

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan garis pantai yang luas; akibatnya, semua aktivitas di laut, seperti penangkapan ikan dan pelayaran, sangat penting bagi masyarakat Indonesia. Semua aktivitas yang berkaitan dengan kualitas air sangat sensitif terhadap perubahan yang terjadi di laut. Salah satu komoditas perikanan yang paling penting di Indonesia adalah cumi-cumi. Ada cukup banyak orang yang peduli terhadap komoditas ini. Hal ini karena cumi-cumi memiliki nilai gizi yang tinggi, tekstur daging yang kenyal, dan rasa yang gurih jika diolah dengan benar (Mulyono dkk., 2023). Produksi cumi-cumi tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik, tetapi juga merupakan salah satu komoditas ekspor yang dijual ke luar negeri. Namun, ikan pelagis secara konsisten membentuk kelompok berdasarkan ukuran tubuhnya, dan selain itu, salah satu komoditas dengan harga jual yang sangat tinggi adalah cumi-cumi (Suwardi dkk., 2023).

Menurut klimatologi, wilayah Indonesia dipengaruhi oleh cuaca yang keras dan hujan. Hal ini akan memberikan efek yang berkelanjutan pada cuaca yang terjadi di jalur udara Indonesia, menunjukkan bahwa kondisi monsun di jalur udara Indonesia merupakan hasil dari interaksi yang teratur antara atmosfer lokal dan laut (Mulyono dkk., 2023).

Kandungan protein dalam cumi-cumi berkisar antara 15% hingga 20% (Wulandari, 2018b), sedangkan mineral seperti natrium, kalium, fosfor, magnesium, besi, dan lemak membentuk 0,24 persen (Wairata & Sohilait, 2013). Konsumsi cumi-cumi di Indonesia masih relatif rendah, dengan banyak daging cumi-cumi yang tidak dikonsumsi oleh masyarakat saat musim tangkapan melimpah. Produksi cumi-cumi di Indonesia cukup besar. Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), produksi cumi-cumi Indonesia mencapai 204.156,28 ton pada tahun 2021, dengan nilai Rp 8,73 triliun. Menurut KKP (2022), produksi cumi-cumi dalam beberapa tahun terakhir mengalami fluktuasi, dengan kecenderungan yang terus meningkat dari 2011 hingga 2021. Jika dibandingkan dengan tahun sebelumnya (2020), produksi komoditas ini meningkat sebesar 5,46 persen, atau sekitar 193.583,82 ton. Dari segi nilai produksi, terjadi peningkatan sebesar 14,12% dari tahun 2020, atau mencapai ini, hasil tangkapan di alam masih menjadi dasar dari seluruh di Indonesia. Saat ini, ukuran rata-rata hasil tangkapan cumi-cumi empat ke atas, atau di bawah 20 cm, dengan harga 1.000–60.000/kg. Namun, untuk ukuran cumi-cumi yang harganya lebih dari Rp 130.000/kg. Selain itu, permintaan s ini, baik di pasar domestik maupun internasional, terus



meningkat, sehingga diperlukan teknologi untuk meningkatkan jumlah cumi-cumi di dalam negeri (Mulyono dkk., 2023).

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik untuk melakukan peramalan penangkapan cumi-cumi berdasarkan faktor yang telah disebutkan sebelumnya. Penelitian ini berfokus pada data dengan periode tiga bulanan, sehingga metode *Random Forest*, *Linear Regression*, *Bayesian Optimization* dan *K-Fold Cross Validation* digunakan. Diharapkan bahwa metode ini dapat meningkatkan akurasi prediksi yang dibuat. Penelitian ini menggunakan beberapa parameter, termasuk ENSO, IOD, MJO, salinitas permukaan laut, kecepatan arus, dan suhu permukaan.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variabel iklim terhadap hasil tangkapan cumi-cumi (*Loliginidae*) di perairan Indonesia.
2. Mengembangkan model prediksi hasil tangkapan menggunakan metode *Linear Regression* dan *Random Forest*.
3. Mengevaluasi akurasi model dengan teknik *k-Fold Cross Validation*.

1.2.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Sektor Perikanan Tangkap
Penelitian ini dapat memberikan acuan prediksi hasil tangkapan cumi berdasarkan dinamika iklim laut, yang berguna dalam menentukan strategi penangkapan yang lebih tepat sasaran. Model yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalkan ketidakpastian hasil tangkapan.
2. Bagi Lembaga Meteorologi
Penelitian ini dapat mendukung lembaga meteorologi dalam memahami dan memetakan dampak variabilitas iklim laut terhadap sektor perikanan. Model prediksi yang dibangun berbasis data klimatologis dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam pengembangan sistem informasi iklim kelautan, yang mendukung pengambilan keputusan lintas sektor, termasuk mitigasi risiko pada aktivitas maritim dan perikanan.



in Akademisi

memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu i bidang klimatologi perairan dan prediksi hasil perikanan. etode *Random Forest*, *Linear Regression*, *Bayesian* an validasi menggunakan *k-Fold Cross Validation*, dan dalam

konteks ini diharapkan dapat menjadi referensi metodologis untuk penelitian-penelitian sejenis di masa mendatang.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Cumi-Cumi

Cumi-cumi merupakan hewan *Avertebrata* yang termasuk dalam filum *Moluska* kelas *Cephalopoda*. Kaki cumi-cumi terletak di bagian kepala, mengalami modifikasi dan berfungsi untuk memegang, sedangkan mantel beradaptasi untuk berenang. Mulut dikelilingi oleh kaki pada bagian kepala. Kaki terdiri atas dua tentakel dan delapan lengan, ukuran tentakel lebih panjang dibanding tangan. Pada permukaan sebelah dalam jerait terdapat alat penghisap (*sucker*). Bagian lateral dari kepala terdapat sepasang mata yang strukturnya hampir mirip dengan mata *vertebrata* (Rusyana, 2011).

Mantel cumi-cumi *L. duvauceli* berbentuk bulat panjang, langsing dan berbentuk kerucut di bagian posterior. Pada sisi kanan dan kiri bagian dorsal mantel terdapat sirip yang menyatu dengan mantel dan menempati kurang lebih sepertiga bagian posterior mantel (Bullough, 1985). Cumi-cumi jantan dan betina dapat dibedakan dari bentuk tubuhnya, jantan berukuran lebih panjang dan lebih langsing dibandingkan dengan betina. Perbedaan jenis kelaminnya akan lebih jelas tampak pada cumi-cumi matang gonad karena cumi-cumi betina memiliki bentuk tubuh gemuk di bagian ventral dan warna mantel lebih gelap (Bullough, 1985).



Gambar 1. Cumi-Cumi

https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Loligo_vulgaris.jpg



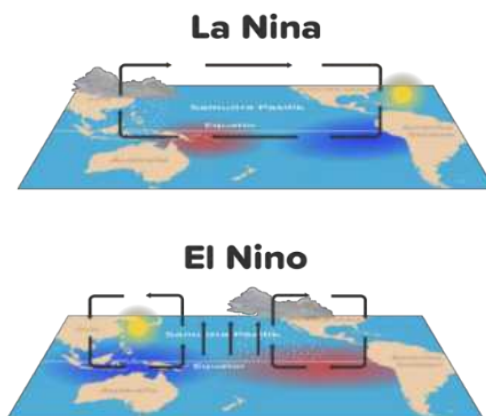
k hewan yang bertubuh lunak dengan mata terdapat di bagian ran yang besar, tentakelnya dilengkapi alat penghisap yang sebagai membantu untuk berenang (kemudi) dan ari serangan mangsa ((Wulandari, 2018). Selain itu, cumi juga iran tinta berwarna gelap atau mengubah warna kulitnya.

Cumi-cumi bergerak menggunakan sifon yang mengatur sirkulasi air untuk dilewatkan ke insang. Ciri-ciri lain dari cumi-cumi yaitu mantelnya yang memanjang, ramping, berujung tumpul, sirip bentuknya belah ketupat, panjang sirip dan panjang mantel bervariasi. Mantel cumi-cumi memiliki panjang maksimum 400 mm, namun biasanya hanya 200 mm (Wulandari, 2018).

Cumi-cumi merupakan cephalopoda yang kaya sebagai sumber protein hewani dari laut dan salah satu jenis makanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Cumi-cumi merupakan sumber pangan yang bernutrisi tinggi dan dapat bermanfaat bagi tubuh karena kandungan lemak rendah dan protein yang termasuk tinggi. Kandungan asam amino yang ditemukan dalam protein cumi-cumi yaitu asam aspartat, lysine, asam glutamat, leusin, serin, arginin, cystine, histidin, dan triptofan (Wulandari, 2018).

1.3.2 ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*)

El Niño-Southern Oscillation, atau ENSO, adalah fenomena yang muncul akibat interaksi kompleks antara berbagai variabel meteorologi, seperti awan, angin, suhu permukaan laut, dan arus di Samudra Pasifik, yang menyebabkan variasi curah hujan di berbagai wilayah dunia. ENSO memiliki tiga fase utama: *El Niño*, *La Niña*, dan kondisi Normal. ENSO merupakan bentuk interaksi antara udara dan atmosfer yang terjadi di zona ekuator Samudra Pasifik (Aldrian, 2008) dan dapat memicu anomali iklim global (Trenberth & Caron, 2000). Fenomena ENSO berpengaruh terhadap cuaca di Indonesia, di mana permukaan laut naik selama *El Niño* dan turun saat *La Niña* (Aldrian, 2008).



Gambar 2. Perbandingan *La Niña* dan *El Niño*

roboguru.ruangguru.com/question/jelaskan-kaitan-antara-el-nino-dan-la-nina-dengan-kenaikan-harga-QU-RFDI24D3

Positif (*El Niño*) dapat menyebabkan cuaca ekstrem, sedangkan negatif (*La Niña*) dapat mengakibatkan hujan musim

berkepanjangan di beberapa wilayah terbesar di Indonesia tampak pada **Gambar 2**. *El Niño* adalah fase positif ENSO yang terjadi ketika suhu permukaan laut (SST) mencapai tingkat tertinggi di kawasan tropis dan suhu di Samudra Pasifik timur lebih tinggi dari rata-rata. Sebaliknya, *La Niña* adalah fase negatif ENSO yang ditandai dengan kenaikan permukaan laut di wilayah yang suhunya jauh lebih rendah dari rata-rata. Akibatnya, selama *El Niño*, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami kemarau yang lebih kering dibandingkan dengan awal musim hujan yang tertunda, sedangkan saat *La Niña*, hujan turun lebih cepat dari biasanya. ENSO sendiri merupakan hasil dari interaksi antara atmosfer dan laut yang memengaruhi pola iklim tahunan pada tingkat global (Ropelewski & Halpert, 1987; Trenberth & Caron, 2000; Trenberth & Stephaniak, 2001; McBride dkk., 2003; Aldrian, 2008). Fase cuaca ENSO mencakup *El Niño* dan *La Niña*, sedangkan fase atmosfernya dikenal sebagai Southern Oscillation (Trenberth, 1997). Aktivitas utama ENSO berpusat di wilayah Samudra Pasifik dengan garis ekuator (Trenberth, 1997; Trenberth & Caron, 2000).

El Niño pertama kali disebut sebagai fenomena tahunan yang menghasilkan arus hangat lemah di pantai selatan Peru dan Ekuador, yang mengurangi jumlah cumi-cumi yang ditangkap (Trenberth, 1997). Penurunan ini disebabkan oleh proses *upwelling* yang lebih lambat, yang merupakan proses pengambilan nutrisi dari lapisan dalam ke permukaan. Dalam perkembangan berikutnya, *El Niño* didefinisikan sebagai suhu muka laut (suhu permukaan laut) yang lebih tinggi di wilayah ekuator Pasifik bagian timur daripada kondisi normalnya. Sebaliknya, *La Niña* didefinisikan sebagai suhu muka laut yang lebih rendah di daerah ekuator Samudra Pasifik daripada rata-rata normal (Trenberth, 1997; Prabowo, 2002). Baik *El Niño* maupun *La Niña* memiliki hubungan yang kuat dengan fenomena *Oscillation Selatan*, sehingga hubungan keduanya dikenal sebagai ENSO (*El Niño–Southern Oscillation*) (Trenberth, 1997; Aldrian, 2008; Prabowo, 2002).

1.3.3 MJO (*Madden Julian Oscillation*)

Madden Julian Oscillation (MJO) adalah salah satu fenomena global yang memiliki pengaruh besar pada cuaca dan iklim Indonesia. Menurut penelitian Madden & Julian (1971), MJO merupakan bentuk utama osilasi dalam variabilitas iklim di wilayah tropis. Istilah "osilasi" sendiri mengacu pada perubahan atau fluktuasi periodik suatu parameter terhadap waktu. MJO paling terlihat di daerah dengan lintang rendah, terutama di sekitar khatulistiwa. Fenomena ini biasanya li di Samudra Hindia. Ini bergerak ke arah timur dari 15° LU



siklus waktu 30–60 hari dan dicirikan oleh peningkatan dan anomali pola sirkulasi atmosfer yang signifikan. Dengan sekitar 5 meter per detik, pergerakan fenomena ini terjadi

dari wilayah barat Indonesia, yaitu Samudra Hindia, menuju ke timur hingga Samudra Pasifik. MJO berkontribusi pada perubahan iklim di wilayah tropis dan terkait erat dengan pembentukan kolam air hangat (*warm pool*) di timur Samudra Hindia dan barat Samudra Pasifik. Dengan pertumbuhan awan kumululus konvektif yang tebal, MJO bergerak ke arah timur dan membawa angin baratan (angin timur) di sepanjang ekuator. Sepanjang jalur pergerakan MJO, awan-awan ini menghasilkan hujan yang sangat intens. Di Samudra Hindia, fenomena ini menjalar dengan kecepatan sekitar 100 km/h, dan saat melewati wilayah Indonesia, kecepatan ini meningkat hingga 500 km/h (Evana dkk., 2008).

1.3.4 IOD (*Indian Ocean Dipole*)

Fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) adalah salah satu penyebab pergeseran musim di Indonesia. IOD terjadi karena variasi suhu permukaan laut di bagian barat dan timur Samudra Hindia (Aldrian, E, 2008; Saji dkk., 1999). Fenomena ini dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan suhu permukaan laut, yang turut memengaruhi naik turunnya intensitas curah hujan.

Indonesia adalah negara yang dikelilingi oleh dua benua, yaitu Asia dan Australia, serta dua samudra besar, yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Berdasarkan posisi geografis ini, kondisi permukaan laut dan kedalaman laut di Indonesia sangat dipengaruhi oleh parameter oseanografi dari kedua samudra tersebut, terutama Samudra Hindia. *Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan salah satu dari beberapa fenomena oseanografi yang sering terjadi di wilayah ini. Karakteristik IOD, seperti pola arus, suhu permukaan laut, dan distribusi klorofil-a di perairan Indonesia, memberikan wawasan penting dalam studi oseanografi. *Indian Ocean Dipole* (IOD) adalah fenomena yang terjadi akibat anomali pada permukaan laut, di mana terjadi pendinginan atau pemanasan di perairan Samudra Hindia serta di permukaan laut. Ketidakseimbangan suhu ini menyebabkan proses *upwelling* terjadi di wilayah yang lebih dingin (kutub), yaitu proses di mana massa air bergerak dari lapisan bawah ke permukaan akibat adanya arus massa air yang bergerak ke atas (Saji dkk., 1999). Proses *upwelling* ini menyebabkan suhu permukaan laut turun sekitar 2°C di wilayah tropis dan lebih dari 2°C di wilayah subtropis (Dahuri dkk., 1996). Cuaca di Pulau Jawa juga dipengaruhi oleh fenomena IOD, yang merupakan bentuk interaksi antara laut dan atmosfer di kawasan tropis Samudra Hindia. IOD dapat terjadi jika terdapat perbedaan yang signifikan pada suhu permukaan laut (SPL) antara perairan Afrika dan Samudra Hindia, di mana salah satu memiliki suhu yang lebih tinggi.



Perubahan Suhu Permukaan Laut

Salah satu parameter oseanografi yang paling penting, Suhu Permukaan Laut (SPL), memiliki kemampuan untuk menganalisis dinamika atmosfer, variabilitas iklim, dan terjadinya fenomena iklim dalam skala regional dan global (Dahuri dkk., 2017). Sirkulasi atmosfer terjadi sebagai akibat dari distribusi

radiasi matahari yang tidak merata di permukaan bumi, di mana zona ekuator mengalami intensitas radiasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan zona lintang tinggi, seperti wilayah kutub (Handiana dkk., 2013). Secara geografis terletak di wilayah ekuator, Indonesia memiliki aktivitas vulkanik yang intens yang berkontribusi pada kehidupan masyarakat yang damai sebagai respons terhadap jumlah besar energi matahari yang diterima negara setiap hari (Tjasyono, 2004). Variabilitas SPL dalam penerbangan Indonesia tidak hanya signifikan dalam hal iklim lokal, tetapi juga secara signifikan berkontribusi pada perkembangan iklim di wilayah yang lebih jauh, seperti Samudra Pasifik, Samudra Hindia, Benua Asia, dan Australia (Purwandani, 2012).

Variabilitas siklus Suhu Permukaan Laut (SPL) memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan hujan di wilayah udara Indonesia, menunjukkan bahwa Indonesia berada di kawasan yang mengalami siklon tropis. Kawasan siklon tropis dicirikan oleh sistem tekanan rendah yang mendorong pertumbuhan awan-awan konvektif, khususnya jenis Cumulonimbus, sehingga meningkatkan frekuensi kejadian badai dan fenomena ekstrem lainnya (Hartoko, 2013).

Suhu merupakan salah satu faktor terpenting bagi kelangsungan hidup organisme akuatik karena memiliki dampak jangka panjang terhadap metabolisme dan reproduksi organisme tersebut (Hutabarat & Evans, 2014). Secara umum, rentang suhu ideal untuk pertumbuhan plankton di lingkungan tropis adalah antara 25 dan 32°C. Plankton yang dapat hidup di berbagai lingkungan cair diklasifikasikan sebagai organisme eurythermal, sedangkan plankton yang hanya dapat hidup dalam lingkungan cair tertentu disebut sebagai organisme stenothermal (Hartoko, 2013; Wyrki, 1961). Suhu air laut juga memengaruhi keanekaragaman hayati ekosistem pesisir, seperti ekosistem karang, lamun, dan hutan mangrove, serta organisme yang sensitif terhadap habitat tersebut. Secara horizontal, letak lintang sangat memengaruhi distribusi suhu perairan, dengan wilayah-wilayah yang terletak dekat dengan khatulistiwa yang menerima radiasi matahari paling besar memiliki suhu laut lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah lintang tinggi. Zona antara 10° LU dan 10° LS dikenal sebagai area dengan akumulasi panas matahari tertinggi, sehingga jumlah maksimum udara biasanya ditemukan di daerah ini (Sverdrup, Johnson, & Fleming, 1942). Rata-rata suhu Suhu Permukaan Laut (SPL) di Indonesia berkisar antara 28 hingga 31°C (Nontji, 2007). Secara lebih luas, struktur laut terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan homogen, yang juga dikenal sebagai (mix layer); lapisan termoklin, yang ditandai dengan ng tajam; dan lapisan dasar, yang ditandai dengan suhu yang



1. Suhu Permukaan Laut (SPL) sangat penting untuk mendeteksi gradien suhu seperti *upwelling*, yang dicirikan oleh tingginya suhu permukaan laut dan kontribusinya terhadap perubahan distribusi, kelimpahan,

serta komposisi fitoplankton melalui peningkatan kandungan klorofil dan penurunan SPL akibat proses tersebut (Barata dkk., 2014). SPL juga memiliki dampak signifikan terhadap aktivitas metabolisme dan proses reproduksi ikan (Habib dkk., 2019). Di wilayah perairan Indonesia, suhu biasanya ditemukan di lapisan permukaan antara 26°C dan 30°C, suhu di lapisan termoklin antara 9°C dan 26°C, serta suhu di lapisan perairan dalam antara 2°C dan 8°C (Insanu dkk., 2021). Beberapa faktor, seperti intensitas radiasi matahari, tingkat curah hujan, laju penguapan, kecepatan angin, dan karakteristik fisik udara, diketahui memengaruhi tingkat permukaan laut. Curah hujan di atas permukaan laut cenderung menurunkan suhu air, sedangkan proses penguapan, yang melibatkan transfer udara ke lapisan permukaan, berkontribusi pada peningkatan suhu permukaan. Secara umum, dinamika perubahan suhu di permukaan laut sangat dipengaruhi oleh proses termodinamika yang terjadi di tingkat laut (Shadiqin dkk., 2016).

Perairan yang memiliki Suhu Permukaan Laut (SPL) optimal pada suhu antara 29°C dan 30°C diklasifikasikan sebagai daerah yang berpotensi produktif untuk perikanan. Sebaliknya, jika SPL di suatu wilayah berada di bawah 29°C, wilayah tersebut dianggap sebagai daerah penangkapan dengan potensi rendah (Heriati dkk., 2018).

1.3.6 Pola Arus di Perairan Indonesia

Arus laut mengacu pada pergerakan massa air yang disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan densitas, atau panjang gelombang. Saat ini, arus laut banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan yang mendukung aktivitas manusia. Namun, penelitian tentang arus laut, terutama di perairan Indonesia, masih tergolong lemah (Daruwedho dkk., 2016). Arus laut permukaan adalah arus yang terdapat di lapisan permukaan dan dipengaruhi oleh hembusan angin di atasnya. Sekitar 2% dari kecepatan angin yang terjadi disumbangkan oleh energi angin, yang memperlambat arus permukaan. Pengaruh angin semakin berkurang seiring bertambahnya kedalaman, sehingga kecepatan arus akan menurun, terutama pada kedalaman sekitar 200 meter (Octavia dkk., 2018).

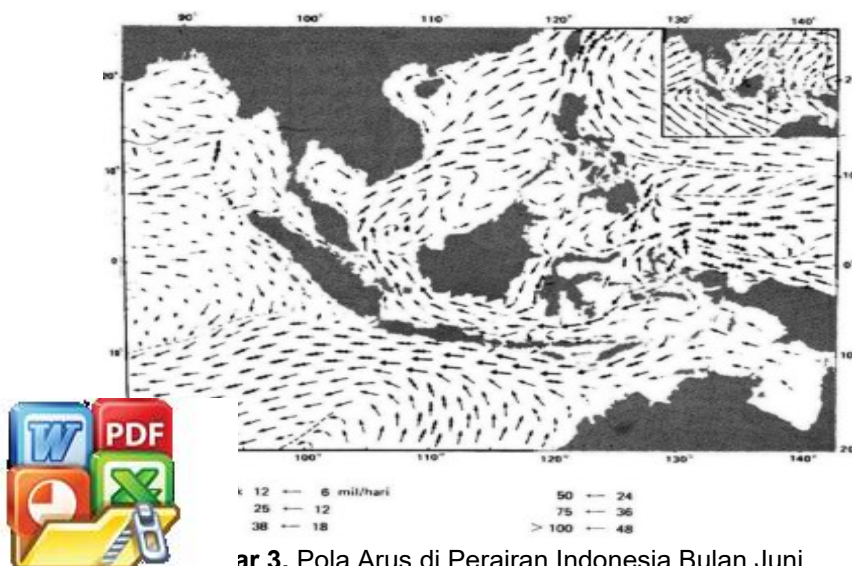
Arus laut disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan densitas, atau pergerakan panjang gelombang yang memengaruhi massa air. Faktor-faktor yang memengaruhi pergerakan arus meliputi sudut angin, variasi densitas air, efek Coriolis, Ekman, topografi dasar laut, permukaan, serta fenomena *upwelling* dan permukaan bergerak secara horizontal dalam beberapa ratus meter di permukaan laut, dan terutama dipengaruhi oleh pola distribusi angin. Arus laut menyebabkan massa air bergerak secara vertikal atau mencapai kondisi keseimbangan (Daruwedho dkk., 2016).



90), terdapat empat jenis arus berdasarkan pembangkitnya, yaitu:

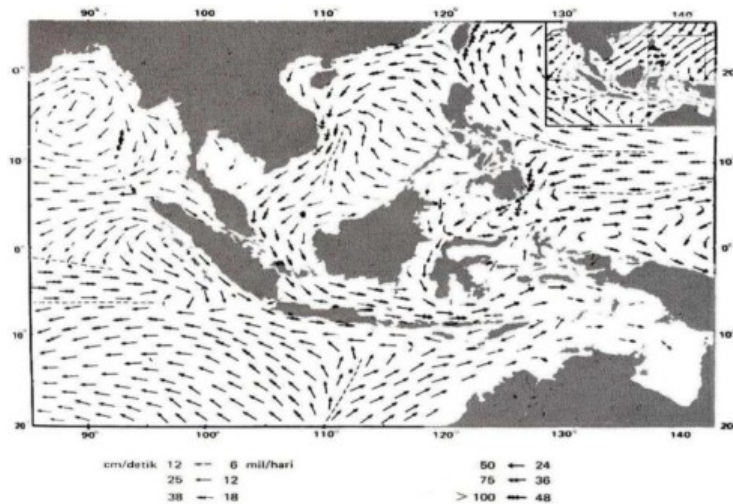
1. Arus Ekman, yang disebabkan oleh adanya angin.
2. Arus Pasang Surut, yang terjadi akibat keberadaan pembangkit pasang surut.
3. Arus Termohalin, yang disebabkan oleh perbedaan densitas air.
4. Arus Geostropik, yang terjadi akibat efek Coriolis dan tekanan mendatar.

Letak geografis Asia Tenggara memiliki dampak signifikan terhadap kualitas udara di kawasan seperti Laut Cina Selatan, jalur antara Sumatera dan Kalimantan, Laut Jawa, Laut Flores, dan Laut Banda. Udara antara Sumatera dan Kalimantan dicirikan oleh bidang ekuator dari bagian timur laut, yang terhubung dengan Laut Jawa dan Laut Cina Selatan. Menurut Wyrski (1961), pola arus di Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Laut Banda, dan Laut Flores mengalami perubahan signifikan dua kali setahun, menandakan pergantian musim. Selama bulan-bulan musim dingin dari Desember hingga Februari, arus bergerak ke arah utara dengan kecepatan lebih dari 75 cm/detik melalui wilayah seperti Selat Karimata menuju Laut Flores. Arus yang mengarah ke timur mulai melemah dan berbalik arah, membentuk pusaran (*eddies*) di beberapa lokasi selama periode musim peralihan (*pancaroba*). Arus bergerak ke barat di pantai selatan Kalimantan, sementara arus tetap mengalir ke timur di perairan utara Pulau Jawa. Arus berbalik sepenuhnya menuju barat dan akhirnya mengalir ke Laut Cina Selatan selama bulan-bulan musim panas dari Juni hingga Agustus. Arus pantai mengalir ke arah timur di sepanjang pantai utara Flores hingga Kepulauan Alor. Arus barat melemah, arus timur mulai masuk, dan arus timur berkembang maksimal membentuk sirkulasi berulang. Selain itu, selama musim pancaroba kedua, pada bulan Oktober, pola arus kembali ke keadaan sebelumnya. Pola-pola arus ini digambarkan dalam **Gambar 3** dan **4**.



ar 3. Pola Arus di Perairan Indonesia Bulan Juni

Sumber: Wyrski, 1961



Gambar 4. Pola Arus di Perairan Indonesia pada bulan Desember
Sumber: Wrytki, 1961

1.3.7 Salinitas

Salinitas didefinisikan sebagai jumlah zat yang terdapat dalam satu liter air dan dinyatakan dalam persentase tunggal, gram per liter, atau per mililiter. Salinitas merupakan salah satu faktor terpenting dalam oseanografi karena menentukan massa air laut bersama dengan suhu. Secara umum, ambang batas salinitas di laut berkisar antara 34 hingga 35 persen. Variasi salinitas perairan memaksa organisme, seperti cumi-cumi, untuk beradaptasi dengan perubahan ini, meskipun tidak semua spesies cumi-cumi dapat beradaptasi. Terkait kemampuan beradaptasi terhadap perubahan salinitas, organisme sering diklasifikasikan menjadi dua kelompok: organisme *euryhaline*, yang mampu mentoleransi fluktuasi salinitas, dan organisme *stenohaline*, yang hanya dapat bertahan dalam kondisi salinitas yang stabil. Sebagai contoh, ikan salmon adalah organisme *euryhaline* yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap kondisi air laut maupun air tawar. Sebaliknya, beberapa jenis kepiting merupakan organisme *stenohaline* yang tidak mampu beradaptasi dengan perubahan salinitas yang ekstrem (Tamimi dkk., 2023).

Sejumlah faktor, termasuk tingkat penguapan, curah hujan, siklus hidrologi, dan aliran sungai, memengaruhi distribusi salinitas di lautan. Salinitas cenderung masuknya air tawar di kawasan pesisir, terutama saat pasang pasang tinggi atau hujan lebat, salinitas biasanya berubah di . Angin berperan dalam mencampurkan lapisan permukaan, campuran, yang bergantung pada intensitas angin, dapat n yang homogen pada kedalaman sekitar 50 hingga 70 meter an terdapat beberapa lapisan dengan salinitas yang relatif



konstan, suhu dalam lapisan tersebut cenderung homogen, diikuti oleh lapisan transisi dengan kerapatan yang sangat bervariasi, yang akhirnya menghasilkan pencampuran antara lapisan atas dan bawah (Nontji, 1993). Selain itu, Reddy (1993) menjelaskan bahwa salinitas turut memengaruhi proses reproduksi dan distribusi tahap kehidupan pada beberapa spesies.

Air tawar, air payau, dan air laut adalah tiga jenis air yang dapat diklasifikasikan berdasarkan salinitasnya. Air payau merupakan hasil pencampuran antara air tawar dan air laut, dengan ambang batas salinitas kurang dari 0,5 ppt. Salinitas sendiri mengacu pada tingkat keasinan atau konsentrasi garam dalam air. Menurut Purwaningtyas dkk. (2020), salinitas dalam air payau umumnya disebabkan oleh keberadaan ion utama, yaitu natrium (Na^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), klorin (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), dan bikarbonat (HCO_3^-).

Karena air dengan suhu lebih rendah memiliki kapasitas yang lebih kecil untuk melarutkan garam, salinitas memiliki korelasi kuat dengan suhu, dan suhu perairan biasanya dipengaruhi oleh salinitas. Sebaliknya, hubungan antara salinitas dan pH menunjukkan bahwa air dengan tingkat salinitas tinggi secara konsisten memiliki pH lebih tinggi karena garam berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) yang dapat menetralkan asam atau basa. Secara tidak langsung, salinitas berdampak pada kualitas air. Secara umum, konsentrasi salinitas, pH, dan suhu berinteraksi dan saling memengaruhi, yang dapat berdampak negatif terhadap kualitas air secara keseluruhan (Yolanda, 2023).

Menurut Pamungkas (2020), salinitas memiliki peran krusial dalam menurunkan hasil tangkapan cumi-cumi karena berkaitan dengan kemampuan organisme perairan, seperti ikan dan cumi-cumi, dalam menyesuaikan diri terhadap tekanan osmotik.

1.3.8 Linear Regression

Analisis regresi adalah metode statistik yang digunakan untuk melakukan prediksi dengan menetapkan hubungan matematis antara dua variabel, yaitu variabel dependen (Y) dan variabel independen (X) (Khotimah & Nindyasari, 2017). Variabel dependen berfungsi sebagai hasil atau faktor yang dipengaruhi, sedangkan variabel independen berfungsi sebagai penyebab atau faktor yang memengaruhi (Kusumawati dkk., 2017). Ketika nilai variabel dependen diketahui, nilai variabel independen dapat ditentukan (Hakimah dkk., 2015). Secara umum, dalam konteks penjualan atau permintaan produk, variabel dependen disajikan dipengaruhi oleh variabel independen (Rival dkk., 2012).

ode yang digunakan dalam industri produksi untuk atau merekomendasikan karakteristik kualitas atau kuantitas regresi (Marbun dkk., 2018). Dengan mengestimasi berbagai bisnis dapat memaksimalkan keuntungan dan menentukan



jumlah produk yang sesuai dengan kebutuhan mereka (Indarwati dkk., 2019). Berikut ini adalah contoh analisis regresi linier menggunakan metode kuadrat terkecil:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2)}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$y = a + b \cdot x$$

Dengan y sebagai kuantitas penjualan, x mewakili periode atau bulan penjualan, a sebagai konstanta yang menunjukkan besarnya nilai y jika $x = 0$, dan b yang mewakili perubahan nilai y .

1.3.9 Random Forest

Metode *random forest* pertama kali diperkenalkan oleh Breiman pada tahun 2001. *Random Forest* digunakan untuk menyelesaikan dua jenis masalah: klasifikasi dan prediksi. Teknik utama yang digunakan dalam metode ini adalah pohon keputusan. Dengan demikian, *random forest* dapat dipahami sebagai kumpulan pohon keputusan yang digunakan untuk klasifikasi dan prediksi data, di mana data dimasukkan melalui akar pohon di bagian atas dan diteruskan ke bagian bawah (Wulansari, 2018). Dalam klasifikasi, hasil analisis metode *random forest* berbentuk pohon keputusan individu yang dibangun, sedangkan dalam prediksi, hasil diperoleh dari rata-rata prediksi semua pohon yang tersedia (Lingga, 2011).

Metode *random forest* merupakan perluasan dari metode *Classification and Regression Tree (CART)* yang menggabungkan teknik *bagging (bootstrap aggregating)* dan seleksi fitur dengan cara yang akurat. Secara umum, *bagging* adalah salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan kinerja algoritma klasifikasi. Konsep dasar dalam *bagging* adalah metode ensemble. Rahmawati (2015) menyatakan bahwa algoritma yang digunakan dalam metode *random forest* adalah sebagai berikut:

1. Mengambil n data sampel dari dataset awal menggunakan metode *bootstrap resampling* dengan pengembalian.
 2. Menyusun pohon klasifikasi dari setiap dataset hasil *bootstrap* untuk menentukan pengklasifikasi terbaik berdasarkan variabel atribut secara acak. Hitungan variabel yang diambil secara acak dengan menghitung $1/2 \sqrt{m}$, $\sqrt{m}$ atau $2\sqrt{m}$, dimana m adalah jumlah variabel prediktor.
- Hasil klasifikasi data sampel berdasarkan pohon klasifikasi yang



4. Mengulangi langkah 1-3 hingga diperoleh jumlah pohon klasifikasi yang diinginkan, kemudian melakukan pengulangan sebanyak k kali.

Nilai m adalah salah satu dari banyak variabel prediktif yang digunakan sebagai pemisah dalam proses penilaian klasifikasi. Semakin besar nilai m , semakin tinggi tingkat korelasi yang dihasilkan.

Dalam metode *random forest*, sejumlah besar pohon keputusan dibangun hingga membentuk sebuah hutan, dan analisis lebih lanjut dilakukan berdasarkan jumlah pohon yang digunakan. Untuk sekumpulan data yang terdiri dari variabel observasi dan prediktor, proses *random forest* dilakukan dengan langkah-langkah berikut (Breiman, 2001):

1. Lakukan penarikan contoh acak berukuran n dengan pemulihan pada gugus data. Tahapan ini merupakan tahapan *bootstrap*.
2. Dengan menggunakan contoh *bootstrap*, pohon dibangun sampai mencapai ukuran maksimum (tanpa pemangkasan). Pada setiap simpul, pemilihan pemilah dilakukan dengan memilih m peubah penjelas secara acak, dimana $m \ll p$. Pemilah terbaik dipilih dari m peubah penjelas tersebut. Tahapan ini adalah tahapan *random feature selection*.
3. Ulangi langkah 1 dan 2 sebanyak k kali, sehingga terbentuk sebuah hutan yang terdiri atas k pohon.

Sebuah respons diprediksi dengan mengombinasikan (mengagregasi) hasil prediksi dari k pohon keputusan. Dalam kasus klasifikasi, metode yang digunakan adalah suara terbanyak (*majority vote*).

1.3.10 K-Fold Cross Validation

K-fold Cross Validation adalah teknik yang efektif untuk mengintegrasikan penyesuaian model dan evaluasi parameter dalam pembelajaran mesin guna memperoleh model prediksi terbaik. Dalam teknik *K-fold Cross Validation*, data dibagi menjadi k kelompok utama. Setiap kelompok utama ini kemudian dibagi lagi untuk melakukan penyesuaian model, penyetelan parameter, dan pelatihan model. Penggunaan validasi bersarang dalam proses ini bertujuan untuk menangani kebocoran informasi antara lipatan eksternal, yang dapat menyebabkan bias dalam pemilihan fitur. Oleh karena itu, validasi sangat membantu dalam mengurangi bias dalam estimasi *K-fold Cross Validation* terhadap data independen (Parvande dkk., 2020).



ama, metode ini membagi data menjadi k bagian (*folds*) yang sama. Pemilihan nilai k dijelaskan kepada peneliti, namun tidak memilih nilai yang terlalu besar atau terlalu kecil. Jika k yang dihasilkan tidak bias, tetapi variansnya meningkat, akan *overfitting*. Sebaliknya, jika k terlalu kecil, model yang menggunakan metode validasi silang standar yang membagi

data menjadi data latih dan uji, yang berpotensi menciptakan bias. Nilai k yang umum digunakan adalah 5 atau 10 (Kuhn & Johnson, 2013).

Setelah data dipisahkan menjadi k dan 1 bagian dengan ukuran yang sama, sekitar $k-1$ bagian digunakan sebagai data latih untuk membangun model, sedangkan satu bagian yang tersisa digunakan sebagai data uji untuk memvalidasi model. Kesimpulannya, *root mean square error* (RMSE) digunakan untuk menilai sensitivitas model dengan menggunakan rumus yang relevan.

$$RMSE_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Prosedur ini akan dilakukan berulang kali hingga setiap komponen (*fold*) digunakan untuk pengujian data. *Root mean square error* (RMSE) akan dihitung pada setiap iterasi, sehingga akan diperoleh sejumlah nilai dari $RMSE_1$, $RMSE_2$, ..., $RMSE_k$. Untuk menentukan model yang terbaik, penilaian akan dilakukan menggunakan metrik kinerja model, yaitu rata-rata RMSE yang diperoleh dari setiap iterasi yang dievaluasi menggunakan...

$$CV_{(RMSE)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k RMSE_i$$

Model terbaik merupakan model yang memiliki rata-rata nilai RMSE yang terkecil (Zhang, 2019).

1.3.11 Bayesian Optimization

Optimasi *Bayesian* adalah suatu pendekatan untuk mengoptimalkan fungsi tujuan yang membutuhkan waktu lama (beberapa menit atau jam) untuk dievaluasi. Pendekatan ini paling cocok untuk optimasi pada domain kontinu dengan dimensi kurang dari 20 dan dapat menoleransi noise stokastik dalam evaluasi fungsi. Optimasi Bayesian membangun model pengganti (*surrogate*) untuk fungsi tujuan dan mengkuantifikasi ketidakpastian dalam model tersebut menggunakan teknik *machine learning Bayesian*, yaitu regresi proses *Gaussian* (*Gaussian process regression*). Kemudian, metode ini menggunakan fungsi akuisisi (*acquisition function*) yang didefinisikan dari model pengganti tersebut di mana harus melakukan sampling (Frazier, 2018).



untuk mengoptimalkan fungsi *blackbox* yang mahal dan tidak dapat membuat *Bayesian Optimization* (BayesOpt) Baru-baru ini, metode ini menjadi sangat populer untuk parameter dalam algoritma pembelajaran mesin, terutama

jaringan saraf dalam (Snoek dkk., 2012). Dalam jangka waktu yang lebih panjang, sejak tahun 1960-an, *BayesOpt* telah digunakan secara luas dalam merancang sistem rekayasa (Močkus, 1989; Jones dkk., 1998; Forrester dkk., 2008). *BayesOpt* juga telah digunakan untuk memilih eksperimen laboratorium dalam desain material dan obat (Negoescu dkk., 2011; Frazier & Wang, 2016; Packwood, 2017), dalam kalibrasi model lingkungan (Shoemaker dkk., 2007), serta dalam pembelajaran penguatan (Brochu dkk., 2009; Lizotte, 2008; Lizotte dkk., 2007).

Bayesian Optimization (BayesOpt) terdiri dari dua komponen utama, yaitu model statistik *Bayesian* untuk memodelkan fungsi objektif, dan fungsi akuisisi untuk menentukan di mana melakukan pengambilan sampel berikutnya. Setelah fungsi objektif dievaluasi berdasarkan desain eksperimen awal yang menyebar secara merata di ruang pencarian sering kali terdiri dari titik-titik yang dipilih secara acak dan seragam kedua komponen ini digunakan secara iteratif untuk mengalokasikan sisa anggaran sebanyak N evaluasi fungsi (Frazier, 2018).

Dalam aplikasi ini, tujuannya adalah untuk secara otomatis memilih model terbaik (misalnya *random forests*, *support vector machines*, *neural networks*, dan lain-lain) beserta hiperparameternya untuk menyelesaikan suatu tugas pada sebuah dataset tertentu. Pada dataset berukuran besar atau ketika banyak alternatif model dipertimbangkan, *cross-validation* menjadi sangat mahal secara komputasi. Oleh karena itu, penting untuk menemukan teknik terbaik dalam batas anggaran evaluasi *cross-validation* yang tersedia. Fungsi objektif dalam kasus ini adalah performa generalisasi dari model dan pengaturan hiperparameter; evaluasi yang bising terhadap fungsi objektif ini berkaitan dengan pelatihan satu model menggunakan semua lipatan *cross-validation* kecuali satu, dan kemudian mengembalikan, misalnya, kesalahan empiris pada lipatan yang disisihkan. Alternatif tradisional terhadap *cross-validation* mencakup algoritma *racing* yang menggunakan batas konsentrasi konservatif untuk menyingkirkan model-model dengan performa buruk (Maron & Moore, 1993; Mnih dkk., 2008). Belakangan ini, pendekatan *Bayesian Optimization* untuk tugas pemilihan model dan penyetelan hiperparameter telah mendapat banyak perhatian, termasuk dalam penyetelan *deep belief networks* (Bergstra dkk., 2011), metode Markov Chain Monte Carlo (MCMC) (Hamze dkk., 2013; Mahendran dkk., 2012), *convolutional neural networks* (Snoek dkk., 2012; Swersky dkk., 2013), serta dalam pemilihan otomatis model dari pustaka seperti WEKA dan *scikit-learn* (Hoffman dkk., 2014;

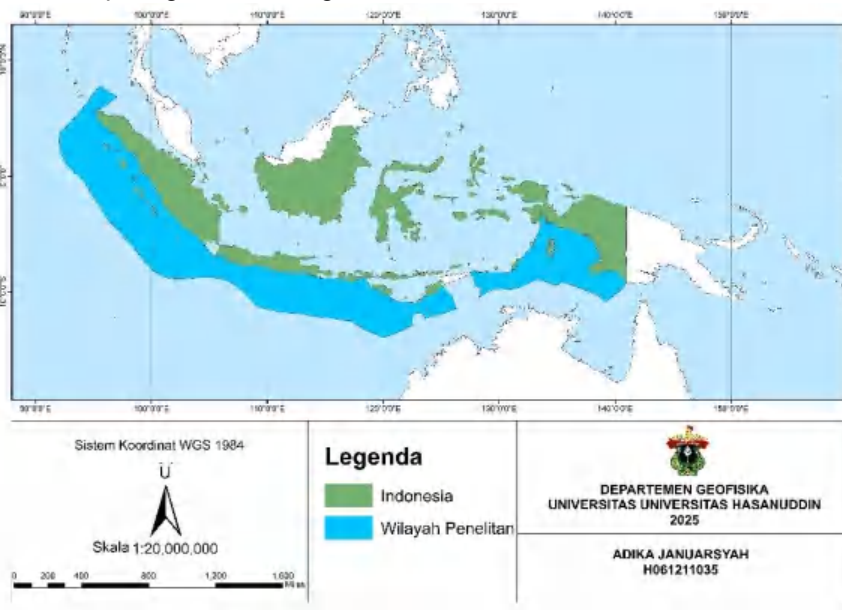
}).



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Peta Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah maritim Indonesia, yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia dan mencakup pulau-pulau seperti Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, hingga Papua. Wilayah ini merupakan bagian dari kawasan maritim Indonesia yang berdekatan dengan Samudera Hindia dan memiliki karakteristik peringatan biru bagi hewan.



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama, yaitu data iklim bulanan dan data tahunan tangkapan cumi-cumi (*Famili Loliginidae*), dengan cakupan periode selama 43 tahun. Data iklim yang digunakan terdiri atas beberapa variabel klimatologi, yaitu *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) diperoleh dari website <https://www.climate.gov/>. Adapun data oseanografi yaitu Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature/SST*), Salinitas Permukaan Laut (*Sea Surface* kecepatan arus laut (*Velocity*) diperoleh melalui website copernicus.eu/products.



mi-cumi (*Loliginidae*) diperoleh dari FishStat milik *Food and zation* (FAO), yang menyediakan data statistik perikanan pa volume tangkapan tahunan dalam satuan ton. Mengingat

perbedaan skala waktu antara data iklim (bulanan) dan data cumi-cumi (tahunan), dilakukan proses transformasi data tangkapan menjadi skala bulanan dengan cara membagi menurut IMP ke dalam 12 bulan dalam satu tahun. Transformasi ini dilakukan untuk menyelaraskan frekuensi waktu antara data iklim dan data perikanan, sehingga memungkinkan integrasi dan analisis yang konsisten berdasarkan periode waktu yang sama.

Selanjutnya, kedua jenis data tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kategori musim, yaitu *West*, *Transition I*, *East*, dan *Transition II*. Klasifikasi ini mendukung analisis hubungan antara variabel iklim dan volume tangkapan cumi-cumi pada periode-periode tertentu dalam satu tahun.

2.3 Prosedur Pengolahan Data

Prosedur pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap dan sistematis guna memastikan integrasi antara data iklim dan data tangkapan cumi-cumi dapat dilakukan secara optimal. Langkah-langkah pengolahan data meliputi proses input data, pra-pemrosesan, penggabungan data, seleksi musim dan variabel, pemodelan, serta visualisasi hasil.

2.3.1 Input Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data iklim bulanan dan data tahunan tangkapan cumi-cumi (*Loliginidae*). Variabel iklim yang digunakan mencakup ENSO, IOD, MJO, *Sea Surface Temperature* (SST), Salinitas (SSS), dan kecepatan arus laut (*Velocity*). Data ENSO, IOD, dan MJO diperoleh dari platform *Climate Explorer*, sedangkan data SST, SSS, dan *Velocity* diperoleh dari *Marine Copernicus*. Data tangkapan cumi-cumi bersumber dari FishStat yang dikelola oleh FAO. Seluruh data tersedia dalam format CSV dan mencakup periode pengamatan selama 43 tahun.

2.3.2 Pra-Pemrosesan Data

Tahapan pra-pemrosesan diawali dengan pengolahan kolom waktu (*Time*) pada data iklim agar sesuai dengan format *datetime* (yyyy-MM), sehingga mempermudah ekstraksi informasi bulan dan tahun. Data tahunan tangkapan cumi-cumi kemudian ditransformasikan menjadi data bulanan dengan membagi nilai tahunan secara merata ke dalam 12 bulan dalam setiap tahun. Transformasi ini bertujuan untuk menyamakan frekuensi temporal dengan data iklim.

Data hasil transformasi tersebut selanjutnya dikelompokkan ke dalam empat semester, Januari, dan Februari), *Transition I* (Maret, April, dan Mei, Juni, dan Agustus), dan *Transition II* (September, Oktober, dan November, Desember). Pembuatan *lag* ini bertujuan untuk menangkap efek



keterlambatan (*lag effect*) antara perubahan iklim dan dampaknya terhadap hasil tangkapan cumi-cumi.

2.3.3 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data

Data iklim dan data tangkapan cumi-cumi yang telah melalui tahap pra-pemrosesan digabungkan berdasarkan kecocokan tahun dan musim menggunakan metode inner join. Hasil penggabungan ini berupa dataset yang memuat informasi prediktor (variabel iklim) dan respon (volume tangkapan cumi-cumi) pada periode yang sama, dan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis lanjutan.

2.3.4 Seleksi Musim dan Variabel

Pada tahap ini dipilih salah satu musim dari keempat musim yang tersedia untuk dianalisis lebih lanjut. Selain itu, dilakukan seleksi terhadap variabel-variabel iklim yang digunakan dalam pemodelan. Penelitian ini menyediakan dua pendekatan seleksi prediktor: pertama, menggunakan seluruh variabel iklim yang tersedia; dan kedua, hanya menggunakan variabel-variabel yang terbukti signifikan berdasarkan hasil uji regresi linier berganda. Jika tidak ditemukan variabel yang signifikan, maka dilakukan eksplorasi kombinasi dua hingga tiga prediktor untuk menemukan model terbaik.

2.3.5 Pemodelan dan Validasi

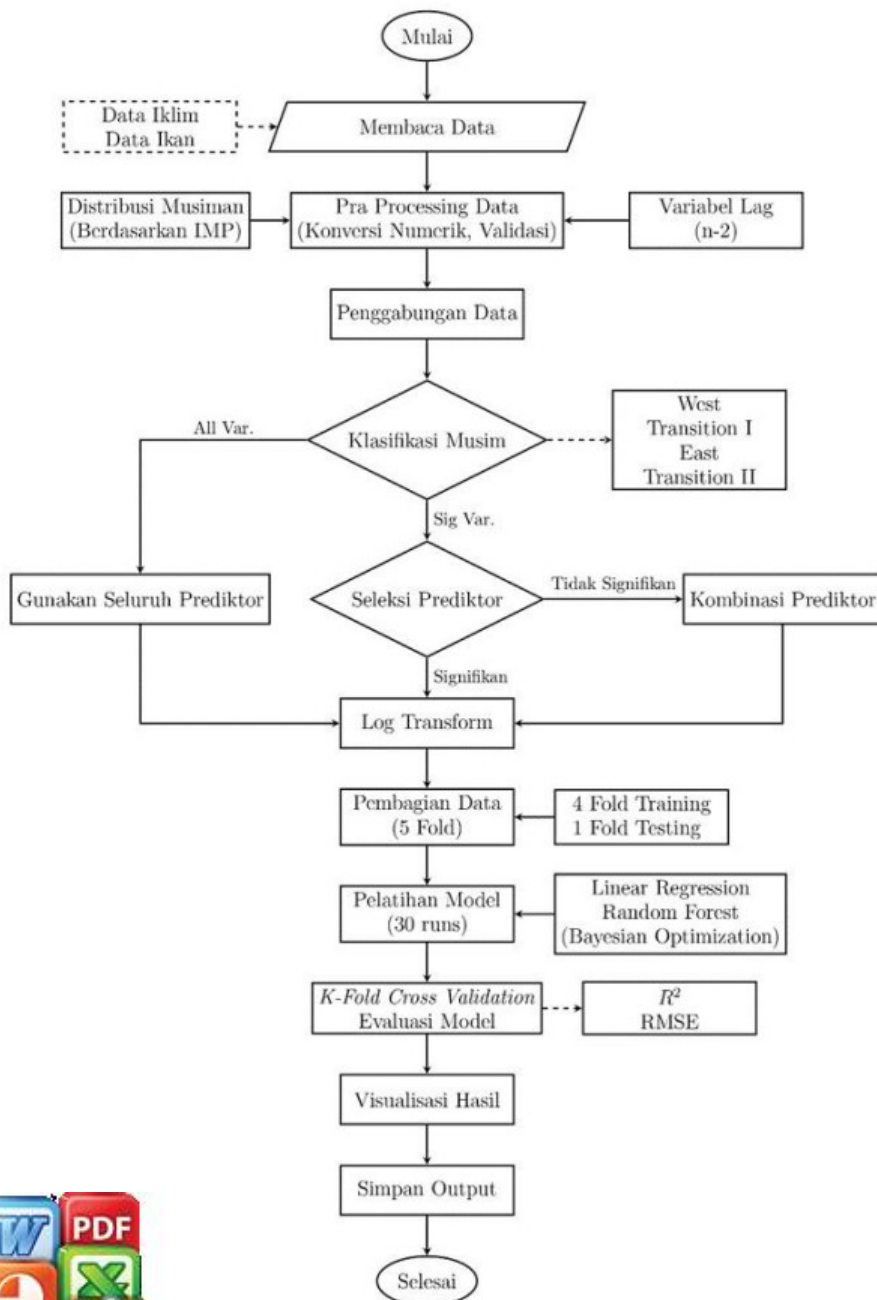
Pemodelan dilakukan menggunakan dua pendekatan: regresi linier dan *random forest*. Regresi linier digunakan untuk mengungkap hubungan linear antara variabel iklim dan tangkapan cumi-cumi, sedangkan *random forest* digunakan untuk mengidentifikasi pola non-linear melalui teknik *ensemble learning* dengan 200 pohon keputusan. Validasi model dilakukan menggunakan metode *k-fold cross-validation* dengan nilai $k = 5$ dan pengulangan sebanyak 30 kali untuk menjamin stabilitas prediksi serta meminimalkan risiko *overfitting*, dan metode *Bayesian optimization* yang digunakan untuk mengoptimalkan parameter model *random forest* (*TreeBagger*) dengan mengevaluasi performanya menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*). Evaluasi model menggunakan dua indikator utama, yaitu koefisien determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

2.3.6 Visualisasi dan Penyimpanan Hasil

Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk *scatter plot* untuk membandingkan nilai prediksi dengan observasi, serta grafik *time series* untuk menunjukkan tren perubahan prediksi dari waktu ke waktu. Seluruh hasil disimpan secara sistematis berdasarkan musim yang dianalisis dan metode seleksi prediktor. *Output* akhir mencakup log analisis, tabel evaluasi kinerja model, dan visualisasi dalam format JPG.



2.4 Bagan Alir



Gambar 6. Bagan Alir

