‘Pleasure Craft’.

Analisis Deskriptif (*Cluster-Based AOI*)

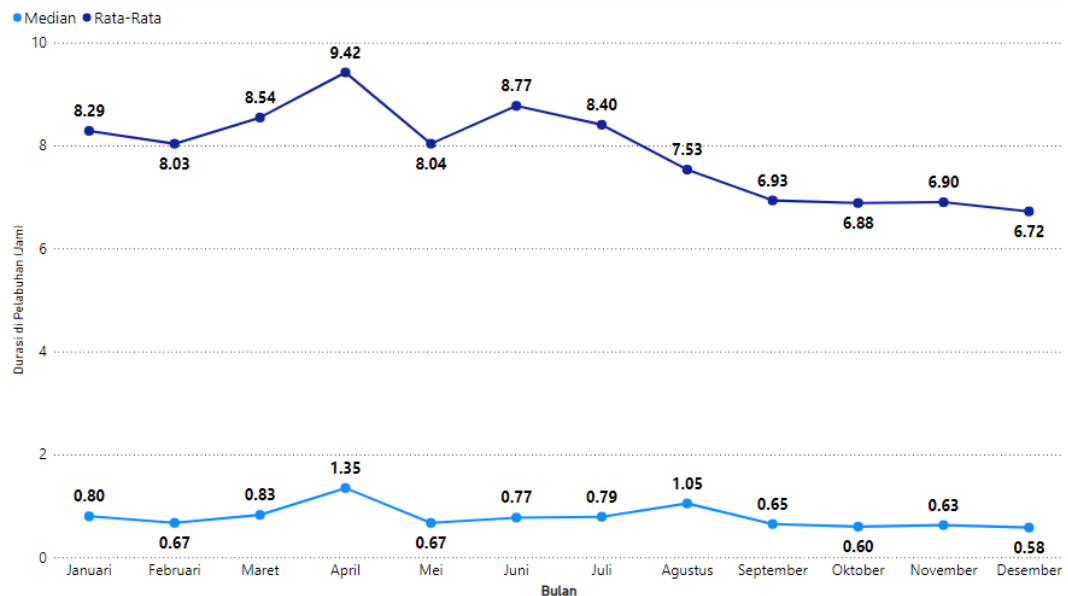
1. Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia



Gambar 58. Distribusi Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia (*Cluster-Based AOI*)

Untuk mengetahui lamanya kapal berada di pelabuhan, dihitung juga durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia. Dari Boxplot pada Gambar 58, dapat dilihat bahwa durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia berada pada rentang 0 hingga 20 jam. Dari plot durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tersebut diketahui juga bahwa terdapat durasi ekstrem yang berhasil terhitung, yaitu antara 20-72 jam. Artinya, ada beberapa kapal yang lumayan lama berada di pelabuhan Indonesia, yaitu mencapai 72 jam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, waktu yang dihabiskan kapal di pelabuhan yang bernilai lebih dari 72 jam telah dieliminasi dari data.

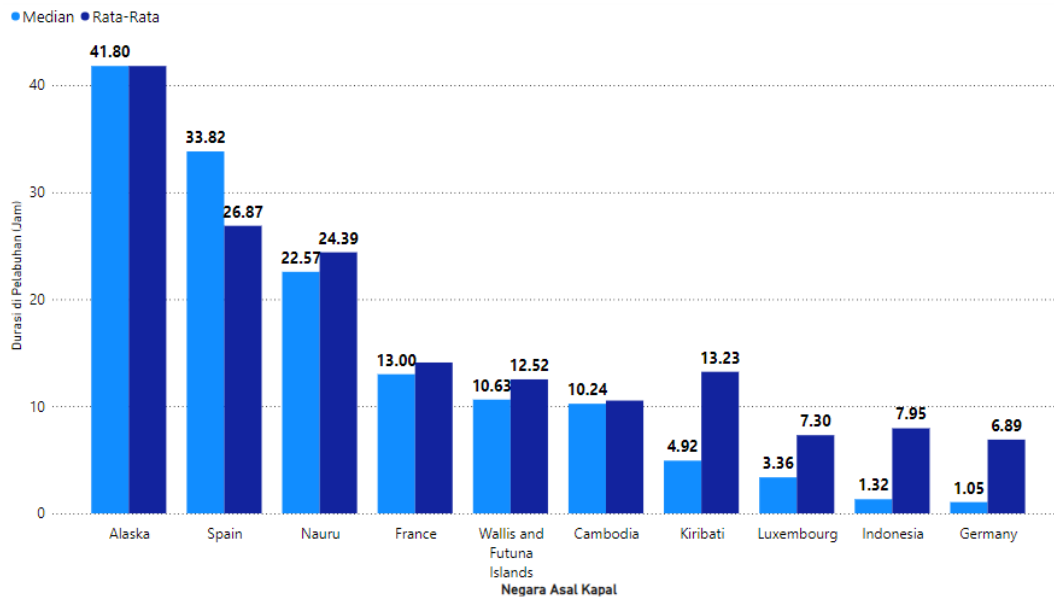
2. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan



Gambar 59. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia per Bulan (*Cluster-Based AOI*)

Kemudian, dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia yang telah dihitung, dilakukan juga penghitungan rata-rata dan mediannya. Grafik pada Gambar 59 menampilkan rata-rata dan median dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia per bulannya selama tahun 2022. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa rata-rata durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi terjadi pada bulan April, yaitu 9,42 jam, dan terendah terjadi pada bulan Desember, yaitu 6,72 jam. Dari grafik tersebut, dapat dilihat juga bahwa median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi terjadi pada bulan April, yaitu 1,35 jam, dan terendah terjadi pada bulan Desember, yaitu 0,58 jam. Artinya, kapal yang berkunjung ke pelabuhan Indonesia paling lama melakukan aktivitas pada bulan April 2022.

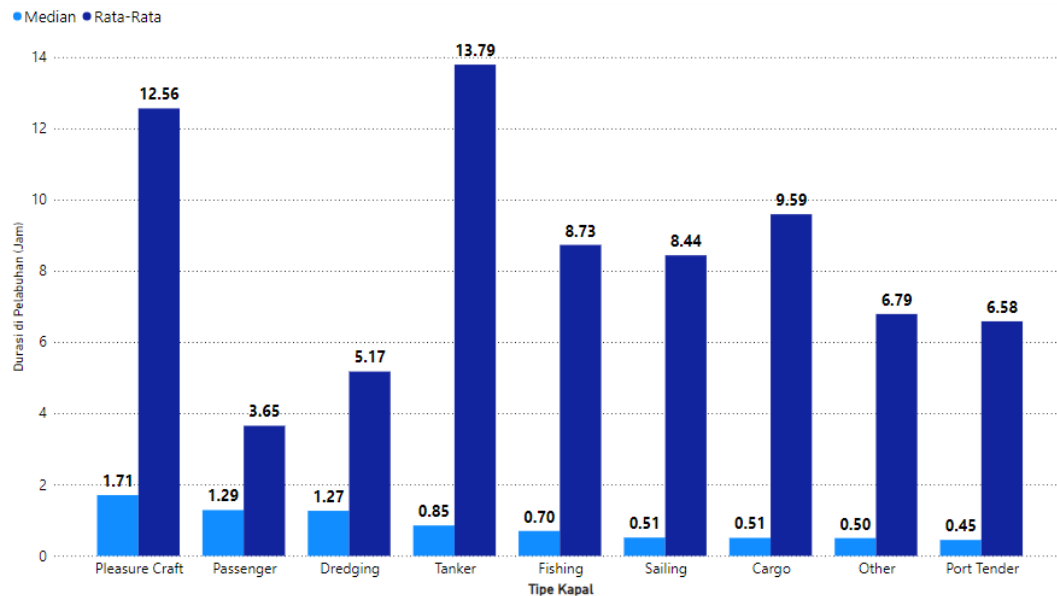
3. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal



Gambar 60. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Negara Asal (*Cluster-Based AOI*)

Lalu, ditampilkan juga 10 rata-rata dan median tertinggi dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia menurut negara asal kapal, seperti yang terlihat pada Gambar 60. Dari diagram pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kapal dengan median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi berasal dari Alaska, yaitu 41,80 jam, dan terendah berasal dari Jerman, yaitu 1,05 jam. Artinya, di antara 10 negara asal kapal dengan median durasi di pelabuhan Indonesia tertinggi, kapal yang paling lama melakukan aktivitas di pelabuhan Indonesia berasal dari negara Alaska.

4. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal

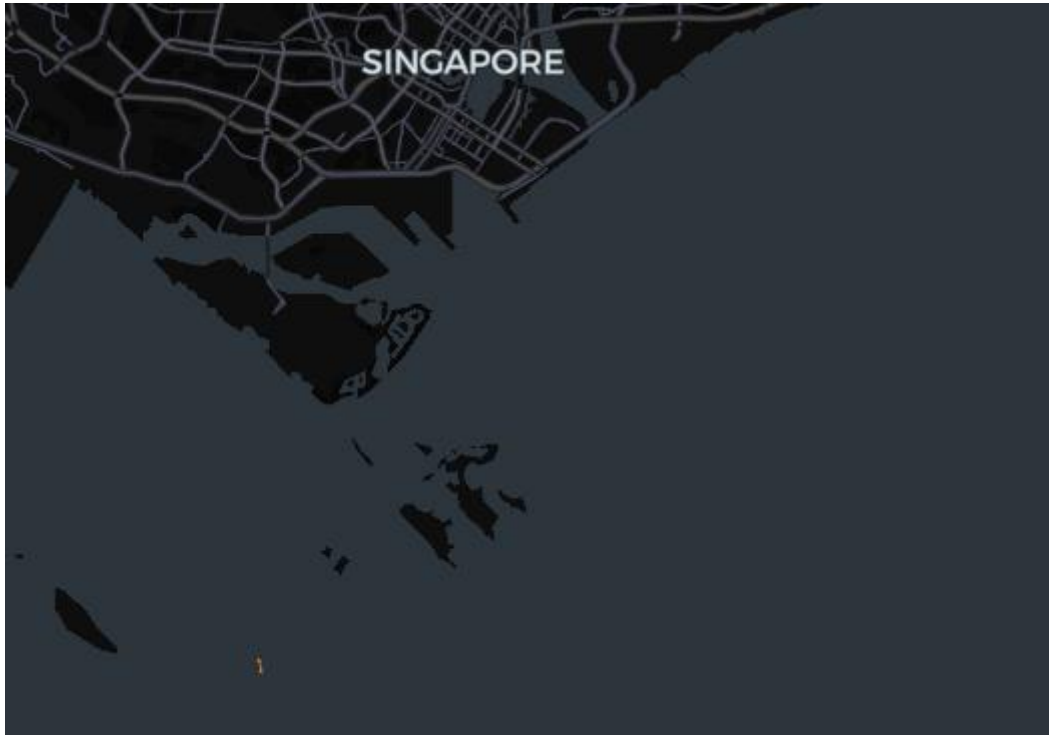


Gambar 61. Durasi Kapal di Pelabuhan Indonesia Menurut Tipe Kapal (*Cluster-Based AOI*)

Terakhir, ditampilkan juga rata-rata dan median dari durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia menurut tipe kapal, seperti yang terlihat pada Gambar 61. Dari diagram pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kapal dengan median durasi kapal saat berada di pelabuhan Indonesia tertinggi memiliki tipe 'Pleasure Craft', yaitu 1,71 jam, dan terendah memiliki tipe 'Port Tender', yaitu 0,45 jam. Artinya, di antara tipe kapal yang ada, kapal yang paling lama melakukan aktivitas di pelabuhan Indonesia adalah kapal 'Pleasure Craft'.

4.8 Hasil Implementasi Algoritma Deteksi Kunjungan Indonesia ke Luar Negeri

Visualisasi Pergerakan Kapal

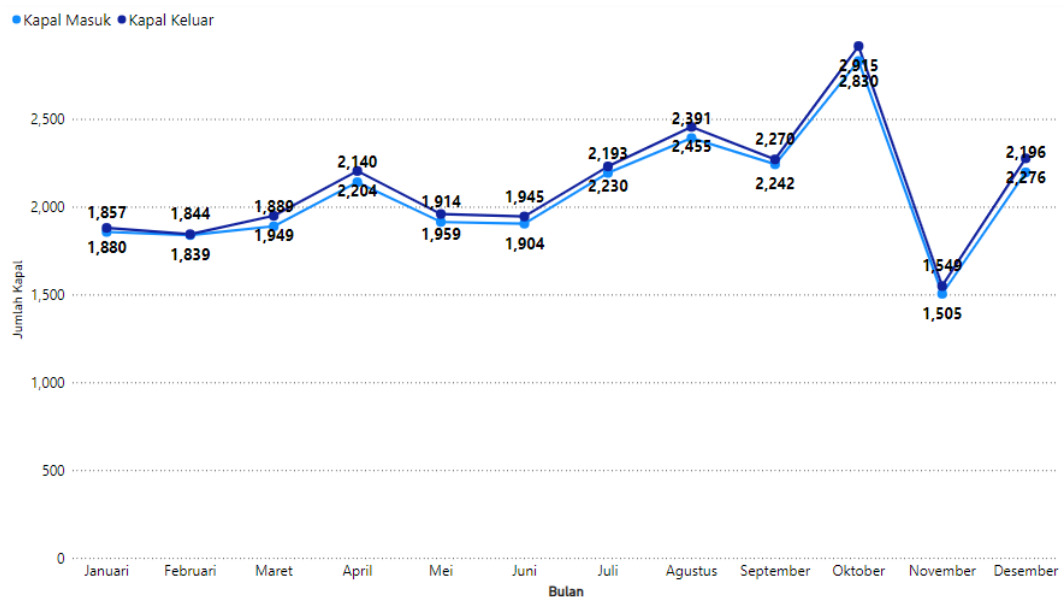


Gambar 62. Pergerakan Kapal Indonesia

Pada Gambar 62, terdapat ilustrasi pergerakan salah satu kapal Indonesia. Dapat dilihat bahwa kapal tersebut bergerak menuju negara Singapura. Kapal tersebut terlihat bergerak ke arah selat Singapura merupakan jalur pelayaran internasional yang padat dan ramai. Mengacu pada animasi yang dibuat, kapal tersebut bergerak perlahan, menunjukkan ramainya jalur tersebut.

Analisis Deskriptif (*Distance-Based AOI*)

1. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan

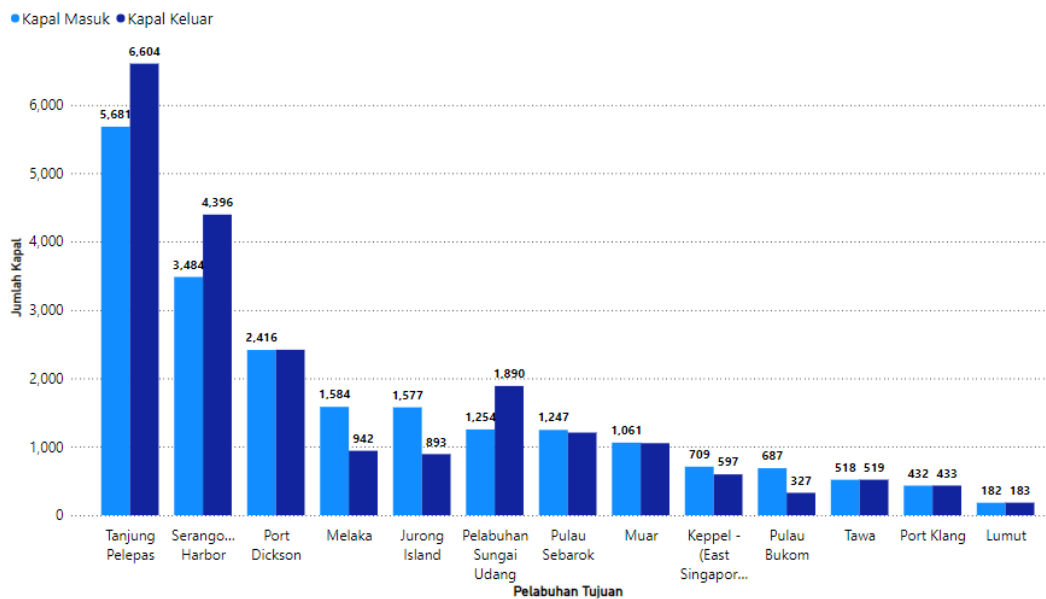


Gambar 63. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan (*Distance-Based AOI*)

Dari grafik Gambar 63 di atas, terlihat bahwa jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri setiap bulannya selama 2022 cenderung berfluktuatif. Artinya, terdapat jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri yang sangat tinggi di bulan tertentu dan terdapat jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri yang sangat rendah di beberapa bulan lainnya. Bulan dengan jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri tertinggi adalah bulan Oktober, yaitu sebanyak 2.830 kapal masuk dan sebanyak 2.915 kapal keluar. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 1.505 kapal masuk dan sebanyak 1.549 kapal keluar. Artinya, kapal

Indonesia banyak mengunjungi pelabuhan luar negeri pada bulan Oktober dan paling sedikit mengunjungi pelabuhan luar negeri pada bulan November.

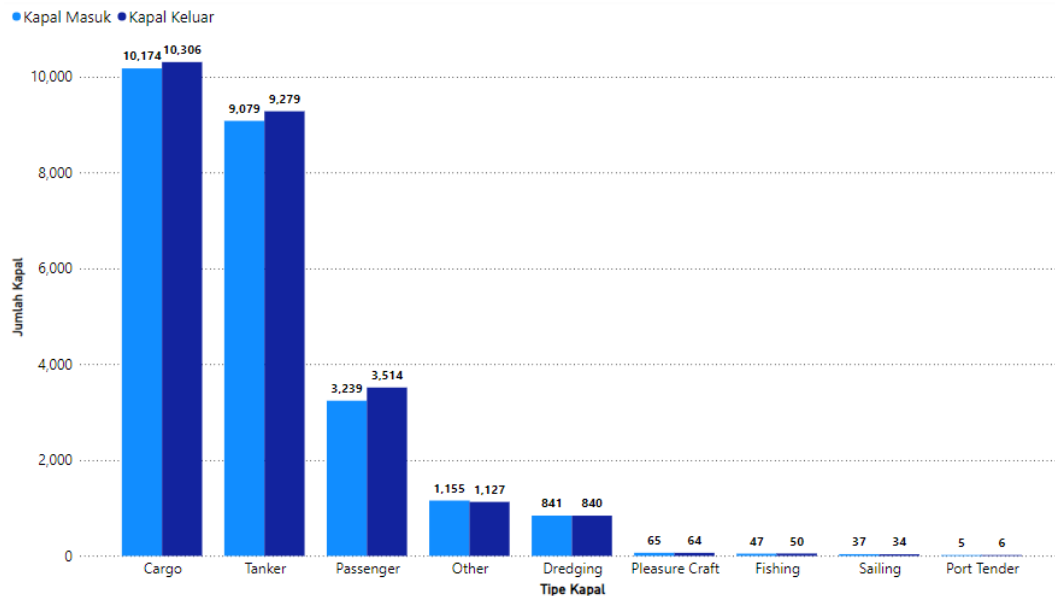
2. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Pelabuhan Tujuan



Gambar 64. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Negara Asal (*Distance-Based AOI*)

Kemudian, jika dilihat berdasarkan pelabuhan yang dituju, seperti yang ditunjukkan pada diagram Gambar 64, pelabuhan yang paling banyak dikunjungi kapal Indonesia berada di negara Malaysia, yaitu pelabuhan Tanjung Lepas, Port Dickson, Melaka, Sungai Udang, Muar, Klang, dan Lumut, diikuti dengan pelabuhan di negara Singapura, yaitu pelabuhan Serangoon Harbor, Jurong, Keppel, dan Pulau Bukom. Jumlah kapal Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan Tanjung Lepas di Malaysia adalah sekitar 5.681 kapal, sedangkan jumlah kapal Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan Serangoon Harbor di Singapura adalah 3.484 kapal.

3. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal



Gambar 65. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal
(Distance-Based AOI)

Lalu, jika dilihat berdasarkan tipe kapalnya, seperti yang ditunjukkan diagram Gambar 65, tipe kapal Indonesia yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan luar negeri adalah kapal ‘Cargo’, diikuti dengan kapal ‘Tanker’ dan ‘Passenger’. Jumlah kapal ‘Cargo’ Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan luar negeri berjumlah sekitar 10.174 kapal, sedangkan jumlah kapal ‘Tanker’ dan ‘Passenger’ Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan luar negeri berturut-turut adalah 9.079 dan 3.239 kapal.

Analisis Deskriptif (*Cluster-Based AOI*)

1. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan

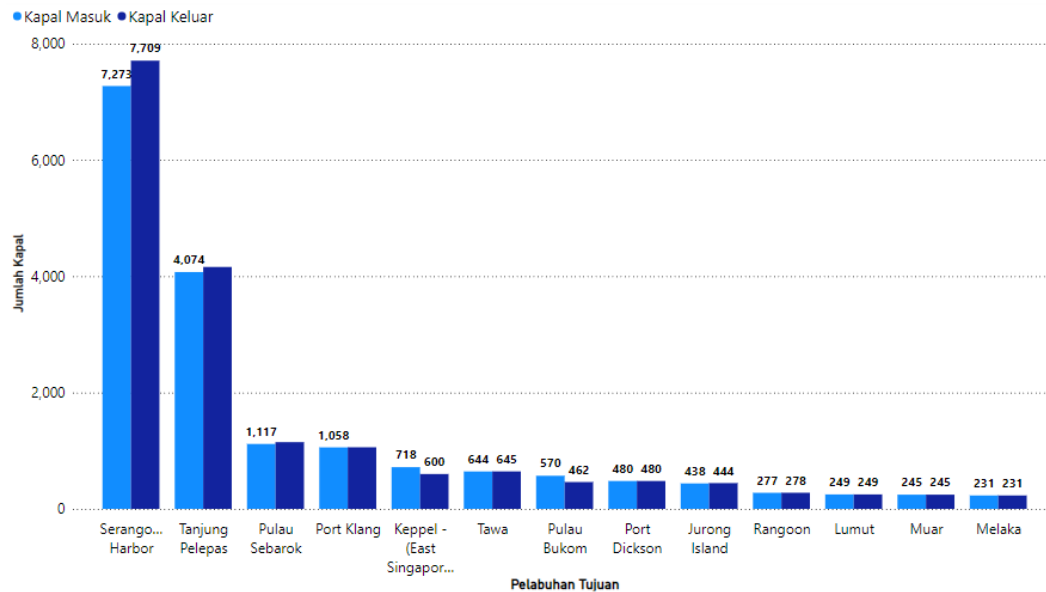


Gambar 66. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri per Bulan (*Cluster-Based AOI*)

Dari grafik Gambar 66 di atas, terlihat bahwa jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri setiap bulannya selama 2022 cenderung berfluktuatif. Artinya, terdapat jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri yang sangat tinggi di bulan tertentu dan terdapat jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri yang sangat rendah di beberapa bulan lainnya. Bulan dengan jumlah kapal Indonesia yang masuk dan keluar pelabuhan luar negeri tertinggi adalah bulan Oktober, yaitu sebanyak 2.705 kapal masuk dan sebanyak 2.757 kapal keluar. Bulan dengan jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Indonesia terendah adalah bulan November, yaitu sebanyak 1.427 kapal masuk dan sebanyak 1.458 kapal keluar. Artinya, kapal

Indonesia banyak mengunjungi pelabuhan luar negeri pada bulan Oktober dan paling sedikit mengunjungi pelabuhan luar negeri pada bulan November.

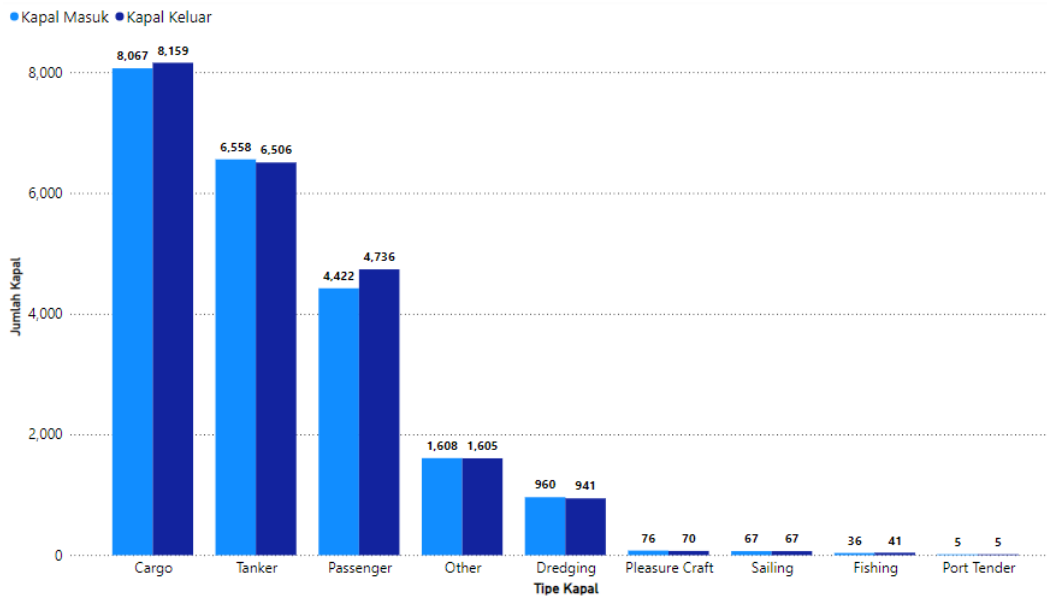
2. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Pelabuhan Tujuan



Gambar 67. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Negara Asal (Cluster-Based AOI)

Kemudian, jika dilihat berdasarkan pelabuhan yang dituju, seperti yang ditunjukkan pada diagram Gambar 67, pelabuhan yang paling banyak dikunjungi kapal Indonesia berada di negara Malaysia, yaitu pelabuhan Tanjung Lepas, Port Dickson, Melaka, Sungai Udang, Muar, Klang, dan Lumut, diikuti dengan pelabuhan di negara Singapura, yaitu pelabuhan Serangoon Harbor, Jurong, Keppel, dan Pulau Bukom. Jumlah kapal Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan Tanjung Lepas di Malaysia adalah sekitar 4.074 kapal, sedangkan jumlah kapal Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan Serangoon Harbor di Singapura adalah 7.273 kapal.

3. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal



Gambar 68. Jumlah Kunjungan Kapal Indonesia ke Luar Negeri Menurut Tipe Kapal
(Cluster-Based AOI)

Lalu, jika dilihat berdasarkan tipe kapalnya, seperti yang ditunjukkan diagram Gambar 68, tipe kapal Indonesia yang paling banyak melakukan aktivitas masuk dan keluar pelabuhan luar negeri adalah kapal ‘Cargo’, diikuti dengan kapal ‘Tanker’ dan ‘Passenger’. Jumlah kapal ‘Cargo’ Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan luar negeri berjumlah sekitar 8.067 kapal, sedangkan jumlah kapal ‘Tanker’ dan ‘Passenger’ Indonesia yang berkunjung ke pelabuhan luar negeri berturut-turut adalah 6.558 dan 4.422 kapal.

4.9 Visualisasi Hasil Implementasi Algoritma

Visualisasi pergerakan kapal serta diagram-diagram hasil implementasi algoritma kemudian disajikan dalam sebuah *dashboard* interaktif yang dapat diakses pada tautan https://s.stis.ac.id/monitoring_kapal. Berikut tampilan dari *dashboard* tersebut.



Gambar 69. *Dashboard* Monitoring Aktivitas Perkapalan

“... sengaja dikosongkan ...”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dipaparkan, berikut beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini.

1. Data AIS dapat digunakan untuk membangun algoritma terkait pemantauan aktivitas kapal di lautan. Dengan membentuk Standar Operasional Prosedur (SOP) *preprocessing* yang tepat, hasil implementasi dari algoritma yang terbentuk dari data AIS dapat mendekati data statistik kunjungan kapal ke pelabuhan Indonesia.
2. Beberapa algoritma yang terbentuk dari data AIS, yaitu deteksi arus masuk-keluar kapal di pelabuhan Indonesia, penghitungan durasi kapal di pelabuhan Indonesia, dan deteksi kunjungan Indonesia ke luar negeri.
3. Algoritma yang terbentuk dari data AIS dapat digunakan sebagai alternatif data transportasi laut, seperti jumlah kunjungan kapal domestik dan luar negeri ke pelabuhan Indonesia, durasi kapal di pelabuhan Indonesia, dan jumlah kunjungan kapal Indonesia ke pelabuhan luar negeri.
4. Pendekatan *Distance-Based* dan *Cluster-Based* digunakan untuk membentuk *Area of Interest* pelabuhan. Secara umum, *Distance-Based* AOI merupakan pendekatan terbaik untuk menghitung jumlah kunjungan kapal domestik dan luar negeri ke pelabuhan Indonesia. Namun, terdapat beberapa pelabuhan yang menghasilkan statistik yang lebih baik jika menggunakan *Cluster-Based* AOI. *Distance-Based* AOI lebih unggul karena memberikan nilai *error* yang kecil

untuk total kunjungan kapal dari 70 pelabuhan di Indonesia, sedangkan *Cluster-Based* AOI memberikan nilai *error* yang kecil hanya pada beberapa pelabuhan, seperti pelabuhan Teluk Bayur.

5.2 Saran

Selain itu, diberikan juga beberapa saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Menggunakan data AIS dari penyedia data lain selain exactEarth untuk melihat perbedaan pengolahan data sebelum disediakan kepada pengguna data.
2. SOP *preprocessing* data AIS perlu dikaji atau dikembangkan lebih lanjut, seperti mengidentifikasi karakteristik kapal diam lebih detail agar hasil perhitungan yang didapatkan lebih relevan.
3. Menggunakan metode pendekatan *Area of Interest* pelabuhan yang lain, seperti *Manual AOI* dengan pertimbangan data luas pelabuhan diketahui.
4. Data hasil implementasi algoritma yang terbentuk dari data AIS ini bisa digunakan sebagai komplemen statistik transportasi laut oleh Tim Jasa Transportasi Domestik Direktorat Statistik Distribusi dan Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alex Noyvirt, Ioannis Kaloskampus, Stephen Campbell, Sumit Dey-Chowdhury, L. N. (2019). *Faster Indicators of UK Economic Activity : Shipping*. Data Science for The Public Good. <https://datasciencecampus.ons.gov.uk/projects/faster-indicators-of-uk-economic-activity-shipping/>
- Androjna, A., Perkovič, M., Pavic, I., & Mišković, J. (2021). AIS Data Vulnerability Indicated by a Spoofing Case-Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11), 1–25. <https://doi.org/10.3390/app11115015>
- Angori, L., Didimo, W., Montecchiani, F., Pagliuca, D., & Tappini, A. (2019). ChordLink: A New Hybrid Visualization Model. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11904 LNCS*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35802-0_22
- Anuoluwapo, A. J. (2023). *Quality Assessment of Maritime AIS Data Title: Quality Assessment of Maritime AIS Data*.
- Arianto, M. F. (2020). Potensi Wilayah Pesisir di Negara Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(20), 1–7.
- Armiady, D. (2022). Analisis Metode DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise) dalam Mendeteksi Data Outlier. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 9(6), 2158. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v9i6.5080>
- Arslanalp, S., Koepke, R., & Verschuur, J. (2021). Tracking Trade from Space: An Application to Pacific Island Countries. *IMF Working Papers*, 2021(225), 1. <https://doi.org/10.5089/9781513593531.001>
- Arslanalp, S., Marini, M., & Tumbarello, P. (2019). Big Data on Vessel Traffic: Nowcasting Trade Flows in Real Time. *IMF Working Papers*.

- Asian Development Bank. (2023). *Methodological Framework For Unlocking Maritime Insights Using Automatic Identification System Data* (Issue October).
- Badan Pusat Statistik. (2021). Arah Perubahan Badan Pusat Statistik 2021-2024. *Badan Pusat Statistik*, 1–125.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Kajian Pemanfaatan Data Automatic Identification System (AIS)*.
- Badan Pusat Statistik. (2023, 27 Juli). *Nilai Ekspor Menurut Negara Tujuan Utama (Nilai FOB: juta US\$), 2000-2022*. 07-06-2024
<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTAxMCMx/nilai-ekspor-menurut-negara-tujuan-utama--nilai-fob-juta-us---2000-2022.html>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Mengapa Harus Big Data?*. 12-06-2024
<https://bigdata.bps.go.id/about>
- Bean, Jordan. (2022, 25 Mei). *Creating Consistent Spatial Calculations with Uber's H3 Hexagons*. 25-12-2023 <https://towardsdatascience.com/creating-consistent-spatial-calculations-with-ubers-h3-hexagons-1af032802a77>
- Bolton, P., Holmström, B., Maskin, E., Pissarides, S. C., Spence, M., Sun, T., Sun, T., Xiong, W., Yang, L., Chen, L., Huang, Y., Li, Y., Luo, X., Ma, Y., Ouyang, S., & Zhu, F. (2021). Understanding Big Data: Data Calculus in The Digital Era 2021. In *Rotman School of Management Working Paper No. 3791018 Columbia Business School Research Paper Forthcoming* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9750-6.ch001>
- Bonham, C., Noyvirt, A., Tsalamani, I., & Williams, S. (2018). Analysing port and shipping operations using big data. *ONS Data Science Campus*, 1–50.
<https://datasciencecampus.ons.gov.uk/wp-content/uploads/sites/10/2018/06/here.pdf>

- BPS Provinsi Jambi. (2022). *Menuju Data yang Berkualitas di Era Big Data*. 12-06-2024 <https://jambi.bps.go.id/news/2022/08/02/200/menuju-data-yang-berkualitas-di-era-big-data.html>
- Brady, H. E. (2019). The Challenge of Big Data and Data Science. *Annual Review of Political Science*, 22, 297–323. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-090216-023229>
- Brodsky, Isaac. (2018, 27 Juni). *H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index*. 25-12-2023 <https://www.uber.com/en-ID/blog/h3/>
- Cholissodin, I., & Soebroto, A. A. (2021). *AI , Machine Learning & Deep Learning (Teori & Implementasi)* (Issue December).
- Emmens, T., Amrit, C., Abdi, A., & Ghosh, M. (2021). The promises and perils of Automatic Identification System data. *Expert Systems with Applications*, 178, 114975. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114975>
- Fadilah, D. N., Gunawan, D., & Simanjuntak, T. (2019). Studi Penggunaan Data Automatic Identification System (Ais) Untuk Pengawasan Kawasan Maritim Indonesia. *Jurnal Teknologi Penginderaan*, 1(2), 229–250.
- Faisal Rahutomo, Teruaki Kitasuka, & Masayoshi Aritsugi. (2012). Semantic Cosine Similarity. *The 7th International Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST*, 4(1).
- Finnegan, A., Sao, S. S., & Huchko, M. J. (2019). Using a Chord Diagram to Visualize Dynamics in Contraceptive Use: Bringing Data into Practice. *Global Health Science and Practice*, 7(4), 598–605. <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-19-00205>
- G. Fuentes, R. Adland. (2020). A Spatial Framework for Extracting Suez Canal Transit Information from AIS. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, pp. 586-590, doi: 10.1109/IEEM45057.2020.9309882

- Gayathri Devi, S., Selvam, K., & Rajagopalan, S. P. (2011). An abstract to calculate big o factors of time and space complexity of machine code. *IET Conference Publications*, 2011(583 CP), 844–847. <https://doi.org/10.1049/cp.2011.0483>
- Haryadi, R., Setiawan, H., Hermawansyah, W., Masmilah, M., & Bani Saleh, S. (2019). Sistem Penguraian Data Automatic Identification System (AIS) dengan Bahasa Pemrograman Python. *Seminar Nasional Rekayasa Dan Teknologi*, 27(November), 18–23.
- He, S. (2018, 29 Mei). *From Beautiful Maps to Actionable Insights_ Introducing kepler*. 26-12-2023 <https://www.uber.com/en-ID/blog/keplergl/>
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- Humaira Ninvika, D., Junitasari, Y., Apsari, I., Nurfitriani, A., Aulia, E., Sahara, S., Studi, P., Pelabuhan, M., Maritim, L., & Teknik, F. (2023). Dampak Perubahan Teknologi Sistem Logistik di Pelabuhan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, Juli, 2023(14), 273–289. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8173446>.
- International Telecommunication Union. (2005). Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band (Recommendation ITU-R M.1371-4). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 42(4), 481–507. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1371-5-201402-I!!PDF-E.pdf
- IHS Global Limited. (2024). *IMO Identification Number for Ships, Companies, & Registered Owners*. 22-05-2024 <https://imonumbers.lrfairplay.com/Home/About>
- Indonesia Ocean Justice Initiative. (2021, 2 Juli). *IUU Fishing Di Laut Natuna Utara, Laut Sulawesi Dan Selat Malaka – Juni 2021*. 10-10-2023

<https://oceanjusticeinitiative.org/2021/07/02/iuu-fishing-di-natuna-sulawesi-selat-malaka-juni-2021/>

ITU. (2024). *About International Telecommunication Union (ITU)*. 06-03-2024

<https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>

Jasper Faber, Shinichi Hanayama, Shuang Zhang, Paula Pereda, Bryan Comer, E. H., Wendela Schim van der Loeff, Tristan Smith, Yan Zhang, Hiroyuko Kosaka, Masaki Adachi, J.-M. B., Connor Galbraith, Ziheng Gong, Koichi Hirata, David Hummels, Anne Kleijn, David S. Lee, Yiming Liu, A. L., Xiaoli Mao, Eiichi Muraoka, Liudmila Osipova, Haoqi Qian, Dan Rutherford, Santiago Suárez de la Fuente, H. Y., & Camilo Velandia Perico, Libo Wu, Deping Sun, D.-H. Y. and H. X. (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.

Karim, A. (2019). (Automatic Identification System (AIS) Satelit Data Correction Using Interpolation and Extrapolation Methode, (Case Study : LAPAN-A2 and LAPAN-A3 Satellite)). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 16(2), 159.
<https://doi.org/10.30536/j.jtd.2018.v16.a3049>

Kementerian Perhubungan. (2023, 19 Juni). *Data Jenis dan Jumlah Pelabuhan di Indonesia*. 28-12-2023

<https://portaldata.kemenhub.go.id/content/dataset/10447>

Klever, N. (2020). Jupyter Notebook, JupyterHub and Nbgrader. *Becoming Greener – Digitalization in My Work*, 15–21.

Koch, P. R., Hölbig, C. A., & Rieder, R. (2018). Using Kepler.gl to visualize weather data. In *Undergraduate Thesis*.

L. P. English. (1999, Maret). *Improving data warehouse and business information quality : methodsfor reducing costs and increasing profits*. p. 518, 1999. 11-06-2024.
<https://www.wiley.com/en->

[us/Improving+Data+Warehouse+and+Business+Information+Quality%3A+Methods+for+Reducing+Costs+and+Increasing+Profits-p-9780471253839](https://www.researchgate.net/publication/353141878)

- Mahrozi, N., & Faisal, M. (2023). Analisis Perbandingan Kecepatan Algoritma Selection Sort Dan Bubble Sort. *Jurnal Ilmiah Sain Dan Teknologi*, 1(2), 89–98.
- Maulana, A. (2017, 31 Maret). *Indonesia Darurat IUU Fishing*. Kantor Komunikasi Publik. 10-10-2023 <https://www.unpad.ac.id/2017/03/indonesia-darurat-iuu-fishing/>
- Maulidi, A. (2019). Disain Sistem Navigasi Automatic Identification System (AIS) Transceiver Berbasis Mini Computer Pada Kapal Nelayan Tradisional Di Madura. *Inovtek Polbeng*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.35314/ip.v9i1.878>
- Mazza, R. (2009). Introduction to information visualization. In *Introduction to Information Visualization*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-219-7>
- Nabillah, I., & Ranggadara, I. (2020). Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut. *JOINS (Journal of Information System)*, 5(2), 250–255. <https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900>
- Nuha, H. H. (2021). Mean Squared Error (MSE) dan Penggunaannya Ringkasan Penjelasan Referensi. *Social Science Research Network*, 52, 2021–2022.
- Penca, J. (2009). International maritime organization. *International Journal of Marine and Coastal Law*, 24(4), 713–725. <https://doi.org/10.1163/092735209X12499043518304>
- Points, K. E. Y., & Kim, K. (2023). *Economic Applicability of the Automatic Identification System Data: Use Cases and the Way Forward* (Vol. 244, Issue ADB BRIEFS). <http://dx.doi.org/10.22617/BRF230082-2>
- Pratama, R. R. (2020). Analisis Model Machine Learning Terhadap Pengenalan Aktifitas Manusia. *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 19(2), 302–311. <https://doi.org/10.30812/matrik.v19i2.688>
- Purnasari, Nurwulan. (2021). *Metodologi Penelitian*. Guepedia

- Raymond, E. S. (2021, Januari). *AIVDM/AIVDO Protocol Decoding*. 26-01-2024
<https://gpsd.gitlab.io/gpsd/AIVDM.html>
- Retnoningsih, E., & Pramudita, R. (2020). Mengenal Machine Learning Dengan Teknik Supervised Dan Unsupervised Learning Menggunakan Python. *Bina Insani Ict Journal*, 7(2), 156. <https://doi.org/10.51211/biict.v7i2.1422>
- Roihan, A., Sunarya, P. A., & Rafika, A. S. (2020). Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper. *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, 5(1), 75–82. <https://doi.org/10.31294/ijcit.v5i1.7951>
- Saeed, N., & Husamaldin, L. (2021). Big Data Characteristics (V's) in Industry. *Iraqi Journal of Industrial Research*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.53523/ijoirvol8i1id52>
- Sarosa, Samiaji. (2021). *Analisis Data Penelitian Kualitatif*. PT Kanisius
- Sekste, Andrey & Eduard Kazakov. (2022, 19 Agustus). *H3 hexagonal grid: Why we use it for data analysis and visualization*. 25-12-2023
<https://medium.com/kontur-inc/h3-grid-1a587f90656f>
- Shaikh, E., Mohiuddin, I., Alufaisan, Y., & Nahvi, I. (2019). Apache Spark: A Big Data Processing Engine. *2019 2nd IEEE Middle East and North Africa COMMUNICATIONS Conference, MENACOMM 2019*, 0–5.
<https://doi.org/10.1109/MENACOMM46666.2019.8988541>
- Shine Micro Inc. (2024). *MMSI (Maritime Mobile Service Identity) Overview*. 04-03-2024 <https://www.shinemicro.com/about-mmsi/>
- Simau, S., Prakoso, I., Manengkey, J. I., Manohas, J., Pontoh, P., & da Gomez, G. K. (2023). Kajian Pemanfaatan Ais (Automatic Identification System) Dalam Melacak Aktivitas Illegal Fishing Pada Kapal Dan Ais Hybrid Sebagai Alat Bantu Penangkapan Ikan. *Jurnal Bluefin Fisheries*, 4(2), 102–128.

- SINAY Maritime Data Solution. (2022, Juli). *What is the Difference Between IMO and MMSI?*. 04-03-2024 <https://sinay.ai/en/what-is-the-difference-between-imo-and-mmsi/>
- Siregar, I. A. (2021). Analisis Dan Interpretasi Data Kuantitatif. *ALACRITY: Journal of Education*, 1(2), 39–48. <https://doi.org/10.52121/alacrity.v1i2.25>
- Sugarda, Yanti B. (2020). *Panduan Praktis Pelaksanaan Focus Group Discussion Sebagai Metode Riset Kualitatif*. PT Gramedia Pustaka Utama
- Tableau Software, LLC. (2024). *Bar Chart: Understanding and Using Bar Chart*. 28-01-2024 <https://www.tableau.com/data-insights/reference-library/visual-analytics/charts>
- Uber Technologies, Inc. (2023). *H3 Hexagonal hierarchical geospatial indexing system*. 25-12-2023 <https://h3geo.org/>
- United Nations Statistics Division. (2023, Mei). *AIS Big Data Introductory Training*. 24-12-2023 https://unstats.un.org/unsd/trade/events/2023/EISavaldor/S9_UNSD_03%20-%20AIS%20Big%20Data%20Introductory%20Training.pptx
- Wijayanti, P. T., Sri Wahyuniarti, D. P., & Fitriyono, R. A. (2021). Tindak Pidana Illegal Fishing di Perairan Natuna Dalam Perspektif Kriminologi. *Aksiologi: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, 2(1), 16–23. <https://doi.org/10.47134/aksiologi.v2i1.57>
- Wikantiyoso, S. (2020). *Analisis Efisiensi Algoritma Akuisisi Forensik Digital*. [https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/28852%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/28852/16523017 Suatmiko W.pdf?sequence=1](https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/28852%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/28852/16523017%20Suatmiko%20W.pdf?sequence=1)
- World Port Index. (2023). *Maritime Safety Information*. 28-12-2023 <https://msi.nga.mil/Publications/WPI>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sistem Pengkodean Tipe Kapal

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|----------------|
| Bulk Carrier | Bulk Carrier | Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk Carrier (with Vehicle Decks) | Bulk Carrier | Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk Carrier, Laker only | Bulk Carrier | Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Ore Carrier | Ore Carrier | Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk/Caustic Soda Carrier (CABU) | Bulk/Oil Carrier | Bulk Dry/Oil | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk/Oil Carrier (OBO) | Bulk/Oil Carrier | Bulk Dry/Oil | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk/Sulphuric Acid Carrier | Bulk/Oil Carrier | Bulk Dry/Oil | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Bulk/Oil/Chemical Carrier (CLEANBU) | Ore/Oil Carrier | Bulk Dry/Oil | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Ore/Oil Carrier | Ore/Oil Carrier | Bulk Dry/Oil | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Aggregates Carrier | Aggregates Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Cement Carrier | Cement Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Limestone Carrier | Limestone Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Powder Carrier | Powder Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Refined Sugar Carrier | Refined Sugar Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Urea Carrier | Urea Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |
| Wood Chips Carrier | Wood Chips Carrier | Other Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carrying |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Bulk Carrier, Self Discharging Bulk Dry | Self Discharging Bulk Dry | Self Discharging Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carryin g |
| Bulk Carrier, Self Discharging Bulk Dry | Self Discharging Bulk Dry | Self Discharging Bulk Dry | Bulk Carries | Cargo Carryin g |
| Container Ship (Fully Cellular) | Container Ship | Container | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| Container Ship (Fully Cellular/ Ro-Ro Facility) | Container Ship | Container | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| Passenger/Conta iner Ship | Passenger/ Container Ship | Container | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| Deck Cargo Ship | Deck Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo Ship | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo Ship (Open Hatch) | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo Ship (with Ro- Ro Facility) | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo Ship, Self- Discharging | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo/Tanker | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| General Cargo Ship/Tanker (Container/Oil/B ulk – COB Ship) | General Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |
| Palletised Cargo Ship | Palletised Cargo Ship | General Cargo | Dry Cargo/Passen ger | Cargo Carryin g |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--|------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| Barge Carrier | Barge Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Heavy Load Carrier | Heavy Load Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Heavy Load Carrier, Semi Submersible | Heavy Load Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Yatch Carrier, Semi Submersible | Heavy Load Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Livestock Carrier | Livestock Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Nuclear Fuel Carrier | Nuclear Fuel Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Nuclear Fuel Carrier (with Ro-Ro Facility) | Nuclear Fuel Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Pulp Carrier | Pulp Carrier | Other Dry Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Passenger/Cruise | Passenger (Cruise) Ship | Passanger | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Passenger Ship | Passenger Ship | Passanger | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| General Cargo/Passanger Ship | Passanger/General Cargo Ship | Passanger/General Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Passanger/Landing Craft | Passanger/Landing Craft | Passanger/General Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |
| Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles) | Passenger/Ro-Ro Cargo Ship | Passanger/General Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carrying |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles/Rail) | Passenger/Ro-Ro Cargo Ship | Passanger/General Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Refrigerated Cargo Ship | Refrigerated Cargo Ship | Refrigerated Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Container/Ro-Ro Cargo Ship | Container/Ro-Ro Cargo Ship | Ro-Ro Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Landing Craft | Landing Craft | Ro-Ro Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Rail Vehicles Carrier | Ro-Ro Cargo Ship | Ro-Ro Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Ro-Ro Cargo Ship | Ro-Ro Cargo Ship | Ro-Ro Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Vehicles Carrier | Vehicles Carrier | Ro-Ro Cargo | Dry Cargo/Passenger | Cargo Carryin g |
| Beer Tanker | Beer Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Chemical Tanker | Chemical Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Molten Sulphur Tanker | Chemical Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Chemical/Products Tanker | Chemical/Oil Products Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Edible Oil Tanker | Edible Oil Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Latex Tanker | Latex Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|----------------------------------|-------------------------|---------------|---------|--------------------|
| Vegetable Oil Tanker | Vegetable Oil Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| Wine Tanker | Wine Tanker | Chemical | Tankers | Cargo Carryin g |
| CO2 Tanker | CO2 Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| CNG Tanker | LNG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| Combination Gas Tanker (LNG/LPG) | LNG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| LNG Tanker | LNG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| Liquefied Hydrogen Tanker | LPG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| LPG Tanker | LPG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| LPG/Chemical Tanker | LPG Tanker | Liquefied Gas | Tankers | Cargo Carryin g |
| Asphalt/Bitumen Tanker | Bitumen Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Coal/Oil Mixture Tanker | Coal/Oil Mixture Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Crude Oil Tanker | Crude Oil Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Crude/Oil Products Tanker | Crude Oil Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Shuttle Tanker | Crude Oil Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Products Tanker | Oil Products Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Tanker (Unspecified) | Oil Products Tanker | Oil | Tankers | Cargo Carryin g |
| Alcohol Tanker | Alcohol Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Caprolactam Tanker | Caprolactam Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Fruit Juice Carrier, Refrigerated | Fruit Juice Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Glue Tanker | Glue Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Molasses Tanker | Molasses Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Water Tanker | Water Tanker | Other Liquids | Tankers | Cargo Carryin g |
| Aircraft Carrier | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Aircraft Transport, Naval auxiliary | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Attack Vessel, Naval | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Boom Defence Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Command Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Corvette | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Crane Vessel, Naval Auxiliary | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Cruiser | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Degaussing Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Destroyer | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Diving Vessel, Naval Auxiliary | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Escort | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Frigate | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Helicopter Carrier | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Infrantry Landing Craft | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Landing Ship (Dock Type) | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Logistics Vessel (Naval Ro-Ro Cargo) | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|-----------------|
| Minehunter | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Minelayer | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Minesweeper | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Munitions Carrier | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Cargo Carryin g |
| Naval Small Craft | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Netlayer | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Replenishment Dry Cargo Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Replenishment Tanker | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Seaplane Tender | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Submarine | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Submarine Chaser | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Submarine Salvage Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |
| Tank Landing Craft | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Mercha nt |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|--------------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Torpedo Boat | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Torpedo Recovery Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Torpedo Trials Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Troopship | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Tug, Naval Auxiliary | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Unknown Function, Naval/Naval Auxiliary | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Weapons Trials Vessel | Naval/Naval Auxiliary | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Accommodation Vessel, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Lightship | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Museum, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Radio Station Vessel | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Restaurant Vessel, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Training Ship, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|---------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Sail Training Ship | Sail Training Ship | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Houseboat | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Yatch | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Yatch (Sailing) | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Bitumen Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Bulk Aggregates Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Bulk Cement Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Cement Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Chemical Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Chemical/Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Covered Bulk Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Crude Oil Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Drilling Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|---------------------|---------|---------------|---------------|
| Fish Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| General Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Hopper Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LNG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LPG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LPG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Trans Shipment Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Water Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Accommodation Pontoon, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Covered Bulk Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Crude Oil Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Drilling Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Fish Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| General Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Hopper Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LNG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LPG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Trans Shipment Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Water Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Accommodation, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Radio Station Vessel | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Restaurant Vessel, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Training Ship, Stationary | Other Non Merchant Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Sail Training Ship | Sail Training Ships | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|---------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Houseboat | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Yatch | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Yatch (Sailing) | Yatch | Non Merchant Ships | Non Merchant | Non Merchant |
| Bitumen Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Bulk Aggregates Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Bulk Cement Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Cement Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Chemical Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Chemical/Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Covered Bulk Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Crude Oil Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Drilling Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Fish Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|---------------------|---------|---------------|---------------|
| General Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Hopper Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LNG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LPG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Trans Shipment Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Water Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Chemical/Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Covered Bulk Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Crude Oil Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Drilling Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Fish Storage Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| General Cargo Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|-------------------------------------|---------------------|---------|---------------|---------------|
| Hopper Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LNG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| LPG Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Products Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Trans Shipment Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Water Tank Barge, Non Propelled | Non Propelled Barge | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Accommodation, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Bucket Dredger Pontoon | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Car Park | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Crane Vessel, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Deck Cargo Pontoon, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Deck Cargo Pontoon, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |
| Desalination Pontoon, Non Propelled | Pontoon | Barge | Non Propelled | Non Propelled |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Air Cushion Vehicle Passenger | Air Cushion Vehicle (Hovercraft) | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Air Cushion Vehicle Passenger/Ro-Ro (Vehicles) | Air Cushion Vehicle (Hovercraft) | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Air Cushion Vehicle Patrol Vessel | Air Cushion Vehicle (Hovercraft) | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Air Cushion Vehicle, Work Vessel | Air Cushion Vehicle (Hovercraft) | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Wing In Ground Vehicle | Air Cushion Vehicle (Hovercraft) | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Mooring Buoy | Buoy | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Dock Gate | Floating Dock | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Floating Dock | Floating Dock | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Mechanical Lift Dock | Floating Dock | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Linkspan/Jetty | Linkspan/Jetty | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|----------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Accommodation Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Accommodation Platform, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Crane Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Diving Support Platform, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Drilling Rig, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Drilling Rig, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Maintenance Platform, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Pipe Layer Platform, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Production Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Production Platform, Semi Submersible | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Pumping Platform | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Supply Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Support Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Wind Turbine Installation Platform, Jack Up | Platform | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Submersible | Submersible | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Underwater System | Underwater System | Non Ship Structures | Non Ship Structure | Non Ship Structure |
| Fishing Vessel | Fishing Vessel | Fish Catching | Fishing | Work Vessel |
| Fish Carrier | Fish Carrier | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Fish Factory Ship | Fish Factory Ship | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Fish Farm Support Vessel | Fishing Support Vessel | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Fishery Patrol Vessel | Fishing Support Vessel | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Fishery Research Vessel | Fishing Support Vessel | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Fishery Support Vessel | Fishing Support Vessel | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Kelp Dredger | Kelp Dredger | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---------------------------------|----------------------|------------------|---------------|-------------|
| Pearl Shells Carrier | Pearl Shells Carrier | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Seal Catcher | Seal Catcher | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Whale Catcher | Whale Catcher | Other Fishing | Fishing | Work Vessel |
| Backhoe Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bucket Ladder Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bucket Wheel Suction Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Cutter Suction Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Dredger (Unspecified) | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Grab Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Suction Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Water Injection Dredger | Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bucket Hopper Dredger | Hopper Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Grab Hopper Dredger | Hopper Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Hopper/Dredger (Unspecified) | Hopper Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Suction Hopper Dredger | Hopper Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Trailing Suction Hopper Dredger | Hopper Dredger | Dredging | Miscellaneous | Work Vessel |
| Anchory Handling Vessel | Anchory Hoy | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bunkering Tanker (LNG) | Bunkering Tanker | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bunkering Tanker (LNG/Oil) | Bunkering Tanker | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--------------------------|------------------------|------------------|---------------|-------------|
| Bunkering Tanker (Oil) | Bunkering Tanker | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Buoy & Lighthouse Vessel | Buoy/Lighthouse Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Buoy Tender | Buoy/Lighthouse Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Lighthouse Tender | Buoy/Lighthouse Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Cable Layer | Cable Layer | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Cable Repair Layer | Cable Layer | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Crane Vessel | Crane Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Pile Driving Vessel | Crane Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Crew Boat | Crew Boat | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bulk Cement Storage Ship | Dry Storage | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Bulk Dry Storage Ship | Dry Storage | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Fire Fighting Vessel | Fire Fighting Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Hospital Vessel | Hospital Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Icebreaker | Icebreaker | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Icebreaker/Research | Icebreaker | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Exhibition Vessel | Leisure Vessels | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Mission Ship | Leisure Vessels | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Theatre Vessel | Leisure Vessels | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Log Tipping Ship | Log Tipping Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|----------------------------|----------------------------|------------------|---------------|-------------|
| Mining Vessel | Mining Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Mooring Vessel | Mooring Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Hopper, Motor | Motor Hopper | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Stone Carrier | Motor Hopper | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Patrol Vessel | Patrol Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Pilot Vessel | Pilot Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Pollution Control Vessel | Pollution Control Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Power Station Vessel | Power Station Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Rocket Launch Support Ship | Rocket Launch Support Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Sailing Vessel | Sailing Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Salvage Ship | Salvage Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Search & Rescue Vessel | Search & Rescue Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Supply Tender | Supply Tender | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Tank Cleaning Vessel | Tank Cleaning Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Training Ship | Training Ship | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Trans Shipment Vessel | Trans Shipment Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Utility Vessel | Utility Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Vessel (Function Unkhown) | Vessel (Function Unkhown) | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Effluent Carrier | Waste Disposal Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|--|---|------------------|---------------|-------------|
| Incinerator | Waste Disposal Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Waste Disposal Vessel | Waste Disposal Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Wind Turbine Installation Vessel | Wind Turbine Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Commissioning Service Operation Vessel | Work/Repair Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Service Operation Vessel | Work/Repair Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Work/Repair Vessel | Work/Repair Vessel | Other Activities | Miscellaneous | Work Vessel |
| Research Survey Vessel | Research Vessel | Research | Miscellaneous | Work Vessel |
| Articulated Pusher Tug | Pusher Tug | Towing/Pushing | Miscellaneous | Work Vessel |
| Pusher Tug | Pusher Tug | Towing/Pushing | Miscellaneous | Work Vessel |
| Tug | Tug | Towing/Pushing | Miscellaneous | Work Vessel |
| Anchor Handling Tug Supply | Offshore Tug/Supply Ship | Offshore Supply | Offshore | Work Vessel |
| Offshore Tug/Supply Ship | Offshore Tug/Supply Ship | Offshore Supply | Offshore | Work Vessel |
| Crew/Supply Ship | Platform Supply Ship | Offshore Supply | Offshore | Work Vessel |
| Pipe Carrier | Platform Supply Ship | Offshore Supply | Offshore | Work Vessel |
| Platform Supply Ship | Platform Supply Ship | Offshore Supply | Offshore | Work Vessel |
| Drilling Ship | Drilling Ship | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| FPSO, Oil | FPSO (Floating Production, Storage, Offloading) | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |

| Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
|---------------------------------------|---|----------------|----------|-------------|
| Gas Processing Vessel | FPSO (Floating Production, Storage, Offloading) | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| FSO, Gas | FSO (Floating, Storage, Offloading) | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| FSO, Oil | FSO (Floating, Storage, Offloading) | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Accommodation Ship | Offshore Support Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Diving Support Vessel | Offshore Support Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Offshore Construction Vessel, Jack Up | Offshore Support Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Offshore Support Vessel | Offshore Support Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Pipe Burying Vessel | Pipe Burying Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Pipe Layer | Pipe Layer | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Pipe Layer Crane Vessel | Pipe Layer | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Production Testing Vessel | Production Testing Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Standby Safety Vessel | Standby Safety Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Trenching Support Vessel | Trenching Support Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |
| Well Stimulation Vessel | Well Stimulation Vessel | Other Offshore | Offshore | Work Vessel |

Lampiran 2. Fitur lengkap data AIS yang digunakan

| No | Nama Variabel/Atribut | Tipe Variabel | Keterangan |
|----|-----------------------|---------------|---|
| 1 | MMSI | Long | Maritime Mobile Service Identity (MMSI) |
| 2 | IMO | Int | International Maritime Organization (IMO) |
| 3 | VESSEL_NAME | String | Nama kapal |
| 4 | CALLSIGN | String | <i>Vessel Call Sign</i> |
| 5 | VESSEL_TYPE | String | Tipe kapal |
| 6 | VESSEL_TYPE_CODE | Int | Kode tipe kapal |
| 7 | VESSEL_TYPE_CARGO | String | Tipe kargo kapal |
| 8 | VESSEL_TYPE_MAIN | String | Tipe kapal utama |
| 9 | VESSEL_TYPE_SUB | String | Tipe kapal subkategori kapal |
| 10 | FLAG_COUNTRY | String | Negara dimana kapal terdaftar |
| 11 | FLAG_CODE | Int | Kode negara dimana kapal terdaftar |
| 12 | VESSEL_CLASS | String | Kelas kapal (A/B) |
| 13 | EEID | Long | Kode identifikasi exactEarth (eEID) |
| 14 | TS_POS_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS dalam UTC [YYYYMMDDHHmmSS] |
| 15 | DT_POS_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS dalam UTC [YYYY-MM-DD HH24:mm:ss] |
| 16 | POSITION | Point | WGS84 Point, Lokasi geografis [Geometri] |
| 17 | SEGMENT | Point | WGS84 LineString / MultiLineString [Geometri] |
| 18 | LONGITUDE | Double | WGS 84 koordinat longitude [Derajat Desimal] |
| 19 | LATITUDE | Double | WGS 84 koordinat latitude [Derajat Desimal] |
| 20 | SOG | Double | <i>Speed over Ground</i> [Knots] |
| 21 | COG | Double | <i>Course over Ground</i> [Degrees] |
| 22 | ROT | Double | <i>Rate of Turn</i> [Degrees/Min] |
| 23 | HEADING | Double | Arah sebenarnya [Degrees] |
| 24 | NAV_STATUS | String | Status navigasi |
| 25 | NAV_STATUS_CODE | Int | Kode status navigasi |

| | | | |
|----|-----------------|--------|--|
| 26 | SOURCE | String | Sumber laporan posisi kapal (S-AIS atau T-AIS) |
| 27 | FROM_LONGITUDE | Double | WGS 84 koordinat longitude [Derajat Desimal] |
| 28 | FROM_LATITUDE | Double | WGS 84 koordinat latitude [Derajat Desimal] |
| 29 | DTG | Date | Waktu observasi, yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ssZ |
| 30 | TS_STATIC_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS statis dalam UTC [YYYYMMDDHHmmSS] |
| 31 | DT_STATIC_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS statis dalam UTC [YYYY-MM-DD-HH24:mm:ss] |
| 32 | LENGTH | Int | Panjang dari haluan kapal ke menara utama dan dari menara utama ke buritan kapal [Meter] |
| 33 | WIDTH | Int | Panjang dari <i>port</i> ke menara utama dan dari menara utama ke <i>starboard</i> [Meter] |
| 34 | DESTINATION | String | Destinasi pelayaran |
| 35 | ETA | String | Estimasi waktu sampai dalam bulan, hari, dan menit dalam UTC [MMDDHHmm] |
| 36 | DRAUGHT | Double | Sarat air kapal [Meter] |
| 37 | TS_INSERT_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS dimasukkan dalam UTC [YYYYMMDDHHmmSS] |
| 38 | DT_INSERT_UTC | String | Tanggal dan waktu posisi terakhir pesan AIS dimasukkan dalam UTC [YYYY-MM-DD-HH24:mm:ss] |
| 39 | MESSAGE_TYPE | Int | Tipe pesan AIS (1,2,3,4,18,19,27) |
| 40 | SOURCE_FILENAME | String | Nama file sumber di bucket Amazon S3 UNGP, dengan s3_path sebagai awalan nama berkas |
| 41 | H3_INT_INDEX_0 | Int | H3 index resolusi 0 |
| 42 | H3_INT_INDEX_1 | Int | H3 index resolusi 1 |
| 43 | H3_INT_INDEX_2 | Int | H3 index resolusi 2 |
| 44 | H3_INT_INDEX_3 | Int | H3 index resolusi 3 |

| | | | |
|----|-----------------|-----|----------------------|
| 45 | H3_INT_INDEX_4 | Int | H3 index resolusi 4 |
| 46 | H3_INT_INDEX_5 | Int | H3 index resolusi 5 |
| 47 | H3_INT_INDEX_6 | Int | H3 index resolusi 6 |
| 48 | H3_INT_INDEX_7 | Int | H3 index resolusi 7 |
| 49 | H3_INT_INDEX_8 | Int | H3 index resolusi 8 |
| 50 | H3_INT_INDEX_9 | Int | H3 index resolusi 9 |
| 51 | H3_INT_INDEX_10 | Int | H3 index resolusi 10 |
| 52 | H3_INT_INDEX_11 | Int | H3 index resolusi 11 |
| 53 | H3_INT_INDEX_12 | Int | H3 index resolusi 12 |
| 54 | H3_INT_INDEX_13 | Int | H3 index resolusi 13 |
| 55 | H3_INT_INDEX_14 | Int | H3 index resolusi 14 |
| 56 | H3_INT_INDEX_15 | Int | H3 index resolusi 15 |

RIWAYAT HIDUP

Skripsi ini ditulis oleh Ladisa Busaina yang dilahirkan di Padang pada tanggal 21 April 2001 dari pasangan Bapak Arif Santoso dan Ibu Des Yunita Latif. Penulis merupakan adik dari Siti Nabila Rahmah dan kakak dari Muhammad Ghalib Biyurif. Pada tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 05 VI Suku, Kota Solok. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Kota Solok dan lulus pada tahun 2016. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 2 Sumatera Barat pada tahun 2019. Setahun setelahnya, penulis mulai mengikuti pendidikan tinggi di Politeknik Statistika STIS dan menyelesaikan pendidikan Program Studi D-IV Komputasi Statistik pada tahun 2024.