

**PENDEKATAN OLAP BERBASIS DATA MULTIDIMENSI UNTUK ANALISIS
TREN PARAMETER OSEANOGRAFI**

**(A Multidimensional Data-Based OLAP Approach for Trend Analysis of Oceanographic
Parameters)**

Muhamad Imansyah^{1*}, Annisa Nur Fadillah² dan Angga Fadzar³

^{1,2,3}Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota
Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: muhamadimansyah25@upi.edu

ABSTRACT

Oceanographic data are among the largest and most complex scientific datasets, involving physical, chemical, and biological parameters across high spatial and temporal dimensions. This complexity requires a systematic analytical approach for efficient exploration and analysis. This research develops a multidimensional OLAP (Online Analytical Processing) framework for the integration, management, and exploration of oceanographic data in Indonesian waters. The primary data are obtained from the Copernicus Marine Service, comprising variables such as temperature, salinity, currents, and nutrients, processed in NetCDF format and integrated through preprocessing and spatial join techniques. The design of a star schema data warehouse enables OLAP operations including *Slice*, *Dice*, *Drill-down*, *Roll-up*, and *pivot*, resulting in comprehensive spatio-temporal trend analyses. The findings demonstrate that OLAP can reveal seasonal patterns and interactions among ocean parameters interactively, providing accurate and adaptive scientific decision support for the dynamics of Indonesian seas. This framework is proven effective in accelerating pattern exploration and deepening structured understanding of tropical ocean systems.

Keywords: Indonesia, Marine Data, Multidimensional Data, Oceanography, OLAP

ABSTRAK

Data oseanografi merupakan salah satu bentuk data ilmiah terbesar dan paling kompleks, yang meliputi parameter fisik, kimia, dan biologi dalam dimensi ruang dan waktu tinggi. Kompleksitas ini menyebabkan kebutuhan pendekatan analitik sistematis agar eksplorasi dan analisis data berjalan efisien. Penelitian ini mengembangkan kerangka analisis multidimensi berbasis OLAP (*Online Analytical Processing*) untuk integrasi, pengelolaan, dan eksplorasi data oseanografi di wilayah Indonesia. Data utama diperoleh dari Copernicus Marine Service, mencakup variabel suhu, salinitas, arus, dan nutrisi, yang diolah dalam format NetCDF dan diintegrasikan melalui preprocessing serta spatial join. Perancangan skema bintang pada data warehouse memungkinkan operasi OLAP seperti *Slice*, *Dice*, *Drill-down*, *Roll-up*, dan *pivot*, sehingga analisis tren spasial-temporal semakin komprehensif. Hasil analisis menunjukkan OLAP mampu menampilkan pola variasi musiman dan hubungan antar parameter laut secara interaktif, mendukung pengambilan keputusan ilmiah yang akurat serta adaptif terhadap dinamika laut Indonesia. Kerangka ini terbukti efektif mempercepat proses eksplorasi pola laut dan memperkaya pemahaman sistem oseanografi tropis secara terstruktur.

Kata kunci: Data Laut, Data Multidimensi, Indonesia, OLAP, Oseanografi

PENDAHULUAN

Data oseanografi merupakan salah satu bentuk data ilmiah terbesar dan paling kompleks, mencakup parameter fisika, kimia, dan biologis yang diukur dalam dimensi ruang dan waktu yang tinggi (Xie *et al.*, 2019). Kompleksitas ini menyebabkan eksplorasi dan analisisnya seringkali tidak efisien tanpa dukungan pendekatan analitik yang sistematis. Ketika data oseanografi tidak diolah secara terintegrasi, informasi penting seperti pola perubahan suhu laut, salinitas, arus, atau kandungan nutrisi dapat terabaikan, sehingga menghambat pemahaman proses laut yang berdampak pada iklim, perikanan, serta kebijakan lingkungan. Akibatnya, potensi besar data oseanografi sebagai dasar pengambilan keputusan ilmiah dan kebijakan tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal (Trice *et al.*, 2021).

Permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian ini adalah terbatasnya kerangka analitis yang mampu mengelola dan mengeksplorasi data oseanografi secara multidimensi dengan fleksibel dan efisien (Qian *et al.*, 2022). Selama ini, analisis masih terbatas pada pendekatan konvensional yang bersifat dua dimensi dan terfragmentasi antara variabel dan waktu, sehingga sulit untuk mengidentifikasi hubungan kompleks antarparameter laut. Penelitian ini berupaya menjawab bagaimana rancangan kerangka analisis berbasis OLAP (*Online Analytical Processing*) dapat diterapkan untuk menyusun, mengelola, dan mengekstraksi informasi multidimensi dari data oseanografi secara komprehensif (Haimson, 2024).

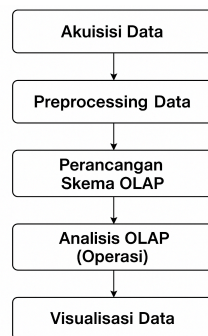
Sejumlah penelitian terdahulu telah berupaya mengintegrasikan pendekatan analitik terhadap data lingkungan dan oseanografi, seperti penggunaan data warehouse, machine learning, hingga visualisasi spasial. Namun, sebagian besar masih berfokus pada segmentasi sempit atau hanya menangani subset parameter (Lear *et al.*, 2020). Penelitian ini memperluas pendekatan tersebut dengan mengembangkan kerangka analisis multidimensi berbasis OLAP yang mampu memproses berbagai parameter secara simultan dalam ruang, waktu, dan kedalaman. Kebaruannya terletak pada desain model multidimensi spesifik untuk data oseanografi yang memungkinkan eksplorasi interaktif dan analisis tren secara dinamis.

Penelitian ini bersifat urgensial karena meningkatnya jumlah data laut global menuntut sistem analisis yang efisien, akurat, dan adaptif terhadap kompleksitas data. Tujuan utama penelitian ini adalah membangun kerangka konseptual dan implementatif untuk analisis data

oseanografi secara multidimensi, guna mempercepat proses eksplorasi, memperkaya pemahaman pola laut, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam bidang oseanografi dan kelautan (Kavouras *et al.*, 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Mei–Juli 2025 di perairan Indonesia dengan koordinat $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT} - 141^{\circ}\text{BT}$ (Sudarman *et al.*, 2020), meliputi wilayah Sumatera barat, Laut Jawa, Laut Banda, hingga Samudra Pasifik bagian barat (Rahayu *et al.*, 2025). Data oseanografi berupa suhu permukaan laut (SST), salinitas, dan arus permukaan yang diperoleh dari *Copernicus Marine Service* dalam format NetCDF (.nc) yang merupakan standar internasional untuk penyimpanan data ilmiah multidimensi, sehingga mendukung efisiensi pemrosesan dan menggunakan perangkat lunak analisis seperti ArcGIS (Prayitno *et al.*, 2021). Penelitian ini menggunakan perangkat komputer serta aplikasi ArcGIS dan Draw.io untuk pemrosesan data, analisis parameter oseanografi, dan visualisasi hasil, yang dilakukan melalui tahapan sistematis yang tercantum pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

1. Akuisisi Data

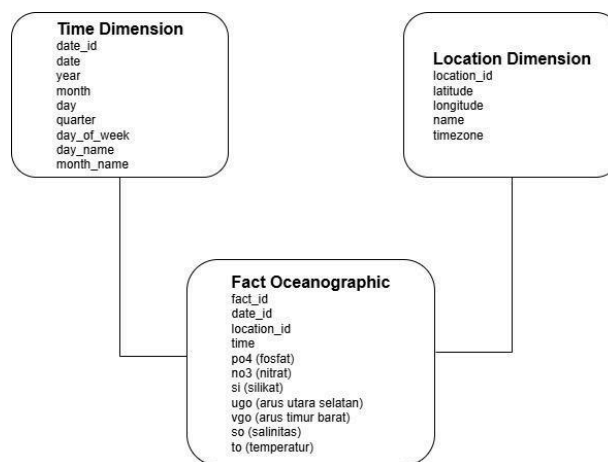
Tahap pertama penelitian adalah Akuisisi Data, pengumpulan yaitu data oseanografi dari Copernicus Marine Service yang menyediakan data global berbasis satelit dan model numerik. Data yang digunakan mencakup Permukaan Laut (SST), Salinitas, dan Arus Laut dalam format NetCDF (.nc), yang mendukung penyimpanan multidimensi ruang dan waktu. Akuisisi data dilakukan dengan menentukan wilayah koordinat $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT} - 141^{\circ}\text{BT}$.

2. Preprocessing Data

Tahap Preprocessing Data bertujuan menyiapkan data dari *Copernicus Marine Service* agar siap dianalisis. Proses ini meliputi pembersihan data (menghapus nilai kosong, anomali, dan data tidak relevan), penyeragaman format serta resolusi spasial dan temporal untuk variabel oseanografi seperti suhu, salinitas, dan arus laut. Data NetCDF diuji keterpaduannya menggunakan Python (*xarray*, *numpy*, *pandas*), kemudian digabung dan diekstraksi melalui merge di Python serta *spatial join* di ArcGIS. Hasilnya berupa data bersih, terstruktur, dan siap digunakan pada tahap perancangan skema OLAP.

3. Perancangan Skema OLAP

Tahap Perancangan Skema OLAP merupakan inti analisis multidimensi, di mana data hasil preprocessing diorganisasikan dalam data warehouse menggunakan model skema bintang (*star schema*). Skema ini terdiri dari tabel fakta berisi data numerik parameter oseanografi (suhu permukaan laut, salinitas, kecepatan arus) serta foreign key penghubung ke beberapa tabel dimensi yang memberikan konteks terhadap data tersebut. Hasilnya adalah struktur data terintegrasi yang mendukung analisis OLAP secara efisien.



Gambar 2. Skema Bintang

Hubungan antara tabel fakta dan tabel dimensi ini memungkinkan analisis multidimensi dilakukan secara fleksibel, seperti menelusuri tren spasial maupun temporal dari parameter laut.

4. Analisis OLAP

Tahap Analisis OLAP merupakan proses utama untuk menggali informasi dari data oseanografi dalam skema bintang melalui analisis multidimensi berdasarkan ruang, waktu, dan parameter. Beberapa operasi OLAP yang digunakan meliputi:

- a. *Slice*: memilih subset data berdasarkan satu dimensi, contohnya seperti suhu di bulan Januari.
- b. *Dice*: memilih subset berdasarkan beberapa dimensi, misalnya suhu dan salinitas untuk bulan Juni sampai dengan Agustus.
- c. *Drill-down*: menelusuri data dari agregasi tinggi ke detail (tahunan → bulanan).
- d. *Roll-up*: menggabungkan data untuk melihat pola umum (harian → bulanan).
- e. *Pivot*: mengubah sudut pandang analisis dengan menukar posisi dimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari setiap tahapan penelitian yang meliputi akuisisi data, *preprocessing* data, perancangan skema OLAP, analisis OLAP, serta visualisasi data yang telah dijelaskan tahapannya melalui metode penelitian akan dibahas secara komprehensif sebagai berikut.

1. Akuisisi Data

Tahap akuisisi data dilakukan untuk memperoleh informasi oseanografi yang menjadi dasar analisis multidimensi. Data utama diperoleh dari Copernicus Marine Service (<https://marine.copernicus.eu/>) yang menyediakan data laut global berbasis kombinasi pengamatan satelit dan model numerik oseanografi. Berikut hasil dari akuisisi data.

Tabel 1. Data Resolusi $0.25^\circ \times 0.25^\circ \times 50$

	time	latitud e	longitud e	po4	chl	no3	ph	si
0	2021-10-0	-11.0	95.00	0.01593	0.01978	0.00019	1.29672	0.46018
	1			7	8	3	3	7
1	2021-10-0	-11.0	95.25	0.01561	0.02009	0.00019	1.29678	0.46715
	1			1	4	5	8	8
2	2021-10-0	-11.0	95.50	0.01536	0.01972	0.00019	1.29687	0.47398
	1			7	2	7	3	2

3	2021-10-0	-11.0	95.75	0.01523	0.01989	0.00020	1.29713	0.47910
	1			6	9	1	8	9
...
46083	2025-08-0	6.0	140.75	0.20174	0.06417	0.00185	8.02075	2.13588
3	1			2	6	3	8	4
46083	2025-08-0	6.0	141.00	0.20257	0.06350	0.00194	8.02122	2.10451
4	1			2	4	1	3	9

Tabel 1 menampilkan contoh cuplikan data hasil unduhan dari Copernicus Marine Service dengan resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Dataset ini berisi parameter biogeokimia laut yang mencerminkan tingkat produktivitas perairan dan komposisi kimia air laut. Setiap baris data merepresentasikan nilai pengamatan pada kombinasi koordinat tertentu (lintang dan bujur) serta waktu tertentu (time).

Tabel 2. Data Resolusi $0.083^\circ \times 0.083^\circ \times 50$ levels

	time	latitud e	longitud e	ugo	vgo	so	to
0	2021-10-0	-10.87	95.125	-0.163	-0.028	33.987	27.18
	1	5					7
1	2021-10-0	-10.87	95.375	-0.162	-0.024	33.997	27.13
	1	5					0
2	2021-10-0	-10.87	95.625	-0.157	-0.014	34.008	26.97
	1	5					9
3	2021-10-0	-10.87	95.875	-0.149	-0.001	34.009	26.98
	1	5					7
...
46083	2025-08-0	5.875	140.375	-0.005	-0.002	33.791	30.27
2	1						3

46083 2025-08-0 5.875 140.625 -0.024 -0.008 33.812 30.27
3 1 7

Tabel 2 menampilkan data hasil unduhan dengan resolusi spasial lebih tinggi, yaitu $0.083^\circ \times 0.083^\circ$, yang berisi parameter fisik laut. Setiap baris mewakili nilai parameter pada koordinat dan waktu tertentu yang menggambarkan kondisi dinamika perairan di lapisan permukaan laut (*surface layer*).

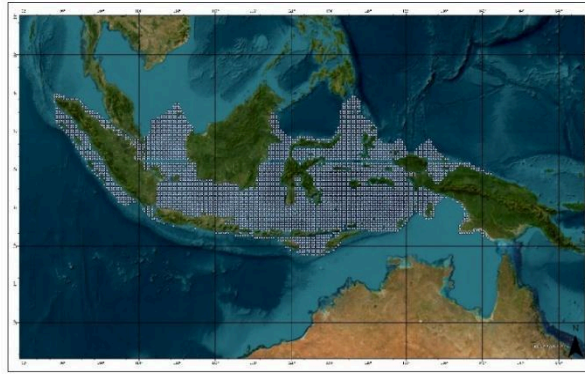
2. Preprocessing Data

Melalui tahap ini, dilakukan proses penggabungan dua dataset utama. Data pertama dengan resolusi 0.25° yang berisi parameter po_4 , chl, no_3 , ph, dan si, serta data kedua dengan resolusi 0.083° yang mencakup parameter ugo, vgo, so, dan to. Kedua dataset tersebut digabungkan berdasarkan kesesuaian koordinat spasial (latitude dan longitude) serta waktu (*time*) menggunakan Python notebook, sehingga terbentuk satu dataset terintegrasi yang memuat seluruh parameter oseanografi.

1	time	latitude	longitude	po4	chl	no3	ph	si	ugo	vgo	so	to
2	01/10/2021	-10.88	95.12	0.0159370	0.0197881	0.0001930	12.967.234	0.46018746	-0.163	-0.028	33.987	27.187
3	01/10/2021	-10.88	95.12	0.0156107	0.0200935	0.0001945	12.967.877	0.46715844	-0.163	-0.028	33.987	27.187
4	01/10/2021	-10.88	95.38	0.0153669	0.0197218	0.0001967	12.968.729	0.47398183	-0.162	-0.024	33.997	27.13
5	01/10/2021	-10.88	95.62	0.0152359	0.0198987	0.0002010	12.971.383	0.47910875	-0.157	-0.014	34.008	26.979
460829	01/08/2025	5.88	139.12	0.1936334	0.0704746	0.0018075	8.022.253	22.052.803	-0.094	0.053	33.811	30.289
460830	01/08/2025	5.88	139.38	0.1929570	0.0708294	0.0017552	8.021.608	2.215.212	-0.076	0.046	33.794	30.276
460831	01/08/2025	5.88	139.62	0.1924719	0.0710140	0.0017378	80.209.255	22.249.749	-0.056	0.037	33.786	30.241
460832	01/08/2025	5.88	139.88	0.1933350	0.0705503	0.0017639	8.020.437	22.275.858	-0.036	0.029	33.794	30.264
460833	01/08/2025	5.88	140.12	0.1962717	0.0686290	0.0017911	8.019.944	22.139.874	-0.016	0.021	33.8	30.291
460834	01/08/2025	5.88	140.38	0.1994336	0.0661879	0.0018168	8.020.234	21.791.582	0.005	0.012	33.789	30.29

Gambar 3. Representasi Gabungan Data

Setelah proses penggabungan berhasil dilakukan, dataset hasil kombinasi kemudian dihubungkan dengan data batas laut Indonesia dalam format shapefile (.shp) menggunakan operasi spatial join. Tahapan ini bertujuan untuk menyesuaikan data numerik oseanografi dengan batas wilayah perairan nasional, sehingga setiap titik pengamatan memiliki konteks spasial yang jelas terhadap lokasi laut tertentu.



Gambar 4. Sebaran Koordinat Data Setelah *Spatial Join*

Gambar ini menunjukkan distribusi spasial titik-titik koordinat hasil proses *spatial join* antara dataset oseanografi dengan batas laut Indonesia. Setiap titik pada peta mewakili lokasi observasi yang telah terasosiasi dengan wilayah laut tertentu di dalam zona perairan nasional. Tahapan ini menjadi penting untuk memastikan keakuratan representasi spasial dalam analisis OLAP selanjutnya.

1	time	latitude	longitude	po4	chl	no3	ph	si	ugo	vgo	so	to	name	timezone
2	01/10/2021 00:00	-10,88	121,12	0,021475	0,02225	0,000796	1,291418	0,393895	-0,278	-0,075	34,285	28,406	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar
3	01/10/2021 00:00	-10,88	121,12	0,015116	0,022949	0,000872	1,291425	0,435454	-0,278	-0,075	34,285	28,406	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar
4	01/11/2021 00:00	-10,88	121,12	0,088395	0,134915	0,00558	8,006022	2,648369	-0,079	-0,007	34,278	29,964	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar
5	01/11/2021 00:00	-10,88	121,12	0,080195	0,136788	0,005993	8,007916	2,705839	-0,079	-0,007	34,278	29,964	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar
191851	01/04/2025 00:00	5,88	95,62	0,106235	0,160418	0,006385	8,022528	2,676078	0,028044	0,022	32,93	29,865	Aceh	Asia/Jakarta
191852	01/05/2025 00:00	5,88	95,62	0,097091	0,158713	0,006735	8,026205	2,630853	0,028044	0,114	33,603	29,488	Aceh	Asia/Jakarta
191853	01/06/2025 00:00	5,88	95,62	0,081741	0,16525	0,008078	8,032517	2,665565	0,028044	0,116	32,669	30,17	Aceh	Asia/Jakarta
191854	01/07/2025 00:00	5,88	95,62	0,073499	0,162566	0,004395	8,038792	3,137469	0,028044	0,11	32,659	29,903	Aceh	Asia/Jakarta
191855	01/08/2025 00:00	5,88	95,62	0,068321	0,180219	0,00575	8,031665	2,929351	0,028044	0,065	32,956	29,625	Aceh	Asia/Jakarta

Gambar 5. Representasi Gabungan Data Setelah *Spatial Join*

Gambar ini memperlihatkan hasil akhir penggabungan data multivariabel yang telah melalui tahap *spatial join*. Setiap entri data kini mengandung kombinasi lengkap antara parameter biogeokimia dan fisik laut beserta identitas spasialnya. Representasi visual ini memperlihatkan keterpaduan data dalam bentuk grid spasial yang telah disesuaikan dengan batas-batas laut Indonesia. Total data 191855 baris ini mengilustrasikan keberhasilan proses integrasi data spasial yang menjadi dasar terbentuknya tabel fakta pada tahap perancangan skema OLAP.

3. Perancangan Skema OLAP

1	fact_id	date_id	location_id	time	po4	chl	no3	ph	si	ugo	vgo	so	to
2	1	1	1	01/10/2021	0.021475196	0.022249727	0.000795669	12.914.176	0.39389497	-0.278	-0.075	34.285	28.406
3	2	1	1	01/10/2021	0.015116389	0.022948865	0.000872034	1.291.425	0.4354536	-0.278	-0.075	34.285	28.406
4	3	2	1	01/11/2021	0.08839466	0.13491459	0.005580193	80.060.215	26.483.688	-0.079	-0.007	34.278	29.964
5	4	2	1	01/11/2021	0.08019529	0.13678792	0.005992532	80.079.155	27.058.392	-0.079	-0.007	34.278	29.964
191852	191851	44	4004	01/05/2025	0.09709057	0.15871313	0.006734991	8.026.205	2.630.853	0.0280439	0.114	33.603	29.488
191853	191852	45	4004	01/06/2025	0.081741124	0.16524991	0.008077647	80.325.165	2.665.565	0.0280439	0.116	32.669	30.17
191854	191853	46	4004	01/07/2025	0.07349887	0.16256593	0.004395111	8.038.792	31.374.688	0.0280439	0.11	32.659	29.903
191855	191854	47	4004	01/08/2025	0.068321146	0.18021946	0.00574954	8.031.665	29.293.509	0.0280439	0.065	32.956	29.625

Gambar 6. Tabel Fakta

Gambar ini menampilkan struktur *tabel fakta* yang menjadi inti dari model data multidimensi. Tabel fakta menyimpan data numerik utama hasil pengukuran parameter oseanografi seperti fosfat, klorofil, nitrat, pH, silikat, arus barat-timur, arus utara-selatan, salinitas, dan suhu laut. Selain itu, tabel ini juga menyertakan kolom *foreign key* yang menghubungkannya dengan tabel dimensi waktu dan lokasi (melalui *date_id* dan *location_id*).

Tabel 3. Dimensi Lokasi

	latitude	longitude	name	timezone	location_id
0	-10.88	121.12	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar	1
1	-10.88	121.38	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar	2
2	-10.88	121.62	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar	3
3	-10.88	122.12	Nusa Tenggara Timur	Asia/Makassar	4
...
4001	5.88	95.12	Aceh	Asia/Jakarta	4002
4002	5.88	95.38	Aceh	Asia/Jakarta	4003
4003	5.88	95.62	Aceh	Asia/Jakarta	4004

Tabel ini berisi informasi mengenai atribut lokasi dari setiap titik pengamatan oseanografi. Kolom latitude dan longitude menyatakan posisi geografis, sedangkan kolom name mengacu pada wilayah administratif laut atau pesisir tempat titik tersebut berada. Atribut timezone menunjukkan zona waktu yang relevan untuk wilayah tersebut, dan *location_id* berfungsi sebagai kunci utama (primary key) yang menghubungkan tabel ini dengan *tabel fakta*. Melalui dimensi ini, analisis OLAP dapat dilakukan berdasarkan wilayah tertentu, seperti perbandingan kondisi antara Laut Banda dan Laut Jawa, atau pengamatan tren suhu berdasarkan letak geografis.

Tabel 4. Dimensi Waktu

	date	year	month	day	quarter	day_of_week	day_name	month_name	date_id
0	2021-10-01	2021	10	1	4	4	Friday	October	1
1	2021-11-01	2021	11	1	4	0	Monday	November	2
2	2021-12-01	2021	12	1	4	2	Wednesday	December	3
3	2022-01-01	2022	1	1	1	5	Saturday	January	4
4	2022-02-01	2022	2	1	1	1	Tuesday	February	5
5	2022-03-01	2022	3	1	1	1	Tuesday	March	6

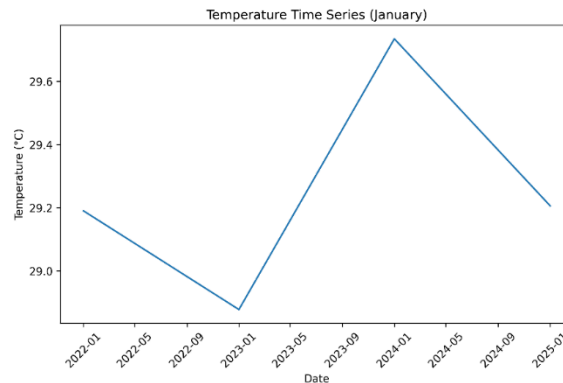
Tabel ini merepresentasikan aspek temporal dari data oseanografi. Kolom date, year, month, day, quarter, day_of_week, day_name, dan month_name menyediakan hirarki waktu yang memungkinkan analisis dilakukan pada berbagai skala, mulai dari harian hingga tahunan. date_id berfungsi sebagai *foreign key* untuk menghubungkan dimensi waktu dengan *tabel fakta*. Struktur ini mendukung operasi OLAP seperti *Drill-down* (dari data tahunan ke bulanan), *Roll-up* (dari harian ke rata-rata bulanan), serta analisis tren musiman dan antar-tahun, sehingga pola temporal parameter laut dapat dianalisis secara detail dan dinamis.

4. Analisis OLAP

Tahap analisis OLAP (*Online Analytical Processing*) dilakukan untuk menggali informasi dari data oseanografi yang telah disusun ke dalam skema data multidimensi. Melalui pendekatan OLAP, data dapat dilihat dari berbagai sudut pandang (*multidimensional view*) sehingga hubungan antarparameter laut dapat dianalisis secara lebih mendalam, baik berdasarkan dimensi ruang (lokasi), waktu, maupun variabel oseanografi lainnya. Operasi OLAP digunakan untuk melakukan eksplorasi data secara interaktif, mulai dari menampilkan subset data tertentu hingga melakukan agregasi nilai untuk memahami pola umum. Dalam penelitian ini, analisis OLAP dilakukan menggunakan lima operasi utama, yaitu *Slice*, *Dice*, *Drill-down*, *Roll-up*, dan *Pivot (Rotate)*. Setiap operasi diterapkan pada dataset oseanografi yang tersimpan di dalam basis data MySQL hasil proses ETL. Analisis

dilakukan menggunakan kombinasi query SQL dan visualisasi berbasis Python untuk menggambarkan tren spasial dan temporal dari parameter seperti suhu permukaan laut, salinitas, arus, serta kandungan nutrisi laut (fosfat, nitrat, dan silikat).

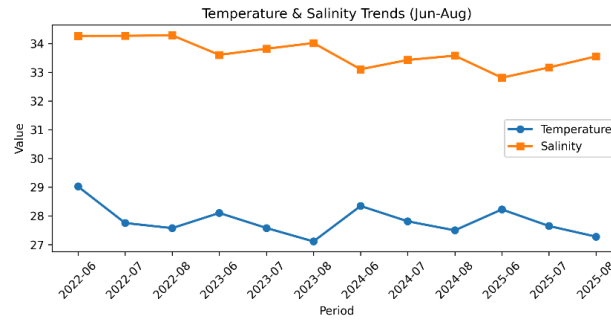
a. *Slice*



Gambar 7. *Slice* Suhu Temporal Bulan Januari

Gambar ini menampilkan hasil operasi *Slice* pada data suhu permukaan laut (*Sea Surface Temperature*) yang difokuskan pada bulan Januari untuk periode waktu 2022–2025. Grafik menunjukkan perubahan rata-rata suhu laut pada bulan yang sama di setiap tahun, menggambarkan variasi temporal tahunan di wilayah perairan Indonesia. Terlihat bahwa suhu permukaan laut mengalami fluktuasi antar tahun, dengan nilai terendah terjadi pada Januari 2023 sekitar 29.0 °C dan nilai tertinggi pada Januari 2024 yang mencapai sekitar 29.7 °C. Pola kenaikan suhu antara 2023 hingga 2024 dapat dikaitkan dengan kemungkinan peningkatan anomali termal akibat fenomena *El Niño* lemah yang menyebabkan pemanasan di wilayah perairan tropis. Penurunan kembali pada 2025 menunjukkan adanya penyesuaian terhadap kondisi normal atau fase pendinginan (*La Niña*). Analisis *Slice* ini menunjukkan bahwa bahkan dalam bulan yang sama di setiap tahun, variasi suhu laut tetap signifikan. Analisis *Slice* tidak hanya dapat digunakan pada studi kasus di atas, melainkan dapat diimplementasikan pada fenomena lainnya yang relevan.

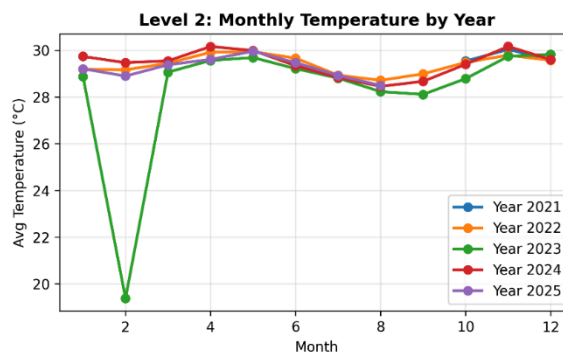
b. *Dice*



Gambar 8. Tren Suhu dan Salinitas Bulan Juni – Agustus

Gambar ini merupakan hasil operasi *Dice*, yaitu pemilihan subset data berdasarkan dua dimensi sekaligus—dalam hal ini, waktu (periode Juni–Agustus) dan parameter oseanografi (suhu dan salinitas). Grafik memperlihatkan perubahan rata-rata suhu permukaan laut (SST) dan salinitas selama musim timur pada rentang tahun 2022 hingga 2025. Secara umum, pola suhu laut menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah dibandingkan periode lainnya, dengan kisaran antara 27°C hingga 29°C, yang merupakan ciri khas musim timur di Indonesia ketika terjadi peningkatan angin tenggara yang membawa massa air lebih dingin dari selatan. Sementara itu, nilai salinitas berada pada kisaran 33–34 PSU dan menunjukkan kecenderungan fluktuatif yang lebih kecil dibandingkan suhu. Pola yang relatif konsisten setiap tahun menunjukkan stabilitas musiman sistem laut Indonesia bagian selatan selama periode monsun timur.

c. *Drill-down*

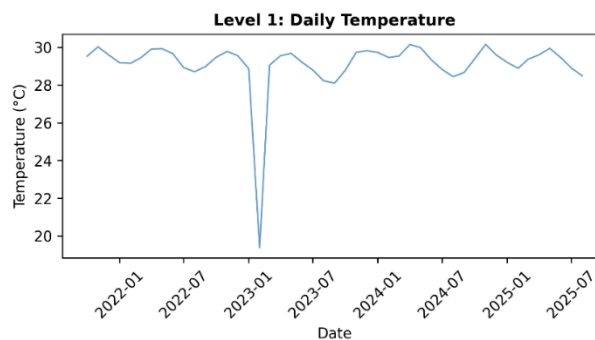


Gambar 9. Suhu Bulanan dari tiap Tahun

Gambar ini menampilkan hasil operasi *Drill-down* pada dimensi waktu, yaitu penelusuran data suhu laut dari tingkat agregasi tahunan ke tingkat bulanan. Analisis ini bertujuan untuk mengamati variasi suhu rata-rata setiap bulan dari tahun 2021 hingga 2025 guna mengetahui pola fluktuasi musiman pada perairan

Indonesia. Terlihat bahwa pola suhu laut secara umum stabil di kisaran 29–30°C, menunjukkan karakteristik perairan tropis yang hangat sepanjang tahun. Namun, terdapat fluktuasi musiman yang konsisten, di mana suhu cenderung menurun pada pertengahan tahun (sekitar Juni–Agustus) dan meningkat kembali menjelang akhir tahun (November–Desember). Pola ini mencerminkan pengaruh sistem monsun di wilayah Indonesia, di mana musim timur membawa massa air dingin dari selatan, sedangkan musim barat membawa udara hangat dari arah barat laut Pasifik. Anomali yang tampak signifikan pada bulan Februari 2023, dengan suhu rata-rata turun drastis hingga sekitar 20°C, kemungkinan disebabkan oleh kesalahan pengukuran data.

d. *Roll-up*

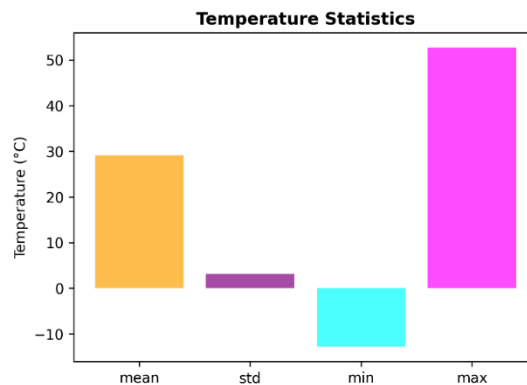


Gambar 10. Gabungan Data Harian menjadi Rata-Rata Bulanan

Gambar ini menggambarkan hasil operasi *Roll-up*, yaitu proses agregasi data dari tingkat detail harian ke tingkat bulanan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memperoleh pola umum suhu permukaan laut yang lebih stabil dengan mengurangi fluktuasi jangka pendek. Data suhu harian yang semula berfluktuasi tinggi kemudian dirata-ratakan berdasarkan setiap bulan, sehingga menghasilkan tren musiman yang lebih mudah diamati. Melalui grafik terlihat bahwa suhu permukaan laut di perairan Indonesia secara umum berada pada kisaran 28–30°C sepanjang periode 2021–2025. Fluktuasi kecil pada grafik harian yang cenderung membentuk pola berulang mencerminkan siklus termal alami akibat pengaruh radiasi matahari dan sistem angin laut. Penurunan suhu tajam yang tampak sekitar awal tahun 2023 kembali terlihat sebagai anomali yang kemungkinan berasal dari data ekstrem atau kesalahan input. Setelah dilakukan agregasi menjadi rata-rata bulanan, pola umum menunjukkan stabilitas suhu laut tropis dengan variasi kecil

antarbulan. Proses *Roll-up* ini berfungsi penting dalam OLAP karena memungkinkan peneliti untuk memperoleh gambaran tren makro dari data granular, serta menjadi dasar untuk analisis perbandingan antarperiode seperti kuartal atau tahunan. Dengan demikian, tahap ini membantu dalam menyederhanakan kompleksitas data sekaligus menjaga relevansi pola temporal yang signifikan.

e. Pivot (Rotate)



Gambar 11. Total Statistik Suhu

Operasi pivot ini berfungsi untuk mengubah orientasi dimensi analisis, sehingga memungkinkan pengguna melihat data dari sudut pandang berbeda tanpa mengubah nilai datanya. Dalam konteks penelitian ini, pivot dilakukan terhadap parameter suhu laut (*temperature*) dengan menampilkan empat ukuran statistik utama, yaitu *mean*, *standard deviation (std)*, *minimum (min)*, dan *maximum (max)*. Visualisasi tersebut memberikan gambaran menyeluruh tentang sebaran nilai suhu permukaan laut di seluruh wilayah perairan Indonesia selama periode penelitian. Nilai rata-rata (*mean*) mencerminkan kondisi umum suhu laut tropis yang hangat; nilai simpangan baku (*std*) menunjukkan variasi atau fluktuasi spasial-temporal suhu; sedangkan nilai minimum dan maksimum menggambarkan rentang ekstrem suhu laut yang mungkin berkaitan dengan fenomena oseanografi seperti *upwelling*, arus lintas Indonesia (*Arlindo*), atau anomali termal akibat *El Niño–La Niña*. Melalui visualisasi pivot ini, hasil analisis OLAP tidak hanya menyajikan data numerik tetapi juga menghadirkan wawasan komprehensif tentang dinamika termal laut Indonesia, yang menjadi indikator penting dalam memahami perubahan iklim laut dan produktivitas perairan secara spasial maupun temporal.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun dan menerapkan kerangka analisis multidimensi berbasis OLAP (*Online Analytical Processing*) untuk mengelola dan mengeksplorasi data oseanografi secara komprehensif di wilayah perairan Indonesia. Melalui integrasi data dari *Copernicus Marine Service* yang mencakup parameter fisik dan biogeokimia laut seperti suhu permukaan, salinitas, arus, serta nutrisi (fosfat, nitrat, silikat, dan klorofil), sistem ini mampu menyusun data warehouse dengan model skema bintang yang efektif mendukung eksplorasi data dalam berbagai dimensi ruang dan waktu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap operasi OLAP memiliki peran penting dalam menggali informasi ilmiah. Operasi *Slice* mengungkap variasi suhu laut antar tahun, sedangkan *Dice* menampilkan hubungan interaktif antara suhu dan salinitas pada periode musim timur. Operasi *Drill-down* memperlihatkan pola fluktuasi musiman yang konsisten akibat pengaruh monsun, sementara *Roll-up* menyederhanakan data harian menjadi tren rata-rata bulanan yang stabil. Terakhir, operasi *Pivot* memberikan representasi statistik menyeluruh terhadap parameter suhu, menampilkan karakteristik termal laut Indonesia yang cenderung hangat dengan variasi spasial dan temporal yang moderat.

DAFTAR PUSTAKA

- Armansyah, D., Sukoco, N. B., Kamija, K., Adrianto, D., & Dewantono, L. (2019). Purwarupa Dukungan Data Arus Laut Operasional Bersumber dari Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) dalam Format AML IWC Arus Laut untuk TNI ALI: Prototype of Operational Ocean Flow Data Support Sourced from Copernicus Marine Environment. *Jurnal Chart Datum*, 5(1), 1–16.
- Chandra, A. (2023). Perancangan Data Warehouse Pada Software. *Binus.Ac.Id*, 2(27), 585–597.
- Haimson, M. B. (2024). *An overview of the ocean data ecosystem*. University of Haifa (Israel).
- Kavouras, I., Rallis, I., Doulamis, N., & Doulamis, A. (2024). Ocean-DC: An analysis ready data cube framework for environmental and climate change monitoring over the port areas. *Proceedings of the 17th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 412–419.
- Lear, D., Herman, P., Van Hoey, G., Schepers, L., Tonné, N., Lipizer, M., Muller-Karger, F.

- E., Appeltans, W., Kissling, W. D., & Holdsworth, N. (2020). Supporting the essential-Recommendations for the development of accessible and interoperable marine biological data products. *Marine Policy*, *117*, 103958.
- Prayitno, T., Pranowo, W. S., & Surya, A. A. (2021). Salinitas Absolut dan Arus Sebagai Pembaruan Variabel untuk Pemutakhiran Basisdata Sistem Fusi-Oseanografi: Absolute Salinity and Current as A Variable Update for Updating The Fusion-Oceanographic System Database. *Jurnal Hidropilar*, *7*(2), 95–106.
- Putra, I., Heryanto, E., Sopaheluwakan, A., Pradana, R. P., & Haryoko, U. (2019). Sebaran spasial dan temporal titik panas (hotspot) di Indonesia dari satelit MODIS dengan metode gridding. *Semin. Nas. Geomatika*, *3*(2007), 1123.
- Qian, C., Huang, B., Yang, X., & Chen, G. (2022). Data science for oceanography: from small data to big data. *Big Earth Data*, *6*(2), 236–250.
- Rahayu, S., Utari, R., & Sari, A. (2025). Variasi Nilai Equivalent Water Height Di Indonesia dan Kaitannya dengan Bencana Hidrometeorologi (Banjir dan Kekeringan). *Datum: Journal of Geodesy and Geomatics*, *5*(1), 65–74.
- Sepriando, A., & Trisantikawaty, R. (2018). Pengolahan Data Radar Cuaca Format Netcdf Menggunakan Bahasa Program Python. ... *Operasional Radar Cuaca, May 2016*, 29–33. https://www.researchgate.net/profile/Alpon-Sepriando/publication/323302142_Pengolahan_Data_Radar_Cuaca_Format_Netcdf_Menggunakan_Bahasa_Program_Python/links/5a8cd6bdaca27292c0f82d0b/Pengolahan-Data-Radar-Cuaca-Format-Netcdf-Menggunakan-Bahasa-Program-Pyth
- Sudarman, S., Sadikin, H., & Prijatna, K. (2020). Desain Alternatif Lembar Peta Rupabumi Indonesia (RBI) Skala Besar. *Geomatika*, *26*(1), 35–44.
- Trice, A., Robbins C., Philip N., & Rumsey, M. (2021). Challenges and Opportunities for Ocean Data to Advance Conservation and Management. *Ocean Conservancy*.
- Xie, C., Li, M., Wang, H., & Dong, J. (2019). A survey on visual analysis of ocean data. *Visual Informatics*, *3*(3), 113–128.