

**TREN HISTORIS *COASTAL UPWELLING* BERDASARKAN
DINAMIKA EKMAN DI SEPANJANG SELATAN JAWA**

SKRIPSI

DAENK HIMAWA

26050120140127



**PROGRAM STUDI OSEANOGRAFI
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2024

**TREN HISTORIS *COASTAL UPWELLING* BERDASARKAN
DINAMIKA EKMAN DI SEPANJANG SELATAN JAWA**

DAENK HIMAWA

26050120140127

Skripsi sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Derajat Sarjana S1 pada Departemen Oseanografi
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Diponegoro

**PROGRAM STUDI OSEANOGRAFI
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Tren Historis *Coastal Upwelling* Berdasarkan
Dinamika Ekman di Sepanjang Selatan Jawa
Nama Mahasiswa : Daenk Himawa
Nomor Induk Mahasiswa : 26050120140127
Departemen/Program Studi : Oseanografi

Mengesahkan,

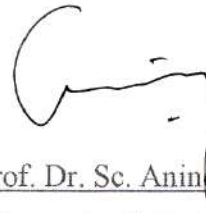
Pembimbing Utama



Dr. Kunarso S.T., M.Si.

NIP. 196905251996031002

Pembimbing Anggota



Prof. Dr. Sc. Anindya

Wirasatriya S.T., M.Si., M.Sc.

NIP. 197711192003121003

Dekan,

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Universitas Diponegoro



Prof. Ir. Tri Winarni Agustini M.Sc., Ph.D.

NIP. 196508211990012001

Ketua

Program Studi Oseanografi

Departemen Oseanografi



Dr. Kunarso S.T., M.Si.

NIP. 196905251996031002

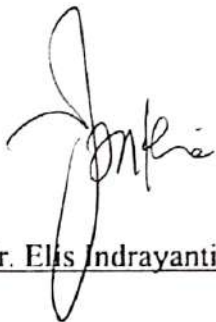
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Tren Historis *Coastal Upwelling* Berdasarkan
Dinamika Ekman di Sepanjang Selatan Jawa
Nama Mahasiswa : Daenk Himawa
Nomor Induk Mahasiswa : 26050120140127
Departemen/Program Studi : Oseanografi

Skripsi ini telah disidangkan di hadapan Tim Penguji pada:

Hari/Tanggal : Kamis, 22 Februari 2024
Tempat : Ruang G101, Gedung G, FPIK, UNDIP

Penguji Utama



Dr. Elis Indrayanti S.T., M.Si.

NIP. 197612011999032003

Penguji Anggota



Yusuf Jati Wijaya S.Kel.,
M.Sc., M.Si., Ph.D.

NIP. H.7.199201032018071002

Pembimbing Utama



Dr. Kunarso S.T., M.Si.

NIP. 196905251996031002

Pembimbing Anggota



Prof. Dr. Sc. Anindya
Wirasatriya S.T., M.Si., M.Sc.

NIP. 197711192003121003

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya, Daenk Himawa, menyatakan bahwa karya ilmiah/skripsi yang berjudul *Tren Historis Coastal Upwelling Berdasarkan Dinamika Ekman di Sepanjang Selatan Jawa* adalah asli karya saya sendiri dan belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Diponegoro maupun perguruan tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam karya ilmiah/skripsi ini yang berasal dari karya orang lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua isi dari karya ilmiah/skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Semarang, Februari 2024

Penulis,



Daenk Himawa

NIM. 26050120140127

ABSTRAK

(Daenk Himawa. 26050120140127. Tren Historis *Coastal Upwelling* Berdasarkan Dinamika Ekman di Sepanjang Selatan Jawa. Kunarso dan Anindya Wirasatriya).

Dinamika Ekman berupa *offshore* EMT (*Ekman Mass Transport*) dan EPV (*Ekman Pumping Velocities*) memainkan peran penting dalam pembentukan *coastal upwelling* di Sepanjang Selatan Jawa. Akan tetapi, tren historis jangka panjang keduanya sebagai respon terhadap pemanasan global masih belum diteliti secara jelas. Penelitian ini berfokus untuk melihat perubahan klimatologi beserta trennya secara linier dari tahun 1940 – 2023 dengan menggunakan data *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ReAnalysis 5* (ERA5). Tren dari Suhu Permukaan Laut (SPL), *Indian Ocean Dipole* (IOD), dan *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) juga dilibatkan untuk memberikan pembahasan yang lebih komprehensif dari penelitian sebelumnya. Hasil transformasi klimatologi per dua dekade dari EMT, EPV, dan SPL menunjukkan perubahan yang fluktuatif. Perubahan secara linier hanya didapati untuk EPV di sisi timur Selatan Jawa. Kemudian, hasil perhitungan tren liniernya menunjukkan pelemahan *offshore* EMT dan penguatan EPV di Sepanjang Selatan Jawa. Berdasarkan data tahunan yang panjang, tren SPL lebih dipengaruhi oleh tren dari fenomena antar tahunan, yaitu IOD dan ENSO. Keduanya menunjukkan tren kenaikan nilai *Dipole Mode Index* (DMI) dan indeks *Niño* 3.4. Kenaikan tersebut akan merujuk pada kejadian IOD^+ dan *El Niño* yang memperkuat *coastal upwelling*. Sementara itu, tren dari *offshore* EMT dan EPV berperan sebagai faktor sekunder yang melemahkan tren kenaikan SPL di area *coastal upwelling* dibanding area lautan.

Kata kunci: Dinamika Ekman; ENSO; IOD; Selatan Jawa; SPL

ABSTRACT

(Daenk Himawa. 26050120140127. *Historical Trend of Coastal Upwelling Based on Ekman Dynamics along the South of Java.* Kunarso dan Anindya Wirasatriya).

Ekman dynamics of offshore EMT (Ekman Mass Transport) and EPV (Ekman Pumping Velocities) played an important role in the formation of coastal upwelling along the South of Java. However, the long-term historical trends of both in response to the presence of global warming have not yet been clearly understood. This study focuses on looking at climatological change and linear trends from 1940 to 2023 using data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ReAnalysis 5 (ERA5). Trends from Sea Surface Temperature (SST), Indian Ocean Dipole (IOD), and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) are included to provide a more comprehensive discussion than the previous research. The results of climatological transformations per two decades of EMT, EPV, and SST show fluctuating transformations. Linear transformation is only observed for EPV on the east side of South Java. Later, the linear trend calculation results show a weakening of offshore EMT and a strengthening of EPV along the South of Java. Based on long-term annual data, the SST trend is more influenced by trends of the interannual phenomena such as IOD and ENSO. Both indicate increasing trends in the Dipole Mode Index (DMI) and the Niño 3.4 index. These increases will refer to IOD⁺ and El Niño events that strengthen the coastal upwelling. Meanwhile, trends from offshore EMT and EPV act as a secondary factor that weakens the increasing trend of SST in coastal upwelling areas rather than ocean areas.

Keywords: *Ekman Dynamic; ENSO; IOD; South Java; SST*

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan rasa syukur karena skripsi berjudul “Tren Historis *Coastal Upwelling* Berdasarkan Dinamika Ekman di Sepanjang Selatan Jawa” dapat hadir untuk turut menyokong fondasi ilmiah dalam Oseanografi, dengan fokus utama pada dinamika dan interaksi lautan dengan atmosfer. Tulisan ini membahas permasalahan pada ruang lingkup dampak pemanasan global terhadap intensitas *coastal upwelling* di sepanjang Selatan Jawa. Isi kontennya terdiri dari hal yang melatarbelakangi penelitian, teori dasar dan temuan terdahulu, data dan metode yang digunakan, serta pembahasan terhadap hasil temuan terbaru pada penelitian ini.

Ucapan terima kasih yang sangat mendalam disampaikan untuk Dr. Kunarso S.T., M.Si., dan Prof. Dr. Sc. Anindya Wirasatriya S.T., M.Si., M.Sc yang telah memberikan arahan dan bimbingannya dalam keberlangsungan proses penelitian ini, sehingga skripsi ini dapat dikembangkan menjadi penelitian yang komprehensif dan terstruktur.

Walaupun demikian, tentu saja skripsi ini tidak terlepas dari adanya suatu keterbatasan. Penulis sangat menghargai apabila pembaca dapat memberikan kritik dan saran akademis yang membangun agar tulisan ini mendapat penyempurnaan untuk kegunaan bersama. Penulis berharap melalui adanya tulisan ini, pembaca dapat menemukan manfaat dan inspirasi untuk melengkapi kajian ilmiah lainnya dalam ranah Oseanografi.

Semarang, 05 – 02 – 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Waktu dan Tempat	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Coastal Upwelling</i> dan Mekanisme Pembangkitannya.....	4
2.2 <i>Upwelling</i> Berdasarkan Dinamika Ekman	5
2.2.1 <i>Ekman Mass Transport</i> (EMT)	5
2.2.2 <i>Ekman Pumping Velocities</i> (EPV)	7
2.3 Pemanasan Global dan <i>Coastal Upwelling</i>	8
2.3.1 Hipotesis oleh Bakun	8
2.3.2 Pergeseran Sel Sirkulasi Atmosfer.....	9
2.4 <i>Upwelling</i> dan Fenomena Oseanografi lainnya di Selatan Jawa.....	10
2.5 Angin dan SPL pada Data ERA5	12
3. MATERI DAN METODE.....	14
3.1 Materi Penelitian	14
3.2 Metode Penelitian.....	16
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil.....	19
4.1.1 Variasi Bulanan Data Klimatologi (1940 – 2023)	19
4.1.2 Transformasi Intensitas Bulanan antar Dua Dekade.....	23
4.1.3 Tren Linier <i>Coastal Upwelling</i> , SPL, IOD, dan ENSO	24

4.1.4	Tren Spasial Dinamika Ekman dan SPL	27
4.2	Pembahasan	28
4.2.1	Variasi Bulanan Data Klimatologi (1940 – 2023)	28
4.2.2	Transformasi Intensitas Bulanan antar Dua Dekade	31
4.2.3	Tren Linier <i>Coastal Upwelling</i> , SPL, IOD, dan ENSO	32
4.2.4	Tren Spasial Dinamika Ekman dan SPL	36
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran	38
	DAFTAR PUSTAKA	40
	LAMPIRAN	45
	RIWAYAT HIDUP	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik data yang digunakan dalam penelitian	15
Tabel 4.1 Korelasi Pearson bulanan antara SPL (SST) dengan meridional EMT (v EMT), EPV, DMI (IOD), dan <i>Niño 3.4</i> (ENSO) (1940 – 2023) di kotak (<i>box</i>) A dan B beserta kondisi <i>lag time</i> sebulan untuk SPL (-1 Bulan).	20
Tabel 4.2 Korelasi Pearson tahunan (rerata Juli, Agustus, dan September) antara SPL (SST) dengan meridional EMT (v EMT), EPV, DMI (IOD), dan <i>Niño 3.4</i> (ENSO) (1940 – 2023).	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme pembangkitan <i>coastal upwelling</i> di BBU	4
Gambar 2.2 Keseimbangan tekanan angin, gaya gesek, dan Coriolis pada pergerakan es di permukaan air oleh angin.....	6
Gambar 2.3 Sketsa pembangkitan <i>coastal upwelling</i> berdasarkan <i>Ekman transport</i> di BBU	7
Gambar 2.4 Pembentukan <i>Ekman pumping</i> dan <i>suction</i> di BBU.....	8
Gambar 2.5 Ilustrasi penguatan <i>coastal upwelling</i> berdasarkan hipotesis Bakun dari semakin rendahnya tekanan di daratan	9
Gambar 2.6 Ilustrasi penguatan intensitas <i>upwelling</i> karena pergeseran sel atmosfer bertekanan tinggi menuju ke kutub	10
Gambar 2.7 Ilustrasi pola angin monsun saat monsun barat laut (kanan) dan monsun tenggara serta monsun barat daya (kiri)	11
Gambar 2.8 Skema <i>Ekman pumping</i> dan <i>suction</i> karena <i>mesoscale eddies</i> (lingkaran merah dan biru), jalur <i>Kelvin wave</i> (garis biru) dan sebaran klorofil-a (gradien hijau) di Selatan Jawa hingga Selat Lombok.....	12
Gambar 3.1 Perbandingan data ERA5 dengan observasi satelit dari ASCAT komponen zonal (a) dan meridional (b) angin dan OSTIA (SPL) (c) disertai nilai RMSE-nya.....	15
Gambar 3.2 Pembagian area untuk perhitungan tren secara <i>timeseries</i> pada kotak (Box) A dan B (warna merah) yang didasarkan pola spasial rerata EPV bulan Juli – September (1940 – 2023), serta area pembandingan data ERA5 dengan observasi (kotak hitam), lalu kotak biru merupakan area dekat pantai yang akan digunakan untuk membuat diagram <i>hovmöller</i> secara longitudinal	16
Gambar 4.1 Variasi data klimatologi (1940 – 2023) meridional EMT (v EMT), EPV, dan SPL (SST) di kotak (box) A dan B.	19
Gambar 4.2 Variasi spasial data klimatologi SPL (SST) dalam rentang tahun 1940 – 2023.....	20
Gambar 4.3 Variasi spasial data klimatologi EMT dalam rentang tahun 1940 – 2023.....	21
Gambar 4.4 Variasi spasial data klimatologi EPV dalam rentang tahun 1940 – 2023.....	22
Gambar 4.5 Transformasi intensitas bulanan meridional EMT (v EMT) (a), SPL (SST) (b), dan EPV (c) per dua dekade dari tahun 1941 – 2020	23
Gambar 4.6 Nilai tren tahunan (rerata Juli, Agustus, dan September) dari meridional EMT (v EMT), EPV, dan SPL (SST) di kotak (box) A (a) dan B (b) (1940 – 2023).	24
Gambar 4.7 <i>Hovmöller</i> longitudinal per tahun dari nilai meridional EMT (v EMT) (a), EPV (b), dan SPL (SST) (c) pada area dekat pantai yang ditandai dengan kotak biru di Gambar 3.2 pada rentang data 1940 – 2023.....	25
Gambar 4.8 Nilai tren tahunan (rerata Juli, Agustus, dan September) dari IOD dan ENSO dalam rentang tahun 1940 – 2023.....	26
Gambar 4.9 <i>Hovmöller</i> longitudinal per tahun nilai SPL (SST) di area dekat pantai (a) serta <i>timeseries</i> IOD dan ENSO (b) pada rentang tahun 1940 – 2023 .	26
Gambar 4.10 Nilai tren per tahun dari meridional EMT (v EMT) secara spasial (1940 – 2023).....	27

Gambar 4.11 Nilai tren per tahun dari EPV secara spasial (1940 – 2023).....	27
Gambar 4.12 Nilai tren per tahun dari SPL (SST) secara spasial (1940 – 2023). Tren positif (negatif) menandakan peningkatan (penurunan) SPL	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode python yang memuat proses pengolahan data penelitian.....	46
Lampiran 2. Gambar 5(a) dalam artikel oleh (Wirasatriya <i>et al.</i> , 2020) yang menunjukkan klimatologi bulanan SPL (SST), komponen meridional EMT dan EPV. Garis tipis menunjukkan sisi Timur dan tebal sisi Barat dari Selatan Jawa dalam rentang data tahun 2007 – 2018	54
Lampiran 3. Gambar 7(a, b, dan c) dalam artikel oleh (Wirasatriya <i>et al.</i> , 2020) yang menunjukkan titik terendah spasial SPL (SST) berada di bin 18 – 19 (sekitar 113.5° – 114.5° BT).....	55
Lampiran 4. Gambar 3(a) dalam artikel oleh (Varela <i>et al.</i> , 2016) yang menunjukkan siklus tahunan SST (°C) setiap bulan yang dirata-ratakan secara meridional di sepanjang lokasi pesisir (garis biru) dan lautan (garis merah) untuk periode 1982 hingga 2015 menggunakan data OISST¼ di mana hasil tersebut terlihat baik area pesisir dan lautan mengalami penurunan SPL saat monsun tenggara	56
Lampiran 5. Gambar 4 dalam artikel oleh (Wirasatriya <i>et al.</i> , 2020) yang menunjukkan pola spasial <i>upwelling</i> (negatif) dan <i>downwelling</i> (positif) dari nilai EPV	57
Lampiran 6. Gambar 4(b) oleh (Varela <i>et al.</i> , 2016), tren SPL (SST) (°C des-1) di sepanjang lokasi pesisir (garis biru) dan lautan (garis merah) pada bulan Juli hingga Oktober periode 1982 hingga 2015 menggunakan database OISST¼.....	58
Lampiran 7. Gambar 1(a, b, c, d, e, dan f) oleh (Cai <i>et al.</i> , 2009) yang menunjukkan tren jumlah IOD pada bulan Juni, Juli, dan Agustus (b) dan September, Oktober, dan November (e)	59