

**HUBUNGAN VARIASI SUHU DAN INDEKS PERUBAHAN IKLIM DENGAN
KELIMPAHAN KLOROFIL-A DI PERAIRAN MALANG SELATAN**

LAPORAN SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh :

M. ALBERT NAZIR

NIM. 115080600111030



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

**HUBUNGAN VARIASI SUHU DAN INDEKS PERUBAHAN IKLIM DENGAN
KELIMPAHAN KLOORIFIL-A DI PERAIRAN MALANG SELATAN**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh :

**M. ALBERT NAZIR
NIM. 115080600111030**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

HUBUNGAN VARIASI SUHU DAN INDEKS PERUBAHAN IKLIM DENGAN
KELIMPAHAN KLOOROFIL-A DI PERAIRAN MALANG SELATAN

Oleh:

M. ALBERT NAZIR

NIM. 115080600111030

telah dipertahankan di depan penguji pada tanggal 06 Januari 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat.

Dosen Penguji I

(Feni Iranawati S, S.Pi, M.Si, Ph.D)
NIP. 19740812 200312 2 001
Tanggal : 06 Januari 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

(Ir. Aida Sartimbul, M.Sc, Ph.D)
NIP. 19680901 199403 2 001
Tanggal : 06 Januari 2017

Dosen Penguji II

(Andik Isdianto, ST, MT)
NIP. 2013098209281001
Tanggal : 06 Januari 2017

Dosen Pembimbing II

(M. Arif As'adi, S.Kel, M.Sc)
NIP. 19821106 200812 1 002
Tanggal : 06 Januari 2017

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP)
NIP. 19630608 198703 1 003
Tanggal : 06 Januari 2017

PERNYATAAN ORISINALITAS

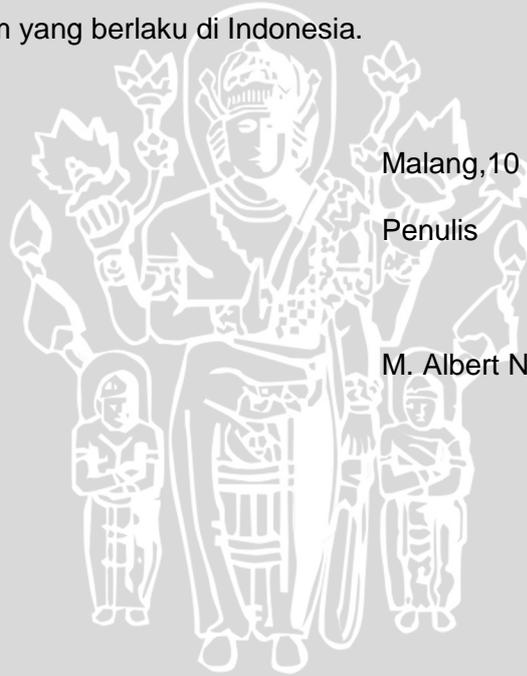
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tulisan pembuatan Laporan Penelitian (SKRIPSI) ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak pernah terdapat tulisan, pendapat atau bentuk lain yang telah diterbitkan oleh orang lain kecuali tertulis dalam laporan ini di Daftar Pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan penelitian ini hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 10 Desember 2016

Penulis

M. Albert Nazir



UCAPAN TERIMAKASIH

Berkaitan dengan terselesainya laporan penelitian (SKRIPSI) ini, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya yang merupakan tempat penulis mencari ilmu.
2. Ibu Ir. Aida Sartimbul, M.Sc, Ph.D dan Bapak M. Arif As'adi, S.Kel, M.Sc, selaku dosen pembimbing pelaksanaan penelitian yang selalu memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan laporan.
3. Ibu Feni Iranawati, S. Pi., M.Si, Ph.D dan Bapak Andik Isdianto S.T, M.T, selaku dosen penguji dalam pelaksanaan ujian skripsi.
4. Bapak, Ibu, dan segenap keluarga yang selalu mendukung, memberi semangat, motivasi, dan doa restunya.
5. Iwan T.W, S.Kel teman yang selalu memberikan dukungan dan mengajari ilmu oceanografi dalam penyusunan laporan.
6. Rara yang selalu mendampingi penulis dalam penyusunan laporan.
7. Teman-teman Ilmu Kelautan angkatan 2011, atas bantuan dan sarannya.

Penulis

M. Albert Nazir

RINGKASAN

M. ALBERT NAZIR 115080600111030. HUBUNGAN VARIASI SUHU DAN INDEKS PERUBAHAN IKLIM DENGAN KELIMPAHAN KLOOROFIL-A DI PERAIRAN MALANG SELATAN. (di bawah bimbingan Ir. **Aida Sartimbul, M.Sc, Ph.D** dan **M. Arif As'adi, S.Kel, M.Sc**)

Suhu permukaan laut (SPL) merupakan salah satu parameter oseanografi yang mencirikan masa air di lautan dan berhubungan dengan keadaan lapisan air laut yang terdapat di bawahnya, sehingga dapat digunakan dalam menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di lautan. Faktor penting lain yang mempengaruhi produksi primer disuatu perairan yaitu Klorofil-a. Dalam inventarisasi dan pemetaan sumberdaya alam pesisir dan laut, klorofil-a digunakan untuk mengetahui keberadaan fitoplankton dalam air. Sebagaimana diketahui bahwa fitoplakton berperan sebagai produsen primer dalam rantai makanan di perairan, yang selanjutnya dapat mempengaruhi kesuburan perairan dan keberadaan ikan.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2015 sampai dengan Januari 2016. Waktu tersebut meliputi perencanaan, penyusunan skema kerja penelitian, analisa data, hingga penulisan laporan penelitian. Tujuan dari penelitian ini ingin mengetahui variasi suhu permukaan laut dan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru dan mengetahui hubungan variasi suhu permukaan laut dan *index* perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru.

Stasiun penelitian ini terdapat pada 3 titik, ke 3 titik stasiun tersebut merupakan lokasi peletakan rumpon nelayan pancing Sendang Biru. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GPS, Plankton net, kamera digital, dan lain-lain. Bahan yang digunakan saat di lapangan meliputi air sampel, tisu, aquades, lugol, dan spidol board marker. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data SPL *insitu*, data SPL dari citra satelit Aqua Modis level 3, data klorofil-a dari citra Aqua Modis level 3, data *Index* Nino 3.4, dan data SOI. Keseluruhan data merupakan data rata – rata bulanan dari tahun 2005–2015 di wilayah Perairan Malang Selatan dengan koordinat 8^oLS - 15^oLS dan 105^oBT - 112^oBT.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan teknik pengambilan data yang dilakukan dalam 2 tahap yaitu pengambilan data primer dan data sekunder. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu rata-rata suhu permukaan laut selama 11 tahun (2005-2015) adalah 27,48^oC dan kelimpahan klorofil-a adalah 1,67 mg/m³. Suhu permukaan laut maksimum sebesar 30,65^oC dan minimum 22,41^oC. Kelimpahan klorofil-a maksimum 12,39 mg/m³ dan minimum 0 Mg/m³. Dalam kurun waktu 11 tahun (2005-2016), terjadi 5 kali La Nina (2007, 2008, 2010, 2011, dan 2013), yang terkuat terjadi pada tahun 2010 dan diikuti dengan penurunan kelimpahan klorofil-a, sedangkan El Nino terjadi 3 kali (2006, 2009, dan 2015), yang terkuat terjadi pada tahun 2006 dan diikuti dengan peningkatan kelimpahan klorofil-a.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian (SKRIPSI) yang berjudul **“HUBUNGAN VARIASI SUHU DAN INDEKS PERUBAHAN IKLIM DENGAN KELIMPAHAN KLOOROFIL-A DI PERAIRAN MALANG SELATAN”**, ini dengan baik. Penulisan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan, jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Laporan ini terbagi dalam 5 Bab, dimana Bab 1 membahas tentang latar belakang dilakukannya penelitian mengenai kelimpahan klorofil-a dengan perubahan suhu. Bab 2 membahas mengenai Tinjauan Pustaka atau referensi yang digunakan dalam penyusunan penulisan laporan. Bab 3 membahas mengenai materi serta metode yang digunakan dalam penelitian. Bab 4 membahas mengenai hasil dari penelitian yang berupa data, gambar, dan analisis terhadap materi penelitian, serta Bab 5 membahas tentang kesimpulan serta saran dari penelitian (SKRIPSI) ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari tulisan maupun sistem penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki penulisan selanjutnya.

Penulis

M. Albert Nazir

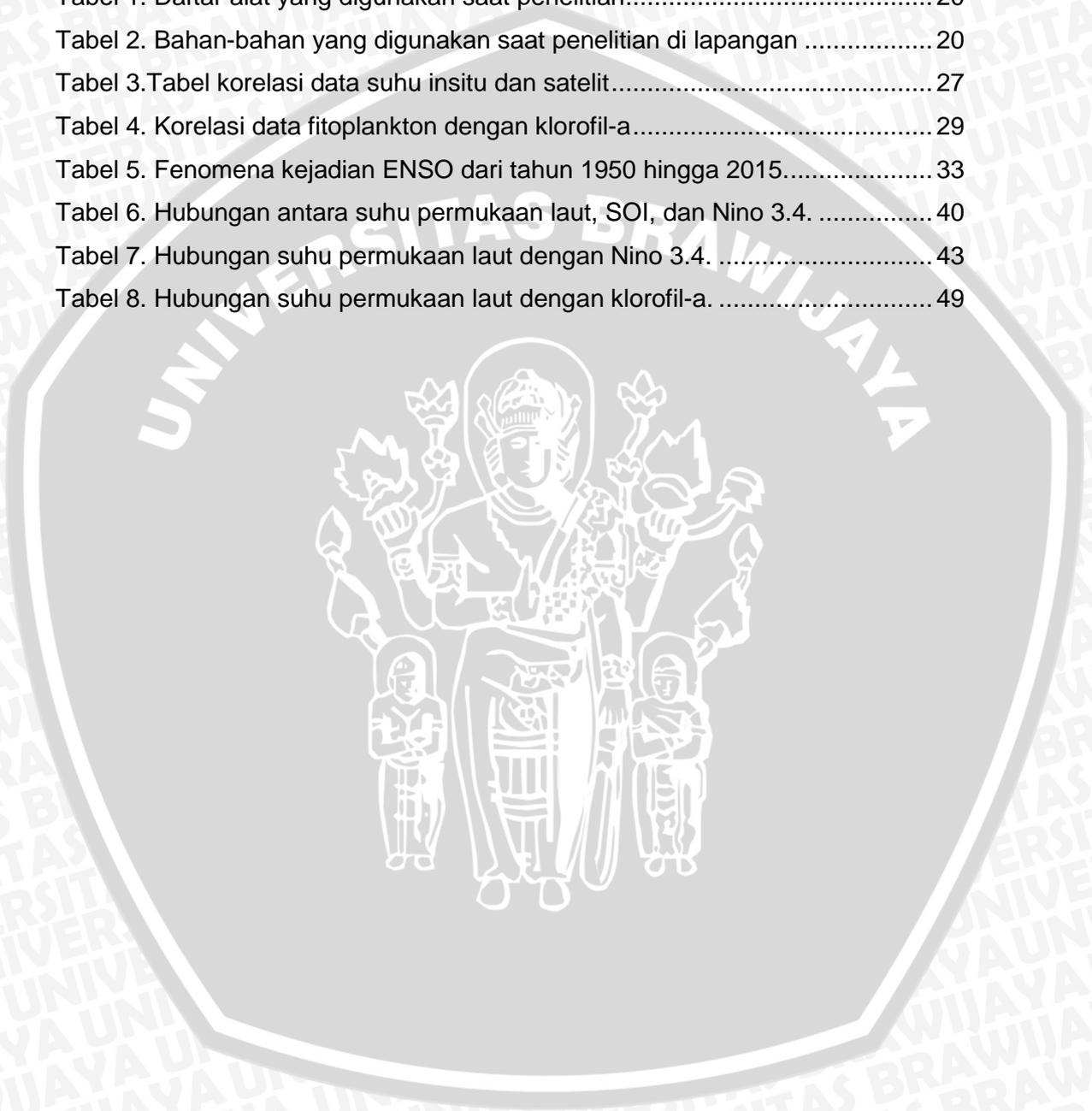
DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	i
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	5
1.5.1. Tempat.....	5
1.5.2. Waktu pelaksanaan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Keadaan Umum Perairan Malang Selatan	6
2.2. Suhu Permukaan Laut (SPL)	7
2.3. Index Perubahan Iklim (SOI, ENSO, dan IOD).....	11
2.3.1. SOI (<i>Southern Oscillation Index</i>)	11
2.3.2. ENSO (<i>El-Nino Southern Oscillation</i>).....	12
2.3.3. IOD (<i>Indian Ocean Dipole</i>)	13
2.4. Klorofil-A.....	14
2.5. Penginderaan Jauh	15
2.6. Citra Satelit Modis	16
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	18
3.2. Alat dan Bahan	19

3.2.1.	Alat.....	19
3.2.2.	Bahan.....	20
3.3.	Teknik Pengumpulan Data.....	21
3.4.	Prosedur Kerja Pengambilan Data Parameter Perairan.....	21
3.4.1.	Pengambilan data Primer	22
3.5.	Alur Penelitian	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1.	Hasil	27
4.1.1.	Validasi Data Secara Insitu Dan Satelit	27
4.1.2.	Variasi Suhu Permukaan Laut dari Tahun 2005-2015	30
4.1.3.	Variasi Konsentrasi Klorofil-a Di Perairan Malang Selatan.....	35
4.2.	Pembahasan	39
4.2.1.	Hubungan Suhu Permukaan Laut Terhadap Perubahan Iklim	39
4.2.2.	Data Time Series Hubungan Nilai Nino 3.4 dengan Anomali SPL	41
4.2.3.	Data Time Series Hubungan Nilai SOI dengan Anomali SPL.....	44
4.2.4.	Data Time Series Nilai IOD.....	45
4.2.5.	Variasi Anomali Suhu dan Klorofil-a.....	46
4.2.6.	Hubungan Analisis Suhu dan Klorofil-A	48
4.2.7.	Analisis Hubungan Variasi Anomali SPL, Klorofil-a,	50
	dan Index Perubahan Iklim	50
BAB 5. PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		54
LAMPIRAN		57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Daftar alat yang digunakan saat penelitian.....	20
Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan saat penelitian di lapangan	20
Tabel 3. Tabel korelasi data suhu insitu dan satelit.....	27
Tabel 4. Korelasi data fitoplankton dengan klorofil-a.....	29
Tabel 5. Fenomena kejadian ENSO dari tahun 1950 hingga 2015.....	33
Tabel 6. Hubungan antara suhu permukaan laut, SOI, dan Nino 3.4.	40
Tabel 7. Hubungan suhu permukaan laut dengan Nino 3.4.	43
Tabel 8. Hubungan suhu permukaan laut dengan klorofil-a.	49

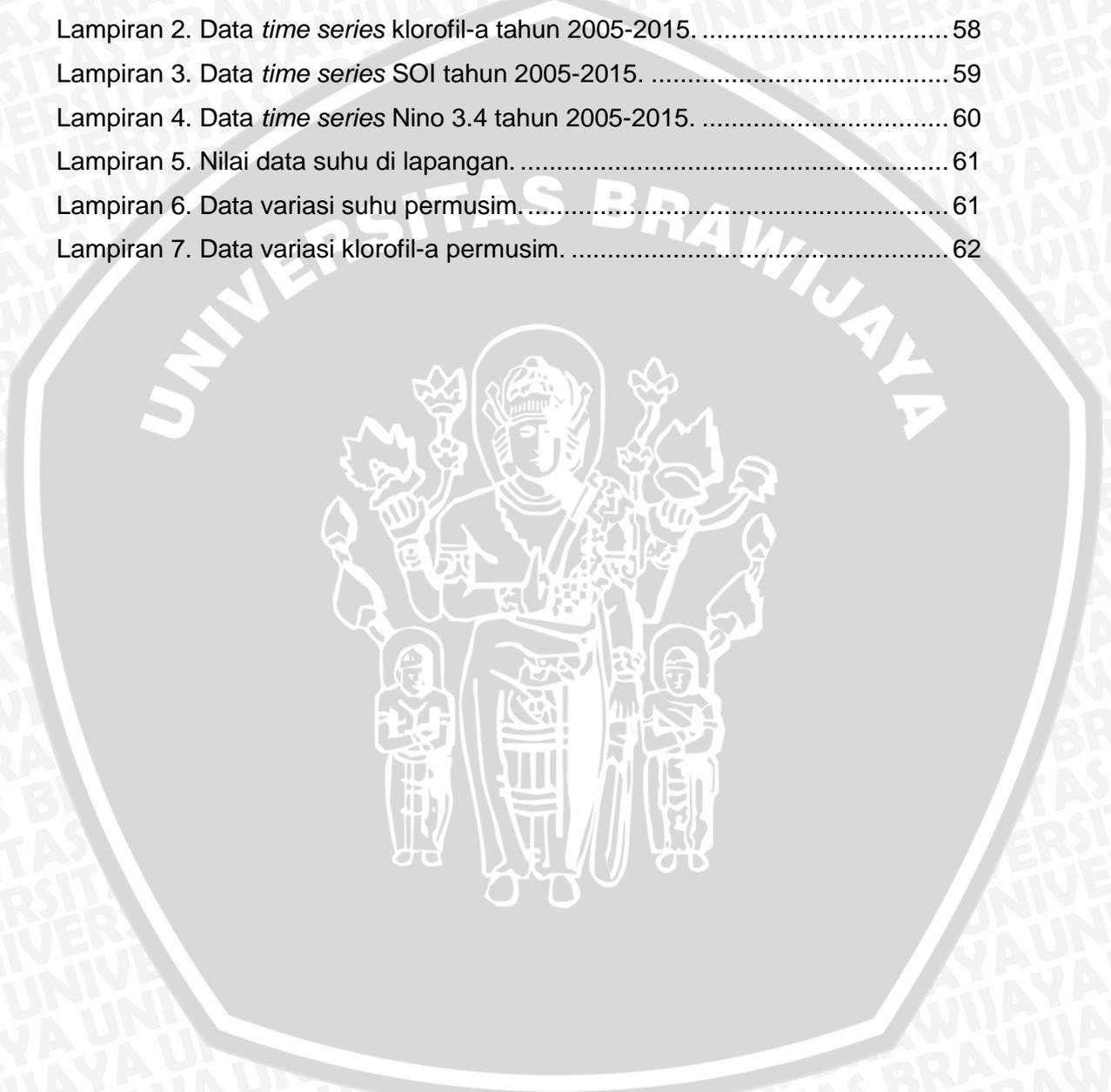


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Persebaran suhu permukaan laut di Indonesia pada tahun 2016.....	8
Gambar 2. Tampilan satelit Aqua MODIS	17
Gambar 3. Peta lokasi penelitian	18
Gambar 4. Diagram Alur Penelitian	26
Gambar 5. Regresi linier sederhana antara suhu insitu dan satelit	28
Gambar 6. Regresi linier fitoplankton dengan klorofil-a.....	30
Gambar 7. Data <i>time series</i> suhu permukaan laut.....	31
Gambar 8. Data <i>time series</i> data anomali spl.	32
Gambar 9. Variasi musiman SPL di Perairan Malang Selatan.....	34
Gambar 10. Data <i>time series</i> grafik konsentrasi klorofil-a.....	36
Gambar 11. Data <i>time series</i> anomali klorofil-a.....	37
Gambar 12. Data <i>time series</i> kelimpahan klorofil-a berdasarkan musiman.....	38
Gambar 13. Hubungan data suhu, Nino 3.4, dan SOI.....	39
Gambar 14. Data <i>time series</i> hubungan Nilai Nino 3.4 dengan anomali SPL.....	42
Gambar 15. Data <i>time series</i> hubungan nilai soi dengan anomali SPL.....	44
Gambar 16. Data <i>time series</i> penyimpangan anomali SPL dan DMI.....	46
Gambar 17. Data <i>time series</i> anomali suhu dan klorofil-a.....	47
Gambar 18. Hubungan variasi suhu, klorofil-a, dan index perubahan iklim.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data <i>time series</i> suhu permukaan laut tahun 2005-2015.....	57
Lampiran 2. Data <i>time series</i> klorofil-a tahun 2005-2015.	58
Lampiran 3. Data <i>time series</i> SOI tahun 2005-2015.	59
Lampiran 4. Data <i>time series</i> Nino 3.4 tahun 2005-2015.	60
Lampiran 5. Nilai data suhu di lapangan.	61
Lampiran 6. Data variasi suhu permusim.....	61
Lampiran 7. Data variasi klorofil-a permusim.	62



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang diapit oleh 2 benua, yaitu benua Australia dan benua Asia. Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan perairan, sehingga Indonesia disebut sebagai negara maritim. Letak geografis Indonesia mempengaruhi iklim di negara tersebut, yaitu beriklim tropis. Iklim tersebut juga dipengaruhi oleh adanya suhu yang berbeda antar tiap wilayah di Indonesia.

Suhu permukaan laut (SPL) merupakan salah satu parameter oseanografi yang mencirikan masa air di lautan dan berhubungan dengan keadaan lapisan air laut yang terdapat di bawahnya, sehingga dapat digunakan dalam menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di lautan. Suhu adalah faktor penting bagi kehidupan organisme di laut, yang dapat memengaruhi aktivitas metabolisme maupun perkembangbiakan, selain menjadi indikator fenomena perubahan iklim (Hutabarat dan Evans, 1986).

Suhu permukaan laut (SPL) dibagi 3, yaitu suhu lapisan permukaan atas (*Skin Sea Surface Temperature*), suhu bagian bawah permukaan (*Bulk Sea Surface Temperature*), dan suhu lapisan campuran (*Mixed Layer Sea Surface Temperature*). Variasi suhu perairan terjadi secara horizontal dan vertikal. Secara horizontal, suhu dikaji berdasarkan luasan perairan, sedangkan secara vertikal suhu dikaji berdasarkan kedalaman, yang mengacu pada variasi lapisan *thermoklin*. Lapisan *thermoklin* merupakan lapisan perairan laut yang dicirikan terjadinya penurunan suhu secara drastis terhadap kedalaman (Sidabutar, 2014). Variasi suhu di perairan

terjadi mulai dari permukaan (*surface layer*), lapisan *thermoklin* / campuran (*mixed layer*), dan lapisan dalam (*deep layer*).

Faktor penting lain yang mempengaruhi produksi primer disuatu perairan yaitu Klorofil-a. Klorofil-a adalah tipe klorofil yang paling umum dari tumbuhan. Dalam inventarisasi dan pemetaan sumberdaya alam pesisir dan laut, klorofil-a digunakan untuk mengetahui keberadaan fitoplankton dalam air. Sebagaimana diketahui bahwa fitoplakton berperan sebagai produsen primer dalam rantai makanan di perairan, yang selanjutnya dapat mempengaruhi kesuburan perairan dan keberadaan ikan. Menurut Nybakken (1995), indikator kesuburan perairan dapat diukur dari kandungan klorofil-a. Semakin tinggi konsentrasi klorofil-a permukaan, maka diharapkan semakin berlimpah fitoplankton di perairan tersebut, yang selanjutnya menjadi sumber makanan bagi ikan-ikan pelagis kecil seperti tongkol, tembang dan selar. Produktivitas air berhubungan lurus dengan keberadaan fitoplankton. Biomassa fitoplankton bisa dihitung dengan memperkirakan konsentrasi klorofil-a dan suhu perairan (Semedi & Hadiyanto, 2013).

Kajian mengenai SPL seiring perkembangan informasi dan teknologi geospasial saat ini dapat memanfaatkan data penginderaan jauh (inderaja) dan data oseanografi, diantaranya ialah data NOAA-AVHRR, Aqua MODIS dan Argo Float. Data informasi suhu dan klorofil-a secara horizontal dapat diperoleh dengan menggunakan citra satelit Aqua Modis. Selain cakupan wilayah yang diperoleh sangat luas, penginderaan jauh dapat dilakukan dengan efisien karena tidak harus mengambil data secara langsung di lapangan. Kekurangan dari penginderaan jauh adalah wilayah perairan yang dapat diteliti hanya lapisan permukaan dan tidak mampu mencangkup perairan dalam. Oleh karena itu, diperlukan instrumen kelautan yang mampu

merekam data hingga di kedalaman perairan untuk menentukan variasi suhu secara vertikal, seperti Argo Float.

Wilayah Perairan Malang Selatan merupakan perairan yang terletak diantara wilayah Indonesia dan Australia dengan batas di sebelah utara pulau Jawa, sebelah selatan adalah Australia, sebelah barat Samudera Hindia dan sebelah timur adalah Laut Timor. Semua daerah perairan tersebut berhubungan langsung dengan Samudera Hindia yang menyebabkan adanya dinamika oceanografi yang kompleks. Perairan Malang Selatan merupakan salah satu tempat dimana bertumbuhnya siklon tropis di Samudera Hindia bagian selatan (BMKG, 2009), oleh karenanya Perairan Selata Jawa ini sangat menarik untuk dibahas dan diamati terkait dengan hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan. Penelitian sebelumnya membahas tentang suhu dan klorofil di Perairan Selatan Jawa namun kedua bahasan tersebut hanya menggunakan data citra satelit, sehingga penting untuk mengembangkan penelitian sebelumnya dengan menghubungkan kedua faktor utama diperairan tersebut dan menambahkan data *insitu* agar dapat mengkaji lebih dalam hubungan antar kedua faktor utama tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Suhu dan klorofil-a merupakan salah satu faktor penting dalam suatu siklus perairan dalam menentukan suatu kondisi perairan dan kondisi di suatu wilayah. Kenaikan suhu permukaan air laut dan klorofil-a dapat mempengaruhi peristiwa alam lain seperti *upwelling*, El-nino, La-nina, dan lain-lain. Segala aspek yang membahas hubungan hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang

Selatan, menimbulkan beberapa pertanyaan yang ingin diketahui dan menghasilkan suatu rumusan masalah :

1. Bagaimana variasi suhu permukaan laut dan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru ?
2. Bagaimana hubungan variasi suhu permukaan laut dan *index* perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang diperoleh yaitu ingin mengetahui :

1. Mengetahui variasi suhu permukaan laut dan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru.
2. Mengetahui hubungan variasi suhu permukaan laut dan *index* perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di daerah *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru.

1.4. Manfaat

Penelitian dengan judul hubungan variasi suhu permukaan laut dan *index* perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan ini memiliki manfaat untuk:

1. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan oleh masyarakat untuk lebih mengerti tentang fenomena alam yang mempengaruhi perubahan suhu dan kelimpahan klorofil-a.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya dalam bidang bahasan yang sama.

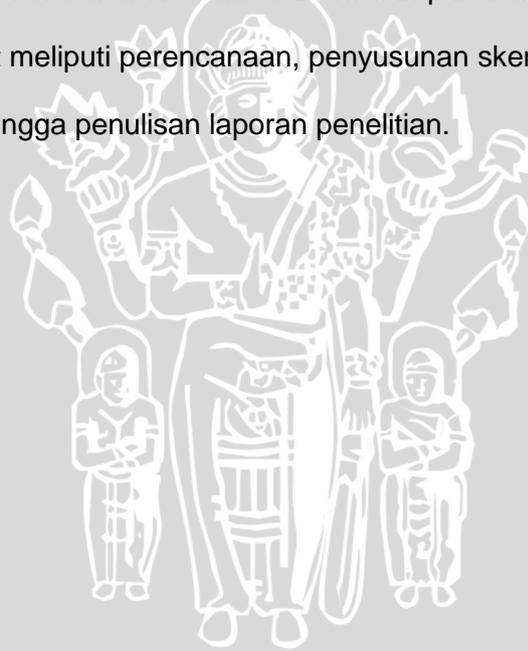
1.5. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

1.5.1. Tempat

Tempat dilaksanakannya penelitian tentang hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan adalah di Perairan Sendang Biru tepatnya di area *fishing ground* nelayan pancing Sendang Biru.

1.5.2. Waktu pelaksanaan

Waktu pelaksanaan penelitian hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan dilaksanakan pada bulan November 2015 sampai dengan Januari 2016. Waktu tersebut meliputi perencanaan, penyusunan skema kerja penelitian, analisa data, hingga penulisan laporan penelitian.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keadaan Umum Perairan Malang Selatan

Perairan Malang Selatan merupakan perairan Indonesia yang terletak di selatan pulau Jawa yang berhubungan langsung dengan Samudera Hindia. Di bagian barat laut Perairan Malang Selatan berhubungan langsung dengan perairan barat Sumatera dan juga Selat Sunda. Daerah Perairan Malang Selatan terdapat variasi pola pergerakan masa air laut dikarenakan adanya variasi pergerakan angin sebagai pembangkit utama terjadinya pergerakan masa air laut tersebut (Dipo, 2001).

Di wilayah perairan ini terjadi suatu sistem pola angin yang disebut sistem angin muson Australia-Asia. Terjadinya angin muson ini karena terjadi perbedaan tekanan udara antara masa Benua Asia dan Benua Australia. Pada bulan Desember-Februari di belahan bumi utara terjadi musim dingin sedangkan di belahan bumi selatan terjadi musim panas, sehingga terjadi pusat tekanan tinggi terjadi di Benua Asia dan pusat tekanan rendah terjadi di Benua Australia. Hal ini menyebabkan angin berhembus dari Benua Asia menuju ke Benua Australia. Angin ini pada wilayah selatan katulistiwa dikenal sebagai Angin Muson Barat Laut (*Northwest Monsoon*). Sebaliknya pada bulan Juli-Agustus berhembus Angin Muson Timur (*East Monsoon*). Adanya pergantian arah muson dua kali dalam setahun menyebabkan pola sirkulasi masa air di lautan juga turut berubah arah. Perubahan arah ini menjadi ciri sirkulasi masa air di Perairan Indonesia (Wyrcki, 1961).

Di selatan Jawa terdapat dua jenis pola pergerakan masa air yakni Arus Katulistiwa Selatan (AKS) atau *South Equatorial Current (SEC)* dan Arus Pulau

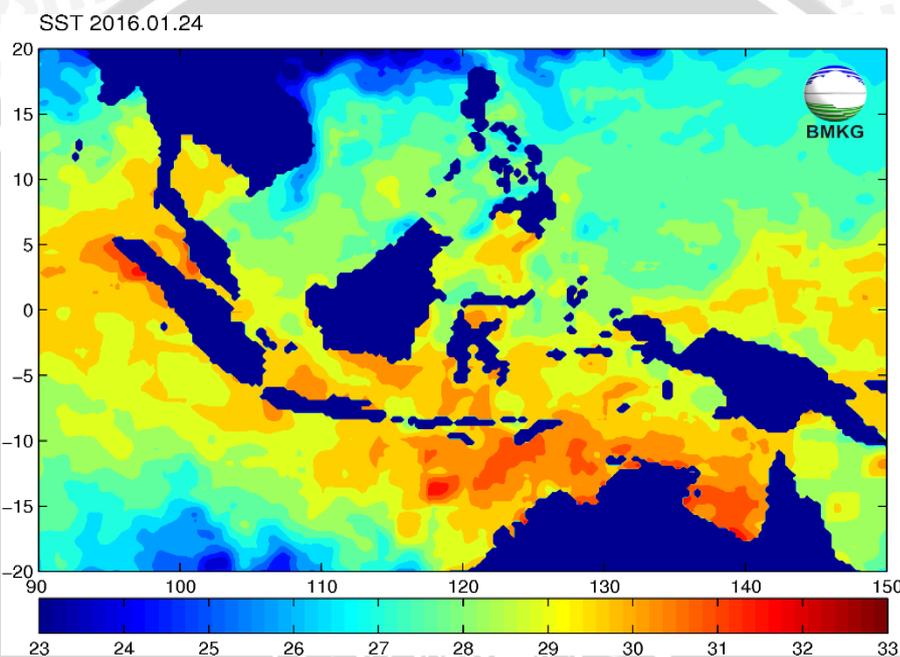
Jawa (APJ). AKS terbentuk di daerah antara pantai Selatan Jawa dan pantai Barat Laut Australia pada umumnya mengalir ke arah barat. Arus permukaan ini menyebar dari barat laut Australia, antara 10° - 20° LS hingga ke arah barat Samudera Hindia mencapai Madagaskar (Purba, 1992). APJ memiliki suhu yang lebih hangat, karena APJ terbentuk akibat Arus Sakal Katulistiwa Samudera Hindia (*Equatorial Counter Current*) yang menerima panas selama pergerakannya menuju Barat Sumatera di sekitar ekuator. Kemudian arus ini bertemu dengan AKS pada musim Barat sehingga AKS terdesak dan berbelok menyusuri pesisir Barat Sumatera dan menuju ke pantai Selatan Jawa ke arah timur sebagai APJ (Purba 1992).

2.2. Suhu Permukaan Laut (SPL)

Suhu merupakan parameter oseanografi yang berperan penting dalam lingkungan perairan dan berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap organisme di perairan. Suhu sangat berpengaruh terhadap pola kehidupan biota *aquatik* seperti penyebaran, kelimpahan dan mortalitas (Brower *et al*, 1990). Suhu perairan sangat bervariasi, baik dalam skala ruang maupun waktu. Variasi ini memberikan dampak pada proses pertumbuhan, kecepatan renang, reproduksi, fenologi, distribusi, rekrutmen, dan mortalitas biota yang hidup di dalamnya, baik biota yang melakukan migrasi maupun biota yang tidak bermigrasi (Sartimbul *et al*, 2010). Suhu perairan terutama lapisan permukaan sangat kuat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, namun terdapat pula faktor – faktor meteorologis lain yang dapat berpengaruh terhadap variasi SPL seperti curah hujan, kecepatan angin, penguapan, suhu udara, kelembaban, dan keadaan awan (Farita, 2006).

Suhu permukaan laut biasanya berkisar antara 27°C – 29°C di daerah tropis dan 15°C – 20°C di daerah subtropik (King, 1963). Menurut Wyrтки (1961),

kondisi lapisan permukaan laut tropis adalah hangat dan variasi suhu tahunannya adalah kecil, tetapi variasi suhu hariannya tinggi. Variasi suhu rata-rata tahunannya lebih kecil dari 2°C di daerah khatulistiwa, namun beberapa tempat seperti di Laut Banda, Laut Arafura, Laut Timor dan Selatan Jawa mempunyai variasi yang lebih besar yaitu 3°C – 4°C . Adapula persebaran suhu permukaan laut di Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Persebaran suhu permukaan laut di Indonesia pada tahun 2016.

Sumber : BMKG, 2016 Pengambilan data tanggal 24 Januari 2016.

Menurut Laevastu dan Hela (1970), selain intensitas cahaya matahari, variasi suhu permukaan laut dipengaruhi pula oleh keadaan lingkungan perairan, seperti adanya dinamika arus permukaan, intensitas *upwelling* dan *downwelling*. Variasi suhu perairan cenderung menurun seiring bertambahnya kedalaman, yang mengakibatkan terbentuknya 3 lapisan perairan yaitu lapisan permukaan (lapisan paling atas), lapisan *thermoklin* (lapisan tengah), dan lapisan dalam (lapisan paling bawah). Lapisan perairan seperti ini paling sering dijumpai di perairan tropis (Wyrтки, 1961).

Variasi suhu permukaan laut terjadi dari waktu ke waktu sesuai dengan kondisi meteorologis yang mempengaruhinya. Variasi tersebut dapat terjadi secara harian, musiman, tahunan, maupun jangka panjang (puluhan tahun). Variasi harian umumnya terjadi pada lapisan permukaan, dimana lapisan ini sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, pola arus permukaan, dan gelombang. Variasi SPL tahunan, suhu perairan di Indonesia memperlihatkan variasi yang kecil yaitu sekitar 2°C , akan tetapi masih menunjukkan adanya perubahan musim. Hal ini terjadi karena adanya pergerakan semu matahari yang melintasi daerah khatulistiwa selama 12 bulan secara stabil. Pergerakan semu matahari ini diakibatkan oleh kemiringan poros rotasi bumi sebesar $23,5^{\circ}$ (Farita, 2006). Dampak dari fenomena tersebut adalah terjadinya kenaikan suhu permukaan laut pada musim barat, dan menurunnya suhu permukaan laut ketika musim timur di Indonesia.

Selain beberapa faktor tersebut di atas, variasi suhu perairan dipengaruhi juga oleh fenomena perubahan iklim dan naiknya permukaan air laut. Fenomena ini berdampak pada formasi tekanan udara di atmosfer dan juga pola sirkulasi global air laut. Fenomena tersebut terjadi di setiap samudera di dunia dengan karakteristiknya masing-masing, seperti yang terjadi di belahan bumi selatan yang dikenal dengan istilah IOD (*Indian Ocean Dipole*) dan di bagian Pasifik Timur yang disebut dengan ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*).

Suhu permukaan laut mempunyai hubungan dengan keadaan lapisan air laut yang terdapat di bawahnya, sehingga data SPL dapat dipergunakan sebagai indikator untuk menganalisa fenomena yang terjadi di laut seperti *front* (pertemuan dua massa air), arus, pengangkatan massa air atau *upwelling* dan aktivitas biologis organisme (Robinson, 1985). Suhu air laut dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di dalam laut itu sendiri seperti proses fisika dan kimia

(Johnstone in Indrawati, 2000). Faktor-faktor fisik yang mempengaruhi SPL adalah arus permukaan, keadaan awan, penguapan, gelombang, gerakan konveksi, *upwelling*, *divergensi*, pembekuan dan pencairan es di daerah kutub (Laevastu dan Hela, 1970).

Lapisan air permukaan pada umumnya menyebar hingga kedalaman tertentu sebelum mencapai kedalaman yang lebih dingin di bawahnya. Pada permukaan air terjadi pencampuran masa air yang diakibatkan oleh adanya angin, arus dan pasut sehingga merupakan lapisan *homogen* (Wyrcki, 1961). SPL dapat dideteksi dengan alat pengindera suhu yaitu sensor infra merah termal. Lokasi *upwelling* dapat dideteksi oleh alat pengindera suhu karena massa air tersebut mempunyai suhu yang lebih dingin, sehingga suhu permukaan akan menjadi lebih dingin dibandingkan dengan suhu air di sekitarnya (Sumardjo, 1983).

SPL Indonesia secara umum berkisar antar 26°C – 29°C , karena perairan Indonesia dipengaruhi oleh angin musim, maka sebaran SPL-nya pun mengikuti perubahan musim. Pada musim Barat, SPL di Kawasan Barat Indonesia (KBI) pada umumnya relatif lebih rendah daripada musim timur. SPL di dekat Laut Cina Selatan pada waktu musim barat berkisar antara 26°C – 28°C sedangkan di kawasan timur Indonesia berkisar antara 28°C – 29°C , sebaliknya terjadi pada musim yang lainnya, yaitu SPL diperairan Kawasan Timur Indonesia (KTI) berkisar antara 26°C – 28°C , sedangkan di perairan KBI antara 28°C – 29°C (Ilahude dan Birowo, 1987). Suhu di Laut Jawa hampir sama dengan Perairan Indonesia pada umumnya. Pada musim barat SPL di bagian barat Laut Jawa lebih rendah daripada musim timur, demikian pula dengan bagian timur, SPL pada musim barat relatif lebih tinggi daripada musim timur.

2.3. Index Perubahan Iklim (SOI, ENSO, dan IOD)

2.3.1. SOI (*Southern Oscillation Index*)

Fenomena ENSO memiliki siklus yang tidak teratur dengan periode antara 2 sampai 7 tahun. Salah satu parameter yang menunjukkan fase ENSO adalah *Southern Oscillation Index* (SOI). SOI merupakan suatu indeks perbedaan tekanan udara permukaan yang terjadi antara Indonesia dengan Samudera Pasifik. Untuk memperoleh nilai dari SOI, maka digunakan nilai tekanan paras laut di Tahiti yang dikurangkan dengan tekanan paras laut di Darwin, kemudian dinormalkan dengan perbedaan Standar Deviasi.

$$SOI = 10 \times \frac{PA \text{ (Tahiti)} - PA \text{ (Darwin)}}{SD \text{ (Pdiff)}}$$

Keterangan:

SOI = *Southern Oscillation Index*

PA (Tahiti) = Anomali tekanan udara di atas Tahiti

PA (Darwin) = Anomali tekanan udara di atas Darwin

SD (Pdiff) = Standar Deviasi dari perbedaan anomali tekanan udara

SOI berkaitan dengan kekuatan angin pasat tenggara, dimana ketika tekanan paras laut di Darwin lebih besar daripada tekanan paras laut di Tahiti, maka SOI akan bernilai negatif dan angin pasat tenggara di Pasifik melemah. Ketika selisihnya lebih kecil dari negatif (-)1,5 maka periode tersebut mengindikasikan terjadinya fenomena *El-Nino*. Ketika tekanan paras laut di Darwin lebih kecil daripada tekanan paras laut di Tahiti, maka SOI akan bernilai positif dan angin pasat tenggara di Pasifik menguat. Ketika selisihnya lebih besar dari positif (+)1,5 maka periode tersebut mengindikasikan terjadinya fenomena *La-Nina* (Farita, 2006).

2.3.2. ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*)

ENSO merupakan sebuah interaksi antara suhu permukaan laut dan tekanan atmosfer yang berpusat di wilayah Samudera Pasifik bagian timur yang menyebabkan anomali iklim global (Trenberth *et al.*, 2001). Fenomena ENSO terbagi menjadi 2 karakter, yaitu *El-Nino* yang ditandai dengan naiknya nilai Suhu Permukaan Laut dan *La-Nina* yang ditandai dengan menurunnya nilai Suhu Permukaan Laut dari keadaan normal di Samudera Pasifik Selatan dan Timur. Gejala ENSO memberikan pengaruh terhadap Samudera Pasifik yaitu menjadi lebih hangat pada tahun *El-Nino* dan lebih dingin pada tahun *La-Nina*.

ENSO atau yang disebut dengan *El-Nino Southern Oscillation* merupakan salah satu fenomena perubahan karakteristik perairan yang terjadi di Pasifik Timur, tepatnya di pantai barat Peru dan Ekuador. *El-Nino* terjadi karena melemahnya angin pasat, sehingga suhu perairan Pasifik Timur cenderung menghangat. Melemahnya angin pasat dan menghangatnya suhu perairan Pasifik Timur berdampak pada berkurangnya intensitas *upwelling*, sehingga nutrisi di perairan bawah tidak mampu terdistribusi secara vertikal ke permukaan, hal inilah yang menyebabkan terjadinya kematian masal ikan pada saat terjadi fenomena *EL-Nino*, seperti ikan Sardine (*Sardinops sagax*), Anchoveta (*Engaulis ringens*), dan ikan Mackerels (*Tranchurus murphy*) (Serra, 1987). *La-Nina* ditandai dengan menurunnya suhu permukaan laut di Pasifik Timur yang menyebabkan suhu perairan menjadi lebih dingin dari biasanya.

Fluktuasi ENSO di Samudera Pasifik berpengaruh pula terhadap intensitas curah hujan di Indonesia. Pada kejadian *El-Nino*, curah hujan di Indonesia melemah sedangkan pada kejadian *La-Nina* intensitas curah hujan di Indonesia tinggi. Hal ini berdampak pada berubahnya kestabilan musim hujan dan kemarau di Indonesia. Faktor lain yang mempengaruhi variabilitas curah hujan di

Indonesia adalah aktivitas matahari. Aktivitas matahari ini ditandai dengan munculnya *sunspot* (bintik matahari) pada permukaan matahari. Ketika aktivitas matahari mencapai puncaknya, maka *sunspot* juga akan meningkat (Parrangan, 2012). Fenomena ENSO dapat diketahui dengan menggunakan indeks anomali tekanan udara yang disebut *Southern Oscillation Index* (SOI) dan indeks anomali suhu permukaan laut yang disebut Nino.

2.3.3. IOD (*Indian Ocean Dipole*)

IOD (*Indian Ocean Dipole*) adalah fenomena anomali suhu antara lautan dan atmosfer yang terjadi di daerah ekuator Samudera Hindia yang mempengaruhi iklim di Indonesia dan negara-negara lain yang berada di sekitar cekungan (basin) Samudera Hindia (Saji *et al.*, 1999). IOD dikarakteristikan dengan terjadinya anomali suhu permukaan laut (SPL) antara Samudera Hindia bagian barat (wilayah Afrika) dan timur (wilayah Indonesia). Perbedaan anomali SST (*Sea Surface Temperature*) antara dua daerah ini disebut sebagai *Dipole Mode Index* (DMI), dan digunakan untuk mengukur kekuatan dari IOD. Periode ketika DMI bernilai positif umumnya disebut sebagai periode IOD positif (IOD+), dan sebaliknya ketika DMI bernilai negatif disebut periode IOD negatif (IOD-).

Fenomena IOD ditunjukkan dengan adanya anomali SPL yang bernilai negatif atau lebih dingin dari normalnya di pantai barat Sumatera atau Samudera Hindia bagian timur dengan koordinat $90^{\circ}\text{BT}-110^{\circ}\text{BT}$, $10^{\circ}\text{LS}-0^{\circ}\text{LS}$ dan anomali positif di Samudera Hindia bagian barat dengan koordinat $50^{\circ}\text{BT}-70^{\circ}\text{BT}$, $10^{\circ}\text{LS}-10^{\circ}\text{LS}$ (Dipo dkk., 2001). IOD positif (+) ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian barat dan menurunnya SPL di Samudera Hindia timur. Hal ini terjadi karena massa air permukaan terbawa oleh arus akibat adanya angin yang berhembus ke arah barat menuju Samudera Hindia Barat. Dampak dari fenomena tersebut adalah penumpukan massa air di

Samudera Hindia bagian barat yang akan menimbulkan gelombang Kelvin yang bergerak dari barat menuju ke timur. Gelombang inilah yang akan mengangkat lapisan *thermoklin* di wilayah Samudera Hindia bagian timur sehingga menyebabkan suhu perairan menjadi lebih dingin, sedangkan suhu perairan di Samudera Hindia barat lebih hangat dikarenakan lapisan *thermoklin* cenderung terdorong ke bawah. IOD negatif (-) ditandai dengan naiknya suhu permukaan laut Samudera Hindia Timur (barat dan selatan Indonesia) dan menurunnya SPL di Samudera Hindia barat. Hal ini terjadi karena massa air permukaan dari Hindia barat terdorong ke timur, sehingga akan mendorong ke bawah lapisan *thermoklin* di Hindia timur, yang berakibat suhu perairan menjadi lebih hangat (Dipo, 2011).

2.4. Klorofil-A

Fitoplankton adalah tumbuhan yang melayang di laut dengan ukuran yang sangat kecil (berkisar antara 2-200 μm) yang hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Menurut Barnes dan Hughes (1988) dalam Panjaitan (2009), pada Fitoplankton terdapat pigmen klorofil-a yang merupakan zat hijau daun yang terdapat dalam tumbuhan yang mampu melakukan fotosintesis. Klorofil-a sangat mempengaruhi jumlah dan laju fotosintesis karena pigmen ini mendominasi konversi radiasi menjadi energi kimia. Kemampuan Klorofil-a membentuk zat organik dari zat anorganik maka Klorofil-a disebut sebagai produsen primer (*primary producer*) (Nontji, 2005).

Dari pengamatan sebaran konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia diperoleh bahwa konsentrasi klorofil-a tertinggi dijumpai pada musim Timur, yakni pada saat itu terjadi upwelling di beberapa perairan terutama di perairan Indonesia. Klorofil-a terendah dijumpai 14 pada saat muson barat laut, yakni

pada saat itu di perairan Indonesia tidak terjadi *upwelling* sehingga nilai konsentrasi *nutrient* di perairan lebih kecil.

Nilai rata-rata kandungan klorofil di perairan Indonesia sebesar 0,19 mg/m³. Nilai rata-rata pada saat berlangsung musim timur (0,24 mg/m³) menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan musim barat (0,16 mg/m³). Daerah-daerah dengan nilai klorofil tinggi mempunyai hubungan erat dengan adanya proses penaikan masa air (*upwelling*). Dengan memperhatikan produktivitas primer dari suatu perairan maka potensial untuk dijadikan lokasi penangkapan dapat ditentukan karena daerah tersebut akan menjadi tempat yang disukai oleh berbagai spesies laut akibat terjadinya proses rantai makanan (Nontji, 2002).

2.5. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan suatu kajian ilmu untuk mendapatkan informasi mengenai suatu obyek, area, atau fenomena melalui analisis terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat perantara tanpa melakukan kontak langsung terhadap obyek, area, maupun fenomena yang dikaji. Pengumpulan dan perekaman data penginderaan dilakukan dengan menggunakan alat pengindera atau sensor yang dipasang pada pesawat terbang atau satelit (Lillesand and Keifer, 1994). Penginderaan jauh terdiri dari 3 komponen utama, yaitu obyek yang diindera, sensor untuk merekam obyek dan gelombang elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi.

Suhu permukaan bumi mempunyai nilai rata – rata sebesar 300⁰K (27⁰C). Kurva hukum pergeseran Wien's menunjukkan pada saat suhu sebesar 300⁰K, maka pancaran radiasi maksimal terjadi pada panjang gelombang 9,7 μm, pada kisaran panjang gelombang inframerah termal. Energi yang diradiasikan tersebut

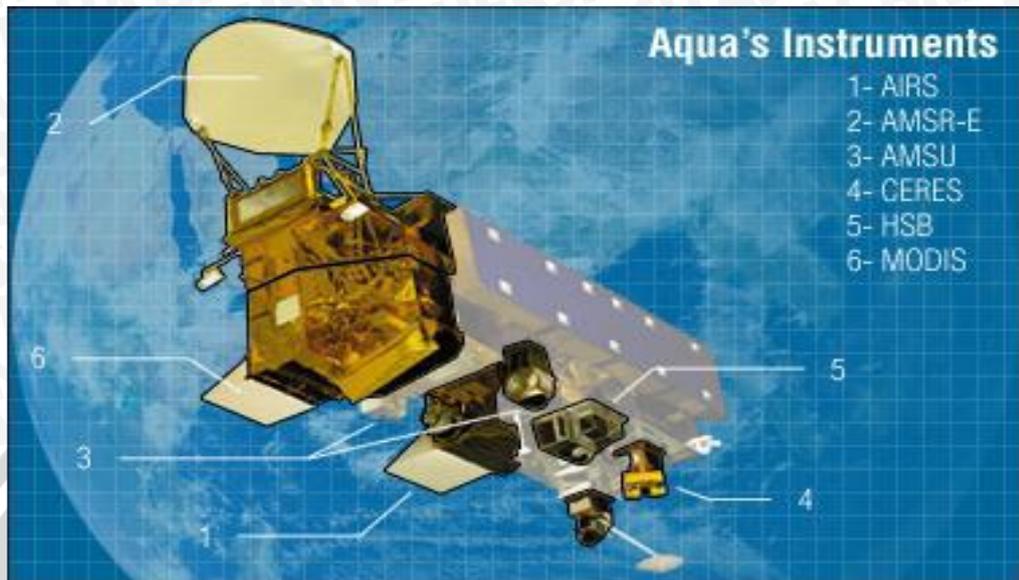
tidak mampu terlihat oleh mata, namun dapat terdeteksi oleh sensor termal. Pada penginderaan jauh, radiasi gelombang elektromagnetik yang terdeteksi oleh sensor termal inilah yang disebut “suhu kecerahan”. Radiometer inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu permukaan laut, dengan mengukur radiasi yang dipancarkan oleh permukaan laut pada panjang gelombang 10–12 μm (Robinson, 1985).

2.6. Citra Satelit Modis

Dalam pengertian sederhananya, penginderaan jauh merupakan suatu teknik berbasis instrumentasi untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau gejala, dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat peraba (sensor) tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau gejala yang akan dikaji. Sensor-sensor pasif mendeteksi radiasi alami yang dipancarkan atau dipantulkan oleh suatu obyek atau area sekitar yang sedang diteliti. Pantulan sinar matahari merupakan sumber radiasi yang sangat sering diukur oleh sensor-sensor pasif. Dari sisi aktif memancarkan energi agar dapat memindai obyek-obyek dan area-area setelah sensor pasif kemudian mendeteksi dan mengukur radiasi yang dipantulkan atau dipantulkan kembali ke asal dari sasaran (Kusuma, 2007).

MODIS merupakan salah satu instrumen berupa sensor multispectral yang terdapat pada satelit Terra dan Aqua. MODIS memiliki 36 kanal dengan kanal 1–19 berada pada kisaran cahaya tampak, sedangkan kanal 20–36 berada pada kisaran inframerah. Kanal pada sensor MODIS ini dapat digunakan untuk mengukur parameter dari permukaan laut hingga atmosfer. Resolusi setiap kanal pada MODIS memiliki spasial yang berbeda, seperti pada kanal 1–2 memiliki resolusi spasial 250 m, kanal 3–7 memiliki resolusi spasial 500 m, dan

kanal 8–36 memiliki resolusi spasial 1 km (NASA, 2015). Tampilan satelit Aqua MODIS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan satelit Aqua MODIS

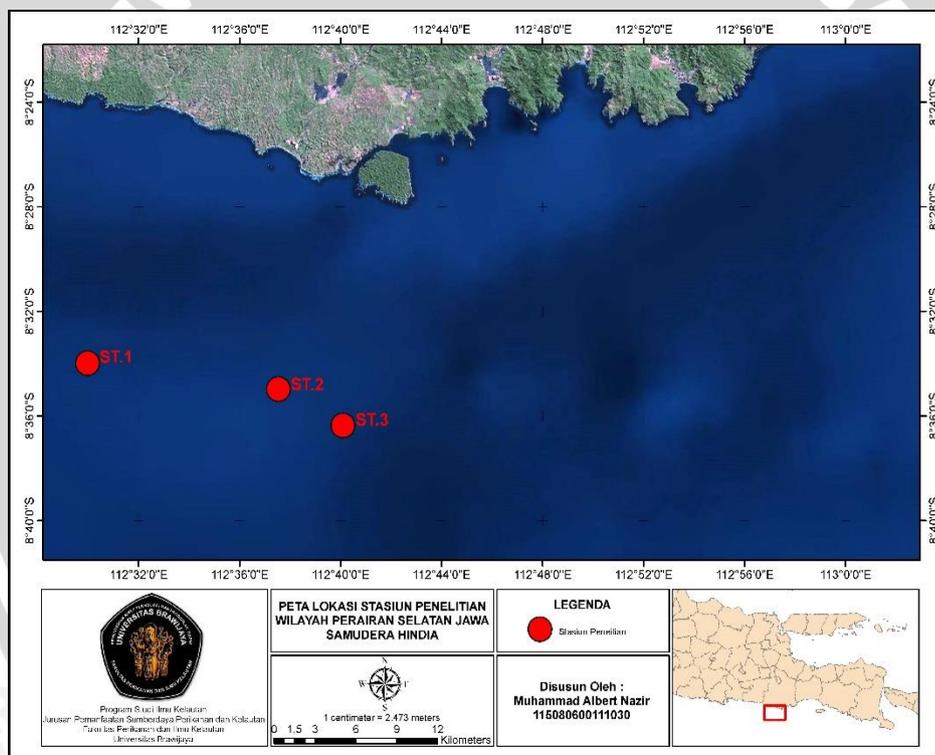
Sumber : NASA, 2015

Satelit Aqua (yang dalam bahasa latin berarti “air”) adalah satelit ilmu pengetahuan tentang bumi yang dimiliki oleh NASA yang mempunyai misi untuk mengumpulkan informasi mengenai siklus air di bumi, seperti penguapan dari Samudera, uap air di atmosfer, tutupan awan, presipitasi, kelembaban tanah, tutupan es dan salju. Adapun variabel yang dapat diukur dengan menggunakan satelit Aqua MODIS antara lain aerosol, klorofil-a, fitoplankton terlarut di lautan, suhu (udara, darat, air), dan tutupan tumbuhan di daratan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian tentang hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan ini dilakukan pada tanggal 8 Desember 2015. Daerah yang menjadi obyek penelitian ini yaitu 3 stasiun yang berada pada daerah *fishing ground* nelayan pancing di Perairan Malang Selatan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 seperti berikut :



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

Pada Gambar 3 di atas dapat dilihat bahwa stasiun penelitian ini terdapat pada 3 titik, ke 3 titik stasiun tersebut merupakan lokasi peletakan rumpun nelayan pancing Sendang Biru. Stasiun pertama terletak pada titik koordinat $08^{\circ}37'274''\text{LS}$ dan $112^{\circ}29'409''\text{BT}$. Jarak tempuh yang diperlukan untuk

mencapai ke stasiun pertama dari pantai kurang lebih 2 jam. Lokasi berikutnya yaitu stasiun kedua dan terletak pada titik koordinat $08^{\circ}38'639''\text{LS}$ dan $112^{\circ}37'178''\text{BT}$. Stasiun 3 terletak pada titik koordinat $08^{\circ}39'700''\text{LS}$ dan $112^{\circ}38'459''\text{BT}$.

Kelompok nelayan pancing Sendang Biru sendiri memiliki 8 titik rumpon. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan 3 titik dari 8 titik dalam pengambilan data. Stasiun pertama berada pada titik koordinat $08^{\circ}37'274''\text{LS}$ dan $112^{\circ}29'409''\text{BT}$ yang merupakan titik terdekat dari pulau Sempu. Stasiun kedua berjarak kurang lebih 15 mil dari stasiun pertama yang berada pada koordinat $08^{\circ}38'639''\text{LS}$ dan $112^{\circ}37'178''\text{BT}$, sedangkan stasiun ketiga berjarak kurang lebih 10 mil dari stasiun kedua yang berada pada koordinat $08^{\circ}39'700''\text{LS}$ dan $112^{\circ}38'459''\text{BT}$. Tiga titik stasiun yang digunakan dalam pengambilan data suhu dan Klorofil-a ini merupakan rumpon yang paling sering didatangi oleh kelompok nelayan pancing Sendang Biru.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dalam pengambilan data parameter oceanografi. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GPS, Plankton net, kamera digital, Thermometer digital, pipet tetes, dan lain-lain.

Untuk beberapa alat yang digunakan lainnya dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Daftar alat yang digunakan saat penelitian

NO	Alat	Satuan	Fungsi
1	GPS Garmin 76 CSX	-	Menentukan titik lokasi dan koordinat pengambilan sampel
2	Termometer Digital	°C	Mengukur suhu perairan
3	Laptop ASUS	-	Untuk mengolah Data
4	ODV (Ocean Data View)	-	Pengolahan Data SST
5	ARCGIS	-	Pembuatan Peta
7	Aqua Modis	-	Pengambilan Data Satelit SST
8	Plankton net	-	Pengambilan sampel plankton
9	Botol sampel	ml	Penyimpanan sampel plankton
10	Botol polyetilen	L	Tempat penyimpanan sampel air
11	Pipet tetes	-	Meneteskan larutan dalam skala kecil
12	Beaker glass	ml	Tempat sample pada saat pengukuran
13	Washing bottle	L	Tempat aquades
14	Kamera Digital	-	Dokumentasi
15	Cool box	-	Tempat menyimpan botol sampel

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan penelitian saat di lapangan dan bahan sekunder untuk data pelengkap. Bahan yang digunakan saat di lapangan meliputi air sampel, tisu, aquades lugol, dan spidol board marker. Daftar bahan yang digunakan tersebut dapat dilihat pada

Tabel 2:

Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan saat penelitian di lapangan

No	Bahan	Fungsi
1	Air	Sampel yang akan diteliti
2	Tisu	Pembersih alat-alat yang digunakan
3	Board marker permanent	Penanda botol sampel
4	Aquades	Kalibrasi alat dan botol polietilen
5	Lugol	Pengawetan sampel plankton

Adapun bahan yang digunakan sebagai bahan pendukung data primer yaitu yang disebut sebagai bahan sekunder. Bahan pendukung tersebut diperoleh dari data citra satelit Modis. Bahan untuk penelitian tersebut meliputi data suhu dan klorofil-a yang diperoleh dari citra satelit Modis (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/data/aqua>).

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu pengambilan data primer dan data sekunder. Teknik pengambilan data primer yaitu teknik pengumpulan data secara *insitu* atau pengumpulan data yang dilakukan di lapangan secara langsung. Pengambilan data di lapangan merupakan pengambilan data suhu yang berimplikasi terhadap kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan. Data suhu yang diperoleh tersebut diambil dari 3 titik stasiun peletakan rumpon nelayan pancing Sendang Biru.

Teknik pengambilan data yang kedua yaitu pengambilan data sekunder atau pengumpulan data pendukung yang diperoleh dari citra satelit. Data sekunder yang diambil merupakan data suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a. Data SPL dan Klorofil-a secara horizontal diperoleh dari citra satelit Aqua Modis dengan cara mendownload pada web resmi nasa yaitu (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/data/aqua>).

3.4. Prosedur Kerja Pengambilan Data Parameter Perairan

Prosedur atau tata cara dalam pengambilan data primer dan sekunder pada penelitian ini dibahas lebih lanjut pada sub bab di bawah ini :

3.4.1. Pengambilan data Primer

3.4.1.1. Suhu

Pengukuran suhu secara *insitu* dilakukan dengan menggunakan *thermometer* digital. *Thermometer* sebelum digunakan harus sudah dikalibrasi, agar nilai suhu yang diperoleh akurat. Kemudian ditekan tombol On pada *thermometer* digital, kemudian dicelupkan ujung *thermometer* kedalam perairan dengan posisi badan membelakangi sinar matahari, hal ini dilakukan agar suhu yang diukur tidak terpengaruh dan berubah karena sinar matahari. Pengukuran suhu ditunggu kurang lebih 3 menit sampai angka pada *thermometer* menunjukkan nilai suhu yang tetap. Pengukuran ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dengan selang waktu pengukurannya yaitu 10 menit dengan tujuan agar mendapatkan hasil yang akurat.

3.4.1.2. Pengukuran Klorofil-a

Pengukuran klorofil-a dilaksanakan dengan mengambil sampel air di daerah *fishing ground* pada lapisan permukaan (< 1 m) dengan menggunakan botol (*water sampler*) dengan volume 750 ml. Pengambilan sampel air diulang sebanyak tiga kali, kemudian ketiga sampel tersebut dikomposit untuk di analisis di laboratorium. Adapun tujuan pengukuran klorofil-a adalah untuk mengetahui kelimpahan klorofil-a di daerah *fishing ground* Perairan Malang Selatan.

Pengolahan data konsentrasi klorofil-a menggunakan acuan metode Parsons *et al.*, (1984). Sampel air yang diambil dengan menggunakan *water sampler*, kemudian disaring dengan kertas saring $0,45 \mu$. Penyaringan dilakukan di laboratorium. Kertas saring yang berisi fitoplankton yang telah tersaring, dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 10 ml *acetone* 90 %.

Pengukuran konsentrasi klorofil-a selanjutnya dilakukan dengan

menggunakan spektrofotometer. Untuk menghitung kelimpahan klorofil-a, absorbansi dari panjang gelombang yang diukur (664, 647 dan 630 nm) dikurangi dengan absorbansi pada panjang gelombang 750 nm. Kelimpahan klorofil-a dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Klorofil-a (mg/m}^3\text{)} = ((11,85 \times E_{664}) - (1,54 \times E_{647}) - (0,08 \times E_{630})) \times V_e / V_s \times d$$

Keterangan :

E₆₆₄ = absorbansi 664 nm - absorbansi 750 nm

E₆₄₇ = absorbansi 647 nm - absorbansi 750 nm

E₆₃₀ = absorbansi 630 nm - absorbansi 750 nm

V_e = volume ekstrak acetone (ml)

V_s = volume contoh air yang disaring (liter)

d = lebar diameter kuvet (cm)

3.4.2. Pengambilan Data Sekunder

3.4.2.1. Suhu

Pengambilan data sekunder berupa data SPL diperoleh dari citra satelit Aqua Modis. Data satelit Aqua MODIS digunakan untuk menentukan pola sebaran suhu permukaan laut. Data yang telah di *download* akan berbentuk file dengan format *.rar*, sehingga file tersebut perlu diekstrak agar dapat diolah menggunakan software Sea Das. Data mentah dari web merupakan data SPL bulanan secara global, sehingga data tersebut perlu dilakukan *cropping area* untuk wilayah Selatan Jawa dengan koordinat 8°LS-15°LS dan 105°BT-115°BT. Setelah didapatkan wilayah kajian Selatan Jawa, selanjutnya data tersebut disimpan dalam bentuk *tiff* untuk kemudian dilakukan pembacaan data menggunakan software ArcGis. Data yang telah diolah menggunakan ArcGis ini akan dapat diketahui nilai suhu minimum, maximum, dan rata-ratanya. Dalam

penelitian ini, digunakan nilai suhu rata-rata untuk mengetahui variasi SPL bulannya selama 11 tahun.

3.4.2.2. Klorofil-A

Pengambilan data klorofil-a diperoleh dari citra satelit Aqua Modis. Data satelit Aqua MODIS digunakan untuk menentukan pola sebaran suhu permukaan laut. Data yang telah di *download* akan berbentuk file dengan format *.rar*, sehingga file tersebut perlu diekstrak agar dapat diolah menggunakan software Sea Das. Data mentah dari web merupakan data klorofil-a bulanan secara global, sehingga data tersebut perlu dilakukan *cropping area* untuk wilayah Selatan Jawa dengan koordinat 8°LS - 15°LS dan 105°BT - 115°BT . Setelah didapatkan wilayah kajian Selatan Jawa, selanjutnya data tersebut disimpan dalam bentuk *tiff* untuk selanjutnya dilakukan pembacaan data menggunakan software ArcGis. Data yang telah diolah menggunakan ArcGis ini akan dapat diketahui nilai klorofil-a secara minimum, maximum, dan rata-ratanya. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu nilai rata-rata klorofil-a untuk mengetahui data *Time Series* bulanan selama 11 tahun.

3.5. Alur Penelitian

Penelitian tentang hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan ini dilakukan berdasarkan skema kerja yang telah dibuat sebelumnya agar penelitian ini sesuai dengan tujuan yang diinginkan penulis. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan sesuai dalam alur penelitian yang disajikan dalam Gambar 4. Tahap pertama yang dilakukan adalah survei lokasi di Perairan Sendang Biru, kemudian pengumpulan data di lapangan yang meliputi data oceanografi seperti data suhu permukaan laut, dan klorofil-a. Data oceanografi yang telah diperoleh kemudian diidentifikasi sebagai data primer.

Tahapan kedua yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data sekunder yang meliputi data SPL dan klorofil-a (Aqua MODIS). Data satelit Aqua MODIS diolah dengan menggunakan software Sea Das 7.2 untuk menentukan nilai SPL dan klorofil-a bulanan. Metode untuk menentukan fenomena ENSO, digunakan data tekanan atmosfer (SOI) dan suhu permukaan laut (Nino 3.4), sedangkan untuk fenomena IOD digunakan data DMI. Keseluruhan data indeks anomali ini merupakan data rata-rata bulanan yang langsung dapat diolah dengan menggunakan M.S Excel untuk menentukan karakteristik masing-masing dari fenomena perubahan iklim.

Tahapan ketiga yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis. Analisis yang digunakan terbagi menjadi 3 tahap, yaitu: (1) analisis *time series*, (2) analisis anomali dan musiman, serta (3) analisis statistik. Analisis *time series* dilakukan dengan membuat deret waktu dan *Time Series* untuk melihat kecenderungan perubahan variasi dari keseluruhan data. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam menampilkan data rata-rata bulanan dari semua parameter selama 11 tahun. Analisis anomali dilakukan untuk mengetahui terjadinya penyimpangan data dari keadaan normal menjadi fluktuatif, sedangkan analisis musiman dilakukan untuk menentukan karakteristik masing-masing data sesuai pembagian musim (barat, peralihan I, timur, dan peralihan II). Analisis statistik dilakukan menggunakan Excel untuk mengetahui nilai korelasi antar komponen data. Analisis statistik disini digunakan untuk validasi data yang mana agar dapat diketahui bahwa data *insitu* berhubungan atau selaras dengan data satelit. Menurut Sartimbul (2007), untuk menghitung data anomali digunakan rumus:

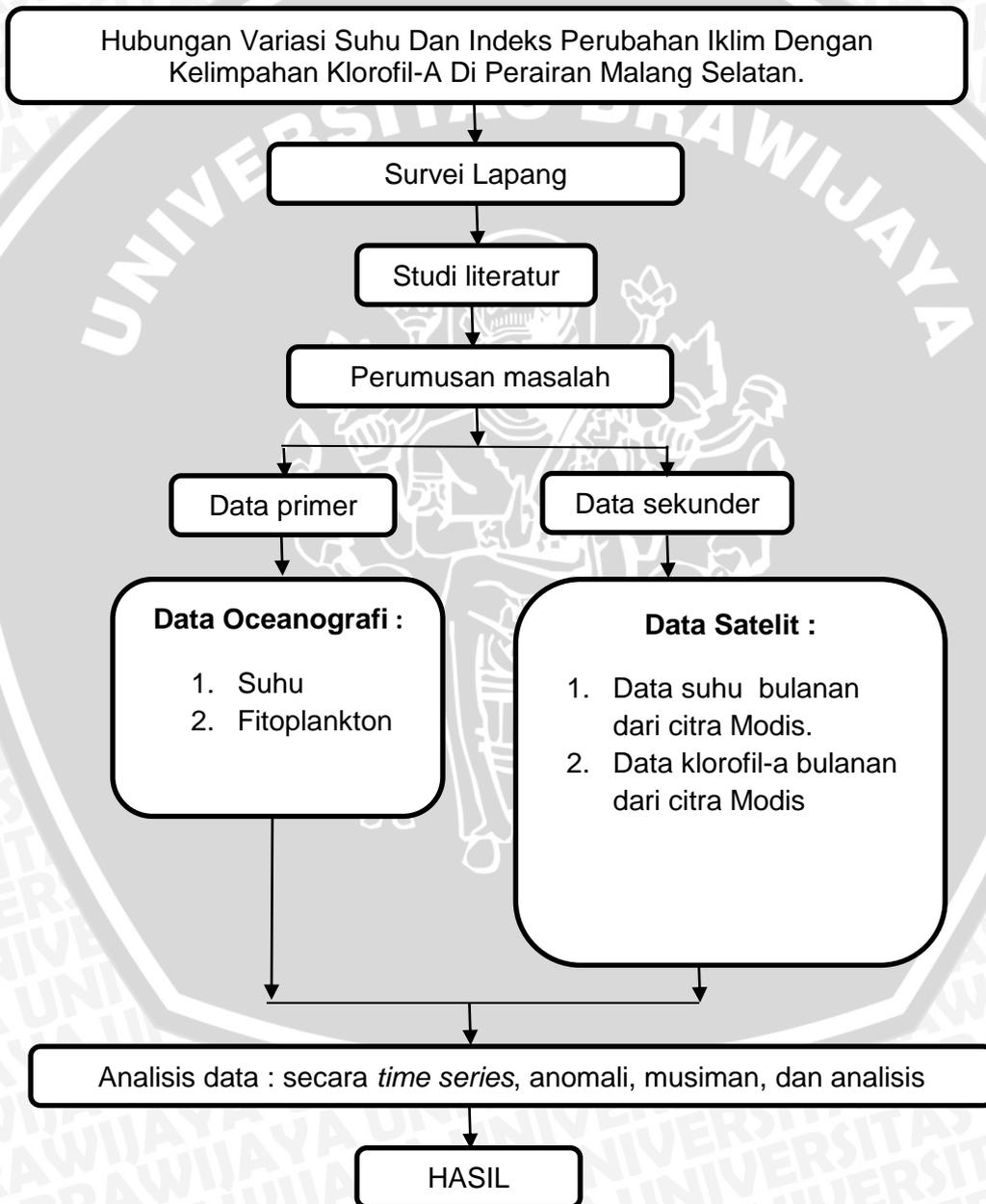
$$\text{Anomali} = (x - \bar{x})$$

Keterangan :

X = data pada bulan yang dihitung.

\bar{X} = akumulasi data rata-rata pada bulan yang dihitung seluruh tahun.

Berikut alur penelitian yang dilakukan melalui beberapa tahapan atau langkah ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Validasi Data Secara *Insitu* Dan Satelit

Validasi data satelit Aqua MODIS dan data *insitu* dilakukan untuk membuktikan apakah ada kemiripan data antara data *insitu* dan data satelit Aqua MODIS agar dapat digunakan dalam penelitian ini.

4.1.1.1. Data Suhu Permukaan Laut

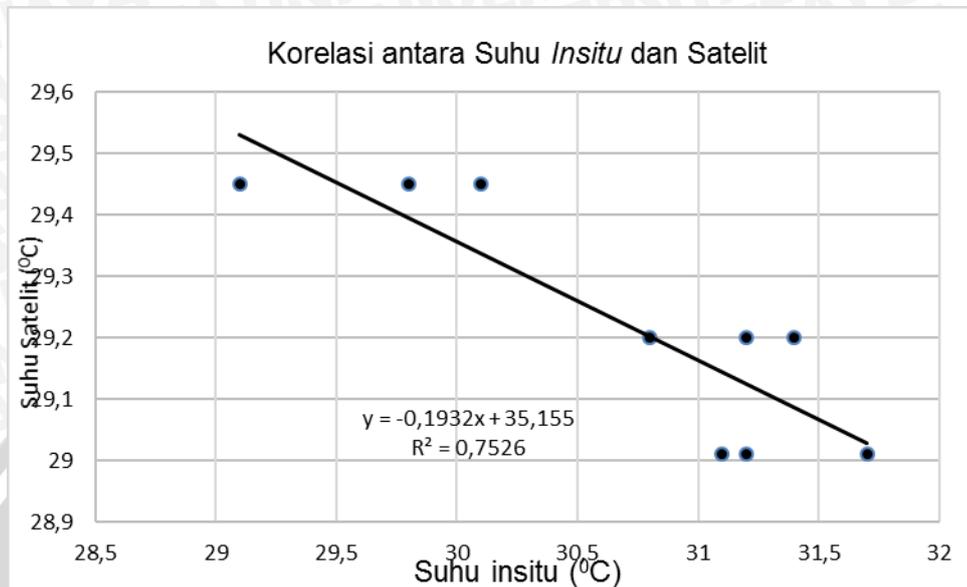
Data suhu permukaan laut yang diambil dari citra satelit belum dapat diolah karena mengingat bahwa perekaman data Aqua MODIS dilakukan dengan menggunakan metode penginderaan jauh, dan bukan data yang diambil secara *insitu*. Data mentah tersebut perlu adanya tindak lanjut guna menghubungkan kedua data yang telah diperoleh tersebut untuk melihat seberapa cocok/mirip nilai korelasinya. Perbandingan data suhu *insitu* dan satelit secara rata-rata dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Tabel korelasi data suhu *insitu* dan satelit

Stasiun	Suhu <i>Insitu</i>	Suhu Satelit
Suhu <i>Insitu</i>	1	
Suhu Satelit	-0,944589	1

Berdasarkan Tabel 3, Dapat dilihat bahwa nilai suhu *insitu* dan dari satelit memiliki korelasi selisih -0,944, yang menandakan adanya kemiripan data sehingga data satelit yang diperoleh dapat digunakan sebagai data

pengganti untuk penelitian ini. Adapun hubungan data suhu *insitu* dan satelit Aqua MODIS disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Regresi linier sederhana antara suhu *insitu* dan satelit

Berdasarkan Gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa korelasi antara nilai suhu *insitu* dan satelit menghasilkan nilai $y = -0,1932x + 35,155$ dan $R^2 = 0,7526$. Terlihat besarnya prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat yang disebut koefisien determinasi yang merupakan hasil dari penguadratan R. Dari *output* tersebut diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7526 yang berarti bahwa pengaruh variabel bebas (satelit) terhadap variabel terikat (*insitu*) adalah 75%. Sedangkan 25% lainnya terjadi karena waktu perekaman data dari kedua instrumen tidak selalu sama pada setiap harinya, sehingga terjadi perbedaan waktu perekaman dan perbedaan hasil data satelit dengan *insitu* yang disebabkan karena keterbatasan sifat gelombang elektromagnetik dan jarak yang jauh antara sensor dengan benda yang diamati.

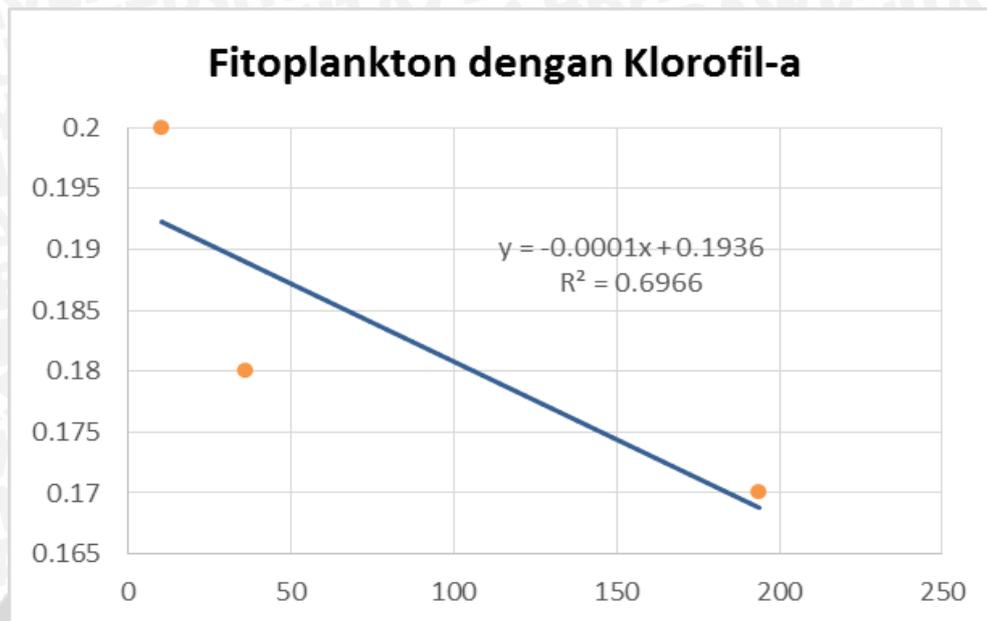
4.1.1.2. Data Fitoplankton dan Klorofil-a

Data Fitoplankton yang diambil secara *insitu* dan data klorofil-a yang diperoleh dari citra satelit diolah dengan excel guna mengetahui kemiripan nilai korelasinya karena perekaman data Aqua MODIS dilakukan dengan menggunakan metode penginderaan jauh, sehingga data tersebut tidak sama dengan data yang ada di lapangan. Berikut perbandingan data fitoplankton secara *insitu* dan satelit secara rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Korelasi data fitoplankton *insitu* dengan klorofil-a dari satelit aqua Modis

fito-klor	<i>Insitu</i>	satelit
<i>insitu</i>	1	
satelit	-0,83465	1

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai fitoplankton *insitu* dan klorofil-a dari satelit memiliki korelasi selisih -0,83, yang menandakan adanya kemiripan data sehingga data satelit yang diperoleh dapat digunakan sebagai data pengganti untuk penelitian ini. Adapun hubungan data fitoplankton *insitu* dan klorofil-a dari satelit Aqua MODIS disajikan dalam Gambar 6.



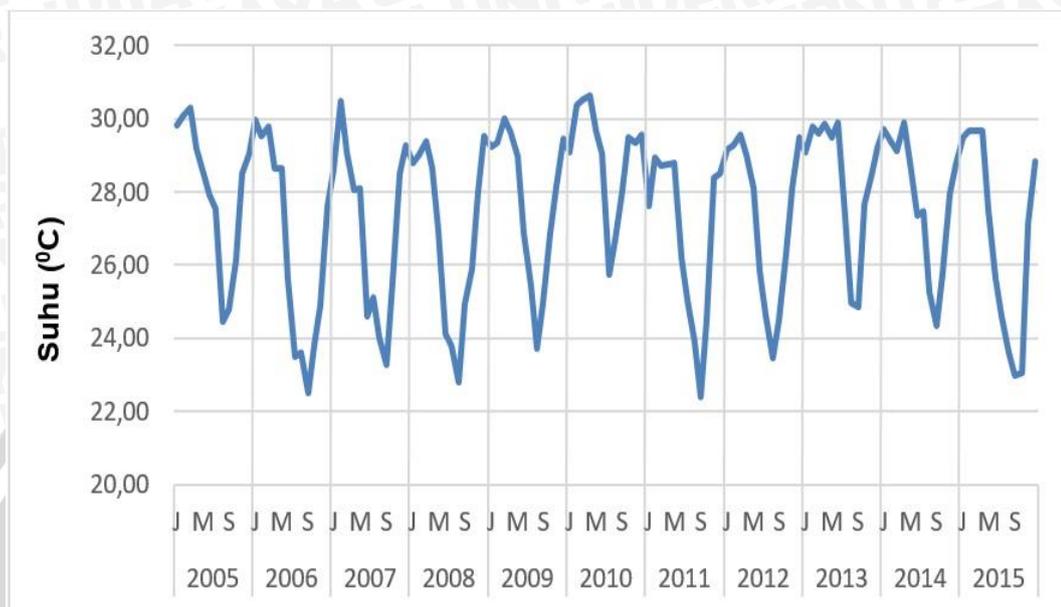
Gambar 6. Regresi linier data fitoplankton dengan nilai klorofil-a dari satelit aqua Modis.

Berdasarkan Gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa korelasi antara nilai suhu *insitu* dan satelit menghasilkan nilai $y = -0,0001x + 0,1936$ dan $R^2 = 0,6966$. Terlihat besarnya prosentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat yang disebut koefisien determinasi yang merupakan hasil dari penguadratan R. Dari *output* tersebut diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6966 yang berarti bahwa pengaruh variabel bebas (satelit) terhadap variabel terikat (*insitu*) adalah 70 %. Sedangkan 30 % lainnya terjadi karena waktu perekaman data dari kedua instrumen tidak selalu sama pada setiap harinya, sehingga terjadi perbedaan waktu perekaman dan juga perbedaan hasil data satelit dengan *insitu* yang disebabkan karena keterbatasan sifat gelombang elektromagnetik dan jarak yang jauh antara sensor dengan benda yang diamati.

4.1.2. Variasi Suhu Permukaan Laut dari Tahun 2005-2015

Variasi suhu dikaji berdasarkan pengamatan data bulanan Satelit Aqua MODIS yang diamati dari tahun 2005–2015 di wilayah Perairan Malang Selatan. Pembuatan grafik *time series* dilakukan untuk mengetahui variasi suhu

permukaan laut bulanan selama 11 tahun, sehingga dapat terlihat kapan terjadi suhu tinggi dan suhu rendah di wilayah penelitian Selatan Jawa. Adapun data *time series* SPL tersebut ditampilkan pada Gambar 7.

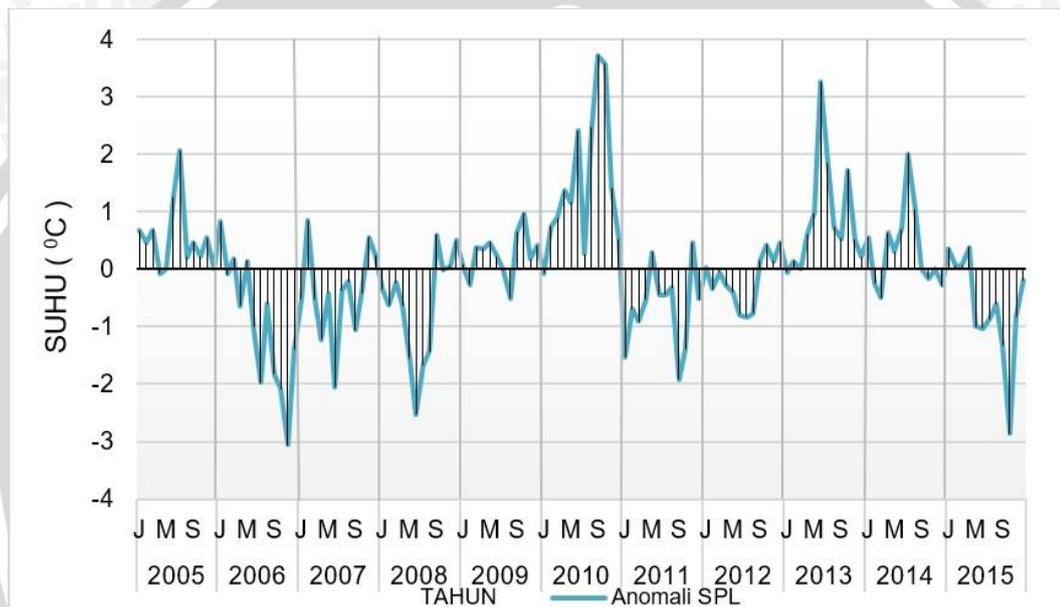


Gambar 7. Data *time series* suhu permukaan laut pada tahun 2005 – 2015.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa nilai SPL di Perairan Malang Selatan setiap tahunnya mengalami fluktuasi. Suhu tinggi terjadi pada bulan Desember hingga Mei, sedangkan memasuki bulan Juni suhu mulai menurun yang puncaknya terjadi pada bulan Agustus hingga September. Memasuki bulan Juni Perairan Malang Selatan khususnya Jawa Timur hingga Bali mulai mendingin, hal tersebut merupakan salah satu indikasi terjadinya *upwelling* di Perairan Malang Selatan. Secara *time series*, fluktuasi nilai SPL di Perairan Malang Selatan berkisar antara 22,41°C–30,65°C, dengan nilai terendah terjadi pada bulan September 2011, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada bulan April 2010. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terlihat suhu minimum memiliki nilai yang sangat rendah, begitu pula pada tahun 2005, 2007 dan 2010 suhu maksimum memiliki nilai yang sangat tinggi daripada tahun–tahun lainnya.

4.1.2.1. Variasi Anomali Suhu Permukaan Laut

Perhitungan nilai anomali SPL dilakukan untuk mengetahui penyimpangan data yang terjadi dari keadaan normal selama kurun waktu 11 tahun tersebut mulai dari tahun 2005-2015. Penghitungan anomali SPL dilakukan dengan cara mengurangi nilai SPL tiap bulan pada tahun tertentu dengan nilai rata-rata keseluruhan bulan dari keseluruhan tahun. Adapun data *time series* nilai anomali SPL dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Data *time series* data anomali spl tahun 2005-2015.

Berdasarkan Gambar 8 di atas terlihat pada tahun 2005, 2010, 2013 dan 2014 terjadi kenaikan anomali SPL yang nilai tertinggi terjadi pada tahun 2010 dengan nilai $3,73^{\circ}\text{C}$. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terjadi penurunan anomali SPL yang nilai terendahnya terjadi pada tahun 2006 dengan nilai $-3,06^{\circ}\text{C}$. Dari hasil yang diperoleh di atas, pada tahun 2008 terjadi fenomena *El-Nino* di wilayah Indonesia yang berdampak terjadinya *upwelling* di Perairan Malang Selatan.

Selama tahun 2005 hingga 2015 terjadi berbagai fenomena yang berdampak pada variasi SPL di Perairan Malang Selatan dan mengalami

perubahan yang cukup signifikan. Fenomena yang terjadi antara lain adalah ENSO (*El-Nino* dan *La-Nina*), serta *Indian Ocean Dipole* (IOD). Menurut NOAA (2015), fenomena ENSO dikategorikan menjadi 3 karakter yaitu ENSO lemah, sedang, dan kuat. Adapun fenomena ENSO yang terjadi dari tahun 1950 hingga 2015 ditampilkan seperti pada Tabel 5:

Tabel 5. Fenomena kejadian ENSO dari tahun 1950 hingga 2015 (Sumber: NOAA, 2015).

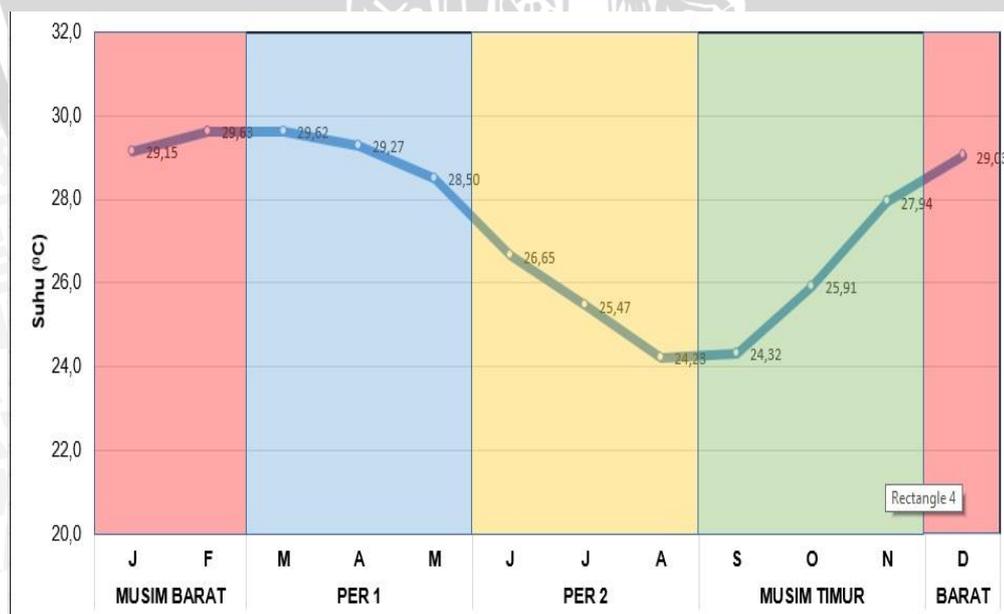
El Niño			La Niña		
Weak	Mod	Strong	Weak	Mod	Strong
1952-53	1951-52	1957-58	1950-51	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1954-55	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	1956-57	1998-99	1988-89
1969-70	1986-87	1982-83	1964-65	2007-08	1999-00
1976-77	1991-92	1987-88	1971-72		2010-11
1977-78	1994-95	1997-98	1974-75		
2004-05	2002-03		1983-84		
2006-07	2009-10		1984-85		
2014-15			1995-96		
			2000-01		
			2005-06		
			2008-09		
			2011-12		

Berdasarkan Tabel 5, terlihat fenomena ENSO yang terjadi dari tahun 1950 hingga 2015. Fenomena ENSO terjadi di wilayah Pasifik Timur yang mengacu pada anomali SPL di sekitar pantai Peru akibat melemahnya angin pasat, yang menyebabkan SPL menjadi sangat hangat (pada tahun *El-Nino*). Akibat dari fenomena tersebut terjadi penurunan SPL di wilayah Pasifik Barat hingga Samudera Hindia Timur (Selatan Jawa). Sebaliknya ketika angin pasat sangat kuat di wilayah Pasifik Timur (pada tahun *La-Nina*), terjadi penurunan SPL yang sangat ekstrim di perairan Pasifik Timur. Akibatnya SPL di perairan Pasifik Barat hingga Samudera Hindia Timur (Selatan Jawa) menjadi lebih hangat. Pernyataan tersebut tidak secara mutlak berdampak pada variasi SPL di

selatan Jawa, karena selain pengaruh dari fenomena ENSO, variasi SPL Perairan Malang Selatan dipengaruhi pula oleh fenomena IOD. Fenomena ENSO dan IOD memiliki karakteristik yang sama dalam pengaruhnya terhadap anomali SPL, namun wilayah kejadiannya yang berbeda. ENSO terjadi di Pasifik Timur dan Selatan, yang berdampak pula di Pasifik Barat hingga Samudera Hindia. IOD terjadi di Samudera Hindia Barat (Perairan Afrika) dan Samudera Hindia Timur (Perairan Indonesia).

4.1.2.2. Variasi Suhu Permukaan Laut Musiman

Variasi SPL musim di Indonesia terbagi menjadi 4, yaitu musim barat (Desember, Januari, Februari), musim peralihan I (Maret, April, Mei), musim timur (Juni, Juli, Agustus), dan musim peralihan II (September, Oktober, November). Setiap musim memiliki karakteristik SPL yang berbeda, dikarenakan adanya dinamika variasi tekanan atmosfer dan kecepatan angin. Selain faktor klimatologi, variasi nilai SPL dipengaruhi pula oleh adanya pergerakan arus yang berdampak pada intensitas *upwelling* di perairan. Variasi SPL secara musiman di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005–2015 ditunjukkan pada Gambar 9.

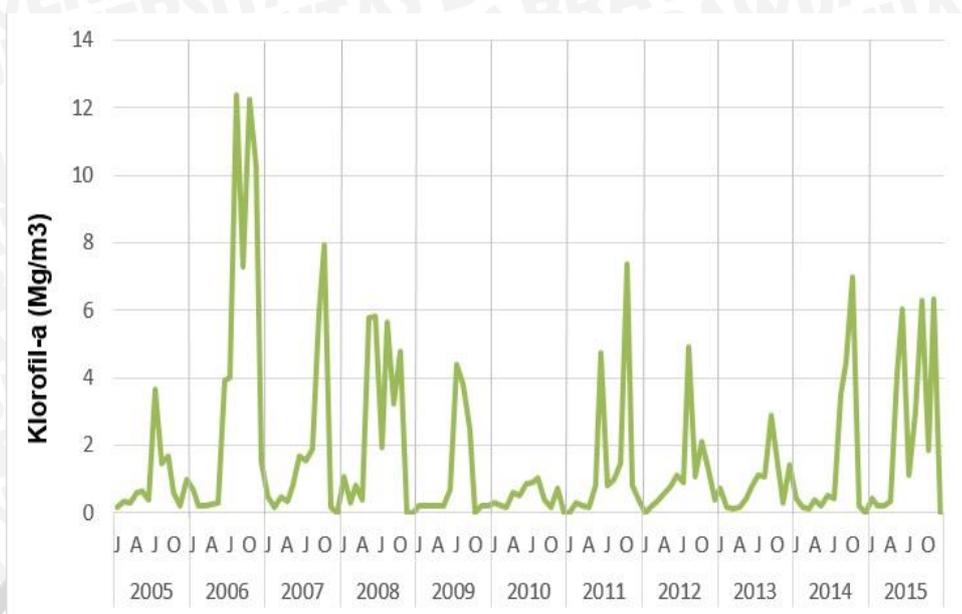


Gambar 9. Variasi musiman SPL di Perairan Malang Selatan.

Pada Gambar 9, terlihat bahwa nilai rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Februari hingga April (musim barat–peralihan I) dengan nilai berkisar antara $29,63^{\circ}\text{C}$ – $29,27^{\circ}\text{C}$ dan nilai rata-rata terendah terjadi pada bulan Agustus hingga September (musim timur–Peralihan II) dengan nilai berkisar antara $24,23^{\circ}\text{C}$ – $24,32^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi karena pada saat musim timur tekanan atmosfer di Perairan Malang Selatan meningkat, sehingga angin akan berhembus menjauhi wilayah Indonesia yang memiliki tekanan udara lebih tinggi menuju wilayah bertekanan udara rendah, sedangkan massa air hangat permukaan akan terbawa pula oleh arus untuk menjauhi Perairan Indonesia, sehingga ketika musim timur di selatan Indonesia terjadi *upwelling* dan menyebabkan suhu perairan menjadi lebih dingin (Gaol, 2014). Sebaliknya pada saat musim barat, tekanan udara di Perairan Indonesia melemah, sehingga angin akan menggerakkan arus yang membawa massa air hangat dari perairan bertekanan udara tinggi menuju Perairan Indonesia. Menurut Susanto (2006), meningkatnya intensitas kecepatan angin muson tenggara akan mengakibatkan meningkatnya intensitas *upwelling*. Meningkatnya intensitas *upwelling* dari bulan Juni ke Agustus akan mengangkat lapisan dingin ke permukaan perairan sesuai bertambahnya bulan, sehingga pada bulan Juni hingga Agustus SPL menjadi lebih dingin.

4.1.3. Variasi Konsentrasi Klorofil-a Di Perairan Malang Selatan

Variasi konsentrasi klorofil-a dikaji berdasarkan pengamatan data bulanan satelit Aqua MODIS yang diamati dari tahun 2005–2015 di wilayah Perairan Malang Selatan. Pembuatan grafik *time series* dilakukan untuk mengetahui variasi konsentrasi klorofil-a bulanan selama 11 tahun, sehingga dapat diamati kapan saat nilai konsentrasi tinggi dan kapan saat nilai konsentrasi klorofil-a rendah di wilayah Perairan Malang Selatan. Adapun data *time series* konsentrasi klorofil-a tersebut ditampilkan pada grafik Gambar 10.

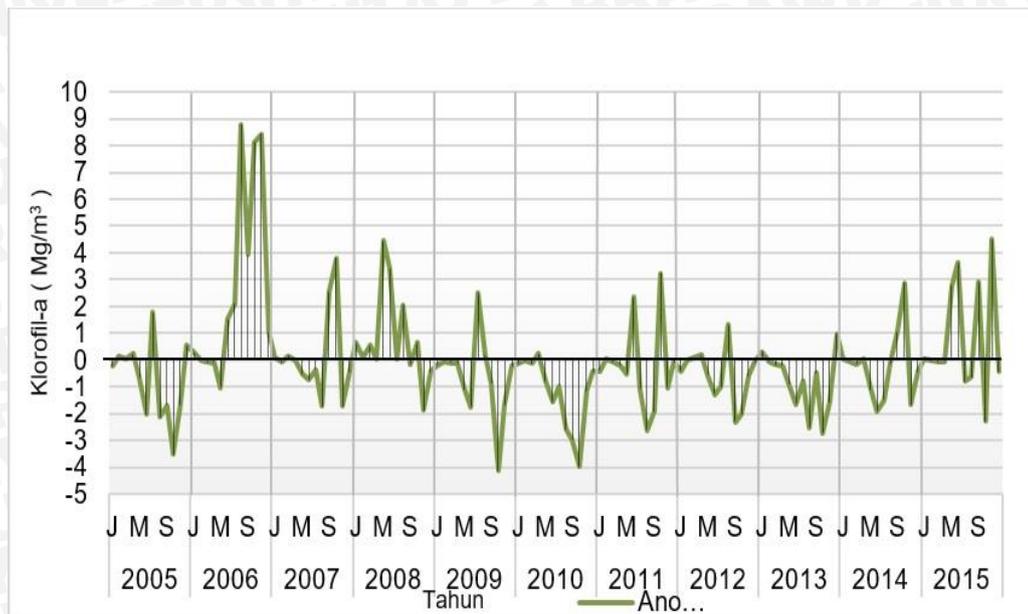


Gambar 10. Data *time series* grafik konsentrasi klorofil-a tahun 2005–2015.

Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa nilai konsentrasi klorofil-a di Perairan Malang Selatan setiap tahunnya mengalami fluktuasi. Secara *time series*, fluktuasi nilai konsentrasi klorofil-a dari tahun 2005-2015 kisaran antara 0-12,39 mg/m³. Nilai konsentrasi klorofil-a yang tertinggi terjadi pada bulan April 2006 dan untuk nilai konsentrasi klorofil-a terendah terjadi pada beberapa bulan yaitu pada bulan Desember 2007, November dan Desember 2008, Oktober 2009, Desember 2010, Januari 2011, Januari 2012, Desember 2014, dan Desember 2015.

4.1.3.1. Data *Time Series* Anomali Konsentrasi Klorofil-a

Penghitungan nilai anomali konsentrasi klorofil-a dilakukan untuk mengetahui penyimpangan data yang terjadi dari keadaan normal selama kurun waktu 11 tahun tersebut. Penghitungan anomali konsentrasi klorofil-a dilakukan dengan cara mengurangi nilai konsentrasi klorofil-a tiap bulan pada tahun tertentu dengan nilai rata-rata keseluruhan bulan dari keseluruhan tahun. Data *time series* nilai anomali klorofil-a dapat dilihat pada Gambar 11.



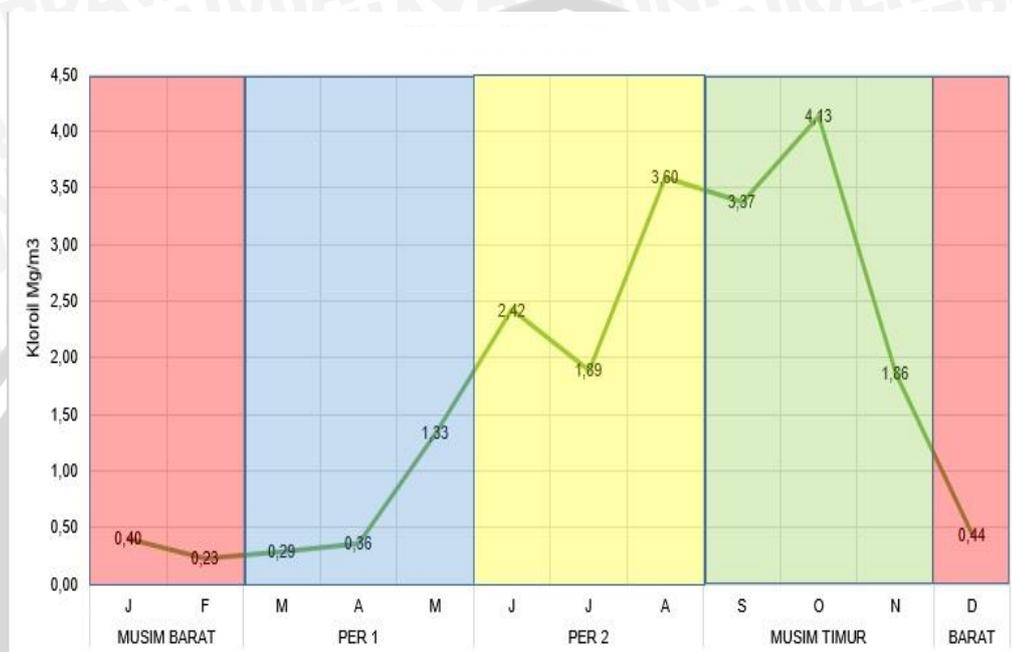
Gambar 11. Data *time series* anomali klorofil-a tahun 2005–2015.

Berdasarkan grafik Gambar 11, dapat dilihat pada tahun 2005, 2009, dan 2010 terjadi penurunan nilai anomali konsentrasi klorofil-a dengan konsentrasi terendah $-4,13 \text{ mg/m}^3$ yaitu pada bulan Oktober 2009. Pada tahun 2006, 2007, 2008, dan 2015 terjadi peningkatan anomali konsentrasi klorofil-a yang puncak tertingginya terjadi pada bulan April 2006 dengan nilai $8,79 \text{ mg/m}^3$. Penghitungan nilai anomali klorofil-a dilakukan untuk mengetahui penyimpangan data yang terjadi dari keadaan normal selama kurun waktu 11 tahun dari tahun 2005-2015. Penghitungan dilakukan dengan cara mengurangi nilai konsentrasi klorofil-a tiap bulan pada tahun tertentu dengan nilai rata-rata keseluruhan bulan dari keseluruhan tahun.

4.1.3.2. Variasi Musim Kelimpahan Klorofil-a

Konsentrasi klorofil-a dipengaruhi oleh angin musim, musim barat yang terjadi pada bulan Desember–Februari (awal dan akhir tahun) berhembus angin dari barat laut menuju tenggara dan membawa curah hujan yang tinggi. Curah hujan yang tinggi mengurangi konsentrasi klorofil-a sehingga pada musim ini konsentrasi klorofil-a rendah. Begitu juga sebaliknya, musim Timur yang terjadi

pada bulan Juni–Agustus berhembus angin yang lebih kencang dan kering dari tenggara menuju barat laut (Wyrcki, 1961). Adapun data *Time Series* konsentrasi klorofil-a di Perairan Malang Selatan yang di tunjukkan pada Gambar 12.



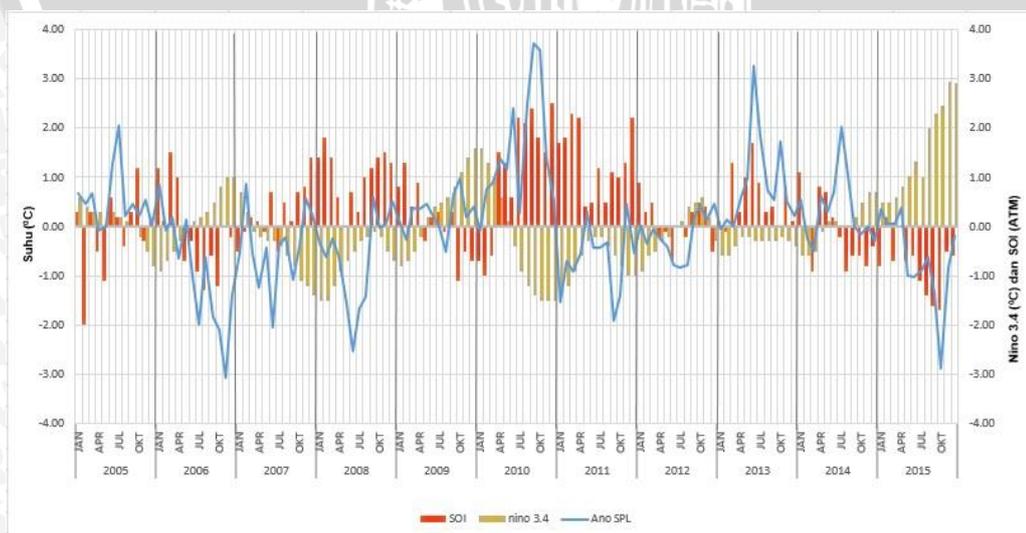
Gambar 12. Data *time series* kelimpahan klorofil-a berdasarkan musiman selama 11 tahun (2005–2015).

Pada Gambar 12, terlihat bahwa nilai rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Agustus–Oktober (Peralihan II–Musim Timur) dengan nilai kisaran antara 3,6 mg/m³ pada bulan Agustus (Peralihan II) dan 4,43 mg/m³ pada bulan Oktober (Musim Timur). Nilai rata-rata terendah terjadi pada bulan Februari-April (Musim Barat-Peralihan I) dengan nilai berkisar antara 0,23 mg/m³-0,38 Mg/m³. Meningkatnya intensitas kecepatan angin muson tenggara akan mengakibatkan meningkatnya intensitas *upwelling*. Meningkatnya intensitas *upwelling* menyebabkan naiknya lapisan dingin ke permukaan perairan sesuai bertambahnya bulan, sehingga pada saat terjadi *upwelling* konsentrasi klorofil-a meningkat dan nilai SPL menurun.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan Suhu Permukaan Laut Terhadap Perubahan Iklim

Perubahan suhu permukaan laut sangat berpengaruh terhadap perubahan iklim global yang terkait adanya fenomena yang biasa disebut dengan *El Nino* dan *La Nina*. *El Nino* merupakan peristiwa yang diakibatkan oleh naiknya suhu permukaan laut Samudera Pasifik sekitar khatulistiwa bagian tengah dan timur. Akibat dari terjadinya *El Nino* ini yaitu hujan akan turun di daerah Samudera Pasifik sedangkan di Australia Dan Indonesia akan mengalami kekeringan. *La Nina* merupakan fenomena iklim yang diakibatkan oleh menurunnya suhu permukaan laut di bagian Samudera Pasifik yang mengakibatkan daerah tersebut kering namun daerah Australia dan Indonesia hujan lebat. Sesuai dengan pernyataan Fox (2000); Nicholls and Beard (2000) bahwa gejala *El Nino* biasanya dicirikan dengan meningkatnya suhu muka laut di kawasan Pasifik secara berkala dengan selang waktu tertentu dan meningkatnya perbedaan tekanan udara antar Darwin dan Tahiti. Gambar hubungan perubahan suhu, Nino 3.4, dan SOI ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan data suhu, Nino 3.4, dan SOI tahun 2005-2015.

Dari Gambar 13 di atas dapat dilihat bahwa dinamika perubahan nilai anomali SPL bervariasi pada tiap tahunnya. Hal tersebut diikuti oleh variabel pendukungnya yaitu Niño 3.4 dan SOI (*Southern Oscillation Index*). Berdasarkan hasil yang diperoleh, data anomali SPL berbanding negatif dengan Niño 3.4 namun berhubungan positif dengan nilai SOI. Dapat dilihat bahwa pada tahun-tahun tertentu nilai anomali SPL, Niño 3.4, dan SOI sangat ekstrim sekali perubahannya dengan nilai tertinggi pada anomali SPL terdapat pada tahun 2010 dengan nilai $3,73^{\circ}\text{C}$ dan terendah pada tahun 2006 dengan nilai $-3,06^{\circ}\text{C}$. Sedangkan nilai SOI tertinggi terdapat pada bulan Desember 2010 dengan nilai 2,5 atm dan nilai terendah terjadi pada bulan Februari 2005 dengan nilai -2 atm. Untuk nilai Niño 3.4 nilai tertinggi terdapat pada bulan Nopember 2015 dengan nilai $2,95^{\circ}\text{C}$ sedangkan nilai terendah terjadi pada tahun 2008 bulan Januari-februari dengan nilai indeks $-1,5^{\circ}\text{C}$. Adapun tabel antara suhu permukaan laut, SOI, dan Niño 3.4 yang ditunjukkan pada Tabel 6:

Tabel 6. Hubungan antara suhu permukaan laut, SOI, dan Niño 3.4 di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005-2015.

	SPL	SOI	Niño 3.4
SPL	1		
SOI	0.285098	1	
Niño 3.4	-0.21111	-0.70547	1

Hubungan antar variabel tersebut sangat berpengaruh terhadap terjadinya perubahan iklim global. Pada tahun-tahun tertentu, suhu permukaan laut di Perairan Malang Selatan ini terlihat sangat tegas perubahannya bersejajar dengan SOI dan berlawanan dengan nilai Niño 3.4. Namun ada pula terlihat bahwa perubahan anomali SPL sejajar dengan Niño 3.4 dan berbanding negative dengan SOI. Hubungan variabel tersebut di indikasikan sebagai

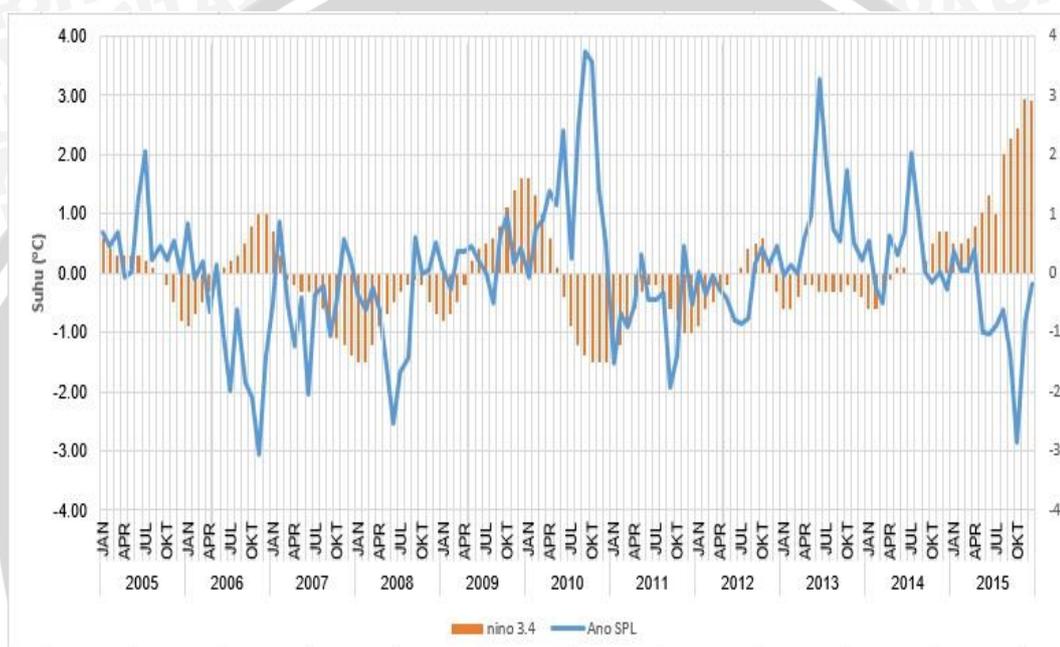
pengacu terjadinya fenomena *El Nino* dan *La Nina*. Menurut *World Meteorology Organization* (1999) mengatakan bahwa kejadian *El Nino* dan *La Nina* ditunjukkan oleh *Southern Oscillation Index* (SOI) dan perubahan suhu permukaan laut di Samudera Pasifik. Pada saat terjadi *El Nino*, nilai SOI akan turun dibawah kisaran normal dan saat *La Nina* nilai SOI akan meningkat diatas nilai normal.

Dapat dilihat pada Gambar 13 bahwa suhu tinggi terjadi pada bulan Desember hingga Mei, sedangkan memasuki bulan Juni suhu mulai menurun yang puncaknya terjadi pada bulan Agustus hingga September. Secara *time series*, fluktuasi nilai SPL di Perairan Malang Selatan berkisar antara 22,41°C–30,65°C, dengan nilai terendah terjadi pada bulan September 2011, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada bulan April 2010. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terlihat suhu minimum memiliki nilai yang sangat rendah, begitu pula pada tahun 2005, 2007 dan 2010 suhu maksimum memiliki nilai yang sangat tinggi daripada tahun–tahun lainnya. Sesuai yang dikatan oleh Ningsih (2013), pada tahun 2004, 2007, dan 2008 terjadi fenomena *El-Nino* dan IOD positif di wilayah Indonesia, yang berdampak pada menurunnya suhu permukaan laut dan meningkatnya konsentrasi klorofil-a sebagai dampak dari kuatnya intensitas *upwelling*.

4.2.2. Data *Time Series* Hubungan Nilai Nino 3.4 dengan Anomali SPL

Data *time Series* nilai nino 3.4 digunakan karena adanya penyimpangan nilai anomali suhu permukaan laut yang terjadi di area Nino 3 dan Nino 4, yaitu di perairan *Central Pasific*. Data *time Series* Nino 3.4 yang mempengaruhi nilai anomali suhu permukaan laut (SPL) di Perairan Malang Selatan sangat berdampak dengan fenomena yang terjadi seperti *El-Nino* dan *La-Nina*. Peningkatan indeks ONI (*Oceanic Nino Indeks*) yang menyebabkan terjadinya *El-Nino* di Pasifik, dan menyebabkan penurunan suhu permukaan laut di Indonesia

sebagai dampak dari meningkatnya *upwelling* di suatu perairan. Pengaruh Nino 3.4 terhadap ENSO berdampak pula terhadap variasi suhu di Perairan Malang Selatan, maka dalam penelitian ini dibuat grafik hubungan antara indeks Nino 3.4 dan anomali SPL di Perairan Malang Selatan sesuai lokasi penelitian. Adapun grafik hubungan *time series* Nino 3.4 dengan anomali SPL di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005-2015 yang ditampilkan seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Data *time series* hubungan Nilai Nino 3.4 dengan anomali SPL tahun 2005-2015.

Dari Gambar 14 di atas terlihat bahwa anomali suhu permukaan laut (SPL) sering mengalami perubahan secara dinamis yang tampak cukup variatif pada tahun-tahun tertentu, hal itu mengindikasikan terjadinya fenomena ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*). Berdasarkan data *time series* grafik Nino 3.4 di atas dapat diketahui penyimpangan nilai anomali SPL terjadi pada tahun 2006 awal, 2008 awal, dan 2010 akhir yang terjadi penurunan nilai indeks Nino 3.4 lebih dari normal dan meningkatnya nilai anomali suhu permukaan laut yang menyebabkan terjadinya *La-Nina*. Pada tahun 2006 akhir, 2009 akhir hingga awal 2010, 2012 dan 2015 akhir terjadi peningkatan nilai indeks Nino 3.4 yang lebih dari normal

namun nilai anomali suhu permukaan laut mengalami penurunan, sehingga menyebabkan pada tahun-tahun tersebut terjadi *El-Nino*. Adapun tabel hubungan antara suhu permukaan laut dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan periode 11 tahun (2005-2015) yang ditunjukkan Tabel 7:

Tabel 7. Hubungan suhu permukaan laut dengan Nino 3.4 di Perairan Malang Selatan tahun 2005-2015.

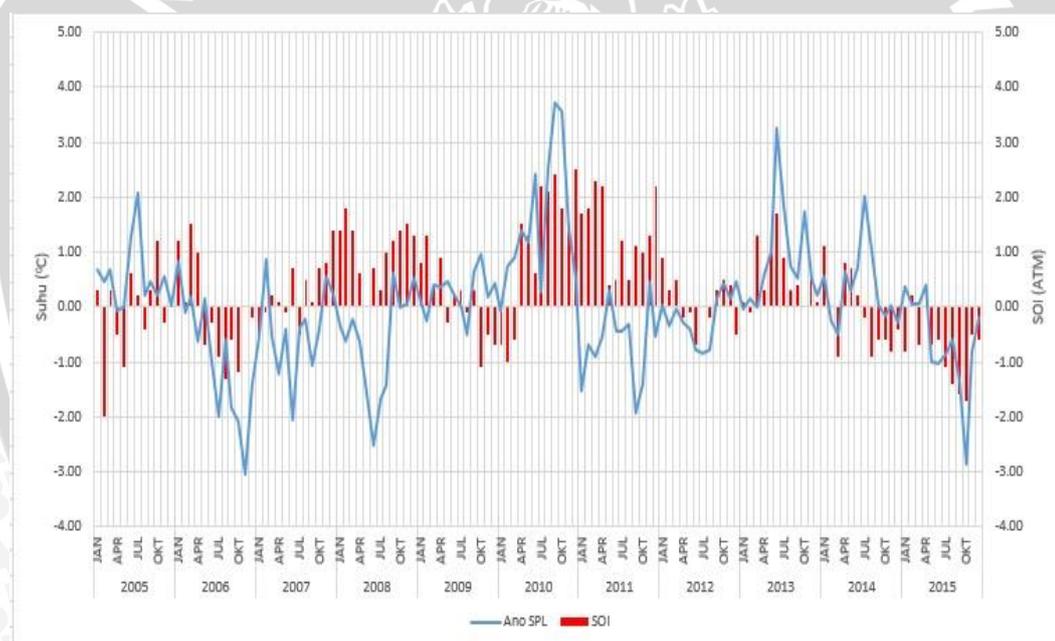
	<i>SPL</i>	<i>Nino 3.4</i>
<i>SPL</i>	1	
<i>Nino 3.4</i>	-0.21111	1

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa korelasi antara suhu permukaan laut dengan Nino 3.4 yang terjadi di Perairan Malang Selatan pada tahun 2005-2015 memiliki nilai korelasi -0,21 yang berarti nilai koefisiennya 21%. Dapat dikatakan bahwa suhu permukaan laut dan Nino 3.4 tidak memiliki hubungan/korelasi sehingga mengakibatkan adanya perbedaan nilai Nino 3.4 dan suhu permukaan laut.

Nilai indeks Nino 3.4 tertinggi terjadi pada bulan Nopember 2015 dengan nilai 2,95°C sedangkan nilai terendah terjadi pada tahun 2008 bulan Januari-februari dengan nilai indeks -1,5°C. Namun untuk nilai anomali berbanding terbalik dengan nilai Nino 3.4 yang memiliki puncak tertinggi pada tahun 2010 akhir yaitu bulan September dengan nilai 3,73°C dan nilai terendah anomali SPL pada tahun 2006 bulan Nopember dengan nilai -3,06°C. Secara umum, ketika Nino 3.4 positif (+) maka anomali SPL di Perairan Malang Selatan cenderung lebih dingin, namun ketika Nino 3.4 negatif (-) maka anomali SPL di Perairan Malang Selatan cenderung lebih hangat.

4.2.3. Data *Time Series* Hubungan Nilai SOI dengan Anomali SPL

SOI merupakan suatu indeks yang didasarkan pada perbedaan nilai tekanan atmosfer yang terjadi antara perairan Samudera Hindia Timur (wilayah Darwin) dan di Pasifik Selatan (wilayah Tahiti). Pengaruh SOI terhadap fenomena ENSO berdampak terhadap variasi suhu di Perairan Malang Selatan, oleh sebab itu dibuat grafik hubungan antara indeks SOI dengan anomali SPL. Data *time series* hubungan nilai SOI dengan anomali SPL ini di buat agar dapat diketahui bagaimana nilai SOI mempengaruhi nilai anomali di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005-2015. Grafik *time series* hubungan nilai SOI dengan anomali SPL di Perairan Malang Selatan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Data *time series* hubungan nilai soi dengan anomali SPL tahun 2005-2015.

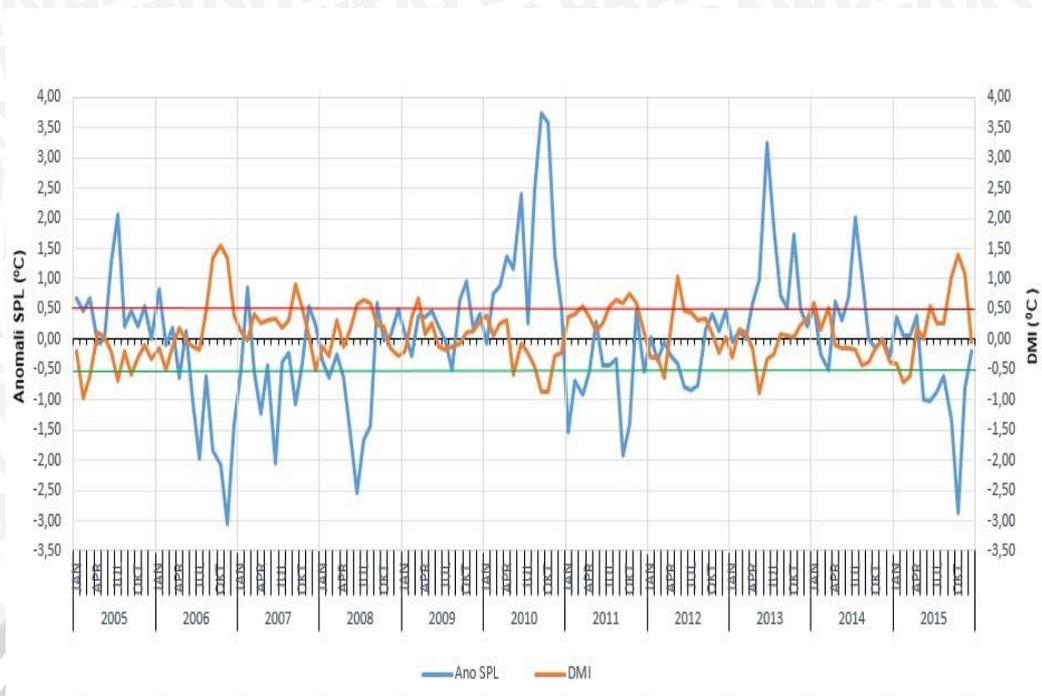
Dari Gambar 15 diatas dapat terlihat bahwa terjadi perubahan dinamis tekanan atmosfer yang cukup signifikan pada tahun-tahun tertentu, hal tersebut mengindikasikan adanya fenomena ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*). Fenomena tersebut ditandai dengan terjadinya penyimpangan nilai anomali SPL

yang melebihi normal selama 3 bulan atau lebih secara berturut-turut. Dari grafik hubungan nilai SOI dan anomali SPL di atas dapat diketahui penyimpangan nilai anomali selama 3 bulan atau lebih secara berturut-turut terjadi pada tahun 2006, akhir 2009, awal 2010, akhir 2014, dan 2015 yang terjadi penurunan nilai tekanan atmosfer lebih dari normal yang menyebabkan terjadinya *El-Nino*, sedangkan pada tahun 2007 akhir, 2008, 2010, 2011, dan 2013 terjadi peningkatan nilai tekanan atmosfer lebih dari nilai normal dan menyebabkan terjadinya *La-Nina*.

Dari grafik di atas nilai SOI terendah terjadi pada bulan Februari 2005 dengan nilai -2 atm dan nilai tertinggi terjadi pada bulan Desember 2010 dengan nilai 2,5 atm. Sedangkan nilai anomali SPL tertinggi terjadi pada bulan September dengan nilai 3,73°C dan nilai terendah anomali SPL pada tahun 2006 bulan Nopember dengan nilai -3,06°C. Dari Gambar 15 dapat dikatakan ketika SOI positif maka anomali SPL di Perairan Malang Selatan cenderung lebih hangat, namun sebaliknya ketika SOI negatif maka anomali SPL di Perairan Malang Selatan cenderung dingin.

4.2.4. Data *Time Series* Nilai IOD

Indeks *Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan indeks yang didasarkan pada perbedaan anomali SPL yang terjadi di Perairan Samudera Hindia bagian barat dan timur. Indeks yang digunakan untuk menentukan nilai IOD adalah DMI (*Dipole Mode Indeks*) yang diperoleh dari web resmi jamstec.go.jp. Variasi suhu di Perairan Malang Selatan sangat dipengaruhi oleh IOD, sehingga perlu adanya grafik hubungan antara IOD dengan anomali SPL. Secara umum, saat nilai IOD positif maka anomali SPL Samudera Hindia bagian timur cenderung lebih dingin, namun sebaliknya saat IOD negatif, maka anomali SPL Samudera Hindia bagian timur cenderung lebih hangat. Adapun data *time series* indeks IOD yang terjadi di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005-2015 dapat dilihat pada Gambar 16.



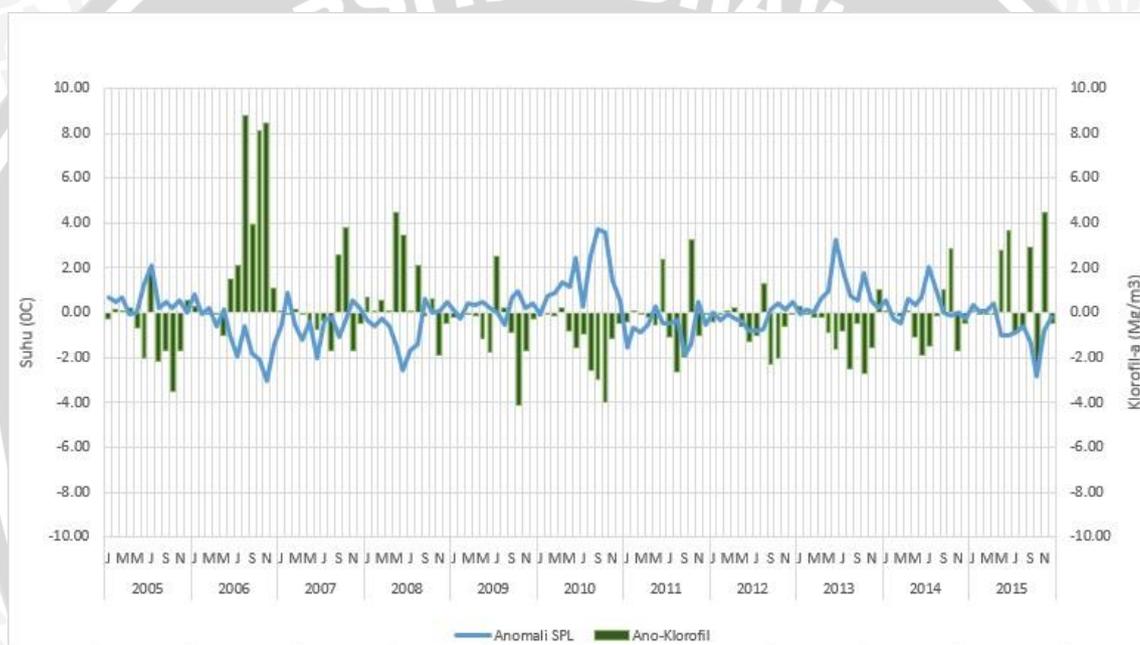
Gambar 16. Data *time series* penyimpangan anomali SPL dan DMI (*Dipole Mode Indeks*) di Perairan Malang Selatan 2005-2015.

Dari Gambar 16 di atas terlihat bahwa fenomena IOD yang terjadi dari tahun 2005-2015 sangat dinamis. Grafik hubungan SPL dengan DMI tersebut terlihat sangat bervariasi dan cukup signifikan seperti yang terjadi pada tahun 2006, 2008, 2011, 2012, dan 2015 yang mengalami peningkatan indeks IOD sedangkan anomali SPL sebaliknya mengalami penurunan secara ekstrim pada tahun-tahun tersebut. Berikutnya dilihat pada tahun 2005, 2010, 2013, dan 2015 nilai indeks IOD mengalami penurunan, dan sebaliknya nilai anomali SPL pada tahun-tahun tersebut relatif meningkat bahkan terlihat sangat ekstrim. Indeks IOD pada tahun 2005-2015 memiliki nilai berkisar antara $-0,96^{\circ}\text{C}$ hingga $1,54^{\circ}\text{C}$. Nilai Indeks IOD tertinggi terjadi pada bulan Oktober 2006 dan nilai terendah terjadi pada bulan Februari 2005.

4.2.5. Variasi Anomali Suhu dan Klorofil-a

Penghitungan nilai anomali suhu dan klorofil-a dilakukan untuk mengetahui penyimpangan data yang terjadi antara suhu dan klorofil-a dari

keadaan normal selama kurun waktu 11 tahun di Perairan Malang Selatan. Penghitungan anomali suhu dan klorofil-a dilakukan dengan cara mengurangi nilai suhu dan konsentrasi klorofil-a tiap bulan pada tahun tertentu dengan nilai rata-rata keseluruhan bulan dari keseluruhan tahun. Setelah memperoleh hasil data kedua variabel tersebut maka nilai anomali suhu dan klorofil-a tersebut digabung dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan kedua variabel tersebut. Adapun data *time series* anomali suhu dan klorofil-a yang dapat dilihat dalam Gambar 17.



Gambar 17. Data *time series* anomali suhu dan klorofil-a di Perairan Malang Selatan dari tahun 2005-2015.

Berdasarkan Gambar 17, dapat dilihat bahwa nilai pada tahun 2005, 2010, 2013 dan 2014 terjadi kenaikan anomali SPL yang nilai tertingginya terjadi pada tahun 2010 dengan nilai $3,73^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada tahun 2005, 2010, 2013 dan 2014 terjadi penurunan konsentrasi klorofil-a yang nilai terendahnya terjadi pada tahun 2010 dengan nilai $-3,97\text{ mg/m}^3$. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terjadi penurunan anomali SPL yang nilai terendahnya terjadi pada tahun 2006 dengan nilai $-3,06^{\circ}\text{C}$. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terjadi

kenaikan nilai konsentrasi klorofil-a yang konsentrasi tertinggi berada pada tahun 2006 dengan nilai anomali 8,79 mg/m³.

Dari hasil data anomali suhu dan klorofil-a tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa kenaikan nilai anomali suhu permukaan laut berbanding terbalik dengan nilai konsentrasi klorofil-a. Jika nilai anomali suhu tinggi, maka nilai konsentrasi klorofil-a akan rendah, begitupun sebaliknya jika nilai anomali suhu rendah maka nilai anomali klorofil-a akan tinggi. Seperti yang terlihat pada tahun 2006, 2008, 2010, 2013, dan 2015. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada tahun 2008 terjadi fenomena *El-Nino* dan IOD positif di wilayah Indonesia, yang berdampak pada menurunnya suhu permukaan laut dan meningkatnya konsentrasi klorofil-a sebagai dampak dari kuatnya intensitas *upwelling* (Ningsih, 2013).

4.2.6. Hubungan Analisis Suhu dan Klorofil-A

Suhu Permukaan Laut merupakan faktor yang sangat penting disuatu perairan guna menentukan perubahan iklim di dunia. Namun tidak hanya suhu, klorofil-a juga merupakan faktor utama yang mempengaruhi terjadinya perubahan iklim. Dengan terjadinya perubahan kedua variable ini, dapat diindikasikan fenomena yang terjadi di suatu perairan seperti terjadinya *upwelling*. *Upwelling* merupakan peristiwa yang terjadi akibat adanya kenaikan massa air laut dari suatu lapisan dalam ke lapisan permukaan. Pergerakan yang menuju ke permukaan tersebut membawa air yang suhunya lebih dingin dan kaya zat hara (Nontji, 1993).

Dari hubungan variable suhu permukaan laut dan klorofil-a dapat diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8:

Tabel 8. Hubungan suhu permukaan laut dengan klorofil-a tahun 2005-2016 Di Periaran Malang Selatan.

	SPL	Klorofil-a
SPL	1	
Klorofil-a	-0.53712	1

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa hubungan antara suhu permukaan laut dengan klorofil-a memiliki nilai koefisien sebesar -0,53 yang berarti suhu permukaan laut dan klorofil-a tidak memiliki hubungan korelasi antar variabel. Dapat dilihat pada Gambar 17, variasi suhu dan klorofil-a beberapa tahun mengalami fluktuasi yang signifikan. Sunarto (2008) mengatakan bahwa *upwelling* mengangkat massa air bagian bawah kepermukaan (lapisan fotik/*photic zone*). Massa air yang terangkat umumnya memiliki kandungan zat hara yang tinggi yang dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton sebagai sumber energi, selanjutnya fitoplankton akan menjadi sumber energi bagi konsumen tingkat pertama dan seterusnya akan terjadi proses pemangsaan pada tingkat tropis yang lebih tinggi. Dapat dikatakan proses *upwelling* merupakan faktor yang sangat penting dalam ikut serta menunjang proses produksi bagi seluruh kehidupan di laut dan dalam pembentukan daerah penangkapan ikan (DPI).

Peristiwa *upwelling* tersebut menunjukkan bahwa adanya keterkaitan antara kenaikan suhu permukaan laut dengan menurunnya nilai konsentrasi klorofil-a. Saat suhu permukaan laut meningkat maka nilai konsentrasi klorofil-a akan mengalami penurunan atau bersifat negative, sedangkan saat nilai suhu permukaan laut bernilai negatif maka nilai konsentrasi klorofil-a mengalami

kenaikan atau bernilai positif. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18 dimana kenaikan nilai suhu permukaan laut berbanding terbalik dengan nilai konsentrasi klorofil-a. Pada tahun-tahun tertentu nilai suhu permukaan laut dan nilai konsentrasi klorofil-a mengalami perubahan yang sangat signifikan. Nilai pada tahun 2005, 2010, 2013 dan 2014 terjadi kenaikan anomali SPL yang nilai tertingginya terjadi pada tahun 2010 dengan nilai $3,73^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada tahun 2005, 2010, 2013 dan 2014 terjadi penurunan konsentrasi klorofil-a yang nilai terendahnya terjadi pada tahun 2010 dengan nilai $-3,97 \text{ mg/m}^3$. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terjadi penurunan anomali SPL yang nilai terendahnya terjadi pada tahun 2006 dengan nilai $-3,06^{\circ}\text{C}$. Pada tahun 2006, 2008, 2011, dan 2015 terjadi kenaikan nilai konsentrasi klorofil-a yang konsentrasi tertinggi berada pada tahun 2006 dengan nilai anomali $8,79 \text{ mg/m}^3$.

4.2.7. Analisis Hubungan Variasi Anomali SPL, Klorofil-a, dan Index

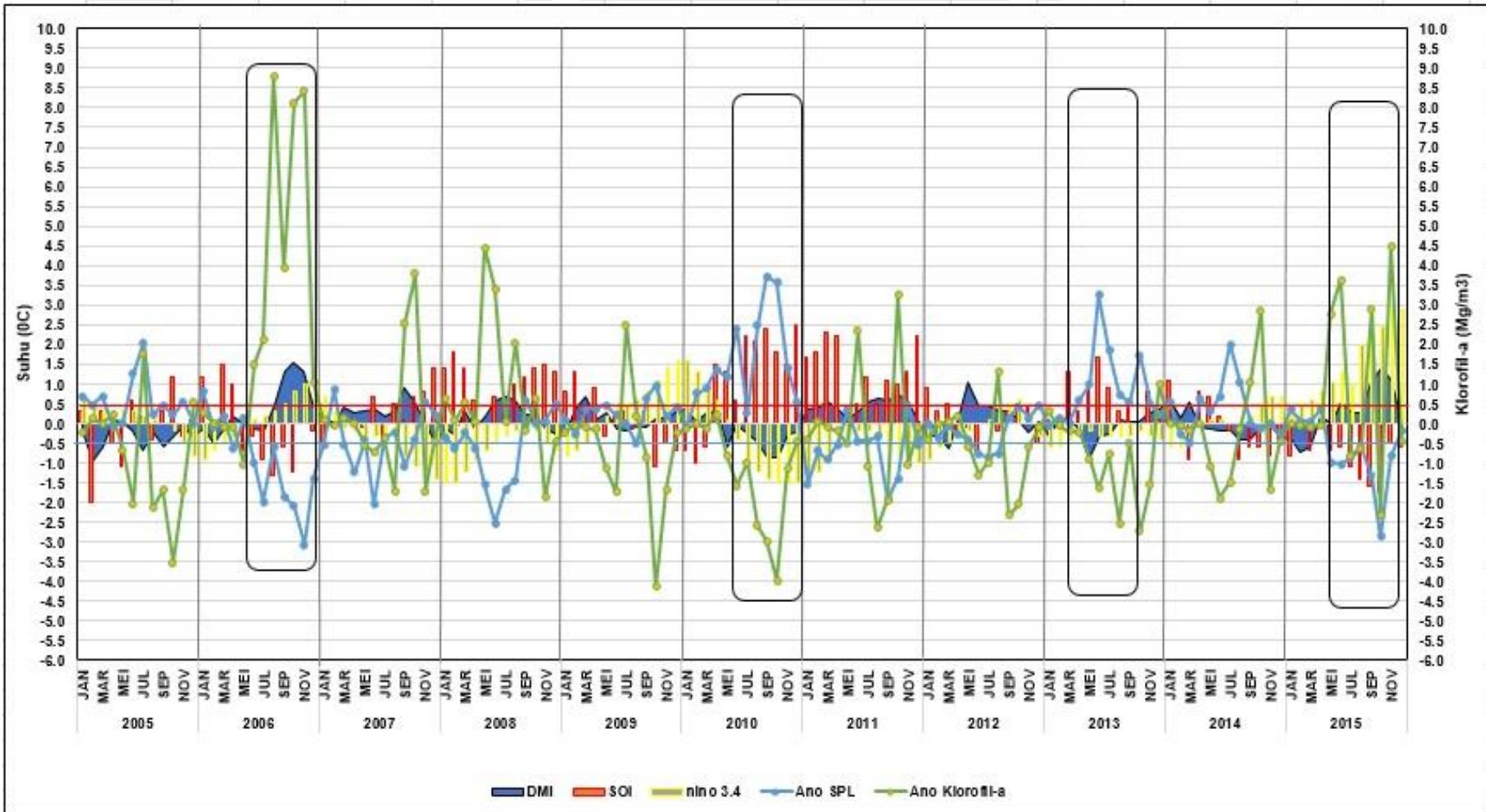
Perubahan Iklim

Banyak penelitian yang membahas tentang variasi suhu permukaan laut dan kelimpahan klorofil-a. Penelitian ini juga membahas tentang hubungan perubahan suhu permukaan laut dan kelimpahan klorofil-a, namun ada faktor lain yang mempengaruhi kedua hubungan variable tersebut, yaitu index perubahan iklim seperti *Southern Oscillation Index*, Nino 3.4, dan IOD. Index perubahan iklim itu merupakan faktor penting yang mempengaruhi terjadinya pergerakan suhu dan kelimpahan klorofil-a khususnya di Perairan Malang Selatan.

Grafik hubungan variasi suhu permukaan laut, klorofil-a, dan index perubahan iklim ini menunjukkan adanya fenomena alam yang terjadi selama kurun waktu 11 tahun yaitu mulai tahun 2005-2015. Fenomena alam yang terjadi di laut ini dapat diindikasikan sebagai faktor penyebab menurun dan meningkatnya hasil tangkap nelayan khususnya nelayan pancing di Perairan

Malang Selatan. Tidak hanya itu, fenomena alam yang terjadi ini sangat mempengaruhi variasi suhu permukaan laut dan kelimpahan klorofil-a. Dapat dilihat dari Gambar 18 tersebut terdapat 4 kali fenomena alam yg ekstrim yaitu pada tahun 2006, 2010, 2013, dan 2015.

Dari Gambar 18 terlihat pada tahun 2006 dan tahun 2015, terjadi fenomena El-Nino dengan nilai IOD positif, sehingga berdampak pada anomali SPL dan kelimpahan klorofil-a yang menunjukkan nilai SPL negatif (sangat dingin) dengan nilai 24.88°C dan kelimpahan klorofil-a positif dengan nilai $12,39 \text{ mg/m}^3$ pada tahun 2006, sedangkan pada tahun 2015 nilai SPL 23.05°C dan kelimpahan klorofil-a bernilai $6,35 \text{ mg/m}^3$. Hal ini terjadi karena pada saat terjadi *El-Nino*, nilai SPL di Perairan Malang Selatan sudah cukup dingin, kemudian ditambah dengan kejadian IOD+ yang menyebabkan massa air hangat semakin menjauhi perairan Indonesia, akibatnya nilai SPL semakin dingin dari normalnya. Sebaliknya pada Tahun 2010 dan 2013 yang terjadi adalah fenomena *La-Nina* diikuti dengan IOD bernilai negatif, sehingga berdampak pada anomali SPL yang menunjukkan nilai positif (sangat panas) dengan nilai 30.65°C dan kelimpahan klorofil-a bernilai negatif dengan nilai $0,16 \text{ mg/m}^3$ pada tahun 2010 dan pada tahun 2013 nilai SPL 29.91°C dan kelimpahan klorofil-a bernilai 0.79 mg/m^3 . Hal ini terjadi karena pada tahun *La-Nina* nilai SPL sudah cukup hangat, kemudian ditambah kejadian IOD- yang menyebabkan massa air hangat memasuki perairan Indonesia terutama wilayah barat Sumatera dan Selatan Jawa, akibatnya nilai SPL semakin panas dari normalnya.



Gambar 18. Hubungan variasi suhu, klorofil-a, dan index perubahan iklim tahun 2005-2015

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian hubungan variasi suhu dan indeks perubahan iklim dengan kelimpahan klorofil-a di Perairan Malang Selatan yang telah dilakukan pada bulan Desember 2015 ini, diperoleh kesimpulan bahwa ;

1. Rata-rata nilai suhu permukaan laut selama 11 tahun (2005-2015) adalah $27,48^{\circ}\text{C}$ dan kelimpahan klorofil-a adalah $1,67 \text{ mg/m}^3$. Suhu permukaan laut maksimum sebesar $30,65^{\circ}\text{C}$ dan minimum $22,41^{\circ}\text{C}$. Kelimpahan klorofil-a maksimum $12,39 \text{ mg/m}^3$ dan minimum 0 Mg/m^3 .
2. Dalam kurun waktu 11 tahun (2005-2016), terjadi 5 kali *La Nina* (2007, 2008, 2010, 2011, dan 2013), yang terkuat terjadi pada tahun 2010 dan diikuti dengan penurunan kelimpahan klorofil-a, sedangkan *El Nino* terjadi 3 kali (2006, 2009, dan 2015), yang terkuat terjadi pada tahun 2006 dan diikuti dengan peningkatan kelimpahan klorofil-a.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan di atas, dapat diberikan saran untuk penelitian selanjutnya yaitu agar melakukan pengambilan titik sampel lebih banyak lagi sesuai dengan penempatan rumpon nelayan pancing Perairan Sendang Biru khususnya di wilayah timur, dan menambahkan parameter oceanografi lainnya seperti DO, pH, salinitas, intensitas cahaya, dan arus supaya mendapatkan hasil yang lebih akurat sehingga dapat digunakan sebagai acuan daerah penangkapan ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brower, Zar JH, Ende von CN. 1990. *Field and Laboratory Methods for General Ecology Dubuque*. WCB Publishers.
- Dipo, Pramudyo., I Wayan Nurjaya, dan Fadli Syamsudin. 2001. Karakteristik Oseanografi Fisik Di Perairan Samudera Hindia Timur Pada Saat Fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) Fase Positif Tahun 1994/1995, 1997/1998 Dan 2006/2007. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, No. 2, Hal. 71-84, Desember 2011.
- Farita, Yadranka. 2006. Variabilitas Suhu di Perairan Malang Selatan Barat dan Hubungannya dengan Angin Muson, *Indian Ocean Dipole Mode* dan *El-Nino Southern Oscillation*. Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB. Bogor.
- Fox. J.J. 2000. The Impact of The 1997-1998 El Nino on Indonesia. In: R.H. Grove and J.Chappell (ed). *El Nino-history and Crisis*. Studies from the Asia-Pacific Region. The White House Press. Cabridge, UK.
- Howard J. F. 2013. *Vertical velocity estimates in the North Pacific using Argo Floats*. Deep-sea Res II (a special issue of Deep-Sea Research for Tom Rossby). Page 75-80.
- Hutabarat, S. dan Evans, S.M., 1985, *Pengantar Oceanografi*, Penerbit Universitas Indonesia (UI-PRESS), Jakarta.
- Laevastu T. and Hela I. 1970. *Fisheries Oceanography*. London. Fishing News 238 page.
- Lillesand T. M. and R. W. Keifer. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third Edition. John Willey & Sons, Inc, United States of America.
- NASA. 2016. *Spesification MODIS*. www.modis.gsfc.nasa.gov (diunduh 15 Maret 2016).
- Nicholls. N and Beard.G. 2000. *The Application of El Nino-Southern Oscillation Information to Seasonal Forecast in Australia*. Routledge. London and New York.

- Ningsih N. Sari, N. Rakhmaputeri, and Agung B. Harto. 2013. *Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters*. *Ocean Sci. J* (2013) 48(1):49-57. 9 page.
- NOAA, 2015. *Climate Prediction Center*. http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Diakses pada tanggal 15 Mei 2016.
- Nontji, A. (edisi revisi cetakan keempat), 2005, *Laut Nusantara*, Djambatan, Jakarta.
- Nontji, A. 1993. *Laut nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta. 79-84pp.
- Nontji, A. 2002. *Laut nusantara*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Nybakken, J.W. 1995. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Parrangan, Jefri. 2012. *Pengaruh Variabilitas Iklim Inter-Annual (ENSO) dan Decadal (Aktivitas Matahari) terhadap Curah Hujan di Wilayah Papua Barat*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Papua. Manokwari.
- Purba, M., I Wayan Nurjaya dan S. Utaminingsih. 1992. *Variasi Suhu Permukaan Laut Yang Diukur Dengan Satelit NOAA dan Kaitannya Dengan Proses Upwelling di Perairan Malang Selatan*. Laporan Penelitian. Fakultas Perikanan, IPB.
- Robinson I. S. 1985. *Satellite Oceanography: An Introduction For Oceanographers and Remote Sensing Specialist*. Ellis Hadwood. Series in Marine Technology. New York.
- Saji N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran, and T. Yamagata. 1999. *A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean*. *Nature*, 401:360-363.
- Sartimbul, Aida. 2007. *Sea Surface Temperature Variation due to Climate Change and its Possible Impact on Fish and Shell Fishes along Tsushima Warm Current Region and East China Sea*. Disertation. Nagasaki University. Japan.
- Sartimbul, Aida., Hideaki Nakata, Erfan Rohadi, Beni Yusuf, and Hanggar Prasetyo. 2010. *Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on*

Sardinella lemuru catches in Bali Strait Indonesia. Progress in Oceanography 87 (2010) page 168-174.

Serra, R. 1987. Impact of the 1982-1983 ENSO on the Southern Pasific Fisheries, with an emphasis on chilean fisheries. United Nation Environmental Progamme (UNEP) & Environmental and Societal Impact Group Nation Center for Atmospheric Research. Switzerland. Pp:24-29.

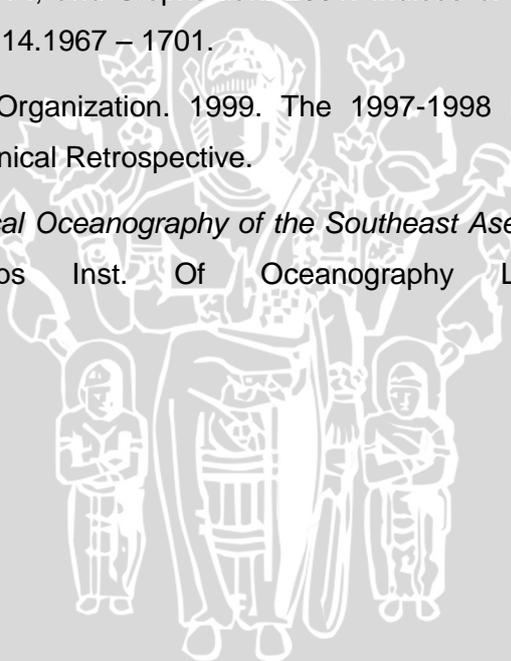
Sidabutar, Azis Rifai, dan Elis Indrayanti. 2014. Kajian Lapisan Termoklin Di Perairan Utara Jayapura. Jurnal Oseanografi. UNDIP. Semarang. Vol 3 No 2 hal 135-141.

Sunarto. 2008. Peranan Upwelling Terhadap Pembentukan Daerah Penangkapan Ikan. FPIK UNIVERSITAS PADJADJARAN.

Trenberth K. E., David P., and Stephaniak. 2001. Indices of El Niño Evolution. Journal of Climate. 14.1967 – 1701.

World Meteorological Organization. 1999. The 1997-1998 El Nino Event: A Scientific and Technical Retrospective.

Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters*. NAGA Rep. 2. Scripps Inst. Of Oceanography La jolla, Calif.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data *time series* suhu permukaan laut di Perairan Malang Selatan Tahun 2005-2015.

Koordinat	08°27	LS	112°41	BT								
Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	AVG
J	29.83	29.98	28.62	28.79	29.23	29.08	27.62	29.17	29.1	29.7	29.51	29.15
F	30.09	29.54	30.48	29	29.36	30.38	28.94	29.28	29.77	29.38	29.69	29.63
M	30.3	29.8	29.09	29.38	30	30.51	28.71	29.57	29.62	29.12	29.68	29.62
A	29.2	28.64	28.05	28.65	29.64	30.65	28.75	29	29.87	29.91	29.66	29.27
M	28.51	28.65	28.08	26.95	28.97	29.67	28.8	28.1	29.48	28.81	27.51	28.50
J	27.91	25.64	24.6	24.12	26.87	29.06	26.21	25.86	29.91	27.35	25.62	26.65
J	27.53	23.49	25.1	23.8	25.45	25.73	25.03	24.63	27.32	27.48	24.59	25.47
A	24.44	23.62	24.01	22.8	23.72	26.7	23.9	23.46	24.96	25.27	23.62	24.23
S	24.79	22.49	23.26	24.93	24.97	28.05	22.41	24.48	24.86	24.34	22.99	24.32
O	26.13	23.83	25.51	25.9	26.88	29.49	24.52	26.34	27.65	25.76	23.05	25.91
N	28.49	24.88	28.5	28	28.12	29.35	28.4	28.08	28.45	27.95	27.12	27.94
D	29.05	27.63	29.27	29.54	29.45	29.56	28.51	29.5	29.25	28.75	28.84	29.03

Lampiran 2. Data *time series* klorofil-a di Perairan Malang Selatan tahun 2005-2015.

Koordinat	08°27'336'				LS	112°40'210'			BT			
Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Avg.
J	0.17	0.69	0.49	1.06	0.2	0.29	0	0	0.71	0.42	0.42	0.40
F	0.36	0.23	0.16	0.3	0.19	0.21	0.28	0.21	0.18	0.17	0.2	0.23
M	0.31	0.22	0.45	0.83	0.2	0.17	0.21	0.36	0.11	0.13	0.22	0.29
A	0.59	0.27	0.36	0.39	0.23	0.6	0.17	0.55	0.15	0.38	0.32	0.36
M	0.66	0.3	0.8	5.78	0.22	0.53	0.83	0.76	0.44	0.23	4.12	1.33
J	0.39	3.93	1.68	5.84	0.68	0.86	4.76	1.13	0.79	0.53	6.05	2.42
J	3.67	4.01	1.53	1.95	4.4	0.92	0.82	0.9	1.12	0.41	1.1	1.89
A	1.46	12.39	1.88	5.66	3.78	1.01	0.97	4.9	1.08	3.48	2.97	3.60
S	1.69	7.3	5.93	3.21	2.5	0.39	1.45	1.06	2.89	4.42	6.28	3.37
O	0.61	12.25	7.92	4.77	0	0.16	7.37	2.09	1.41	7	1.84	4.13
N	0.19	10.28	0.15	0	0.19	0.71	0.83	1.28	0.31	0.2	6.35	1.86
D	0.97	1.5	0	0	0.2	0	0.37	0.37	1.43	0	0	0.44

Lampiran 3. Data *time series* SOI di Perairan Malang Selatan Tahun 2005-2015.

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
J	0.3	1.2	-0.5	1.4	0.8	-0.7	1.7	0.9	0.1	1.1	-0.8
F	-2	0.1	-0.1	1.8	1.3	-1	1.8	0.3	-0.1	0	0.2
M	0.3	1.5	0.2	1.4	0.4	-0.6	2.3	0.5	1.3	-0.9	-0.7
A	-0.5	1	0.1	0.6	0.9	-1.5	2.2	-0.2	0.3	0.8	0
M	-1.1	-0.7	-0.1	0	-0.3	1.3	0.4	-0.1	1	0.7	-0.7
J	0.6	-0.3	0.7	0.7	0.2	0.6	0.5	-0.7	1.7	0.2	-0.6
J	0.2	-0.9	-0.5	0.3	0.3	2.2	1.2	0	0.9	-0.2	-1.1
A	-0.4	-1.3	0.5	1	-0.1	2.1	0.5	-0.2	0.3	-0.9	-1.4
S	0.3	-0.6	0.1	1.2	0.3	2.4	1.1	0.3	0.4	-0.6	-1.6
O	1.2	-1.2	0.7	1.4	-1.1	1.8	1	0.5	0	-0.6	-1.7
N	-0.3	0	0.8	1.5	-0.5	1.5	1.3	0.4	0.8	-0.8	-0.5
D	0.1	-0.2	1.4	1.3	-0.7	2.5	2.2	-0.5	0.1	-0.4	-0.6

Lampiran 4. Data *time series* Nino 3.4 di Perairan Malang Selatan Tahun 2005-2015.

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
J	0.6	-0.9	0.7	-1.5	-0.8	1.6	-1.4	-0.9	-0.6	-0.6	0.5
F	0.4	-0.7	0.3	-1.5	-0.7	1.3	-1.2	-0.6	-0.6	-0.6	0.5
M	0.3	-0.5	-0.1	-1.2	-0.5	1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.5	0.6
A	0.3	-0.3	-0.2	-0.9	-0.2	0.6	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	0.8
M	0.3	0	-0.3	-0.7	0.2	0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.1	1.03
J	0.3	0.1	-0.3	-0.5	0.4	-0.4	-0.2	0	-0.3	0.1	1.32
J	0.2	0.2	-0.4	-0.3	0.5	-0.9	-0.2	0.1	-0.3	0	1
A	0.1	0.3	-0.6	-0.2	0.6	-1.2	-0.4	0.4	-0.3	0	2
S	0	0.5	-0.8	-0.1	0.8	-1.4	-0.6	0.5	-0.3	0.2	2.28
O	-0.2	0.8	-1.1	-0.2	1.1	-1.5	-0.8	0.6	-0.2	0.5	2.46
N	-0.5	1	-1.2	-0.5	1.4	-1.5	-1	0.2	-0.3	0.7	2.95
D	-0.8	1	-1.4	-0.7	1.6	-1.5	-1	-0.3	-0.4	0.7	2.9

Lampiran 5. Nilai data suhu di lapangan.

NO	Lokasi	SUHU
1	St,1 (08°37"274' LS dan 112°29"409' BT)	31,2
		31,7
		31,1
	Rata-rata	31,33
2	St, 2 (08°38"639' LS dan 112°37"178' BT)	29,1
		29,8
		30,1
	Rata-rata	29,67
3	St, 3 (08°39"700' LS dan 112°38"459' BT)	31,2
		31,4
		30,8
	Rata-rata	31,13

Lampiran 6. Data variasi suhu permusim.

MUSIM	BULAN	AVG
MUSIM BARAT	J	29,15
	F	29,63
PER 1	M	29,62
	A	29,27
	M	28,50
PER 2	J	26,65
	J	25,47
	A	24,23
MUSIM TIMUR	S	24,32
	O	25,91
	N	27,94
BARAT	D	29,03

Lampiran 7. Data variasi klorofil-a permusim.

MUSIM	BULAN	Avg.
MUSIM BARAT	J	0,40
	F	0,23
PER 1	M	0,29
	A	0,36
	M	1,33
PER 2	J	2,42
	J	1,89
	A	3,60
MUSIM TIMUR	S	3,37
	O	4,13
	N	1,86
BARAT	D	0,44

