

C/ITK

2001

DH80305

**POLA PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAUT  
DI SEKITAR PERAIRAN LAUT JAWA DAN LAUT FLORES  
DARI DATA CITRA NOAA/AVHRR  
DAN HUBUNGANNYA DENGAN FENOMENA *BLEACHING*  
PADA EKOSISTEM TERUMBU KARANG  
DI PERAIRAN BALI**

Oleh :

**SHINTA TRILESTARI PARDEDE**

C06496059

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

**2001**

## SKRIPSI

Judul Penelitian : Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut di Sekitar Perairan Laut Jawa dan Laut Flores dari Data Citra NOAA/AVHRR dan Hubungannya dengan Fenomena *Bleaching* pada Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Bali.

Nama Mahasiswa : Shinta Trilestari Pardede

Nomor Pokok : C06496059

Program Studi : Ilmu Kelautan

Menyetujui :

### I. KOMISI PEMBIMBING



Dr. Ir. Vincentius P. Siregar, DEA.

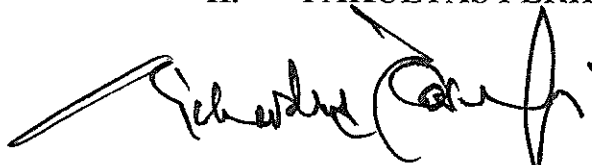
Ketua



Dr. Ir. Neviaty P. Zamani, MSc.

Anggota

### II. FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN IPB



Dr. Ir. Richardus Kaswadji, MSc.

Ketua Program Studi



Andra Jaya, MSc.

Rebantu Dekan I

Tanggal Lulus : 7 September 2001

## RINGKASAN

**SHINTA TRILESTARI PARDEDE (C06496059).** Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut di Sekitar Laut Jawa dan Laut Flores dari Data Citra Satelit NOAA/AVHRR dan Kaitannya dengan Fenomena *Bleaching* pada Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Bali. (Di bawah bimbingan Dr. Ir. Vincentius P. Siregar, DEA, DAA, dan Dr. Ir. Neviaty P. Zamani, MSc.)

---

Terjadinya perubahan suhu air laut yang cukup mencolok di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, diduga berkaitan dengan timbulnya gejala *El Nino* pada tahun 1997 dan *La Nina* pada tahun 1998. Pada saat *El Nino* terjadi, suhu permukaan laut di Indonesia menjadi lebih rendah dari suhu umumnya, sedangkan pada saat terjadi *La Nina* suhu permukaan laut Indonesia menjadi lebih tinggi. Perubahan suhu yang cukup drastis dalam waktu yang relatif singkat ini, diduga sebagai penyebab utama terjadinya fenomena *bleaching* pada tahun 1998 pada ekosistem terumbu karang.

Pengamatan mengenai perubahan suhu permukaan laut dan perubahan yang terjadi pada terumbu karang selama tahun 1997-2000, dapat menjelaskan hubungan antara fenomena *bleaching* dengan perubahan suhu permukaan laut. Selain itu juga dapat menunjukkan *trend* dari suhu permukaan laut tersebut sehingga dapat digunakan dalam mengkaji hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan terumbu karang secara temporal, dan bisa dijadikan sebagai dasar untuk memprediksi kondisi terumbu karang di masa depan. Pola perubahan kondisi terumbu karang di suatu lokasi juga dapat terlihat sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan-kebijakan untuk pengelolaan sumber daya ekosistem terumbu karang di masa yang akan datang.

Penelitian ini dilakukan di Amed dan Nusa Penida, Bali pada bulan Mei 2000 untuk pengambilan data primer terumbu karang; dan di Lab. Remote Sensing dan Ekologi SEAMEO BIOTROP, Bogor mulai November 2000 untuk pengolahan data citra NOAA/AVHRR. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data suhu permukaan laut tahun 1997-2000 dari citra NOAA/AVHRR dan data sekunder tahun

1996-2000. Data terumbu karang yang digunakan berupa persentase penutupan karang batu mulai dari tahun 1996-2000. Pengolahan data citra NOAA/AVHRR dilakukan dengan menggunakan ER Mapper 5.5 dan Surfer 7.0.

Visualisasi citra suhu permukaan laut bulan Juni 1997 sampai Juni 2000 dari satelit NOAA/AVHRR menunjukkan pola sebaran suhu permukaan laut yang berkisar antara  $22^{\circ}\text{C}$ – $31^{\circ}\text{C}$ . Terdapat perbedaan yang mencolok antara visualisasi citra tahun 1997 dan tahun 1998. Pada tampilan citra bulan Juni dan Juli 1997 perairan didominasi oleh massa air yang bersuhu  $27^{\circ}\text{C}$ – $29^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada tampilan citra bulan Juni dan Juli 1998 suhu rata-rata seluruh perairan berkisar antara  $29^{\circ}\text{C}$ – $31^{\circ}\text{C}$ . Suhu rata-rata tahunan mengalami peningkatan pada tahun 1997-1998, yaitu dari suhu  $27,17^{\circ}\text{C}$  menjadi  $28,27^{\circ}\text{C}$ . Pada tahun 1998-1999 suhu menurun kembali menjadi  $27,58^{\circ}\text{C}$ , dan penurunan suhu terus berlanjut menjadi  $26,42^{\circ}\text{C}$  pada tahun 2000. Suhu rata-rata bulanan yang rendah pada tahun 1997 merupakan akibat dari terjadinya gejala El Nino dan suhu tinggi pada tahun 1998 diduga merupakan akibat dari gejala La Nina.

Tahun 1997-1998 terjadi beberapa kali perubahan suhu yang besar yaitu penurunan suhu sebesar  $1,99^{\circ}\text{C}$ – $2,54^{\circ}\text{C}$  selama bulan Juni-Sept 1997 dan langsung diikuti oleh kenaikan suhu yang drastis pula yaitu sebesar  $2,72^{\circ}\text{C}$ – $3,06^{\circ}\text{C}$  selama bulan September-November 1997. Kemudian pada awal tahun 1998 kembali terjadi peningkatan suhu rata-rata sebesar  $1,64^{\circ}\text{C}$ – $2,03^{\circ}\text{C}$  pada bulan Februari-Maret 1998 yang terus meningkat sampai puncaknya terjadi pada bulan April-Mei 1998 dimana suhu rata-rata awal bulan Februari berkisar antara  $26,01^{\circ}\text{C}$ – $27,88^{\circ}\text{C}$ , meningkat menjadi berkisar antara  $29,35^{\circ}\text{C}$ – $30,09^{\circ}\text{C}$  pada bulan Mei-April.

Setelah tahun 1998, perubahan suhu permukaan laut cenderung tidak besar. Suhu rata-rata tahun 1999 berkisar antara  $27,39^{\circ}\text{C}$ – $27,68^{\circ}\text{C}$  dan tahun 2000 suhu permukaan laut berkisar antara  $26,12^{\circ}\text{C}$ – $26,85^{\circ}\text{C}$ . Pada awal tahun 1999 suhu rata-rata bulanan masih relatif konstan yaitu dalam kisaran  $27,69^{\circ}\text{C}$ – $29,44^{\circ}\text{C}$ , tetapi mulai bulan Mei, suhu turun sampai bulan Agustus-September menjadi berkisar antara  $25,3^{\circ}\text{C}$ – $26,9^{\circ}\text{C}$ , dan seterusnya tetap berada pada kisaran suhu  $25^{\circ}\text{C}$ – $26^{\circ}\text{C}$ .

Pada saat terjadi fenomena *bleaching* pada terumbu karang, yaitu pada tahun 1997-1998, suhu permukaan laut dari data citra NOAA/AVHRR mengalami peningkatan sebesar  $1,10^{\circ}\text{C}$ . Kenaikan rata-rata suhu tahunan ini serta fluktuasi rata-rata suhu bulanan yang berubah secara drastis, mengakibatkan terumbu karang mengalami *stress* sehingga zooxanthellae yang bersimbiosis dengan polip karang terusir. Hal ini yang menyebabkan karang memucat atau *bleaching*.

Ekosistem terumbu karang di Bali termasuk ke dalam kategori buruk sampai baik sekali, yaitu dengan nilai persentase penutupan karang sebesar 1,00 – 75,20. Persentase penutupan karang yang terbesar terdapat pada stasiun Nusa Penida, sub stasiun Toyopakeh sedangkan persentase penutupan karang terkecil terdapat pada stasiun Menjangan, sub stasiun Garden Eel.

Dari nilai persentase penutupan karang, perubahan yang terjadi pada stasiun Amed cenderung menurun pada setiap sub stasiun pengamatan. Pada stasiun Nusa Penida, perubahan persentase penutupan karang cenderung naik atau tetap pada kedalaman 10 m dan cenderung menurun pada kedalaman 3m. Sedangkan pada stasiun Menjangan, persentase penutupan dalam jangka waktu 1996-1998 menurun drastis, tetapi pada tahun 1998-2000 terumbu karang pada kedalaman 3 m tetap menurun sedangkan pada kedalaman 10 m menjadi meningkat.

Pada saat *trend* suhu permukaan laut meningkat tahun 1997-1998, persentase penutupan karang pada semua stasiun pengamatan cenderung menurun. Kemudian pada saat *trend* suhu tersebut menurun pada tahun 1998-2000, persentase penutupan karang di stasiun Amed meningkat kembali, pada stasiun Nusa Penida cenderung turun dan tetap, sedangkan pada stasiun Menjangan persentase penutupan karang cenderung naik. Berdasarkan hasil penelitian ini setidaknya dapat ditentukan kebijakan-kebijakan yang harus diambil dalam pengelolaan sumberdaya ekosistem terumbu karang di Bali untuk tahun berikutnya.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur hanya kepada Allah yang Maha Kuasa, atas segala kasih, anugerah dan kekuatan yang diberikan kepada penulis selama penyusunan hingga terselesaikannya skripsi yang berjudul “ Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut di Sekitar Perairan Laut Jawa dan Laut Flores dari Data Citra Satelit NOAA/AVHRR dan Hubungannya dengan Fenomena *Bleaching* pada Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Bali”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, yang disusun oleh penulis setelah melakukan serangkaian kegiatan penelitian di perairan pesisir Amed dan Nusa Penida, Bali dan di laboratorium Remote Sensing dan Ekologi SEAMEO BIOTROP, Bogor.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Namun harapan penulis, semoga sumbangan yang kecil ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Bogor, 3 September 2001.

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
RINGKASAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Suhu Permukaan Laut.....	4
2.2 Perkiraan Suhu Permukaan Laut dengan Satelit NOAA/AVHRR ...	6
2.3 Terumbu Karang.....	8
2.4 Fenomena Bleaching pada Karang.....	10
2.5 Kondisi Perairan Daerah Penelitian.....	13
2.5.1 Perairan Menjangan.....	13
2.5.2 Perairan Amed.....	15
2.5.3 Perairan Nusa Penida.....	15
<b>3. METODOLOGI</b>	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	18
3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan.....	18
3.2.1 Data Suhu Permukaan Laut.....	18
3.2.2 Data Terumbu Karang .....	20
3.3 Metode Pengolahan Data .....	22
3.3.1 Metode Pengolahan Data Citra Satelit NOAA/AVHRR ...	22
3.3.2 Metode Pengolahan Data Terumbu Karang.....	27
3.4 Metode Analisis Data .....	27
3.4.1 Analisis Visual dan Temporal Data Suhu Permukaan Laut dari Citra NOAA/AVHRR .....	27
3.4.2 Analisis Data Terumbu Karang dalam mengkaji Fenomena <i>Bleaching</i> .....	28
3.4.3 Analisis Spasial (Keterkaitan Antara Data SPL dengan Terjadinya Fenomena <i>Bleaching</i> ).....	28
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Perubahan Suhu Permukaan Laut.....	29

4.1.1	Perubahan Visual Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR .....	29
4.1.2	Perubahan Nilai Rata-rata Bulanan Suhu Permukaan Laut Secara Temporal dari Satelit NOAA/AVHRR .....	45
4.1.3	Perubahan Temporal Suhu Permukaan Laut dari Data Sekunder .....	51
4.2	Perubahan Ekosistem Terumbu Karang .....	54
4.2.1	Menjangan .....	54
4.2.2	Amed .....	55
4.2.3	Nusa Penida .....	56
4.3	Hubungan Antara Perubahan Suhu Permukaan Laut dengan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang .....	56
4.3.1	Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Menjangan .	58
4.3.1.1	<i>Garden Eel</i> .....	58
4.3.1.2	Pos II .....	59
4.3.2	Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Amed .....	60
4.3.2.1	<i>Reef Check</i> .....	60
4.3.2.2	Kebun Korall .....	61
4.3.2.3	Tebing .....	62
4.3.3	Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Nusa Penida .....	63
4.3.3.1	Toyopakeh .....	63
4.3.3.2	Bias Muntig .....	64
4.3.3.3	Prapat .....	65
4.3.3.4	Tanah Bias .....	66
4.3.3.5	Bodong .....	66
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	68
5.2	Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		
<b>LAMPIRAN</b> .....		
		73



## DAFTAR GAMBAR

<i>No.</i>	<i>Teks</i>	<i>Hal.</i>
1.	Karang yang memucat atau <i>bleaching</i> .....	11
2.	Peta Lokasi Penelitian.....	14
3.	Stasiun Pengamatan P. Menjangan.....	14
4.	Stasiun Pengamatan Amed.....	16
5.	Stasiun Pengamatan Nusa Penida.....	16
6.	Lokasi Pengambilan Data Sekunder Suhu Permukaan Laut.....	20
7.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 03 Juni 1997.....	30
8.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 Juli 1997.....	30
9.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 September 1997.....	33
10.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 04 November 1997.....	33
11.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 31 Desember 1997.....	34
12.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 09 Januari 1998.....	34
13.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 13 Februari 1998.....	35
14.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 03 Maret 1998.....	35
15.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 10 April 1998.....	36
16.	Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari 33 Satelit NOAA/AVHRR tanggal 23 Mei 1998.....	36

17. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 11 Juni 1998 .....	38
18. Southern Oscillation Index (SOI) .....	39
19. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 1 Juli 1998 .....	38
20. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 28 Agustus 1998.....	41
21. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 12 Oktober 1998.....	41
22. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 14 Januari 1999 .....	42
23. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 27 Februari 1999.....	42
24. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 08 Maret 1999 .....	43
25. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 28 April 1999.....	43
26. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 26 Mei 1999 .....	44
27. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 Juni 1999 .....	44
28. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 September 1999 .....	46
29. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 Oktober 1999.....	46
30. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 15 Februari 2000.....	47
31. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 29 Maret 2000 .....	47

32. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 25 April 2000.....	48
33. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 Juni 2000. ....	48
34. Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut dari Data NOAA/AVHRR .....	50
35. Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut dari Data Sekunder .....	53
36. Persentase Penutupan Karang Batu di Tiap Sub Stasiun .....	57
37. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Garden Eel, Stasiun Menjangan .....	58
38. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Pos II, Stasiun Menjangan .....	59
39. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Reef Check, Stasiun Amed .....	60
40. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Kebun Koral, Stasiun Amed.....	62
41. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Tebing, Stasiun Amed.....	62
42. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Toyopakeh, Stasiun Nusa Penida .....	63
43. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Bias Muntig, Stasiun Nusa Penida .....	64
44. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Prapat, Stasiun Nusa Penida .....	65
45. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Tanah Bias, Stasiun Nusa Penida .....	66
46. Perubahan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Bodong, Stasiun Nusa Penida .....	67

## DAFTAR TABEL

No.	Teks	Hal.
1.	Penyebaran Data pada Stasiun dan Sub Stasiun Pengamatan .....	22
2.	Rata-rata Bulanan Suhu Permukaan Laut dari Citra NOAA/AVHRR (dalam °C) .....	52
3.	Persentase Penutupan Karang Hidup (HC) di Tiap Stasiun Pengamatan Tahun 1996-2000 (dalam %).....	55

## DAFTAR LAMPIRAN

<i>No.</i>	<i>Teks</i>	<i>Hal.</i>
1.	Bagan Alir Pengolahan Data Citra Satelit NOAA/AVHRR .....	73
2.	Peristiwa <i>Bleaching</i> pada Terumbu Karang Tahun 1998 di Kawasan Asia Tenggara dan Asia Timur, Pasifik Barat dan Samudera Hindia .....	74
3.	Persentase Penutupan Karang di Bali .....	79

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Suhu air laut di suatu daerah ditentukan oleh banyaknya transfer bahang yang terjadi antara atmosfer dan lautan. Jumlah bahang dari sinar matahari paling banyak diterima oleh daerah di lintasan matahari yaitu daerah tropis. Hal ini menyebabkan variabilitas suhu harian di permukaan laut daerah tropis relatif besar karena pengaruh siang dan malam, namun variabilitas musimannya kecil, karena pengaruh musim tidak terlalu besar bila dibandingkan dengan daerah di lintang sedang dan tinggi (Wyrcki, 1961).

Perubahan suhu air laut yang cukup mencolok terjadi di seluruh dunia, termasuk di Indonesia pada tahun 1997. Hal ini diduga erat kaitannya dengan terjadinya gejala *El Nino* yang parah, dimana kolam air hangat yang pada keadaan normal hanya berada di bagian barat Samudera Pasifik, bergeser dan meluas ke timur sampai ke pantai barat Amerika Selatan. Hal ini menyebabkan *trend* suhu permukaan laut di perairan tersebut, termasuk di Indonesia berubah menjadi lebih rendah, karena suhu massa air Arlindo yang melalui perairan Indonesia juga menjadi lebih rendah (Irmudiyawati, 2000).

Gejala ini kemudian berlanjut dengan terjadinya La Nina pada tahun 1998 yang menyebabkan suhu permukaan laut meningkat di perairan Indonesia. Hal ini terjadi karena adanya proses kebalikan dari El Nino dimana pergerakan massa air hangat berubah ke arah sebaliknya, yaitu dari sebelah timur Pasifik ke arah perairan Indonesia timur.

Perubahan suhu yang cukup drastis dalam waktu yang relatif singkat ini, mengakibatkan banyak terjadi perubahan faktor ekologi di perairan laut di seluruh dunia. Salah satu akibat yang paling mencolok adalah terjadinya fenomena *bleaching* pada ekosistem terumbu karang di seluruh dunia, termasuk di Indonesia.

Ada beberapa perbedaan pendapat yang timbul sehubungan dengan perubahan suhu permukaan laut ini. Beberapa penelitian menyatakan bahwa suhu air laut mengalami peningkatan besar dalam waktu yang relatif singkat. Namun beberapa

pendapat juga mengatakan bahwa peningkatan suhu akibat pemanasan global itu hanya terdapat pada negara-negara Pasifik Timur dan di Indonesia sendiri suhu air laut lebih rendah cenderung tetap dan peningkatan suhu yang terjadi itu hanya pada suhu udara, bukan suhu air. Selain itu, ada lagi opini lain yang mengatakan bahwa memang benar terjadi perubahan suhu permukaan laut yang drastis, namun hanya terjadi pada perairan lepas pantai, yaitu pada perairan dalam, sedangkan perairan pesisir tidak banyak mengalami perubahan yang berarti karena selain pengaruh dari Bergeraknya massa air tersebut masih banyak pengaruh lain yang tak kalah penting. Pengaruh letaknya yang sangat dekat dengan daratan juga sangat besar sehingga banyaknya masukan dari darat membuat pengaruh El Nino hanya sedikit saja pengaruhnya.

Data suhu permukaan laut secara kontinu yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari rekaman sensor satelit, yaitu satelit NOAA/AVHRR. Variasi tahunan suhu permukaan laut yang kontinu di suatu lokasi dapat menggambarkan sebaran suhu permukaan laut di lokasi tersebut pada suatu musim, dari tahun ke tahun. Informasi ini sangat berguna untuk melihat berapa besar perubahan suhu permukaan laut pada saat fenomena *bleaching* terjadi dan pada lokasi yang diinginkan, sehingga dapat dibuat suatu kajian mengenai hubungan antara perubahan suhu permukaan laut ini dengan terjadinya fenomena *bleaching* pada ekosistem terumbu karang.

Salah satu lokasi yang sangat tepat untuk mengadakan penelitian mengenai fenomena *bleaching* di Indonesia adalah Bali. Bali memiliki potensi terumbu karang yang sangat besar dan indah, dan merupakan obyek wisata yang penting untuk menarik wisatawan dari mancanegara khususnya. Kerusakan ekosistem terumbu karang akibat *bleaching* yang juga terjadi di Bali akan memberikan dampak yang sangat merugikan, baik dari segi ekologis maupun ekonomis (Zamani dkk, 1999).

Bali menjadi salah satu lokasi penyelaman yang paling terkenal di Indonesia karena keindahan terumbu karangnya itu, sehingga kebanyakan penelitian dan pengamatan ilmiah mengenai kondisi terumbu karang dilakukan di daerah ini, termasuk pengamatan bertaraf internasional mengenai *bleaching*.

*Bleaching* hanya dapat diketahui secara visual, belum ada suatu formula tertentu yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kuantitas dan kualitas *bleaching* yang terjadi pada suatu ekosistem. Keberadaan *bleaching* pada karang hanya dapat ditentukan berdasarkan observasi langsung dengan visualisasi dan kontak langsung dengan obyek yang diamati. Hal ini menyebabkan keterangan mengenai karang *bleaching* di suatu lokasi hanya dapat dikumpulkan dari hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Dari hasil-hasil penelitian tersebut, diperoleh informasi mengenai kualitas dan kuantitas *bleaching* pada suatu ekosistem karang.

Informasi mengenai kondisi ekosistem terumbu karang yang lengkap juga akan sangat membantu dalam penelitian ini, demikian pula dengan data pendukung mengenai faktor fisika dan kimia kelautan, akan memberi penjelasan yang lebih akurat dalam mendeteksi penyebab dari terjadinya *bleaching* tersebut, jika terbukti bila perubahan suhu di perairan Bali tidak cukup meyakinkan sebagai penyebab utama dari *bleaching* tersebut.

## 1.2. Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

- Untuk mengamati perubahan suhu permukaan laut selama terjadinya peristiwa *bleaching* di perairan Bali, yaitu tahun 1997-1998, sehingga diperoleh kejelasan mengenai hubungan antara fenomena *bleaching* dengan perubahan suhu permukaan laut.
- Untuk melihat *trend* perubahan suhu permukaan laut sehingga dapat dibuat suatu data *time series* mengenai hubungannya dengan kondisi ekosistem terumbu karang.
- Untuk melihat pola perubahan kondisi terumbu karang di Bali sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan-kebijakan untuk pengelolaan sumber daya ekosistem terumbu karang di masa yang akan datang.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Suhu Permukaan Laut

Suhu adalah suatu besaran fisika yang menyatakan banyaknya bahang yang terkandung dalam suatu benda. Suhu air laut terutama di lapisan permukaan sangat bergantung pada jumlah bahang yang diterima dari sinar matahari. Daerah-daerah yang menerima sinar matahari terbanyak adalah daerah-daerah yang berada pada lintang  $0^{\circ}$ , oleh karena itu suhu air laut yang tertinggi ditemukan di daerah equator (Weyl, 1970).

Suhu permukaan air laut biasanya berkisar antara  $27^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$  di daerah tropis dan  $15^{\circ}\text{C}$ - $20^{\circ}\text{C}$  di daerah subtropis. Suhu ini menurun secara teratur menurut kedalaman. Suhu air laut relatif konstan antara  $2^{\circ}\text{C}$ - $4^{\circ}\text{C}$  di kedalaman lebih dari 1000 m (King, 1963).

Suhu air di perairan Nusantara umumnya berkisar antara  $28^{\circ}\text{C}$ - $38^{\circ}\text{C}$ . Di lokasi yang sering terjadi kenaikan air (*upwelling*) seperti di laut Banda, suhu air permukaannya bisa turun sampai  $25^{\circ}\text{C}$ , ini disebabkan air yang dingin di lapisan bawah terangkat ke atas permukaan. Suhu dekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di lepas pantai (Nontji, 1987).

Suhu permukaan laut (SPL) Indonesia secara umum berkisar antara  $26^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$ . Karena perairan Indonesia dipengaruhi oleh angin musim, maka sebaran SPL-nya pun mengikuti perubahan musim. Pada musim barat (Desember-Januari-Februari), SPL di Kawasan Barat Indonesia (KBI) pada umumnya relatif lebih rendah daripada musim timur (Juni-Juli-Agustus). SPL di dekat Laut Cina Selatan pada waktu musim barat berkisar antara  $26^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$  sedangkan di Kawasan Timur Indonesia berkisar antara  $28^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$ . Pada musim timur kebalikannya terjadi, yaitu SPL di perairan KTI berkisar antara  $26^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$ , sedangkan di perairan KBI antara  $28^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$  (Ilahude dan Birowo, 1987 dalam Dahuri et al, 1996).

Ekosistem laut dapat dipandang dari dimensi horizontal dan vertikal. Secara horizontal, laut dapat dibagi menjadi dua yaitu laut pesisir (zona neritik) dan laut lepas (zona oseanik). Pada wilayah pesisir dan laut terjadi interaksi antara tiga unsur

Perubahan ini dapat diamati dengan Bergeraknya massa air hangat pada saat terjadinya ENSO dari yang biasanya berada di perairan timur Indonesia, bergerak lebih ke timur dari perairan tersebut (Philander, 1990). Oleh karena itu suhu permukaan laut di timur Indonesia akan menurun dari biasanya saat El-Nino datang. Sebaliknya, akan meningkat suhunya pada masa La-Nina (Irmudiyawati, 2000).

## 2.2. Perkiraan Suhu Permukaan Laut dengan Satelit NOAA/AVHRR

Data suhu permukaan laut dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu:

- Metode pengukuran secara konvensional, pengukuran secara langsung di lokasi pengamatan menggunakan alat-alat pengukur suhu di permukaan laut
- Metode estimasi data suhu permukaan laut dengan memanfaatkan potensi dan kemampuan wahana satelit penginderaan jauh

Data suhu permukaan laut yang dihasilkan memang tidak persis sama, namun keduanya mempunyai keunggulan masing-masing yang saling mendukung dalam menganalisa kondisi suatu perairan.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi estimasi suhu permukaan laut dengan menggunakan data satelit penginderaan jauh. Pada saat proses pengolahan data penginderaan jauh, harus diperhitungkan berbagai faktor koreksi radiometris agar diperoleh data yang mempunyai perbedaan terkecil dengan data in situ. Brown et al. (1985) menyatakan bahwa perkiraan suhu permukaan laut yang menggunakan data satelit dipengaruhi oleh faktor sensor dan proses kalibrasi, algoritma koreksi atmosfer, prosedur dan pengolahan data, serta interaksi permukaan laut dengan lapisan atmosfer di atas permukaan laut yang diamati.

Salah satu asumsi yang dapat dipakai dalam penentuan suhu permukaan laut adalah radiasi benda hitam dengan menganggap bahwa bumi merupakan benda hitam yang dapat memancarkan panas yang dimiliki atau menyerap energi panas secara sempurna. Bumi yang diasumsikan sebagai benda hitam ternyata bukanlah penyerap sempurna, karena radiasi termal yang diserap sebagian lagi dipantulkan kembali ke atmosfer.

Pengukuran terhadap radiasi infra merah pada panjang gelombang antara 10-12  $\mu\text{m}$  dilakukan dalam menentukan suhu permukaan laut dengan sensor satelit. Parameter suhu permukaan laut dalam oseanografi diperoleh melalui data dari kanal 3, 4, dan 5 yang merupakan hasil pengukuran dari sensor AVHRR satelit NOAA, untuk data kanal 3 hanya sesuai untuk pengamatan pada malam hari, sedangkan data kanal 4 dan 5 dapat digunakan baik siang maupun malam hari (Hasyim, 1986). Kombinasi dari tiga kanal (3, 4, dan 5) disebut "*Triple Window*", sedangkan kombinasi dua kanal (4 dan 5) disebut "*Split Window*" (McClain, 1981 dalam Harsanugraha dan Parwati, 1992).

Penggunaan kombinasi data multi kanal pada gelombang infra merah memungkinkan analisis multispektral mendapatkan resolusi yang lebih baik dari pada data satu kanal, khususnya di bidang oseanografi, hidrologi dan parameter meteorologi lainnya. Teknik pemanfaatan data multi kanal bertujuan untuk mengurangi adanya penyimpangan radiometris, yaitu akibat pengaruh kondisi lapisan atmosfer (Pellegrini dan Penrose, 1986).

Pengukuran spektrum infra merah termal yang dipancarkan oleh permukaan laut hanya memberikan info suhu bagian permukaan hingga 0,1 mm, karena radiasi infra merah hanya diemisikan oleh molekul air dekat permukaan (Purba, 1991), walaupun demikian pada sebagian besar perairan laut, kecuali perairan di daerah kutub, kedalaman 0-20 m merupakan lapisan percampuran (*mixed layer*) dimana suhu cukup homogen (Robinson, 1985). Sejauh mana SPL yang diukur radiometer dapat mewakili kedalaman sampai beberapa meter, tergantung pada kondisi fisika yang mengontrol struktur suhu pada lapisan atas.

Tampilan citra SPL yang diukur dengan menggunakan radiometer infra merah dapat menggambarkan suatu pengamatan atau studi teoritis tentang penampakan dinamika lautan, karena:

- Mempunyai koreksi tingkat keabuan (*grey level*) yang baik antara terang dan gelap pada citra infra merah untuk massa air yang dingin dan hangat yang merupakan gambaran kualitatif dari keadaan suhu di laut.

- Sistem pengoperasian yang sudah teratur dan berkelanjutan dari satelit cuaca dan meteorologi seperti TIROS/NOAA dan *Geostationery Meteorological Satellites* (GMS) sehingga menjamin penyediaan data yang teratur dan berkelanjutan, walaupun pada prinsipnya ditujukan untuk meteorologi, namun juga tersedia data-data oseanografi.
- Penyediaan data yang cukup luas berkat fasilitas APT (*Automatic Picture Transmission*) yang terdapat pada satelit tersebut.

Menurut Purba (1991) data suhu yang dihasilkan dari hasil pengolahan citra satelit dapat diaplikasikan untuk kelautan atau oseanografi, baik secara visual maupun secara digital. Beberapa hal yang dapat diamati dari data citra suhu permukaan laut tersebut adalah pemetaan suhu permukaan laut secara global dan anomalnya, *ocean eddies, upwelling, ocean fronts, shallow-sea fronts, coastal-fringe fronts*, studi biologi laut atau biologi perikanan, perikanan komersial, dan sebagainya.

### 2.3. Terumbu karang

Yang dimaksud dengan *terumbu karang* adalah endapan-endapan masif yang penting dari kalsium karbonat yang terutama dihasilkan oleh hewan karang dari filum Cnidaria, Klas Anthozoa dan Ordo Madreporaria/Scleractinia, dengan sedikit tambahan dari alga berkapur dan organisme-organisme lain yang mengeluarkan kalsium karbonat (Nybakken, 1988).

Karang berasosiasi dan berhubungan simbiosis dengan alga yang disebut *zooxanthellae*. *Zooxanthellae* adalah tumbuhan yang melakukan proses fotosintesis, hasil metabolisme dan O<sub>2</sub> (oksigen) akan diberikan kepada polip karang, sedangkan polip karang memberikan tempat hidup dan hasil respirasi CO<sub>2</sub> kepada *zooxanthellae*. Pada kondisi normal *zooxanthellae* diam menetap pada jaringan tubuh karang dan hanya sedikit yang bermigrasi atau terlepas ke kolom air (Hoegh-Gullberg et al. 1987).

Di dunia terumbu karang hanya ditemukan pada perairan hangat dengan suhu minimal tahunan tidak kurang dari 18 °C. Walaupun rata-rata suhu tahunan yang

paling optimal bagi pertumbuhan karang adalah  $23^{\circ}\text{C}$ - $25^{\circ}\text{C}$ , namun karang masih dapat bertoleransi terhadap suhu  $36^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$  (Nybakken, 1988).

Faktor pembatas lain bagi pertumbuhan terumbu karang adalah kedalaman, intensitas cahaya matahari, salinitas, sedimentasi, dan adanya sirkulasi air yang teratur. Kedalaman yang optimal bagi kehidupan terumbu karang adalah 25 m, namun masih ada juga yang ditemui pada kedalaman 50-70 m.

Kedalaman ini berkaitan dengan besarnya intensitas cahaya matahari, dimana batas kedalaman yang tepat adalah dimana cahaya matahari masih sampai ke tubuh karang sehingga *zooxanthellae* dapat berfotosintesis. Intensitas cahaya matahari juga sangat dipengaruhi oleh sedimentasi di perairan tersebut, dengan adanya sedimentasi, perairan menjadi keruh sehingga intensitas cahaya matahari yang sampai ke terumbu karang berkurang. Sedimentasi ini sering pula membawa partikel-partikel yang dapat mengendap di permukaan karang sehingga menutupi pori-pori dan menyumbat struktur pemberian makanan sehingga kehidupan karang terganggu (Nybakken, 1988).

Selain itu, sedimentasi yang biasanya berasal dari sungai, masuk ke lautan membawa sejumlah massa air tawar yang dapat menurunkan kadar salinitas air laut di sekitarnya. Salinitas air laut normal yang optimal bagi pertumbuhan karang adalah 32-35‰.

Terumbu karang lebih berkembang pada daerah-daerah yang bergelombang besar, karena sirkulasi air berlangsung terus-menerus sehingga selalu tersedia sumber air segar yang kaya akan oksigen, plankton dan nutrisi lainnya bagi karang, dan juga menghindari pengendapan sedimen pada permukaan tubuh karang (Nybakken, 1988).

Peranan terumbu karang bagi ekosistem lautan adalah bagaikan *oase* bagi gurun pasir. Produktifitas primer yang terjadi di ekosistem terumbu karang sangat tinggi sehingga merupakan sumber energi terbesar bagi kehidupan biota di seluruh lautan (Nontji, 1987).

Terumbu karang yang masih utuh atau yang masih baik mempunyai nilai estetika yang tinggi dan dapat dimanfaatkan pula untuk mendorong industri pariwisata laut. Berbagai organisme penghuni ekosistem ini mempunyai warna dan

bentuk yang sangat menarik, indah, dan unik sehingga disebut sebagai taman laut. Kegiatan pariwisata laut yang memberikan kesempatan orang untuk menyelam, mengamati, dan memotret kekayaan serta keindahan bawah air ini tampak semakin berkembang di Indonesia dan dapat merupakan sumber penghasil devisa (Nontji, 1987), selain itu berbagai sumberdaya ikannya merupakan sumber bahan makanan bagi manusia maupun sebagai ikan hias.

Ekosistem karang juga merupakan tempat pembesaran berbagai jenis hewan laut yang ekonomis penting dan juga tempat mencari makanan bagi ikan dan penyusut laut. Di dalam Zamani (1997) juga disebutkan bahwa adanya terumbu karang di pantai dapat mengurangi energi gelombang sampai 20% sehingga dapat melindungi pantai dari proses abrasi.

#### 2.4. Fenomena *Bleaching* pada Karang

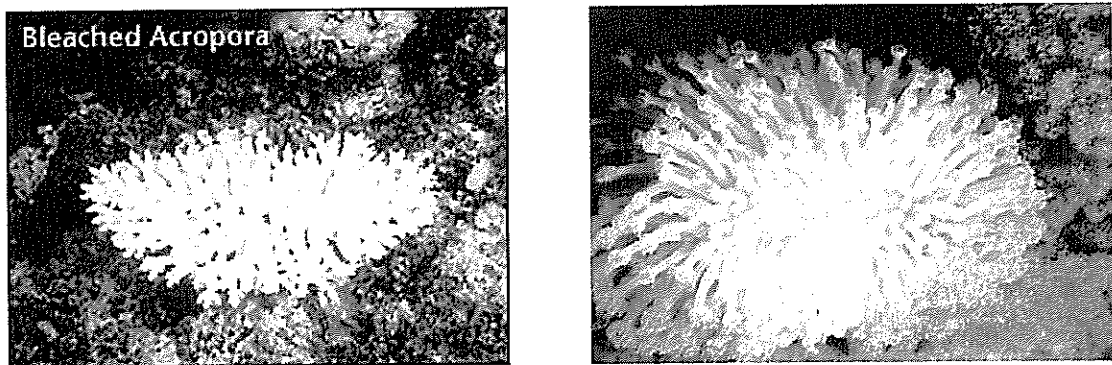
Suhu air laut di daerah tropis mengalami peningkatan hampir  $1^{\circ}\text{C}$  selama 100 tahun terakhir dan tingkat pertumbuhannya diperkirakan mendekati  $1^{\circ}\text{C}$ - $2^{\circ}\text{C}$  tiap abad. Bagian utama dari karang pembentuk terumbu yang sehat (*reef building corals*) sekarang ini hidupnya sudah hampir melampaui batas suhu maksimum. Pertambahan suhu air yang sangat sedikit saja akan membuat terumbu karang *stress*/tertekan dan mengalami pemutihan (*bleaching*).

*Bleaching* merupakan suatu reaksi binatang karang terhadap tekanan dari lingkungan. *Bleaching* dapat terjadi bila pigmen *zooxanthellae* dalam jaringan karang hilang atau berkurang, konsentrasi *zooxanthellae* dalam sel berkurang, atau gabungan dari kedua kondisi di atas (Glynn, 1990).

Karang akan cenderung untuk mati dengan cepat dalam jumlah besar setelah terjadinya peristiwa *bleaching*, yang dapat meluas di laut sampai ribuan kilometer persegi. Peristiwa *bleaching* pada tahun 1998, yang terparah dalam sejarah, menunjukkan kerugian yang komplit dari karang yang hidup di beberapa bagian dunia (Lampiran 2).

Pada peristiwa *bleaching*, mula-mula yang terlihat adalah warna karang yang memucat dan akhirnya memutih karena *zooxanthellae* telah keluar dari jaringan

karang. Koloni karang yang mengalami *bleaching* kondisinya tetap utuh, cabang-cabang masih berdiri tegak, namun karang menjadi putih atau tinggal penopang rangka kapur (Suharsono, 1998), seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Karang yang memucat atau bleaching.

Banyak ahli menyatakan penyebab karang *bleaching* karena berbagai macam faktor seperti tinggi dan rendahnya suhu, tingginya radiasi ultra violet, lamanya area karang yang terkena cahaya matahari secara langsung, pemasukan air tawar, tingginya sedimentasi, polusi dan pengurangan nutrient (Coffort, 1990; Glynn, 1990; William and William, 1990).

Penyebab terjadinya bleaching menurut Zamani (1995) adalah akibat interaksi yang sinergis antara gangguan alam dan aktivitas manusia. Gangguan-gangguan tersebut antara lain adalah terekspos di udara, herbisida, perubahan salinitas, penambahan konsentrasi logam-logam, penyakit, penjenuhan atau penipisan suplai nutrien, peningkatan suhu, pengerukan, terpapar dengan lumpur hasil pemboran minyak, terlindung dari sinar matahari, dan sebagainya. Sebagai tambahan, Brown and Suharsono (1990) menyatakan beberapa kegiatan manusia seperti pelepasan panas ke laut, pengerukan, pembukaan areal untuk menggali lumpur, alkalin dan minyak, dapat menyebabkan hilangnya *zooxanthellae*.

Berdasarkan penelitian dari beberapa ahli, fakta yang ada menunjukkan bahwa naiknya suhu adalah penyebab terjadinya fenomena *bleaching*. Pertambahan suhu air yang cepat akan menyebabkan terusirnya *zooxanthellae* dari jaringan karang dan invertebrata lainnya (Hoegh-Guldberg and Smith, 1989) sehingga jumlah *zooxanthellae* akan berkurang dalam tubuh inangnya (Coles dan Jokiel, 1977, 1978,

Hoegh-Guldberg and Smith, 1989, Glynn and d'Croze, 1990, Lesser et al, 1990). Karang yang mengalami *bleaching* akan tercirikan oleh berkurangnya densitas populasi *zooxanthellae*.

Binatang karang di daerah sub tropis telah beradaptasi dengan perubahan suhu yang terjadi setiap tahun, yaitu pada pergantian musim panas dan musim dingin. Perubahan suhu air laut dapat mencapai lebih dari 5<sup>0</sup>C. Binatang karang pada daerah tropis selalu dihadapkan pada suhu yang relatif konstan dan semua proses metabolisme berlangsung pada suhu yang relatif tetap sehingga perubahan suhu yang hanya 1<sup>0</sup>C-3<sup>0</sup>C akan mengganggu proses metabolisme karang. Binatang karang yang mempunyai tingkat metabolisme dan kecepatan tumbuh yang tinggi akan lebih sensitif terhadap kenaikan suhu dibandingkan dengan binatang karang yang metabolismenya lambat dan tingkat pertumbuhannya rendah (Suharsono, 1998).

*Bleaching* telah terjadi mulai dari tahun 1982-1983 dimana tercatat akibat El-Nino, sejumlah kematian karang di Costa Rica, Panama, Kolombia, dan Ekuador terjadi, bahkan pengaruhnya sampai ke Propinsi Panama, 13 lokasi di Indo Pasifik dan 5 lokasi di Propinsi Karibia.

Di Indonesia, *bleaching* yang luas terjadi pada tahun 1983. Suhu naik 2<sup>0</sup>C-3<sup>0</sup>C selama periode 6 bulan. Suhu tertinggi 33<sup>0</sup>C selama 1200 jam-1500 jam. Kematian karang dari genus *Acropora* dan *Pocillopora* terjadi sebesar 80%-90% (Brown dan Suharsono, 1990). Ahli karang menyatakan kemungkinan penyebabnya adalah naiknya suhu air akibat El Nino.

Terjadi lagi *bleaching* pada tahun 1997-1998 di Kenya, Netherlands, Antilles, Kep. Cayman, Florida Keys, Pantai Yucatan, Baja California, Kep. Galapagos, French Polynesia, Christmas Island, P. Lord Howe, dan Great Barrier Reef (Hyne, 1998 dalam Nurlidiasari, 1999). *Bleaching* tahun 1998 ini merupakan penyebaran paling luas dan beragam dari yang pernah tercatat dalam sejarah. Kurang lebih 60 negara pada lokasi Samudera Pasifik, Samudera Hindia, Laut Merah, Teluk Persia, dan Karibia dilaporkan mengalami *bleaching*, dan tidak hanya terjadi pada kedalaman ±15m seperti yang sebelumnya terjadi, tetapi pengaruhnya tersebar sampai kedalaman 50 m. Semua jenis karang batu-dan karang lunak, termasuk invertebrata



(kima) terkena dampak *bleaching*. Yang paling parah adalah di daerah Samudera Hindia, 70% karang mati di Kenya, Maldives, Andaman, Kep. Lakshadweep, 75% karang mati di Seychelles Marine Park System, 80% di Mafia Marine Park (Wilkinson et al., 1999 *dalam* Pomerance, 1999)

Pada beberapa lokasi, faktor sedimentasi, polusi, perubahan salinitas dan pasut juga turut andil dalam *bleaching* tahun 1998, tetapi banyak laporan yang menunjukkan bahwa semua itu erat kaitannya dengan tingginya anomali suhu permukaan laut.

## 2.5. Kondisi Perairan Daerah Penelitian

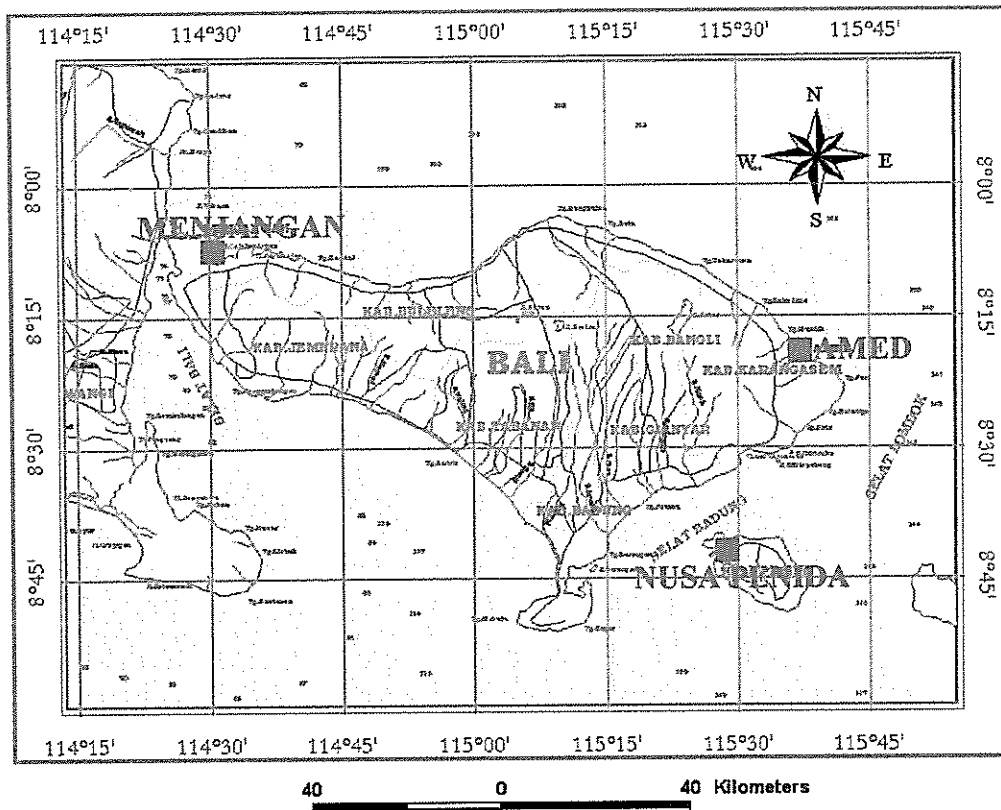
Pada penelitian ini, lokasi stasiun pengamatan terletak di sebelah utara, selatan dan timur Pulau Bali, disesuaikan dengan lokasi terumbu karang pada data sekunder yang tersedia. Adapun masing-masing lokasi tersebut adalah, P. Menjangan di bagian utara; Nusa Penida di bagian selatan Bali, dan Amed, di Bali Timur (Gambar 2).

### 2.5.1. Perairan Pulau Menjangan

Perairan Pulau Menjangan mempunyai suhu relatif tinggi yang berkisar antara 30<sup>0</sup>C-32<sup>0</sup>C dengan suhu rata-rata 30,8<sup>0</sup>C. Salinitas harian yang berhasil diperoleh berkisar antara 32,0‰ hingga 33,0‰ dengan salinitas rata-rata 32,5‰. Perairan Pulau Menjangan yang terletak di dalam teluk secara umum relatif tenang. Tingkat kecerahan pada perairan Pulau Menjangan cukup stabil yaitu sampai 100% sampai kedalaman 10 m (Wijonarno, 2000).

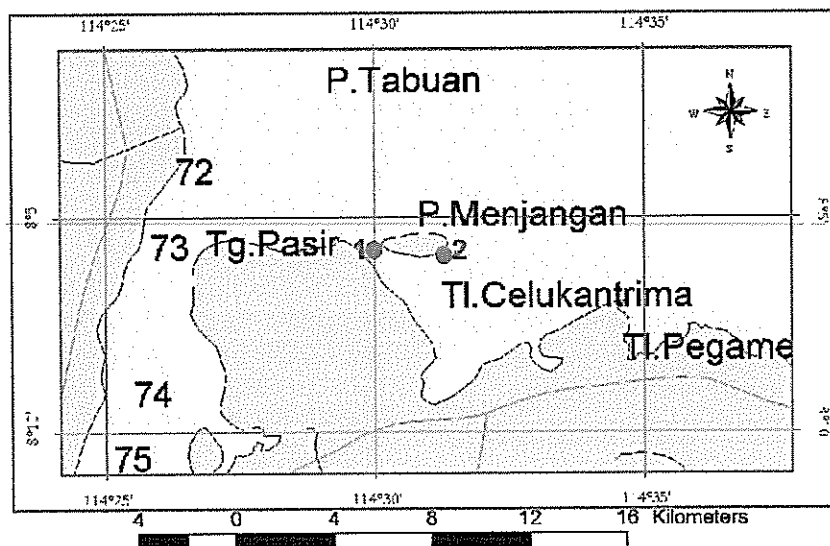
Kawasan Taman Nasional Bali Barat terletak antara 114<sup>0</sup> 25'-114<sup>0</sup> 35' Bujur Timur dan 8<sup>0</sup> 5'-8<sup>0</sup> 13' Lintang Selatan (Gambar 3). Luas Kawasan Taman Nasional Bali Barat adalah 19.600 ha, belum termasuk daerah perairan pantai disekitarnya. Kawasan Taman Nasional Bali Barat memiliki keanekaragaman hayati, salah satunya adalah keanekaragaman terumbu karang yang terdapat di Pulau Menjangan.

Pulau Menjangan berbentuk memanjang dari arah barat ke arah timur dengan bagian pulau yang melebar pada bagian tengahnya. Perairan selatannya tenang, berbeda dengan bagian utara yang didominasi oleh ombak dan angin yang kuat.



Keterangan : ■ Stasiun Pengamatan

Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian



Keterangan: ● Sub Stasiun Pengamatan  
1. Garden Eel; 2. Pos 2

Gambar 3. Stasiun Pengamatan P. Menjangan

Pulau Menjangan merupakan pulau karang yang tandus dan gersang. Komposisi tanahnya bercampur batuan karang, sehingga vegetasi yang hidup hanya semak belukar dan ilalang.

### **2.5.2. Perairan Amed**

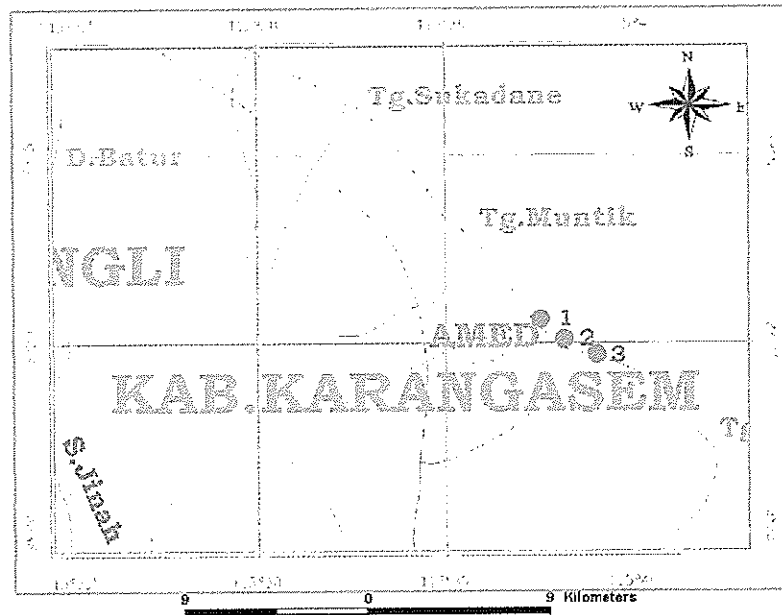
Amed terletak di Desa Culik, Kecamatan Amlapura, Kabupaten Karangasem. Amed secara geografis berada di pantai sebelah timur laut Pulau Bali, terletak antara  $115^{\circ} 37' 20''$  –  $115^{\circ} 40' 52''$  Bujur Timur dan  $08^{\circ} 20' 43''$  –  $08^{\circ} 17' 34''$  Lintang Selatan (Gambar 4).

Amed memiliki pantai yang cukup luas yang lebih dikenal dengan nama Pantai Jemeluk. Panjang garis pantai wilayah Jemeluk sekitar 2 km. Perairan Amed terdiri dari karang hidup, karang berpasir, karang berlumpur, dan pasir hitam serta berbatu.

Kondisi oseanografi daerah perairan dangkal Amed tidak dapat dipisahkan dari perairan terbuka. Wasilun et.al. (1994) dalam Nikijuluw (1998) menyatakan bahwa selama bulan Agustus, perairan relatif lebih dingin dan air laut dengan salinitas yang lebih tinggi mengalir dari Laut Banda melewati daerah Amed ke Laut Jawa. Hal ini menyebabkan adanya karang berlumpur dan pasir hitam pada dasar perairan Amed, disamping itu struktur substrat berbatu dan berpasir hitam juga disebabkan oleh abu dan debu yang berasal dari letusan Gunung Agung (WWF, 1998).

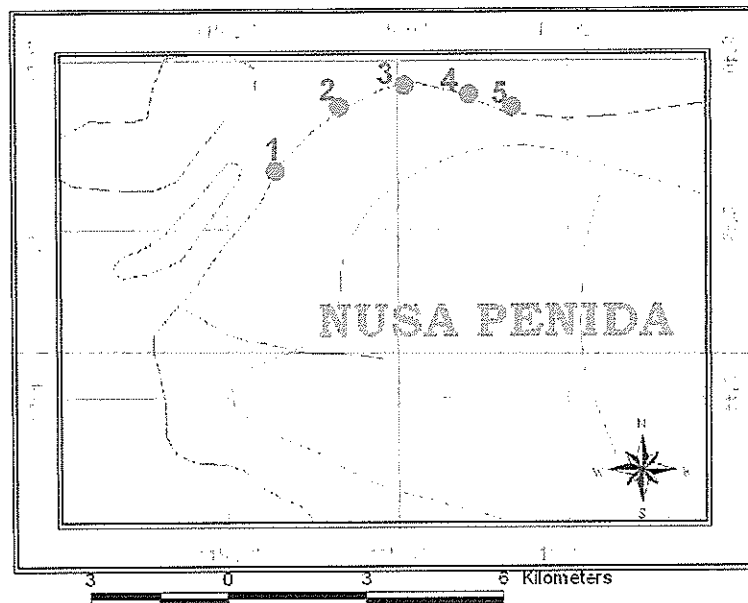
### **2.5.3. Perairan Nusa Penida**

Pulau Nusa Penida secara geografis berada di sebelah tenggara Pulau Bali. Terletak antara  $115^{\circ} 25'$ - $115^{\circ} 37'$  Bujur Timur dan  $8^{\circ} 38'$ - $8^{\circ} 49'$  Lintang Selatan. Batas sebelah barat dan utara Pulau Nusa Penida adalah Selat Badung, sebelah timur dibatasi oleh Selat Lombok, sedangkan sebelah selatan dibatasi oleh Samudera Indonesia (Gambar 5).



Keterangan: ● Sub Stasiun Pengamatan  
1. Reef Check; 2. Kebun Koral; 3. Tebing

Gambar 4. Stasiun Pengamatan Amed



Keterangan: ● Sub Stasiun Pengamatan  
1. Toyopakeh; 2. Bias Muntig; 3. Prapat; 4. Tanah Bias; 5. Bodong

Gambar 5. Stasiun Pengamatan Nusa Penida

Penyebab kerusakan terumbu karang kawasan Nusa Penida antara lain adalah kegiatan pariwisata yang tidak ramah lingkungan dan dampak buangan jangkar, meningkatnya penutupan alga di perairan dan penurunan suhu yang tiba-tiba (Wijonarno, 2000).

Arus yang kuat dan penurunan suhu perairan yang tiba-tiba adalah karakteristik perairan Nusa Penida. Arus yang kuat menjadikan penutupan karang lunak dominan di Nusa Penida.

Data penyebaran karang batu sangat heterogen sedangkan karang lunak homogen. Pola dispersi karang lunak adalah seragam, sedangkan karang batu mengelompok dalam ukuran yang kecil-kecil (Wijonarno, 2000).

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini terbagi atas dua proses, pengambilan data primer berupa data terumbu karang tahun 2000, dan pengolahan data sekunder yaitu data terumbu karang mulai tahun 1996-1999 dan data suhu permukaan laut dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh.

Pengambilan data primer terumbu karang dilaksanakan pada bulan Mei 2000 di Amed dan Nusa Penida, untuk melengkapi data terumbu karang tahun 2000 di kedua stasiun tersebut. Data terumbu karang di Menjangan merupakan data sekunder yang diperoleh dari WWF Wallacea Bioregion Programme Bali.

Proses pengolahan data suhu permukaan laut yang diperoleh dari citra satelit NOAA/AVHRR pada bulan November 2000 dilakukan di Laboratorium *Remote Sensing* dan *Ecology* SEAMEO BIOTROP, Tajur, Bogor.

Lokasi penelitian yang dikaji dalam penelitian ini adalah perairan pesisir pantai Pulau Bali, yaitu di perairan Pulau Menjangan, Kabupaten Buleleng; Amed, Kabupaten Karangasem; dan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Propinsi Bali.

#### 3.2. Bahan dan Alat yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan data sebaran suhu permukaan laut di daerah perairan Laut Jawa dan Laut Flores, dan nilai suhu permukaan laut dari tiap stasiun pengamatan yang dihasilkan dari teknologi penginderaan jauh. Selain itu digunakan juga data pendukung lain berupa data kondisi ekosistem terumbu karang, data suhu permukaan laut sekunder, dan hasil-hasil penelitian mengenai *bleaching* pada karang yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

##### 3.2.1. Data Suhu Permukaan Laut

Dalam estimasi suhu permukaan laut dari data satelit NOAA/AVHRR digunakan beberapa data, antara lain:

### **a. Data Vektor**

Data vektor yang digunakan yaitu peta rupa bumi digital berskala 1:1.000.000 yang diperoleh dari Bakorsutanal dengan sistem proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM) serta datum horizontal yang digunakan adalah Datum DGN 95/WGS 84. Peta digital ini digunakan sebagai acuan dalam proses koreksi geometrik pada pengolahan citra.

### **b. Data Raster**

Data citra yang digunakan adalah NOAA/AVHRR yang didapat dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang mencakup perairan Laut Jawa, Laut Flores, dan Selat Makasar. Data tersebut merupakan data *time series* sebanyak 70 data, namun yang dianalisis dalam penelitian ini hanya sebanyak 24 data saja yang merupakan perwakilan dari setiap bulan, mulai dari bulan Juni 1997 hingga bulan Juni 2000. Data NOAA/AVHRR yang diolah adalah jenis *High Resolution Picture Transmission* (HRPT) kanal-4 Infra Merah Jauh (CH-4) dan kanal-5 Infra Merah jauh (CH-5), dimana fungsi dari kanal-5 merupakan koreksi terhadap data yang diperoleh pada kanal-4.

Dalam pengolahan data penginderaan jauh, alat-alat yang digunakan adalah perangkat lunak ER Mapper 5.5 untuk mengolah citra satelit sampai menjadi data raster, perangkat lunak Surfer 7.0 untuk membaca data dari citra dan menyajikannya dalam bentuk kontur, dan Microsoft Excel untuk pengolahan data statistik.

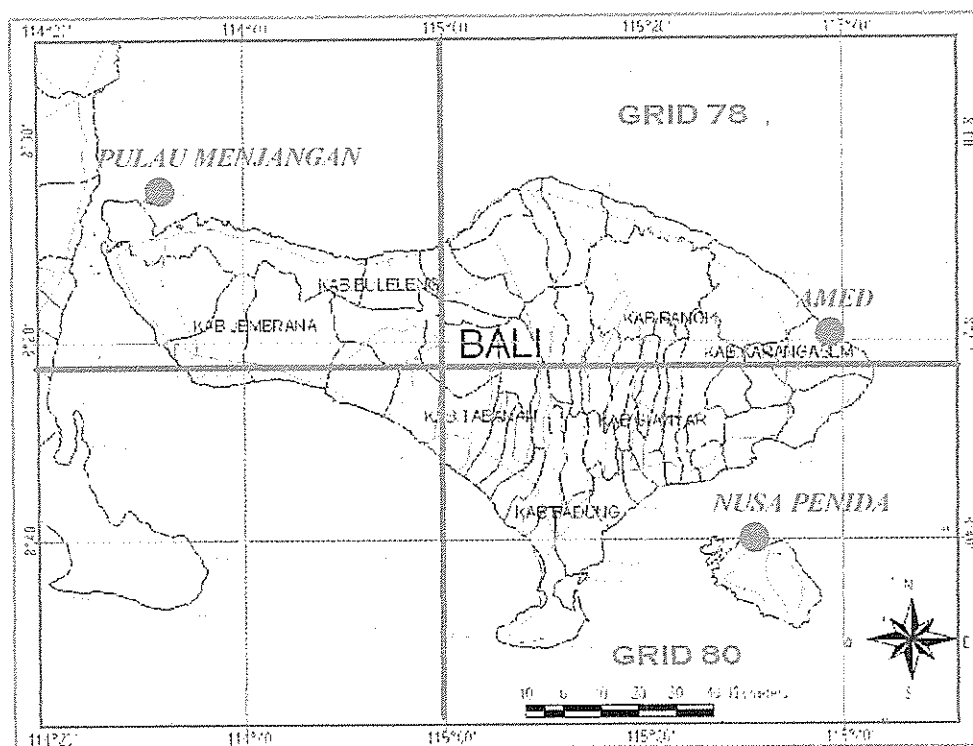
Hardware yang dipakai untuk pengolahan data adalah Pentium II/2.33 lengkap dengan CD-ROM, *disk drive*, *floppy disk* dan Printer Color HP Deskjet 810C.

### **c. Data Sekunder**

Data sekunder suhu permukaan laut diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, mulai dari tahun 1996-2000. Data yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam grid 78 dan 80, yang kedua-duanya terletak antara  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ LS dan  $115^{\circ}$ - $120^{\circ}$ BT, namun dipisahkan oleh Pulau Bali. Adapun grid 78 terletak di sebelah utara P. Bali, sedangkan grid 80 terletak di sebelah selatannya.

Data ini merupakan suatu seri data yang berasal dari rata-rata suhu permukaan laut hasil laporan kapal-kapal yang melintas di perairan sekitar koordinat tersebut di

atas. Dalam penelitian ini, data dari grid 78 diasumsikan dapat mewakili data suhu permukaan laut insitu di daerah Amed, dan data dari grid 80 diasumsikan dapat mewakili suhu permukaan laut di Nusa Penida, sedangkan data sekunder untuk mewakili suhu permukaan laut di Menjangan tidak tersedia. Asumsi ini dibuat supaya dapat digunakan untuk membandingkan suhu hasil metode penginderaan jauh dari citra satelit NOAA/AVHRR dengan suhu insitu hasil metode konvensional.



Gambar 6. Lokasi Pengambilan Data Sekunder Suhu Permukaan Laut

### 3.2.2. Data Terumbu Karang

Data mengenai kondisi ekosistem terumbu karang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rangkaian seri data sekunder mengenai persentase penutupan karang mulai dari tahun 1996-1999 yang berasal dari bank data WWF Wallacea-Bali, dan data primer yang merupakan lanjutan dari data sebelumnya untuk melengkapi seri data tersebut sampai tahun 2000. Adapun lokasi dan titik-titik pengamatan yang diambil sama dengan tahun-tahun sebelumnya, yaitu berdasarkan kepada titik pengamatan yang biasa dilakukan oleh tim peneliti dari WWF-Bali (Gambar 2-4).



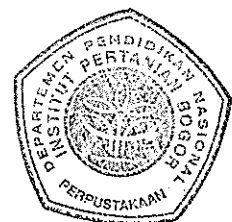
Metode pengambilan data karang yang digunakan adalah metode transek garis (*Line Transect Method*). Pada setiap stasiun pengamatan digunakan dua buah transek sepanjang 50 meter pada dua kedalaman yaitu 3 meter dan 10 meter. Transek diletakkan sejajar garis pantai menurut kontur kedalaman. Kelebihan dari metode ini adalah akurasi dan kualitas data lebih baik, penyajian struktur komunitas seperti persentase penutupan karang hidup atau karang mati, ukuran koloni dan keanekaragaman jenis dapat disajikan secara menyeluruh (Suharsono, 1994).

Data persentase penutupan karang tersebut dikelompokkan menjadi 6 bagian besar, yaitu kelompok *Hard Coral* (HC), *Soft Coral* (SC), *Other* (OT), *Algae*, *Dead Coral* (DC), dan Abiotik. Namun yang digunakan untuk menganalisa fenomena *bleaching* yang terjadi di setiap sub stasiun pengamatan dalam penelitian ini adalah persen penutup *hard coral* (HC) atau karang batu saja. Peningkatan dan penurunan persentase penutupan HC ini diasumsikan sebagai indikator terhadap perubahan kondisi ekosistem terumbu karang karena *bleaching* yang diakibatkan oleh perubahan suhu permukaan laut. Sebelumnya diperiksa terlebih dahulu dari laporan yang sudah ada apakah benar ada terjadi *bleaching* pada saat tersebut.

Hasil dari pengamatan terhadap persentase penutupan karang ini diharapkan dapat mengevaluasi kondisi ekosistem terumbu karang di Bali, sehingga terlihat pola perubahan karang selama 4 tahun terakhir, 1997-2000. Namun, karena keterbatasan data yang ada, maka dibuatlah suatu standarisasi data, yaitu sebagai berikut:

1. Tidak semua data yang ada dapat disertakan dalam penelitian ini. Data yang digunakan adalah yang terdiri dari minimal 3 kali ulangan untuk tiap sub stasiun, dimana yang dianggap sebagai ulangan adalah tahun pengambilan data.
2. Data dikelompokkan menjadi dua kategori menurut kedalaman, yaitu:
  - Kedalaman 3 m, terdiri dari data yang diambil pada kedalaman 1-5 m
  - Kedalaman 10 m, terdiri data yang diambil pada kedalaman 6-10 m (Tabel 1).

Alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data primer terumbu karang antara lain adalah peralatan selam SCUBA, rol meter 50 m, sabak dan pensil untuk mencatat data di bawah air.



### 3.3. Metode Pengolahan Data

#### 3.3.1. Metode Pengolahan Data Citra Satelit NOAA/AVHRR

Pengolahan data raster dilakukan secara sistematis:

##### a. Impor data

Data satelit yang masih berupa data mentah (*raw data*) harus diolah menjadi suatu bentuk data yang lebih informatif dan dapat diinterpretasi dengan mudah.

Kegiatan pengolahan data satelit dari awal hingga akhir terdiri dari pemasukan data (import data) dari CD-Rom ke hardisk komputer dalam bentuk *ASCII Simple Binary* 8-bit BIP grid. Pengolahan ini menggunakan perangkat lunak ER Mapper 5.5 dan akan menghasilkan keluaran data berupa *file* pada media penyimpanan.

Tabel 1. Penyebaran Data pada Stasiun dan Sub Stasiun Pengamatan

Stasiun	Sub Stasiun	Tahun									
		1996		1997		1998		1999		2000	
		3m	10m	3m	10m	3m	10m	3m	10m	3m	10m
Amed	Reef Check			x	x	x	x	x	x	x	x
	Kebun Koran					x		x		x	
	Tebing					x	x		x	x	x
Nusa Penida	Toyopakeh			x	x	x	x	x	x	x	x
	Bias Muntig					x	x	x	x	x	x
	Tanah Bias			x	x	x	x	x	x	x	x
	Prapat					x	x	x	x	x	x
	Bodong			x	x	x	x	x	x	x	x
	Garden Eel	x	x			x				x	x
	Wreck	x	x			x					
Menjangan	Utara Pulau	x	x			x					
	Belakang Pos 2	x	x			x					
	Pos 2	x	x			x				x	x
	Selatan Pura					x					
	Bat Cave									x	x

Keterangan : x = data tersedia

##### b. Koreksi geometrik

Data yang ditransmisikan dari satelit ke bumi akan mengalami distorsi geometrik dan radiometrik. Agar citra dapat dipergunakan perlu dilakukan koreksi

atas distorsi tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat energi objek, letak objek pada peta dan geometrik kenampakan objek pada citra itu nilai digitalnya dipengaruhi oleh atmosfer. Koreksi data berfungsi untuk menanggulangi dan mengurangi distorsi yang ada sehingga akan menciptakan data citra yang lebih teliti.

Pengaruh atmosfer (*Scatering* dan Absorpsi), *noise* pada waktu transmisi data, radiasi, perubahan cahaya dapat menyebabkan distorsi radiometrik. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan koreksi radiometrik yang mana koreksi ini sudah dilakukan oleh stasiun penerima.

Sedangkan distorsi geometrik terjadi karena adanya pergeseran piksel dari letak yang sebenarnya. Distorsi ini dapat dikurangi dengan koreksi geometrik melalui dua tahap, yaitu *coordinate transformation* (transformasi geometrik) dan *resampling*.

Transformasi geometrik dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan titik kontrol ikat (*ground control point*) pada hasil *output* citra yang baru. *Ground Control Point* (GCP) adalah suatu kenampakan geografis yang spesifik dan stabil sifat geometrik dan radiometriknya serta lokasinya dapat diketahui dengan tepat.

Syarat *ground control point* antara lain harus tersebar merata di seluruh citra dan permanen dalam kurun waktu yang lama. Proses penerapan alih ragam geometrik terhadap data asli disebut *resampling*. *Resampling* adalah penentuan titik keabuan pixel yang telah dikoreksi dengan harga keabuan pixel tetangganya pada citra semula. Proses tersebut untuk melakukan eliminasi koordinat GCP sampai menghasilkan nilai RMS (*Root Mean-Square-Error*) lebih kecil dari 0.5 sehingga data yang dihasilkan berada pada posisi yang lebih sesuai dengan keadaan pada peta acuan.

### c. Koreksi nilai radian

#### 1) Kalibrasi radiansi

Sebelum melakukan penghitungan nilai suhu permukaan laut maka dilakukan pengolahan untuk mengkonversi nilai radiansi masing-masing piksel menjadi nilai temperatur perairan. Koreksi radiansi terdiri dari koreksi radiansi linier dan non-linier.

Untuk mendapatkan nilai radiansi linier ( $L_i$ ), harus diketahui nilai  $G$  (*slope*) dan  $I$  (*intercept*). Rumus perhitungan nilai  $G$  (*slope*) dan  $I$  (*intercept*) dalam proses koreksi nilai radiansi adalah sebagai berikut:

$$G = \frac{L_{i,s} - L_{i,t}}{N_{i,s} - N_{i,t}}$$

$$I_i = L_{i,s} - G_i \cdot N_{i,t}$$

Keterangan:

$L_{i,s}$  = radiansi untuk kanal ke- $i$

$L_{i,t}$  = radiansi internal target untuk kanal ke- $i$

$N_{i,s}$  = radiansi digital kanal ke- $i$

$N_{i,t}$  = bilangan digital internal target kanal ke- $i$

$G_i$  = nilai slope untuk kanal ke- $i$

$I_i$  = nilai intercept untuk kanal ke- $i$

Proses konversi nilai digital (*radiometer count*) menjadi nilai radiansi dirumuskan sebagai berikut:

$$L_i = G_i \times N_i \cdot F + I_i$$

Dimana:  $L_i$  : radiansi linier kanal ke- $i$

$G_i$  : slope kanal ke- $i$

$N_i$  : nilai digital (digital number)

$F$  : konstanta kesetaraan data AVHRR

$F=1$  untuk data 10 bit;  $F=4$  untuk data 8 bit

$I_i$  : intersep kanal ke- $i$

Data masukan yang digunakan adalah data AVHRR 8 bit sehingga digunakan konstanta  $F$  sama dengan 4 sebagai faktor koreksi dalam persamaan tersebut.

Pada kanal 4 dan 5, ada koreksi non-linier terhadap nilai radiansi linier yang dihitung berdasarkan nilai slope dan intercep.

- Koreksi radiansi non-linier terhadap kanal 4 ( $i=4$ ) :

$$L_4 \text{ lin} = G_4 \cdot N_4 \cdot F + I_4$$

$$L_4 \text{ non-lin} = 3,72 - 0,0763 \cdot L_4 \text{ lin} + 0,0003833 \cdot L_4 \text{ lin}^2$$

$$L_4 \text{ total} = L_4 \text{ lin} + L_4 \text{ non-lin}$$

- Koreksi radiansi non-linier terhadap kanal 5 (i=5) :

$$L5 \text{ lin} = G5 * N5.F + I5$$

$$L5 \text{ non-lin} = 2,00 - 0,0381 * L5 \text{ lin} + 0,0001742 * L5 \text{ lin}^2$$

$$L5 \text{ total} = L5 \text{ lin} + L5 \text{ non-lin}$$

## 2) Komputasi temperatur kecerahan

Temperatur kecerahan ( $T_b$ ) diperoleh dari proses konversi nilai radiansi ( $L_i$ ), menggunakan algoritma multikanal yaitu kanal 4 dan kanal 5.

Temperatur kecerahan (*brightness temperature*) diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$T_b = \frac{\beta}{(\ln(L_i) - \alpha)}$$

Dimana:  $T_b$ : suhu kecerahan                       $\alpha, \beta$ : konstan

$L_i$ : radiansi kanal ke-I

Konstanta  $\alpha$  dan  $\beta$  untuk masing-masing kanal 4 dan kanal 5 AVHRR satelit NOAA adalah sebagai berikut:

Kanal	Konstanta $\alpha$	Konstanta $\beta$
4	9.2227	-1352.250
5	8.9824	-1244.250

Lalu hasil dari perhitungan suhu kecerahan ini dikoreksi terhadap ketidakinieran sensor, dengan perhitungan sebagai berikut:

⇒ dinyatakan dalam persamaan:

$$T_{tb} = a_2 + b_2 T_b \lambda$$

Keterangan:  $T_{tb}$  = suhu kecerahan yang sudah dikoreksi

$T_b$  = suhu kecerahan

$A, b, \lambda$  = parameter koreksi

## 3) Komputasi temperatur air

Temperatur air untuk masing-masing kanal diperoleh dengan memasukkan nilai koreksi emisivitas air ( $\epsilon$ ) yang nilainya 0,98. Persamaan yang digunakan untuk menghitung temperatur air ( $T_{w_n}$ ) adalah :

$$T_w = \frac{C_2 \cdot \gamma_n}{\ln(1 - \epsilon + \epsilon \cdot \exp(C_2 \cdot \gamma_n / T_b))}$$

Dimana:  $T_w$  = temperatur air

$C_2$  = konstanta radiasi surya (1.438833 cm<sup>0</sup>K)

$\gamma_n$  = bilangan gelombang radiansi efektif untuk kanal tertentu

$T_b$  = suhu kecerahan

$\epsilon$  = emisivitas air (0,98 yang digunakan oleh LAPAN)

#### d. Analisis hasil liputan awan

Proses selanjutnya, yang akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ER Mapper 5.5, adalah memisahkan antara daratan, laut, dan awan sehingga awan dan darat mempunyai nilai yang sama, tetapi berbeda dengan nilai laut. Nilai suhu awan berasal dari tiga kelas kisaran suhu, yaitu  $< 0^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}-18^{\circ}\text{C}$ , dan  $>31^{\circ}\text{C}$ . Kedua kelas pertama diberi nilai  $0^{\circ}\text{C}$  pada tampilan citra dan kelas ketiga diberi nilai  $32^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan yang termasuk dalam kelas suhu laut adalah  $18^{\circ}\text{C}-31^{\circ}\text{C}$ .

Untuk menentukan SPL dengan data satelit cuaca NOAA/AVHRR diasumsikan bahwa atmosfer dalam keadaan cerah. Analisa liputan awan dilakukan dengan menggunakan kanal 2. Penggunaan kanal 2 bertujuan untuk memeriksa wilayah yang diamati bebas dari awan sehingga nilai suhu yang diperoleh dari estimasi data digital mempunyai nilai bias yang kecil dari SPL yang sebenarnya.

#### e. Perhitungan SPL

Algoritma yang digunakan untuk perhitungan SPL dalam penelitian ini adalah yang hanya menggunakan dua kanal yaitu dengan metode dari hasil pengembangan McMillin dan Crosby. Pemilihan metode ini adalah karena metode ini dianggap paling sesuai untuk perairan Indonesia dengan tingkat deviasi  $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$  untuk estimasi malam hari dan  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  untuk estimasi siang hari dari suhu perairan sebenarnya.

Rumus perhitungan suhu permukaan laut berdasarkan McMillin & Crosby tersebut yaitu (Pellegrini dan Penrose, 1986):

$$\text{SPL} = [T_{w_4} + 2.702 (T_{w_4} - T_{w_5}) - 0.582] - 273^{\circ}\text{C}$$

Dimana:  $T_{w_4}$  = suhu emisivitas kanal 4

$T_{w_5}$  = suhu emisivitas kanal 5

Penentuan suhu permukaan laut dengan metode McMillin & Crosby menggunakan citra dari kanal 4 dan 5 yang di *overlay*. Keluaran dari proses ini sudah merupakan nilai dari suhu permukaan laut.

Langkah-langkah dalam proses ekstraksi suhu permukaan laut dari data NOAA/AVHRR dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 3.3.2. Metode Pengolahan Data Terumbu Karang

Data terumbu karang yang terkumpul mulai dari tahun 1996-1999 diperoleh dari WWF Wallacea Bioregion Programme, Bali, Indonesia berupa hasil perhitungan persentase penutupan karang berdasarkan kategori bentuk pertumbuhan (*life form*) pada kedalaman 3 m dan 10 m. Sedangkan data primer tahun 2000 juga diolah menjadi persentase penutupan dengan rumus berikut ini (Odum, 1971):

$$n_i = \frac{l_i}{L} \times 100 \quad \%$$

Keterangan:  $n_i$  = Persentase penutupan *life form* karang ke-i

$l_i$  = Panjang total suatu jenis *lifeform* terumbu karang ke-i (cm)

$L$  = Panjang transek garis (50 m)

Data persentase penutupan karang batu diplotkan dalam grafik untuk melihat fluktuasi tahunannya, lalu dibandingkan dengan fluktuasi tahunan perubahan rata-rata suhu permukaan laut. Adanya data yang diambil lebih dari satu kali dalam setahunnya, akan diuraikan kembali menjadi besarnya kemunculan kategori itu dalam tiap transek sehingga didapat suatu besaran dengan satuan m. Setelah itu dijumlahkan total besar kemunculannya, kemudian dibagi kembali dengan jumlah total panjang transek pengamatan dalam tahun tersebut. Hasil perhitungan tersebut akan menjadi nilai persentase penutupan karang batu dalam sub stasiun tersebut (Purwanto, *komunikasi pribadi*).

## 3.4. Metode Analisis Data

### 3.4.1. Analisis Visual dan Temporal Data Suhu Permukaan Laut

Analisis visual dan temporal data spl hanya dilakukan terhadap data citra NOAA/AVHRR, sedangkan data spl sekunder hanya dianalisis secara temporal.

Citra digital satelit NOAA/AVHRR diolah dengan mengubah nilai digital dari tingkat keabuan menjadi nilai suhu permukaan laut dalam derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Pengolahan data digital ini dapat dilakukan dengan cepat karena mampu membedakan nilai piksel sampai 256 tingkat keabuan. Analisa visual dilakukan terhadap tampilan citra SPL hasil olahan sedangkan analisis temporal citra suhu permukaan laut dilakukan berdasarkan rata-rata bulanan dan tahunan suhu permukaan laut pada tiap stasiun pengamatan. Kedua hasil analisa ini dipergunakan untuk melihat distribusi sebaran SPL di perairan Bali dalam mengkaji fenomena *bleaching* yang terjadi pada ekosistem terumbu karang di daerah tersebut.

#### **3.4.2. Analisis Data Terumbu Karang dalam Mengkaji Fenomena *Bleaching***

Data mengenai kondisi terumbu karang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data persen penutupan karang batu di Amed, Nusa Penida, dan Menjangan, yang mencakup data dari tahun 1997-2000. Dari data ini dapat terlihat suatu pola perubahan kondisi ekosistem terumbu karang yang akan dikaitkan dengan hasil-hasil penelitian mengenai terjadinya fenomena *bleaching* yang terjadi pada lingkup waktu yang sama.

#### **3.4.3. Analisis Spasial (Keterkaitan antara Data Suhu Permukaan Laut dari Citra Satelit NOAA/AVHRR dengan Terjadinya Fenomena *Bleaching*)**

Dari rangkaian data suhu permukaan laut hasil olahan citra satelit, dapat dilihat suatu pola atau *trend* perubahan suhu permukaan laut selama tahun 1997 sampai 2000. Melalui pola ini dapat diperoleh informasi mengenai besarnya perubahan suhu permukaan laut yang terjadi, juga waktu terjadinya perubahan tersebut. Informasi ini akan dikaitkan dengan data kondisi ekosistem terumbu karang, dan dianalisis secara deskriptif, dan kemudian dicocokkan dengan hasil laporan penelitian mengenai fenomena *bleaching*.



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perubahan Suhu Permukaan Laut

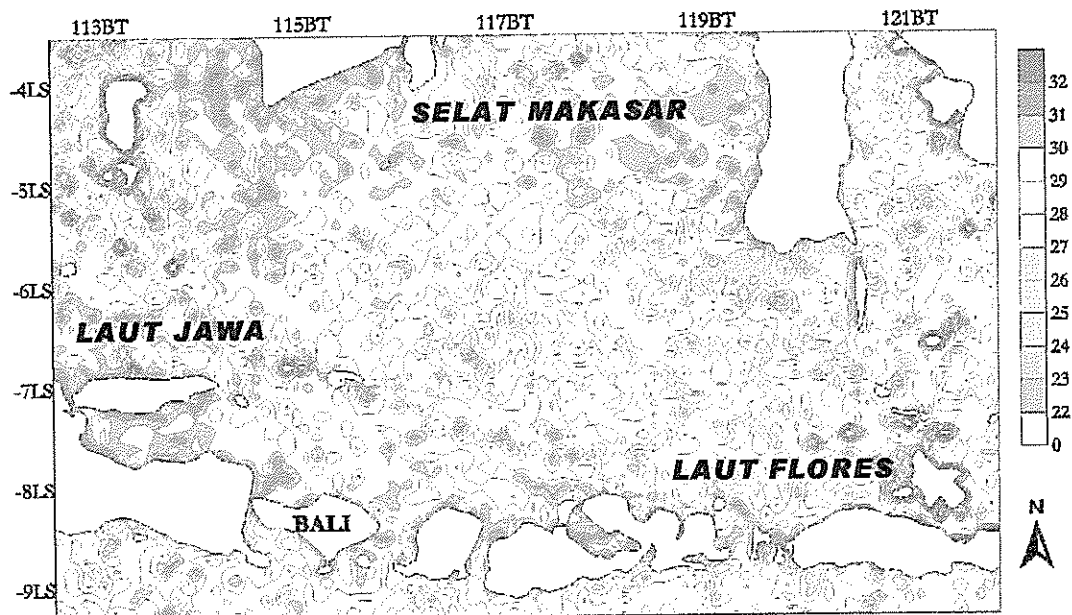
#### 4.1.1. Perubahan Visual Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR

Visualisasi citra suhu permukaan laut pada bulan Juni 1997 dari satelit NOAA/AVHRR menunjukkan suatu pola sebaran yang heterogen. Nilai suhu permukaan laut berkisar antara 27°C–30°C, dimana kontur suhu membentuk pola yang teratur dari arah timur ke barat, yaitu urutan nilai suhu yang semakin tinggi, mulai dari 27°C, kemudian suhu 28°C, dan 29°C dengan sedikit suhu 30°C. Nilai suhu ini dapat dilihat berdasarkan warna-warna pada tampilan citra yang menunjukkan degradasi warna dari warna hijau di bagian timur, semakin ke barat mulai berubah menjadi kuning, dan oranye dengan sebagian kecil warna merah tua pada daerah tepi pantai atau perairan yang dekat dengan daratan (Gambar 7).

Arus permukaan yang melewati perairan Laut Flores dan Laut Jawa pada bulan Juni bergerak dari timur ke barat. Arus dari Selat Makasar juga masuk ke perairan ini dan menuju ke barat (Wyrtki, 1961). Diperkirakan bahwa arus yang berasal dari timur membawa massa air yang bersuhu rendah ke perairan Laut Flores dan Laut Jawa sehingga massa air yang lebih hangat menjadi semakin terdesak ke barat. Hal ini dapat dilihat dari tampilan citra dimana bagian barat citra berwarna merah yang menunjukkan suhu tinggi sedangkan bagian timur citra perairan berwarna hijau-kekuningan yang menunjukkan suhu lebih rendah.

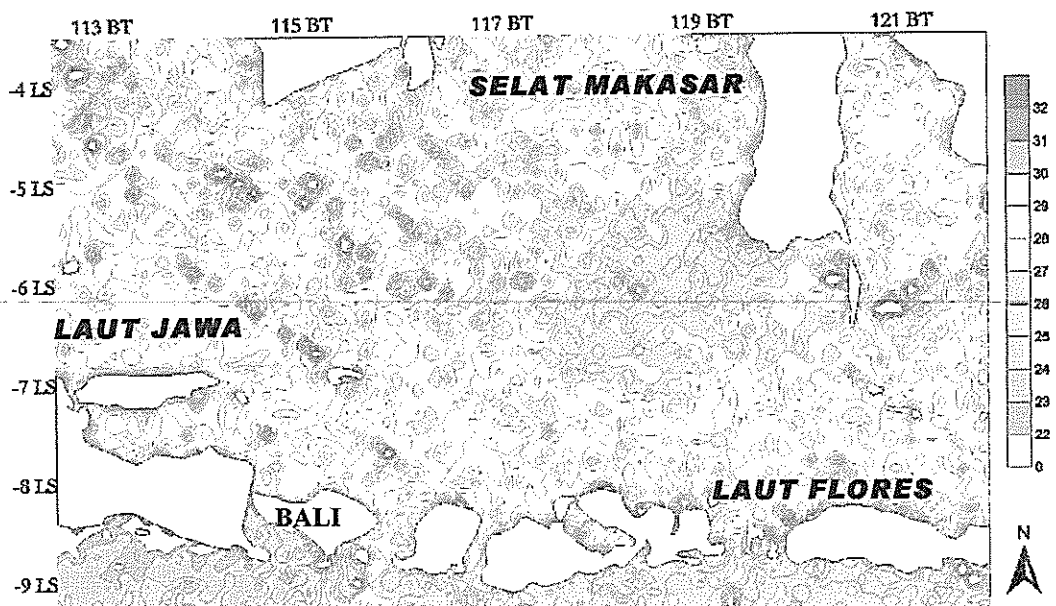
Pada bulan Juli suhu dominan menurun, lebih rendah daripada bulan Juni, berkisar antara 27°C–28°C. Suhu 27°C bergerak ke barat semakin jauh sehingga menyebar rata di seluruh lokasi pengamatan. Bahkan terlihat suhu-suhu rendah antara 23°C–24°C di selatan Jawa, lokasi ini diperkirakan merupakan tempat terjadinya upwelling (Gambar 8).

Masuknya massa air dingin ini berasal dari Samudera Pasifik karena arus berasal dari arah timur. Adapun salah satu jalur masuknya massa air dari Samudera Pasifik ke perairan Indonesia adalah melalui Utara Pulau Halmahera, Laut Maluku,



Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 03 Juni 1997

Gambar 7. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 03 Juni 1997.



Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 19 Juli 1997

Gambar 8. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 Juli 1997.

Selat Lifomatola, Laut Buru, Laut Banda selatan menuju Laut Flores dan Laut Jawa (Wyrcki, 1961).

Pada bulan September 1997, visualisasi citra spl hampir seluruhnya didominasi oleh warna hijau, yang menunjukkan nilai suhu  $26^{\circ}\text{C}$ - $27^{\circ}\text{C}$  (Gambar 9). Bulan ini merupakan awal dari musim peralihan II, dimana arah arus permukaan selalu berubah-ubah.

Menurut Wyrcki (1961), arah arus permukaan yang masuk ke perairan Laut Jawa dan Flores berasal dari Selat Makasar yang kemudian berpecah ke arah barat dan Timur. Dari tampilan citra, terlihat adanya warna hijau bersuhu  $27^{\circ}\text{C}$  pada kontur suhu yang membentuk aliran menuju barat. Aliran ini membawa sedikit massa air hangat, yaitu massa air yang berwarna kuning di sebelah barat Sulawesi Selatan dan utara Jawa Timur sampai Lombok. Sedangkan aliran yang menuju timur, diperkirakan tidak membentuk suhu hangat di perairan Laut Flores dan sekitarnya, bahkan muncul warna biru yang menunjukkan nilai suhu  $23^{\circ}\text{C}$ - $24^{\circ}\text{C}$  di sebagian Laut Flores.

Hal ini diduga erat hubungannya dengan adanya peristiwa upwelling di selatan Sulawesi Tenggara, yang membawa massa air dari kolom ke permukaan yang bersuhu rendah dan kaya nutrisi (Wyrcki, 1961). Akibat adanya upwelling ini, massa air yang lebih hangat yang berasal dari Selat Makasar bercampur dengan massa air dari upwelling, sehingga tidak terbentuk massa air hangat di bagian timur, seperti yang terjadi di bagian barat.

Memasuki bulan November, akhir dari musim peralihan II, angin yang bertiup dari timur ke barat mulai berkurang, bahkan mulai digantikan oleh angin yang bertiup dari sisi barat Sumatera menuju ke timur. Pada visualisasi citra spl bulan November 1997, suhu perairan sudah semakin meningkat, menandai dimulainya musim barat, dimana suhu perairan menjadi lebih hangat dibandingkan dengan musim-musim lainnya. Hal ini disebabkan karena posisi matahari berada di sebelah selatan khatulistiwa sehingga perairan sebelah selatan khatulistiwa lebih banyak mendapat penyinaran sinar matahari. Melalui tampilan citra, terlihat bahwa suhu perairan bagian barat citra tetap lebih hangat daripada bagian sebelah timur citra. Jika

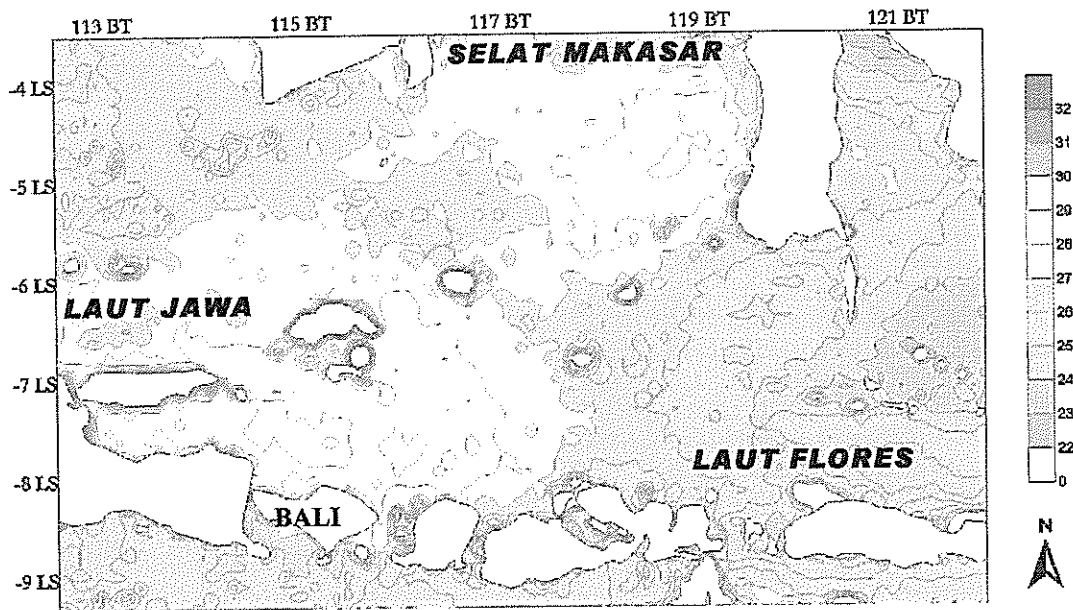
dibandingkan dengan bulan sebelumnya, suhu perairan rata-rata menjadi lebih tinggi, terlihat dari warna-warna merah dan kuning yang kini mendominasi perairan sebelah barat dan warna hijau di sebelah timur (Gambar 10).

Peningkatan suhu ini terus berlangsung sampai bulan Desember 1997, bahkan sampai bulan Januari dan Februari 1998, dimana warna kuning menjadi berkurang, dan warna yang mendominasi perairan berubah menjadi merah yang menunjukkan nilai suhu 29°C-30°C (Gambar 11-13).

Bulan Desember sampai Februari termasuk ke dalam musim Barat. Arus sudah sepenuhnya bergerak ke arah timur. Arus tersebut berasal dari Filipina yang masuk ke Selat Makasar, masuk ke Laut Flores lalu menuju ke timur. Hal ini terlihat dari tampilan citra, bahwa dari bulan Desember ke Januari, massa air hangat bergeser ke arah timur, sehingga perairan sebelah timur menjadi lebih hangat. Sedangkan massa air yang masuk ke Laut Jawa berasal dari Selat Karimata. Angin yang bertiup berasal dari barat laut menuju timur, yaitu dari daratan Asia yang banyak membawa kandungan uap air sehingga banyak terbentuk awan (Wyrcki, 1961). Awan dan bayangan awan ditunjukkan pada tampilan citra sebagai warna putih.

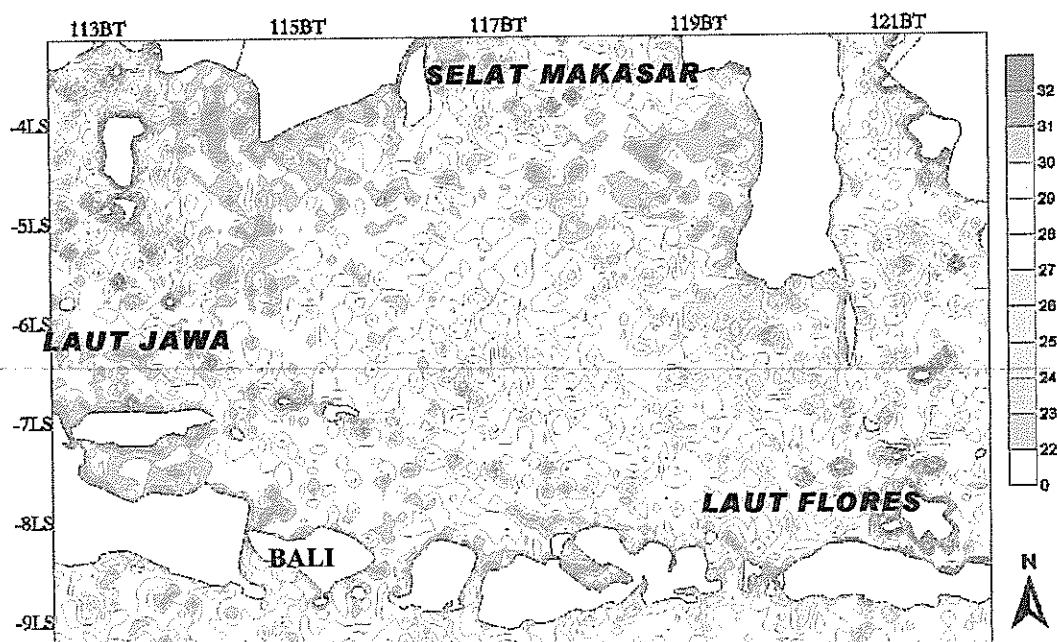
Visualisasi citra bulan Maret-Mei 1998 menunjukkan bahwa pada musim peralihan I, suhu perairan masih didominasi oleh suhu tinggi, antara 29°C-32°C. Menurut Wyrcki (1961), arus permukaan pada musim peralihan selalu berubah-ubah. Arus dari Selat Makasar menuju ke barat, kemudian membelok di utara Jawa dan Bali menuju ke arah timur. Arus dari sebelah timur Sulawesi menyusur pantai selatan Sulawesi menuju ke arah barat, lalu di pertemuan dengan arus dari Selat Makasar ikut berbelok ke arah timur (Gambar 14-16).

Pada tampilan citra bulan Maret 1998, belum terlihat pola pergerakan massa air yang jelas. Warna merah di perairan tersebar tidak teratur. Pada tampilan citra bulan April 1998, terlihat bahwa perairan sebelah timur bersuhu lebih tinggi daripada perairan sebelah barat, sedangkan pada tampilan citra bulan Mei 1998, terlihat bahwa perairan sebelah barat bersuhu lebih tinggi daripada perairan sebelah timur. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi arus permukaan yang berubah-ubah arahnya sehingga massa air yang hangat bergeser tidak teratur. Namun pada akhir musim peralihan



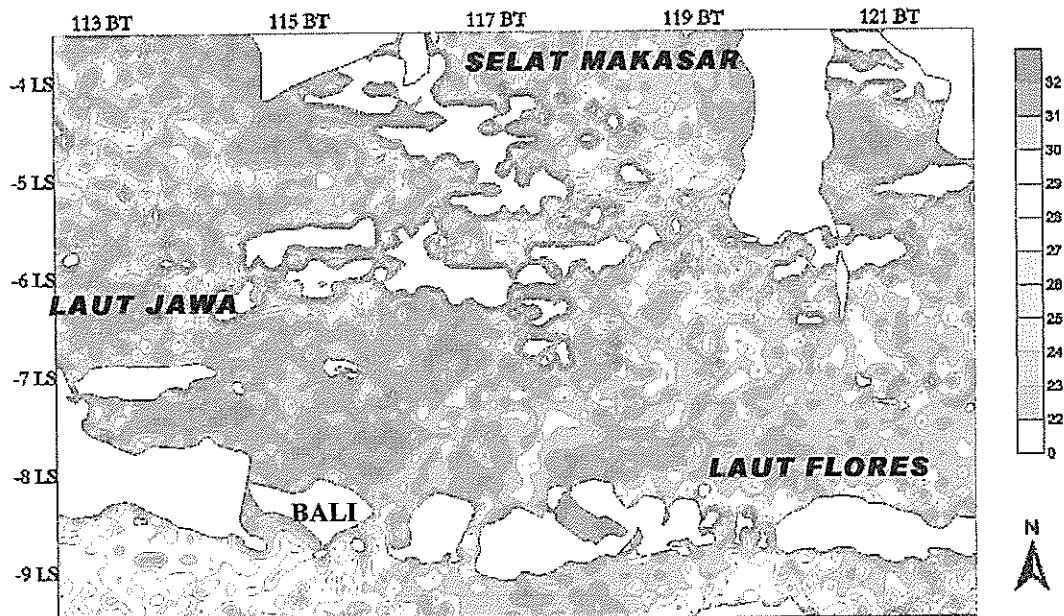
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 19 September 1997

Gambar 9. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 September 1997.



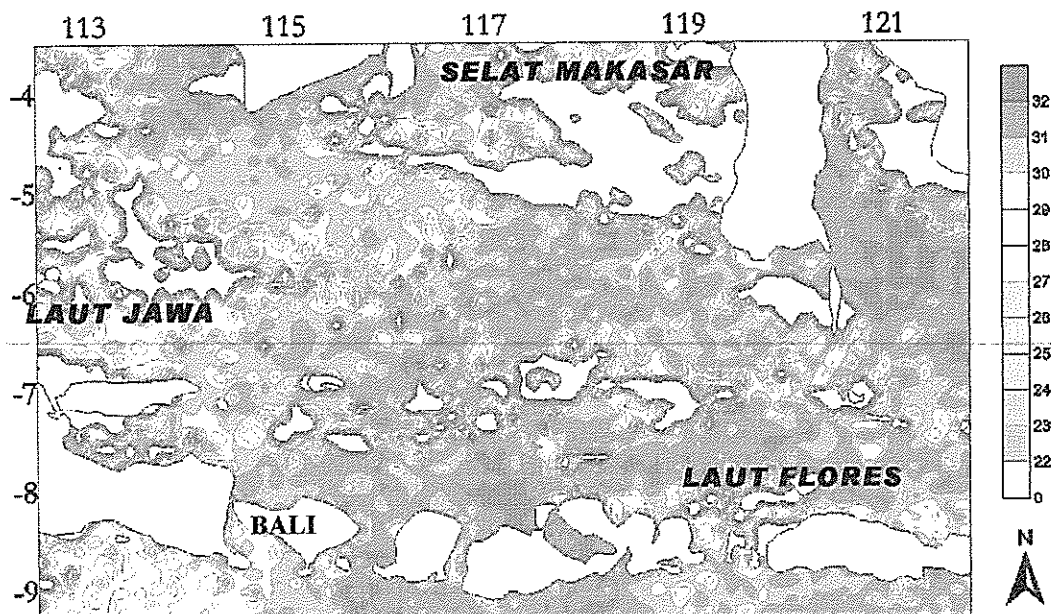
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 04 November 1997

Gambar 10. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 04 November 1997.



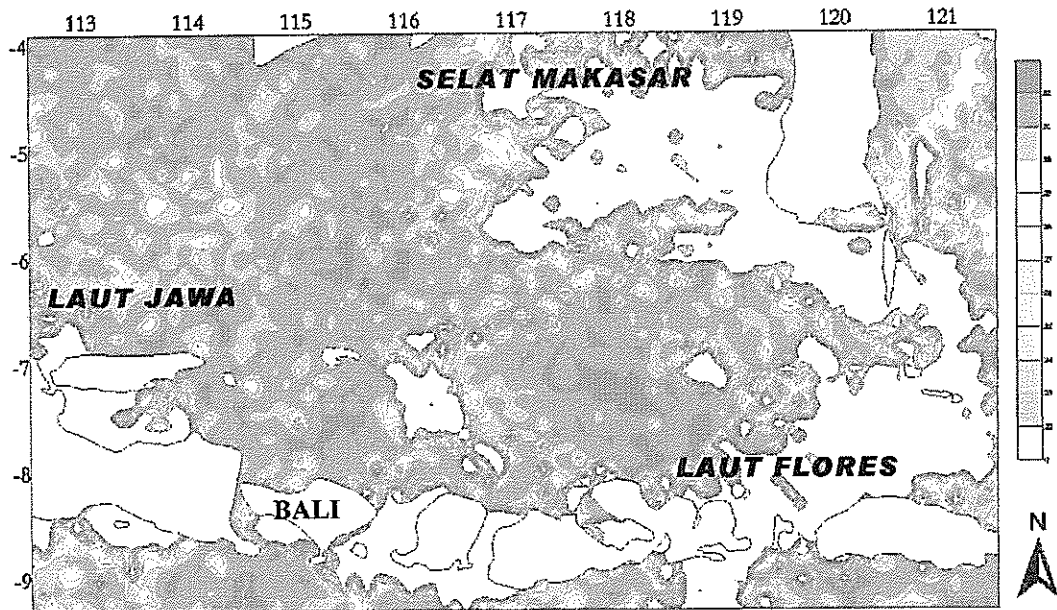
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 31 Desember 1997

Gambar 11. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 31 Desember 1997.



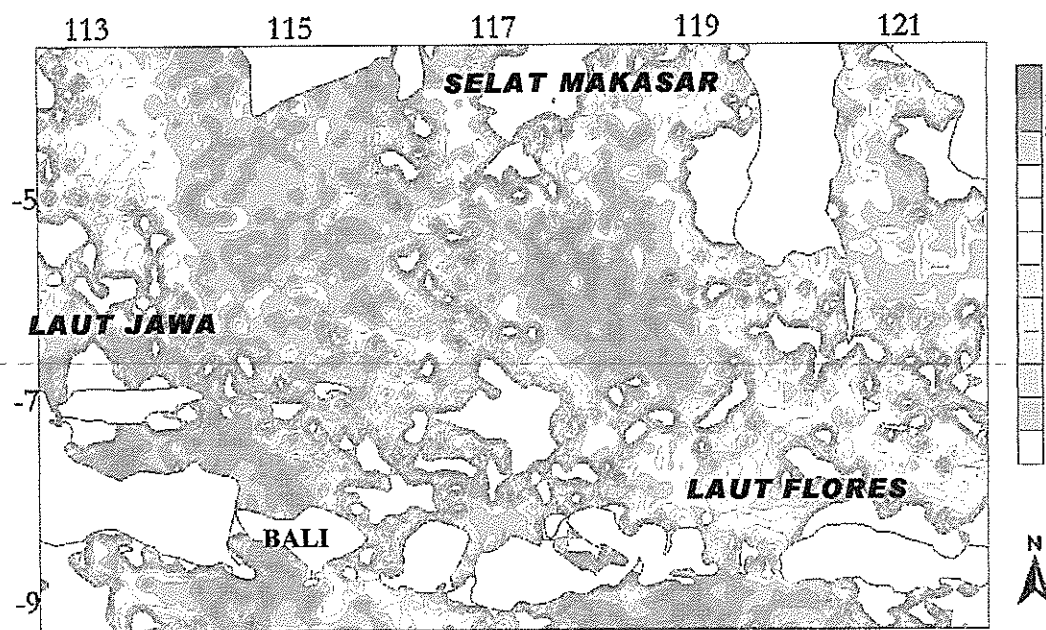
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 09 Januari 1998

Gambar 12. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 09 Januari 1998.



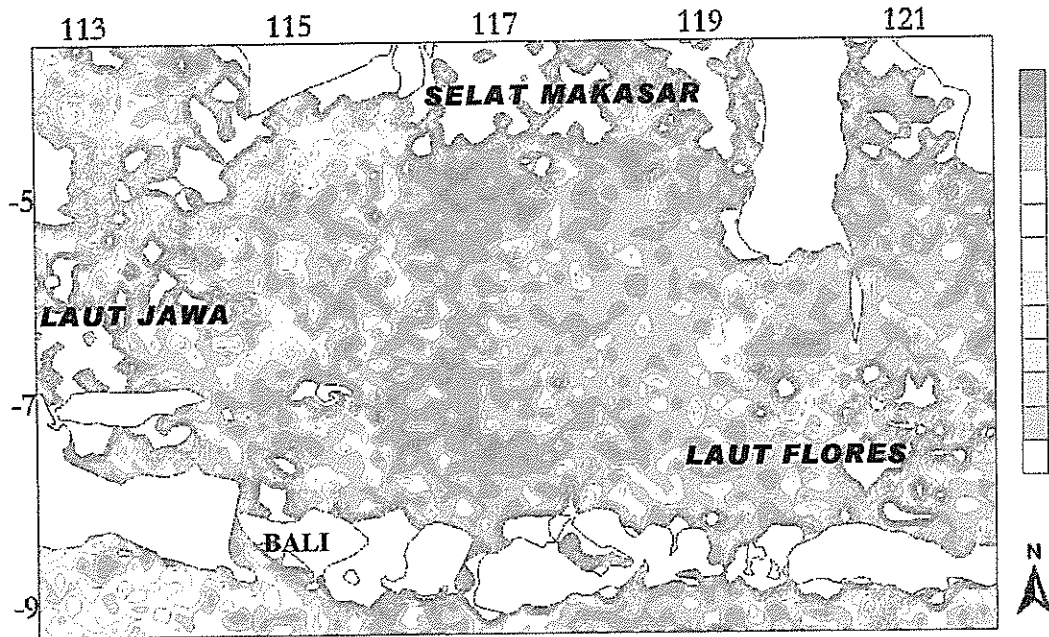
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 13 Februari 1998

Gambar 13. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 13 Februari 1998.



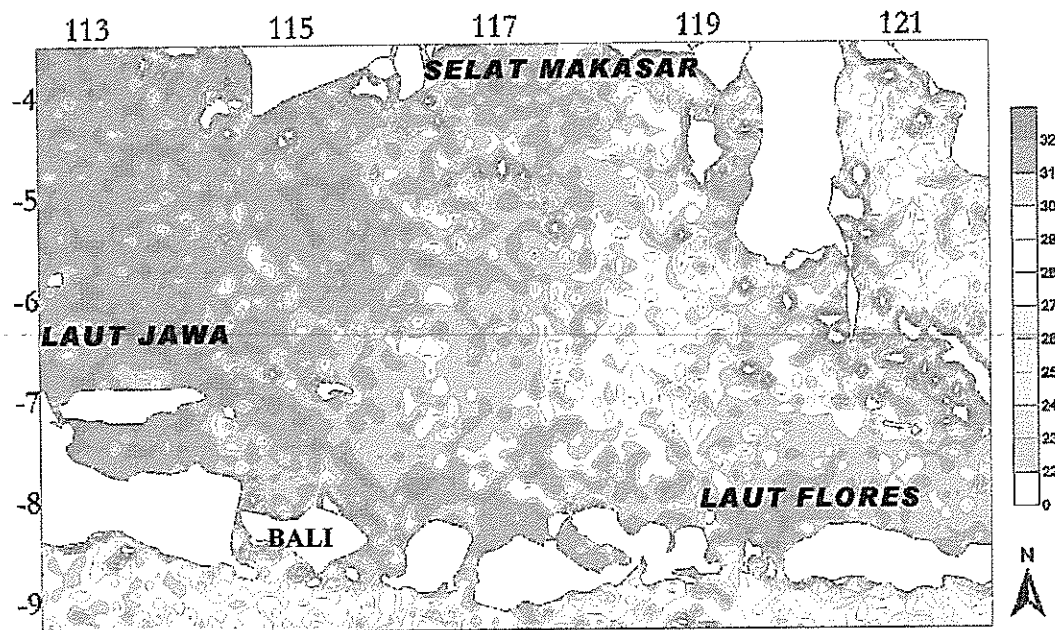
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 03 Maret 1998

Gambar 14. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 03 Maret 1998.



Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 10 April 1998

Gambar 15. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 10 April 1998.



Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 23 Mei 1998

Gambar 16. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 23 Mei 1998.

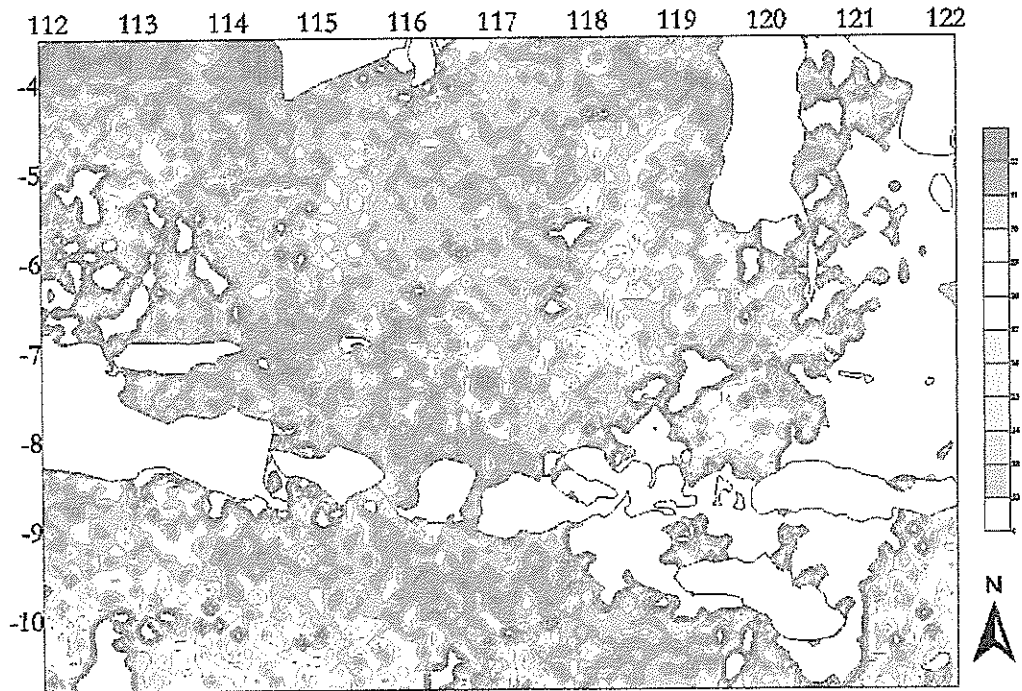


yaitu bulan Mei, massa air hangat bergeser ke arah barat. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh musim timur sudah mulai timbul.

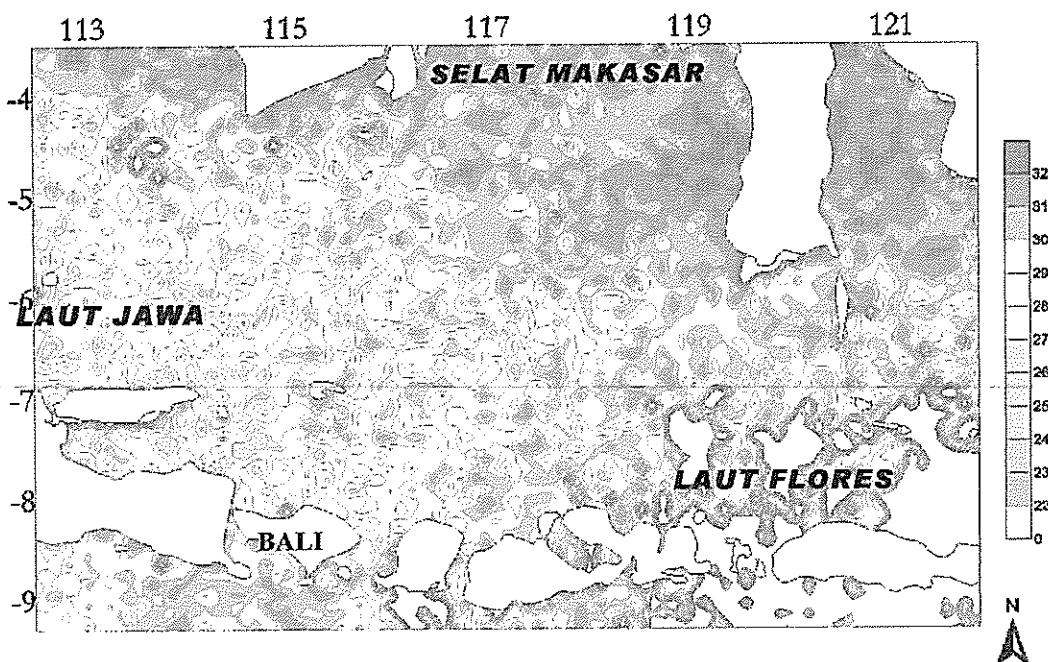
Pada tampilan citra spl bulan Juni 1998, arus permukaan membawa massa air hangat menuju timur, demikian pula terjadi pada bulan Juli 1998. Terlihat bahwa massa air yang berwarna merah bergerak semakin ke timur (Gambar 17). Pola kontur suhu permukaan laut yang terbentuk pada tampilan citra spl tahun ini sangat jauh berbeda dengan tampilan citra pada bulan Juni 1997 (Gambar 7). Pada tampilan citra bulan Juni 1997 masih dijumpai massa air yang bersuhu 26°C-27°C, sedangkan pada tampilan citra bulan Juni 1998 seluruh perairan berwarna merah dengan nilai suhu berkisar antara 29°C-31°C. Perbedaan yang sangat mencolok ini sangat mungkin berhubungan erat dengan terjadinya gejala *El Nino Southern Oscillation* pada tahun 1997 dan *La Nina* yang terjadi pada tahun 1998.

*El Nino Southern Oscillation* merupakan suatu penyimpangan cuaca global yang ditunjukkan oleh naiknya suhu permukaan laut di Pasifik sampai ke daratan Amerika Latin. Pada saat El Nino terjadi, angin yang bertiup dari timur Pasifik menuju Indonesia menjadi lemah sehingga kolom massa air hangat yang biasanya berada di perairan timur laut Indonesia tidak terbentuk. Akibatnya massa air hangat yang biasanya bertolak karena angin tersebut ke arah barat Pasifik menjadi tersebar di sekitar ekuatorial Pasifik. Karena itulah suhu permukaan laut di Indonesia cenderung lebih rendah daripada biasanya ketika tidak terjadi El Nino. Kekuatan El Nino yang terjadi tahun 1997 ini sangat besar karena massa air hangat tersebut telah mencapai pantai barat Amerika Latin.

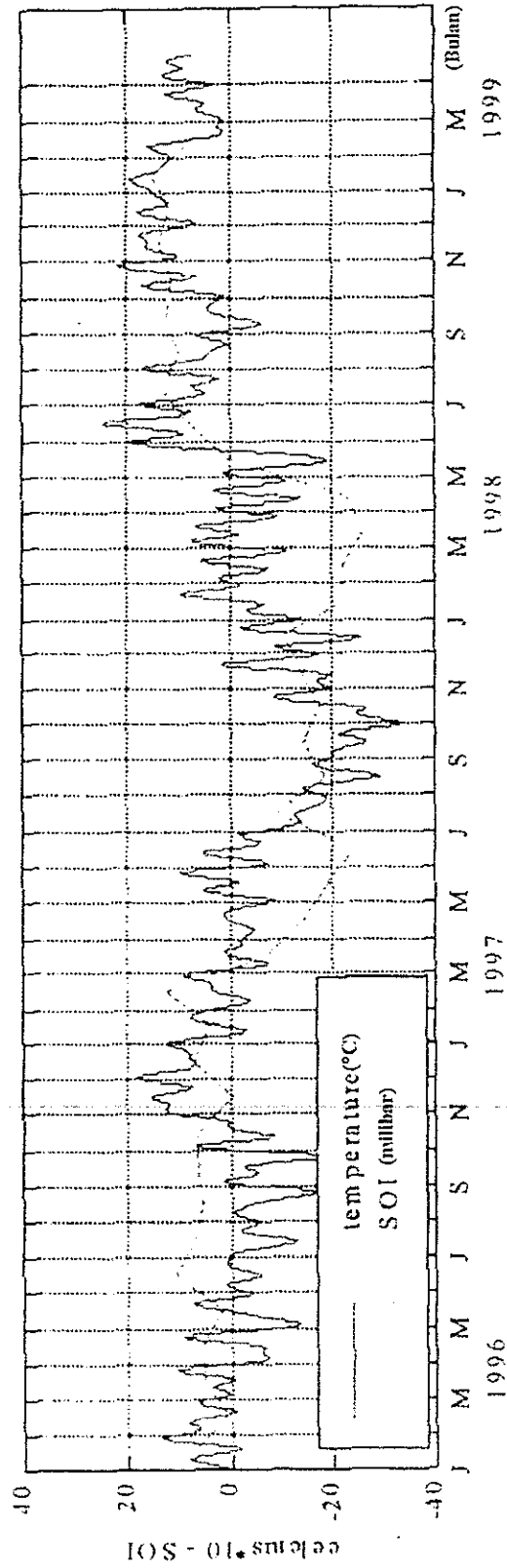
Berdasarkan nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) dalam penelitian Irmudiyawati (2000), pada bulan Juni 1997 sampai April 1998 terjadi nilai SOI terendah, kemudian meningkat kembali dengan cepat pada bulan Mei 1998, lalu stabil pada nilai tinggi tersebut sampai akhir tahun 1998. Nilai SOI yang rendah berlangsung merupakan indikator kekuatan El Nino, semakin rendah nilai SOI maka kekuatan El Nino itu akan semakin besar, sebaliknya nilai SOI yang tinggi merupakan indikator terjadinya masa La Nina, semakin tinggi nilai SOI semakin besar pula kekuatan La Nina (Gambar 18).



Gambar 17. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 11 Juni 1998.



Gambar 19. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 01 Juli 1998.



Sumber : (Irmudyawati, 2000)

Gambar 18. Southern Oscillation Index (SOI)

Pada bulan Mei 1998, memang terjadi nilai suhu permukaan laut yang tinggi di perairan, dan hal itu terjadi bersamaan dengan meningkatnya nilai SOI. Peningkatan nilai SOI berhenti pada bulan Juli 1998 dan terus stabil pada nilai tersebut sampai tahun 1999. Reaksi kebalikan ini merupakan indikator terjadinya La Nina yang ditunjukkan oleh nilai SOI positif terbesar yang menyebabkan suhu rata-rata permukaan laut di Bali meningkat (Gambar 18).

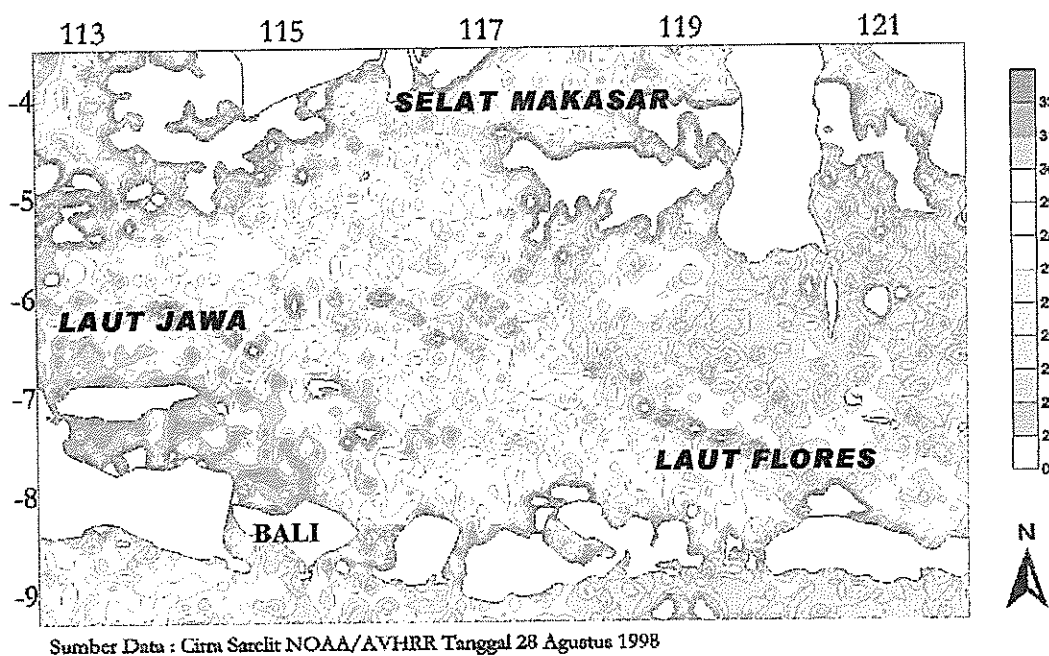
Bila dicocokkan dengan grafik hubungan antara suhu laut dengan nilai SOI (Gambar 18), terlihat bahwa pada saat nilai SOI turun pada bulan Juni 1997, sebaran suhu permukaan laut dari tampilan citra menunjukkan suhu yang rendah dibandingkan dengan tampilan citra pada bulan yang sama tahun-tahun berikutnya. Sayangnya sekali tidak ada citra pada bulan Juni tahun sebelumnya, sehingga tidak dapat dibandingkan apakah benar suhu permukaan laut tahun 1997 lebih rendah daripada tahun-tahun lain karena yang tidak terkena El Nino.

Bila dibandingkan dengan tampilan citra suhu permukaan laut pada bulan Juni 1998, suhu permukaan laut pada bulan Juni tahun 1999 dan 2000 tidak terlalu tinggi. Namun pada bulan Juli dan Agustus 1998, warna merah mulai berkurang, hanya bagian timur dari citra yang berwarna merah pada bulan Juli sedangkan pada bulan Agustus suhu dominan sudah kembali menjadi suhu 27°C-28°C dan warna perairan pada tampilan citra sudah berubah menjadi hijau dan kuning kembali (Gambar 19-20).

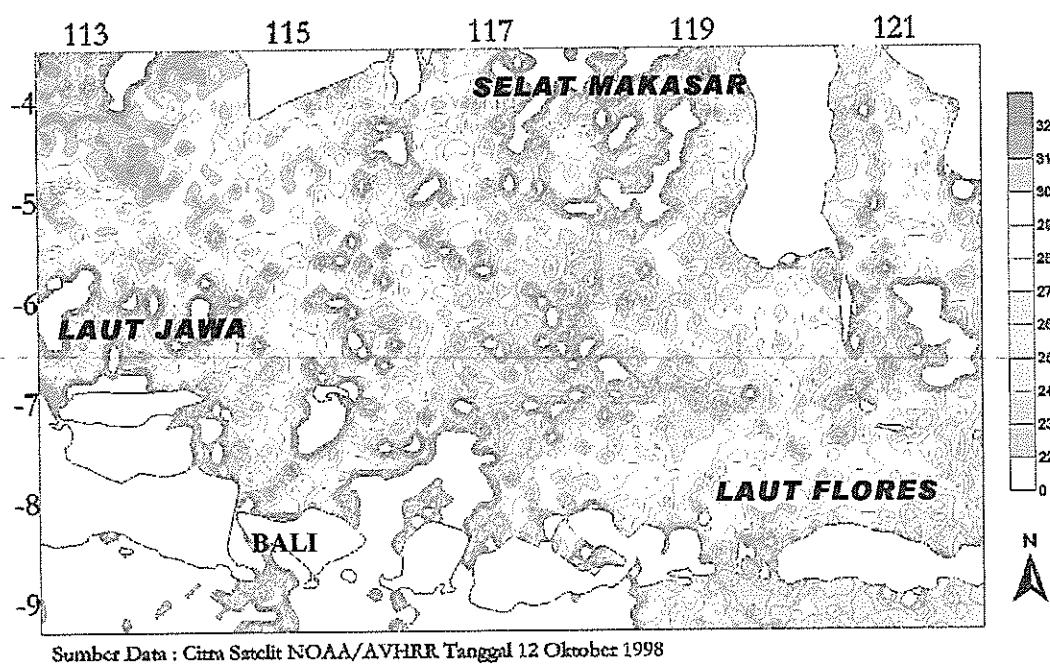
Hal ini sudah sewajarnya, karena pada bulan Juni dan Juli bahkan sampai bulan Agustus sama-sama masih berada pada musim Timur dimana suhu seharusnya cenderung lebih rendah daripada musim lainnya, karena posisi matahari ada di utara khatulistiwa sehingga bagian bumi selatan suhunya lebih rendah daripada di musim lainnya.

Hingga bulan Oktober 1998 suhu dominan adalah 27°C yang ditunjukkan dengan warna hijau yang mengisi perairan. Sedangkan suhu 28°C-31°C terjadi di selatan Kalimantan dan di sebagian Laut Flores (Gambar 21).

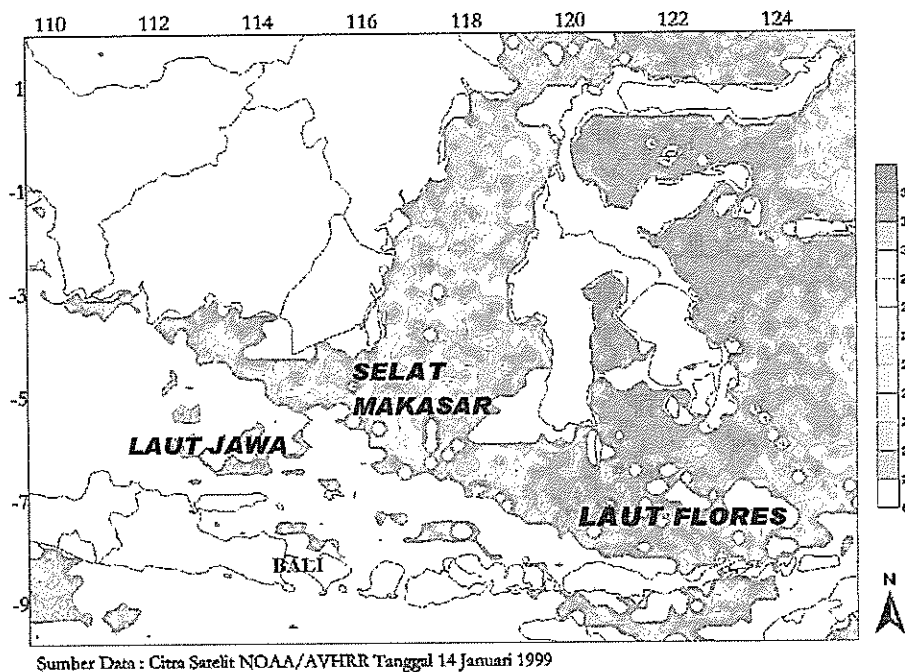
Pada awal tahun 1999, dominasi warna pada tampilan citra masih warna kuning dan kemerahan, sampai bulan Juni 1999 (Gambar 22-27). Selama musim



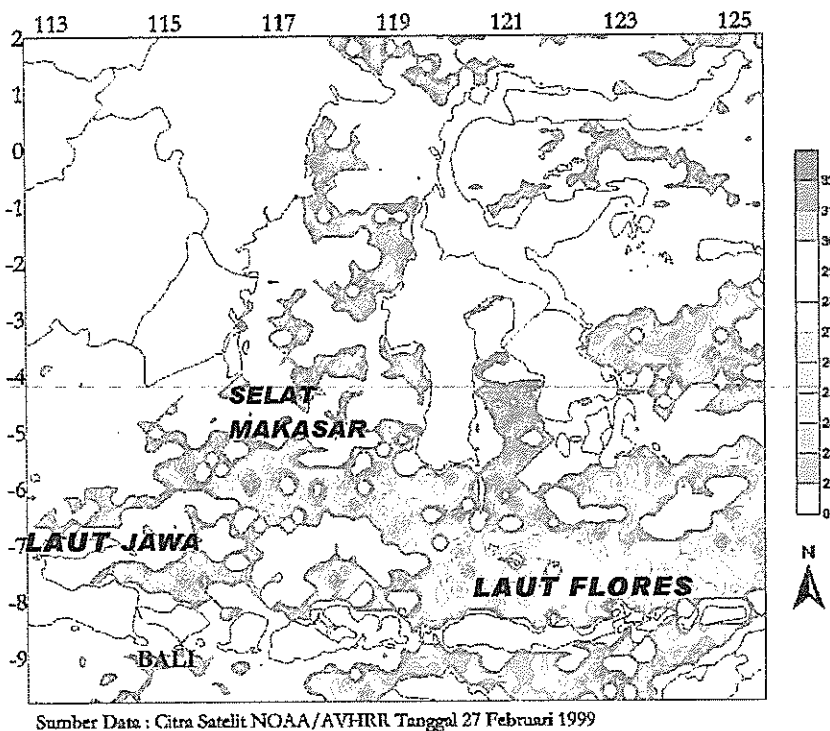
Gambar 20. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 28 Agustus 1998.



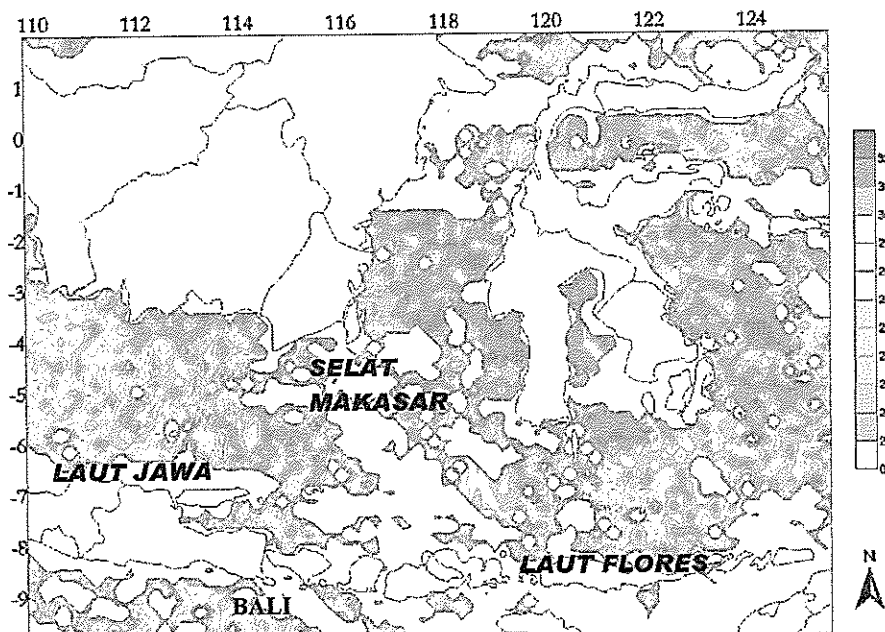
Gambar 21. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 12 Oktober 1998.



Gambar 22. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 14 Januari 1999.

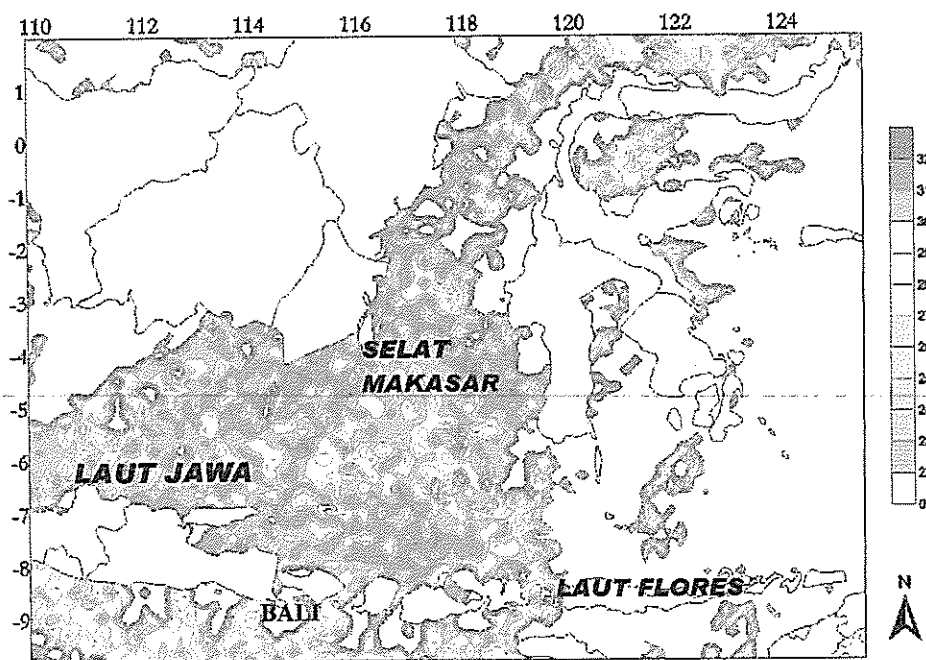


Gambar 23. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 27 Februari 1999.



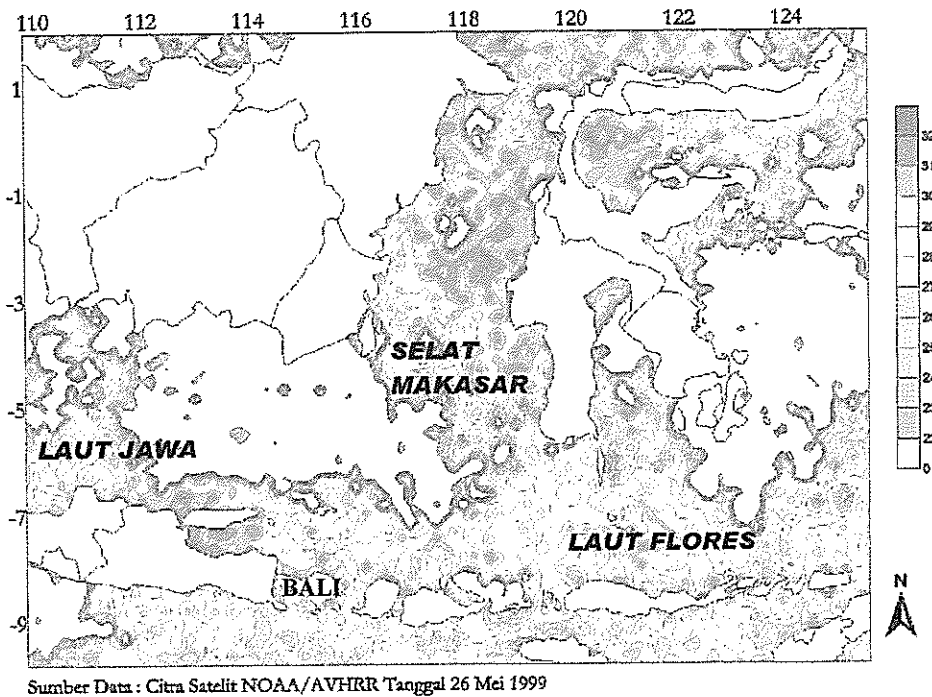
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 08 Maret 1999

Gambar 24. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 08 Maret 1999.

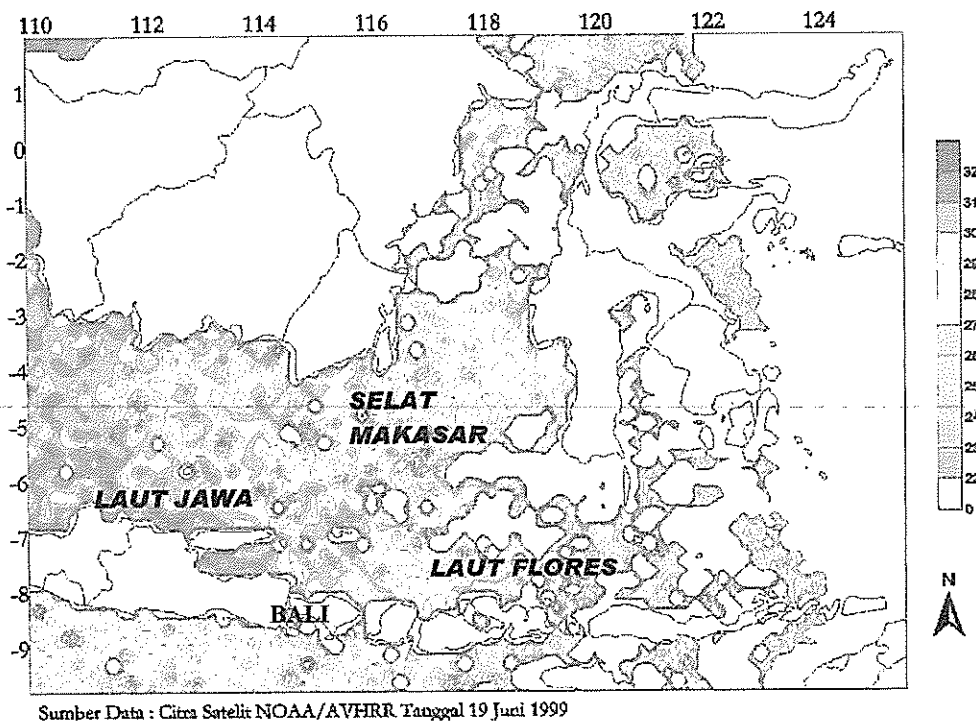


Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 28 April 1999

Gambar 25. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 28 April 1999.



Gambar 26. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 26 Mei 1999.



Gambar 27. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 19 Juni 1999.



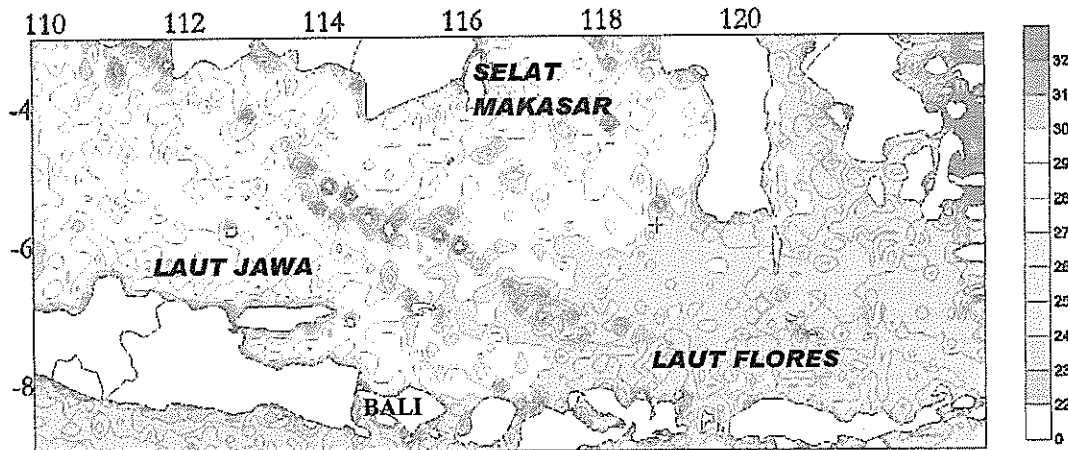
barat dan peralihan, angin bertiup dari daratan Asia yang banyak membawa uap air, sehingga banyak terbentuk awan. Pada bulan September 1999, penutupan awan sudah hilang, visualisasi citra suhu permukaan laut didominasi kembali oleh suhu  $26^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$  (Gambar 28). Citra bulan Oktober sampai pada bulan Juni tahun 2000, kembali dipenuhi dengan awan dan bayangan awan. Pada bulan Oktober massa air bersuhu  $28^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$  mengisi perairan sebelah utara Jawa dan selatan Sulawesi. Sedangkan pada bulan Februari sampai Maret 2000 massa air bersuhu tinggi hampir mengisi seluruh perairan laut Jawa, Laut Flores dan Selat Makasar. Sedangkan pada citra bulan April dan Juni 2000, massa air hangat berada di sebelah utara Sulawesi, perairan Laut Flores dan Laut Jawa bersuhu  $26^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$ , bahkan pada citra bulan Juni 2000 terlihat adanya massa air dingin di selatan Jawa Timur yang diindikasikan sebagai upwelling. (Gambar 29-33).

Dari seluruh tampilan visual citra spl, dapat terlihat suatu kecenderungan bahwa perairan di dekat pantai atau daratan suhunya lebih tinggi daripada suhu perairan lepas pantai. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh masukan air dari darat, baik dari sungai-sungai maupun dari pemukiman penduduk. Aktifitas penangkapan ikan atau perikanan di wilayah pesisir juga dapat menyebabkan suhu menjadi lebih panas, misalnya minyak buangan kapal, sampah-sampah, bahkan gerakan air akibat motor kapal menyebabkan pengadukan air laut atau turbulensi.

Sedangkan suhu-suhu rendah yang sering terlihat di selatan Jawa dan Nusa Tenggara diperkirakan adalah akibat adanya proses upwelling atau penaikan massa air dengan suhu rendah dari kolom air ke permukaan yang selalu terjadi di daerah tersebut.

#### **4.1.2. Perubahan Nilai Rata-Rata Bulanan Suhu Permukaan Laut pada Stasiun Pengamatan Secara Temporal dari Satelit NOAA/AVHRR**

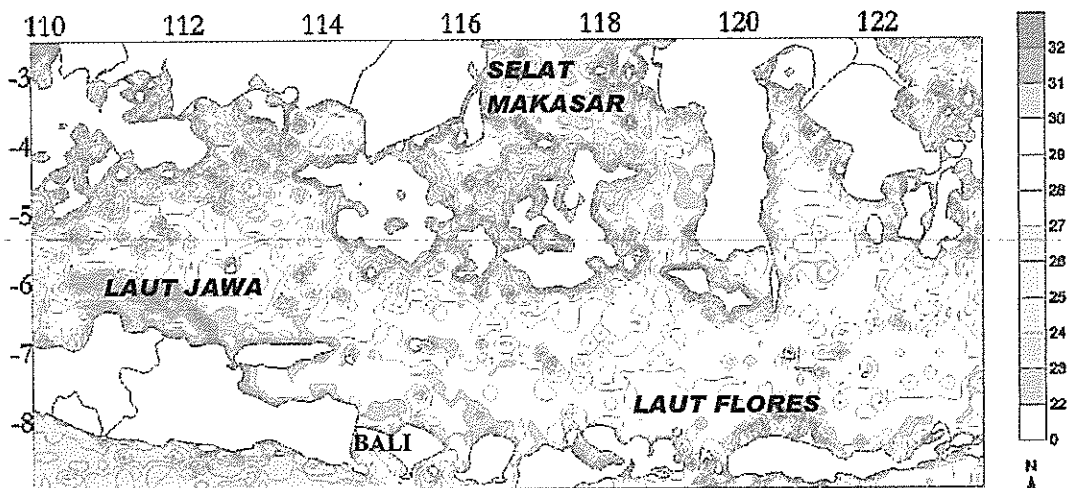
Suhu permukaan laut yang diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit NOAA/AVHRR dalam jangka waktu 3 tahun, terhitung mulai bulan Juni 1997 sampai Juni 2000 menunjukkan bahwa suhu rata-rata tahunan mengalami peningkatan pada kurun waktu tahun 1997-1998, yaitu suhu  $27,17^{\circ}\text{C}$  menjadi



Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 06 September 1999



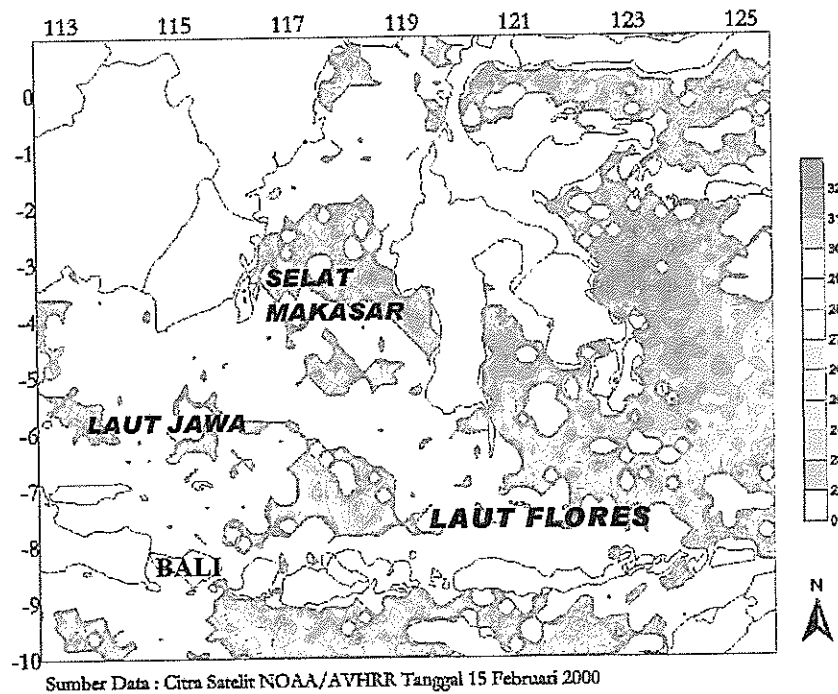
Gambar 28. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 September 1999.



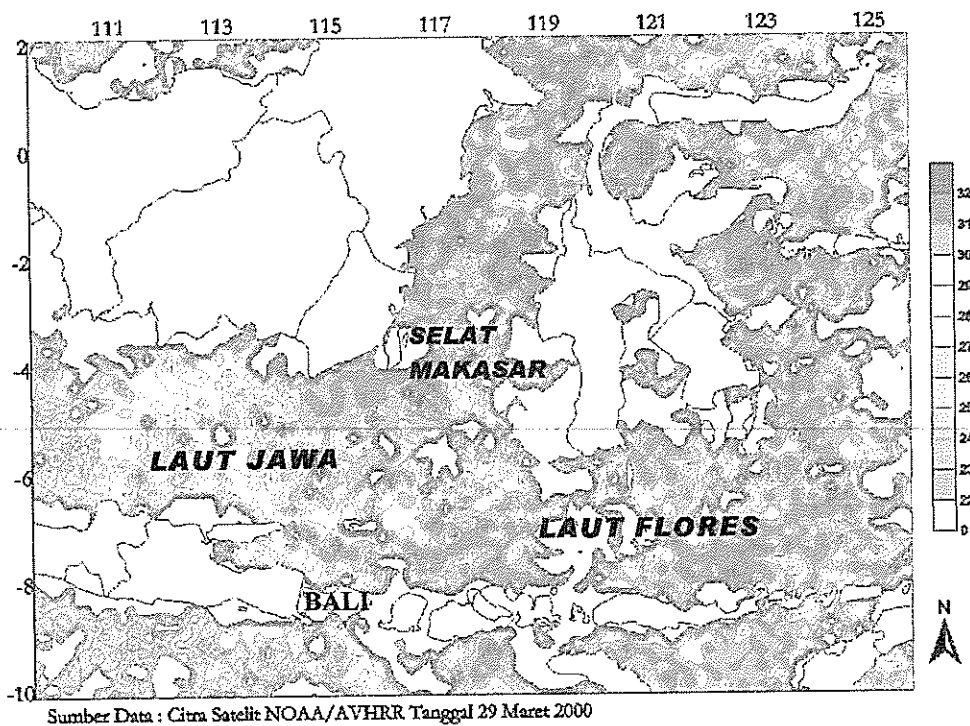
Sumber Data : Citra Satelit NOAA/AVHRR Tanggal 06 Oktober 1999



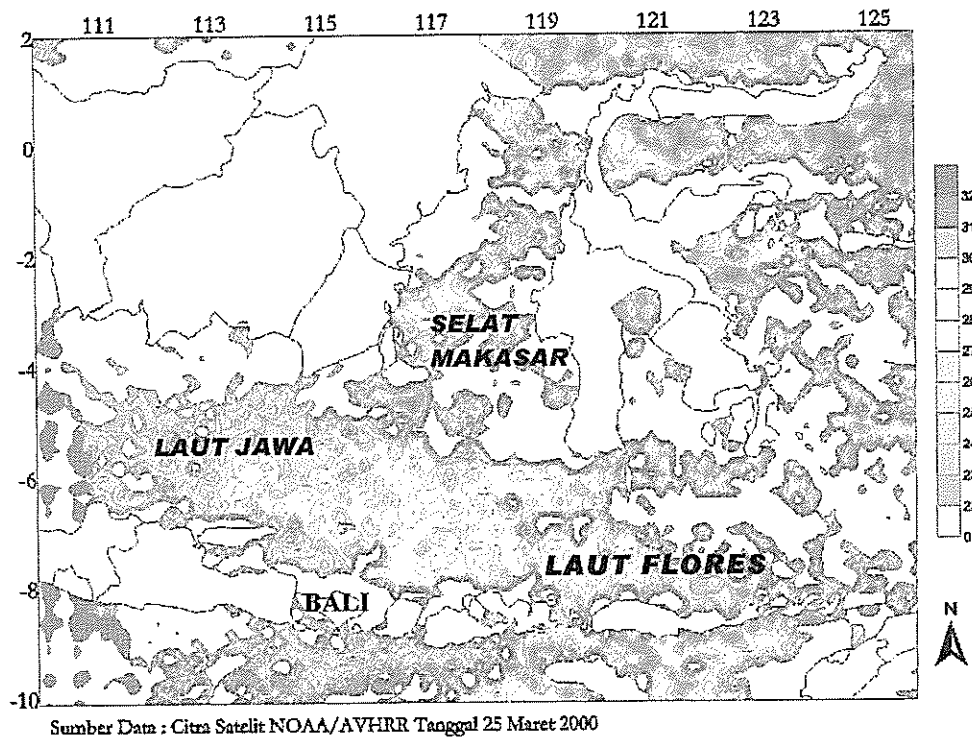
Gambar 29. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 Oktober 1999.



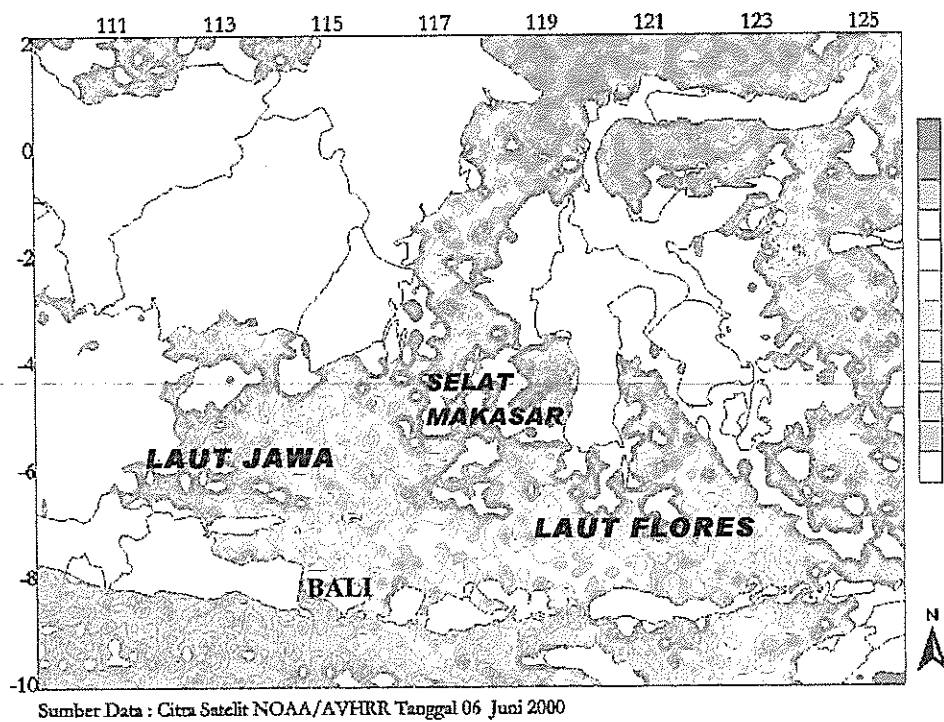
Gambar 30. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 15 Februari 2000.



Gambar 31. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 29 Maret 2000.



Gambar 32. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 25 Maret 2000.



Gambar 33. Visualisasi Citra Suhu Permukaan Laut dari Satelit NOAA/AVHRR tanggal 06 Juni 2000.

28,27°C. Pada tahun 1998-1999 suhu menurun kembali menjadi 27,58°C, dan penurunan terus berlanjut sampai tahun 2000 hingga suhu mencapai 26,42°C.

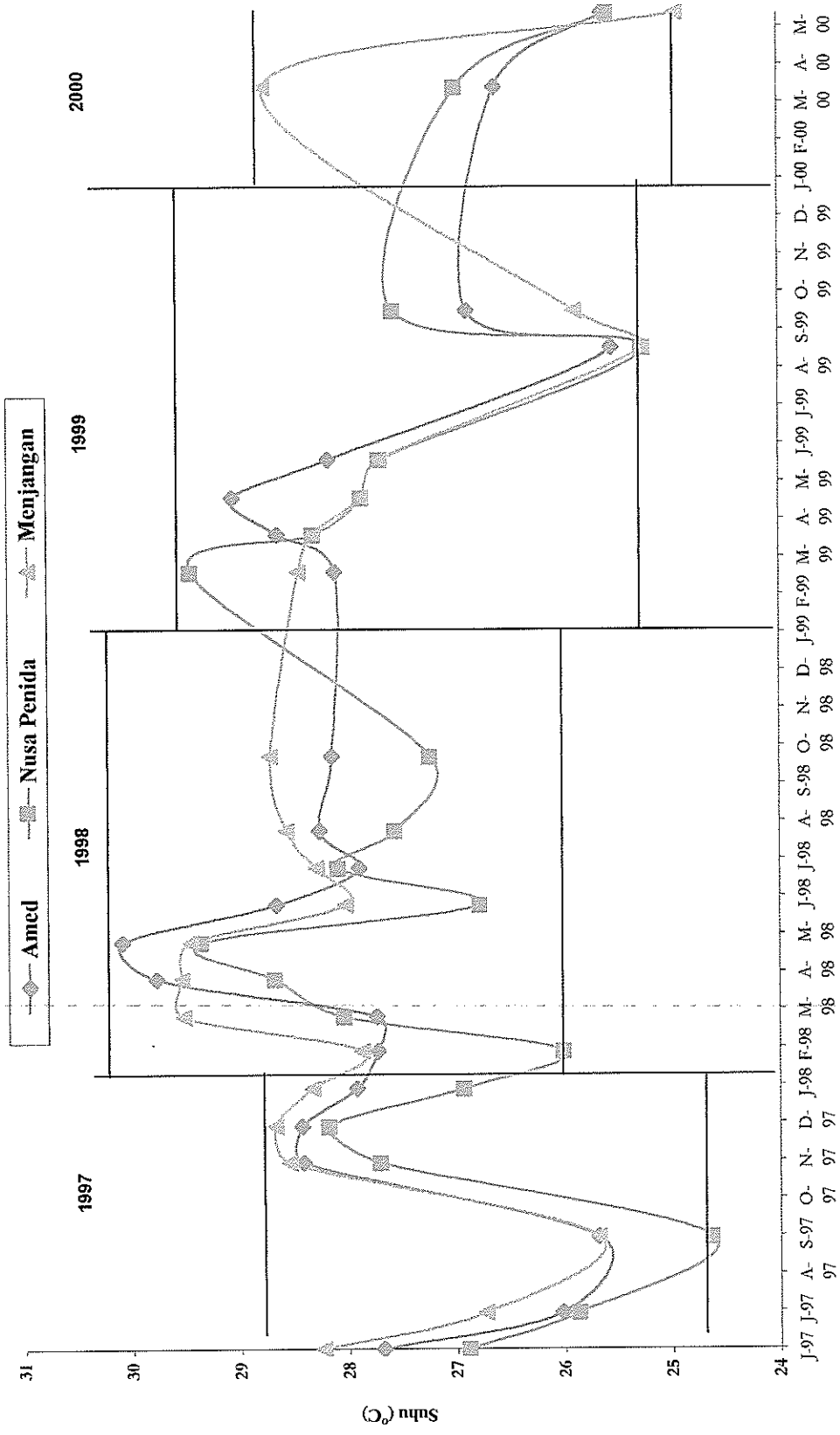
Peningkatan suhu pada tahun 1997-1998 sebesar 1,10°C bersamaan dengan terjadinya gejala *El Nino Southern Oscillation* di Pasifik yang menyebabkan meningkatnya suhu permukaan laut di bagian ekuatorial Samudera Pasifik sampai ke pantai barat Amerika Latin. Dari Gambar 34 dapat terlihat bahwa grafik suhu permukaan laut yang diperoleh dari data citra satelit NOAA/AVHRR di perairan Bali mencapai puncak tertinggi pada tahun 1998, sedangkan lembah suhu terendah terjadi pada tahun 1997. Hal ini memperkuat dugaan bahwa suhu permukaan laut di Indonesia terpengaruh oleh adanya gejala El Nino dan La Nina yang juga terjadi pada tahun 1997 dan 1998.

Menurut Irmudiyawati (2000), berdasarkan nilai SOI tahun 1996-2000, El Nino mulai terjadi pada bulan Maret tahun 1997 dan mencapai puncaknya pada bulan Juni 1998. Nilai SOI negatif terendah merupakan indikator bahwa sedang terjadi puncak dari masa El Nino, sedangkan nilai SOI positif terbesar menunjukkan puncak dari masa-masa berlangsungnya La Nina (Gambar 18)

Penurunan nilai SOI yang besar pada tahun 1997 langsung diikuti oleh peningkatan yang jauh lebih besar pada tahun berikutnya. Peningkatan ini mencapai puncaknya pada bulan Juni 1998, diduga saat tersebut merupakan puncak dari La Nina, yang merupakan kebalikan dari El Nino.

Suhu rata-rata bulanan terendah permukaan laut pada tahun 1997 terjadi pada bulan September sebesar 24,64°C, sedangkan tahun 1998 suhu rata-rata bulanan terendah naik menjadi 26,01°C pada bulan Februari. Tahun 1999, suhu rata-rata bulanan terendah turun menjadi 25,26°C pada bulan September, dan cenderung tetap pada tahun 2000, yaitu sebesar 24,95°C yang terjadi pada bulan Juni (Tabel 2).

Diantara ketiga daerah pengamatan, suhu terendah selalu berada di perairan selatan Bali, yaitu pada daerah pengamatan sekitar perairan Nusa Penida dan terjadi saat musim peralihan berlangsung. Rendahnya suhu di perairan ini, bahkan di seluruh perairan selatan Jawa sampai Nusa Tenggara, diduga sebagai akibat dari



Gambar 34. Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut dari Data NOAA/AVHRR

adanya kenaikan massa air dingin di kolom perairan ke permukaan atau yang biasa disebut *upwelling*, sehingga suhu permukaan laut di daerah tersebut relatif lebih dingin dibandingkan dengan perairan Amed dan Menjangan.

Suhu rata-rata bulanan tertinggi pada tahun 1997 terjadi di perairan Menjangan pada bulan Desember, yaitu sebesar  $28,68^{\circ}\text{C}$ , sedangkan di tahun 1998 meningkat menjadi  $30,09^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada bulan Mei di perairan Amed. Tahun 1999, nilai suhu rata-rata bulanan tertinggi turun kembali menjadi  $29,44^{\circ}\text{C}$  pada bulan Maret di perairan Nusa Penida dan relatif turun menjadi  $28,75^{\circ}\text{C}$  di perairan Menjangan pada bulan April 2000. Nilai-nilai suhu tertinggi cenderung terjadi di perairan utara Bali, yaitu disekitar Menjangan dan Amed, sedangkan nilai-nilai suhu terendah terjadi di perairan selatan Bali. Secara umum nilai-nilai suhu tertinggi tersebut juga terjadi pada musim peralihan, yaitu antara bulan Maret-Mei dan September-November.

Perubahan suhu permukaan laut mulai dari tahun 1997 sampai 2000 cukup besar. Penurunan suhu rata-rata yang paling drastis terjadi dari bulan Juni ke Juli 1997 di Amed dengan perubahan suhu sebesar  $1,66^{\circ}\text{C}$  yang terjadi dalam selang waktu 1 bulan, sedangkan pada perairan Menjangan, penurunan suhu terbesar terjadi antara bulan September dan Oktober 1999 sebesar  $2,74^{\circ}\text{C}$ , dan di Nusa Penida terjadi pada bulan Mei dan Juni 1998 sebesar  $2,51^{\circ}\text{C}$ . Penurunan suhu yang relatif besar ini terjadi pada musim Timur dan musim Peralihan.

Peningkatan suhu permukaan laut yang drastis juga terjadi pada musim peralihan setiap tahunnya baik di Amed, Menjangan, maupun di Nusa Penida, yaitu pada bulan September dan November 1997 dengan peningkatan sebesar  $2,72^{\circ}\text{C}$ - $3,00^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.1.3. Perubahan Suhu Permukaan Laut dari Data Sekunder (BMG)**

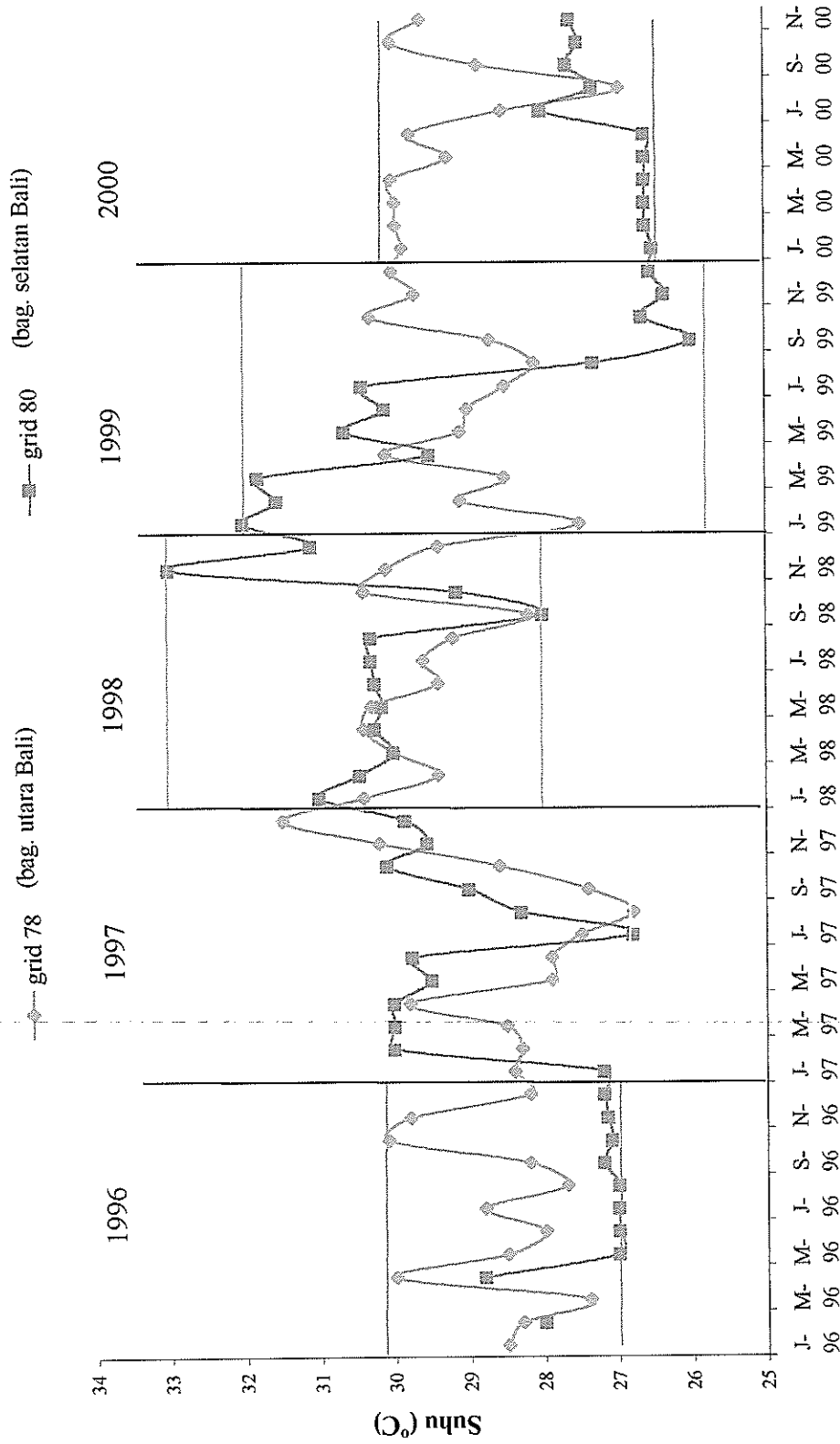
Dari data sekunder suhu permukaan laut di perairan Bali, suhu rata-rata terendah pada tahun 1996 adalah  $27,0^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada bulan Mei dan Juni, sedangkan pada tahun 1997 turun menjadi  $26,8^{\circ}\text{C}$  di bulan Juli dan Agustus, lalu meningkat pada tahun 1998 menjadi  $28,0^{\circ}\text{C}$  di bulan September, dan turun kembali

pada tahun 1999 menjadi 26,00°C dan 26,95°C yang terjadi di bulan September 1999 dan Agustus 2000 (Gambar 35). Kecenderungan terlihat bahwa suhu terendah terjadi pada musim peralihan dan musim timur di perairan sebelah selatan, yaitu di perairan selatan Jawa dan Nusa Tenggara.

Tabel 2. Rata-Rata Bulanan Suhu Permukaan Laut dari Citra NOAA/AVHRR (°C)

Bulan	Amed	Nusa Penida	Menjangan
Juni 1997	27,69	26,89	28,24
Juli 1997	26,03	25,87	26,74
September 1997	25,70	24,64	25,70
November 1997	28,42	27,70	28,55
Desember 1997	28,44	28,18	28,68
<b>Januari 1998</b>	27,92	26,94	28,34
Februari 1998	27,73	26,01	27,88
Maret 1998	27,73	28,04	29,52
April 1998	29,77	28,68	29,54
Mei 1998	30,09	29,35	29,45
Juni 98	28,66	26,78	28,02
Juli 1998	27,89	28,09	28,29
Agustus 1998	28,26	27,56	28,57
Oktober 1998	28,14	27,23	28,71
<b>Maret 1999</b>	28,11	29,44	28,45
April 1999	28,64	28,31	28,31
Mei 1999	29,05	27,86	27,86
Juni 1999	28,17	27,69	27,69
September 1999	25,55	25,26	25,26
Oktober 1999	26,89	27,56	25,89
<b>April 2000</b>	26,62	26,98	28,75
Juni 2000	25,63	25,58	24,95





Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisik:

Gambar 35. Pola Perubahan Suhu Permukaan Laut dari Data Sekunder

Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh transport massa air yang melalui perairan tersebut, yaitu Arus Khatulistiwa Selatan (AKS) yang sebagian besar membawa massa air dari perairan barat laut Australia dan Laut Timor. Selama musim timur, di Australia terjadi musim dingin sehingga massa air yang menyuplai AKS bersuhu rendah. Suplai massa air dari Laut Timor ke dalam AKS juga bersuhu rendah karena massa air laut Timor mendapat suplai massa air dari Laut Arafura yang pada musim timur terjadi upwelling di daerah tersebut (Wyrтки, 1961).

Selain pengaruh massa air AKS, rendahnya suhu permukaan laut pada musim timur juga disebabkan oleh penetrasi cahaya matahari yang tidak maksimal. Selama musim timur posisi matahari berada di belahan bumi utara. Sedangkan pada musim peralihan memang sering terjadi hal-hal ekstrim akibat perubahan alam yang selalu berubah-ubah tak menentu.

Suhu permukaan laut rata-rata tertinggi menurut data sekunder pada tahun 1996 terjadi pada bulan Oktober yaitu sebesar  $30,1^{\circ}\text{C}$ ; pada tahun 1997 suhu rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Desember sebesar  $31,5^{\circ}\text{C}$ ; sedangkan pada tahun 1998 suhu rata-rata tertinggi terjadi pada bulan November yaitu  $33^{\circ}\text{C}$  dan pada tahun 1999 dan 2000 terjadi pada bulan Oktober sebesar  $30,3^{\circ}\text{C}$  dan  $30,0^{\circ}\text{C}$  (Gambar 35).

Suhu tertinggi untuk daerah di belahan bumi selatan biasanya terjadi pada musim barat, yaitu bulan Desember, Januari dan Februari (Wyrтки, 1961). Namun menurut data sekunder, suhu tertinggi paling sering terjadi pada musim peralihan II. Hal ini sesuai dengan karakteristik musim peralihan dimana perubahan suhu, arus, maupun angin terjadi tidak beraturan. Pada musim peralihan sering terjadi kondisi oseanografis harian yang ekstrim namun tidak menentu.

## **4.2. Perubahan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang**

### **4.2.1. Menjangan**

Perubahan persentase penutupan karang batu di Stasiun Menjangan selama tahun 1996-1998 mengalami penurunan yang cukup besar dalam selang waktu 2 tahun. Namun dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa penurunan persentase penutupan karang batu pada kedalaman 3 m lebih besar dibandingkan dengan perubahan yang

terjadi pada kedalaman 10 m. Sedangkan pada selang waktu 2 tahun antara 1998-2000 terjadi peningkatan persentase penutupan karang batu di kedalaman 3 dan penurunan persentase penutupan karang hidup di kedalaman 10 m.

#### 4.2.2. Amed

Kondisi ekosistem terumbu karang di Stasiun Amed selama tahun 1997-2000 menunjukkan suatu pola perubahan yang cenderung negatif. Dari persentase penutupan karang batu (HC) di setiap sub stasiun pengamatan, terlihat suatu pola penurunan pada tahun 1997 di sub stasiun Reef Check baik di kedalaman 3 m maupun 10 m. Pada tahun berikutnya tampak terjadi peningkatan persentase penutupan karang hidup pada seluruh sub stasiun pengamatan, kecuali pada sub stasiun Reef Check 3 m. Sedangkan pada tahun 1999, persentase penutupan karang hidup yang mulai membaik kembali mengalami penurunan sehingga pada tahun 2000 jumlah persentase penutupan karang hidup hanya berkisar antara 1,80-8,80 (Tabel 3).

Tabel 3. Persentase Penutupan Karang Hidup (*Hard Coral*) di Tiap Stasiun Pengamatan Tahun 1996-2000 (dalam %)

STASIUN	SUBSTASIUN	1996	1997	1998	1999	2000	
MENJANGAN	Garden Eel 3m	16.2		3.48		7.56	
	Pos II 3 m	29.6		3.26		6.61	
	Garden Eel 10 m	13.7		10.35		1.0	
	Pos II 10m	20.2		20.47		3.3	
AMED	Reef Check 3m		43.39	32.93	15.07	8.8	
	Kebun Korall 3m			31.21	48.7	1.8	
	Reef Check 10m Tebing 10m		39.63	7.32 2.72	18.75 18.75	7.4 4.4	
NUSA PENIDA	Toyopakeh 3m		63.50	30.60	40.75	53.68	
	Bias Muntig 3m			12.90	11.50	10.20	
	Tn Bias 3m		17.60	5.20	6.00	4.20	
	Prapat 3m			15.90	2.20	18.00	
	Bodong 3m		39.10	4.18	11.45	2.30	
	Toyopakeh 10m			21.20	30.60	29.65	75.2
	Bias Muntig 10m				14.80	11.40	22.00
	Tn Bias 10m			61.40	31.60	31.30	56.00
	Prapat 10m				71.30	38.70	47.14
	Bodong 10m			38.20	23.40	20.75	28.60

Sumber : WWF Wallacea Bioregion Programme Bali

#### 4.2.3. Nusa Penida

Kondisi ekosistem terumbu karang di Stasiun Nusa Penida memperlihatkan pola penurunan persentase penutupan karang hidup pada tahun 1997 sampai 1998 dan bahkan di beberapa sub stasiun pola tersebut terlihat sampai tahun 1999.

Peningkatan persentase penutupan karang hidup tahun 1999 terjadi pada kedalaman 3 m di sub stasiun Toyopakeh, Tanah Bias dan Bodong. Sedangkan pada tahun 2000 terjadi peningkatan yang besar di beberapa sub stasiun, antara lain Toyopakeh dan Prapat. Di sub stasiun Bias Muntig, Tanah Bias, dan Bodong yang terjadi adalah penurunan persentase karang hidup pada kedalaman 3 m (Tabel 3).

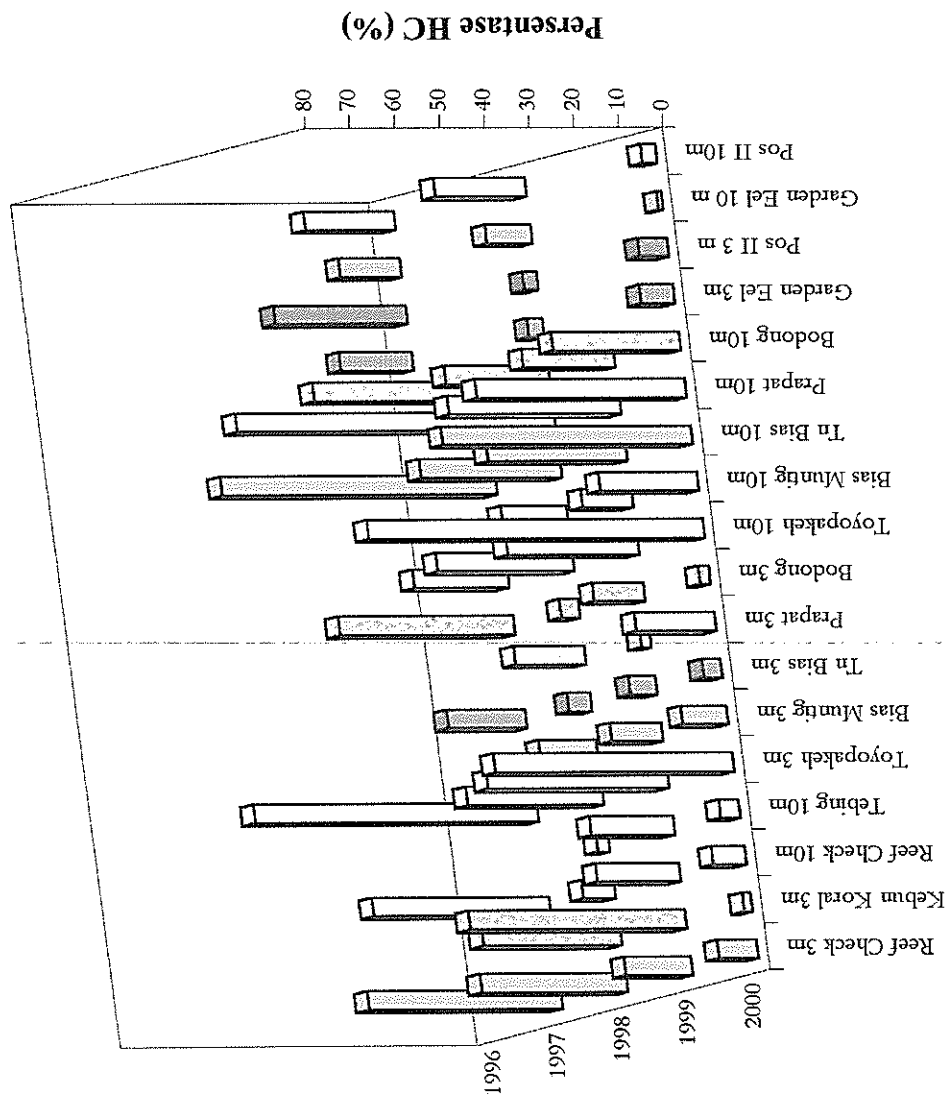
#### 4.3. Hubungan antara Perubahan Suhu Permukaan Laut dengan kondisi ekosistem terumbu karang

Perubahan suhu permukaan laut seperti yang dipantau oleh satelit NOAA/AVHRR menunjukkan adanya kenaikan suhu rata-rata pada tahun 1997-1998 sebesar  $0,97^{\circ}\text{C}$ - $1,21^{\circ}\text{C}$ . Tahun 1997-1998 ini terjadi beberapa kali perubahan suhu yang besar yaitu penurunan suhu sebesar  $1,99^{\circ}\text{C}$ - $2,54^{\circ}\text{C}$  selama bulan Juni-Sept 1997 dan langsung diikuti oleh kenaikan suhu yang drastis pula yaitu sebesar  $2,72^{\circ}\text{C}$ - $3,06^{\circ}\text{C}$  selama bulan September-November 1997 (Gambar 34).

Kemudian pada awal tahun 1998 kembali terjadi peningkatan suhu rata-rata sebesar  $1,64^{\circ}\text{C}$ - $2,03^{\circ}\text{C}$  pada bulan Februari-Maret 1998 yang terus meningkat sampai puncaknya terjadi pada bulan April-Mei 1998 dimana suhu rata-rata awal bulan Februari berkisar antara  $26,01^{\circ}\text{C}$ - $27,88^{\circ}\text{C}$  meningkat menjadi berkisar antara  $29,35^{\circ}\text{C}$ - $30,09^{\circ}\text{C}$  pada bulan Mei-April.

Kedua perubahan yang cukup mencolok ini memberikan pengaruh yang negatif terhadap kondisi ekosistem terumbu karang. Dari persentase penutupan karang batu atau *hard coral* (HC) dapat dilihat suatu pola penurunan yang terjadi hampir di seluruh stasiun pengamatan, kecuali di sub stasiun Toyopakeh, stasiun Nusa Penida pada kedalaman 10 m (Gambar 36).

- Reef Check 3m
- Kebun Koral 3m
- Reef Check 10m
- Tebing 10m
- Toyopakeh 3m
- Bias Muntig 3m
- Tn Bias 3m
- Prapat 3m
- Bodong 3m
- Toyopakeh 10m
- Bias Muntig 10m
- Tn Bias 10m
- Prapat 10m
- Bodong 10m
- Garden Eel 3m
- Pos II 3 m
- Garden Eel 10 m
- Pos II 10m



Gambar 36. Persentase Penutupan Karang Batu di Tiap Sub Stasiun

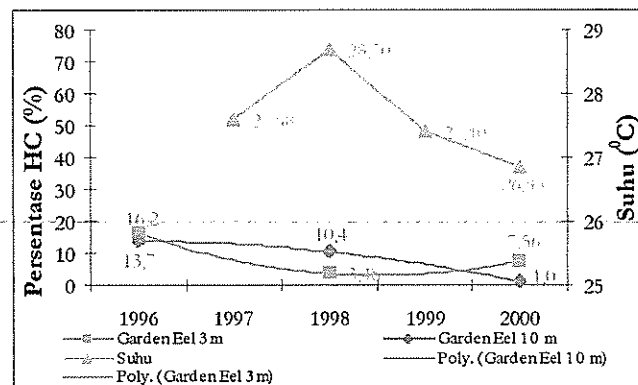
Setelah tahun 1998, perubahan suhu permukaan laut cenderung tidak besar. Suhu rata-rata tahun 1999 berkisar antara 27,39°C-27,68°C dan tahun 2000 suhu permukaan laut berkisar antara 26,12°C-26,85°C. Pada awal tahun 1999 suhu rata-rata bulanan masih relatif konstan yaitu dalam kisaran 27,69°C-29,44°C, tetapi mulai bulan Mei, suhu turun sampai bulan Agustus-September menjadi berkisar antara 25,3°C-26,9°C, dan seterusnya tetap berada pada kisaran suhu 25°C-26°C.

#### 4.3.1. Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Menjangan

##### 4.3.1.1. Garden Eel

Persentase penutupan karang batu baik di kedalaman 3 m maupun 10 m mengalami penurunan pada tahun 1996-1998, bersamaan dengan terjadinya peningkatan suhu rata-rata permukaan laut antara 1997-1998 (Gambar 37).

Peningkatan suhu tersebut berhenti pada tahun 1998 dan mulai menurun kembali pada tahun 1999 dan terus menurun pada tahun 2000. Terjadi dua respon yang berbeda terhadap penurunan suhu pada tahun 1999-2000, yaitu penurunan persentase karang batu di kedalaman 10 m sedangkan di kedalaman 3 m terjadi peningkatan.



Gambar 37. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Garden Eel, Menjangan

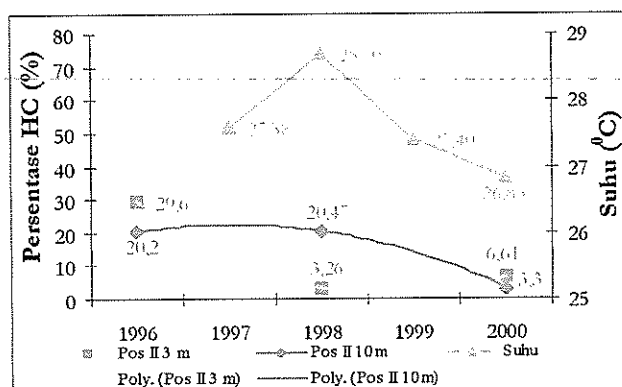
Setelah menurun dengan drastis pada saat suhu meningkat, karang batu di kedalaman 3 menjadi meningkat ketika suhu kembali pada kisaran semula. Sepertinya karakteristik terumbu karang pada kedalaman 3 hanya dapat tumbuh

dengan baik pada kisaran suhu tertentu saja, sehingga bila terjadi perubahan suhu sampai melampaui batas toleransinya, kondisinya langsung memburuk. Namun akan cepat pulih kembali bila suhu tersebut kembali pada kisaran yang tepat.

Sedangkan terumbu karang di kedalaman 10 m, lebih rentan terhadap perubahan suhu. Karakteristik perairan yang sesuai dengan karang di kedalaman ini tidak terbatas pada kisaran suhu tertentu saja, namun lebih cenderung tidak tahan terhadap fluktuasi perubahan suhu yang besar. Perubahan suhu yang naik-turun di sepanjang tahun 1997-1999 membuat penurunan persentase karang batu menjadi semakin besar.

#### 4.3.1.2. Pos II

Peningkatan suhu permukaan laut pada tahun 1997-1998 memberikan pengaruh yang juga berbeda terhadap persentase karang batu di sub stasiun Pos II pada kedalaman 3 m dan 10 m. Di kedalaman 3 m persentase karang batu menurun drastis pada tahun 1996-1998 namun mulai membaik pada tahun 1998-2000. Sedangkan di kedalaman 10 m, pada tahun 1996-1998 persentase karang hidup relatif konstan, namun baru mengalami penurunan drastis pada tahun 1998-2000 (Gambar 38). Pola ini hampir serupa dengan yang dialami oleh terumbu karang di sub stasiun Garden Eel, hanya saja kondisi awal dari terumbu karang di Pos II lebih baik dibandingkan dengan di Garden Eel, sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan persentase karang batu di Pos II lebih parah daripada di sub stasiun Garden Eel.

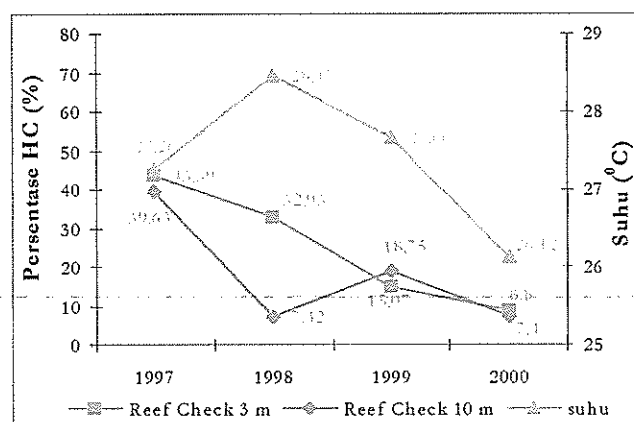


Gambar 38. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Pos II, Menjangan

### 4.3.2. Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Amed

#### 4.3.2.1. Reef Check

Suhu permukaan laut pada tahun 1997-1998 mengalami kenaikan suhu sebesar  $1,21^{\circ}\text{C}$ . Perubahan persentase penutupan karang batu di kedalaman 3 m pada tahun 1997-1998 menurun dari 43,39% menjadi 32,93%, sedangkan di kedalaman 10 m perubahan persentase penutupan karang batu menurun dari 39,63% menjadi 7,32% (Gambar 39). Perubahan yang drastis di 10 m menunjukkan bahwa pengaruh suhu itu lebih terasa di kedalaman 10 m daripada di 3 m. Organisme di kedalaman 10 m lebih peka terhadap perubahan ekologis sehingga dengan besar perubahan yang sama, pengaruh yang dialami organisme di kedalaman 10 lebih besar daripada yang di kedalaman 3 m. Hal ini mungkin disebabkan oleh banyaknya faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi ekosistem di kedalaman 3 m, seperti faktor alam dan manusia, sehingga faktor alam saja seperti suhu menjadi berkurang efeknya dibandingkan dengan pengaruhnya terhadap organisme di kedalaman 10 m dimana faktor manusia tidak begitu besar sehingga faktor alam yang sangat berpengaruh.



Gambar 39. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Reef Check, Amed

Demikian juga seperti yang terlihat pada tahun 1999 di Gambar 36. Tampak bahwa suhu permukaan laut sudah tidak terlalu tinggi lagi, pengaruhnya terhadap karang batu di kedalaman 3 tidak terlalu besar, sedangkan karang batu di kedalaman 10 m tampak mulai mengalami *recovery*/pemulihan .



Kemudian pada tahun 2000 dimana turunnya suhu permukaan laut melewati batas toleransinya, persentase penutupan karang batu di kedalaman 10 m kembali turun, sedangkan di kedalaman 3 m kecenderungan persentase penutupan karang batu untuk turun memang sudah ada. Hal tersebut sangat mungkin disebabkan oleh faktor aktivitas manusia seperti penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan dan kegiatan pariwisata yang memang cukup banyak di daerah tersebut, sehingga banyaknya karang-karang yang mati akibat terinjak-injak, atau karena kegiatan penyelaman pariwisata, yaitu patahnya karang akibat kayuhan fins penyelam dan hancurnya karang karena jangkar perahu yang mengantar para penyelam itu.

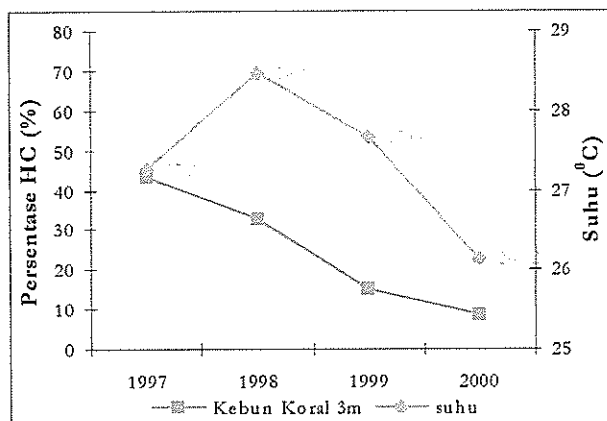
#### **4.3.2.2. Kebun Koral**

Kondisi terumbu karang di Kebun Koral pada tahun 1997 diduga mengalami penurunan persentase penutupan karang batu karena pada tahun 1998 tercatat adanya sejumlah besar karang batu yang mengalami *bleaching*. Namun pada tahun 1999 tidak ditemukan lagi karang yang *bleaching*. Setelah tahun 2000 baru ditemukan kembali karang yang *bleaching* (Lampiran 3).

Turunnya persentase penutupan karang batu dan munculnya karang yang *bleaching* pada tahun 1998 diduga memiliki korelasi yang negatif dengan perubahan suhu permukaan laut (Gambar 40).

Dari data citra satelit diperoleh suatu data kenaikan suhu permukaan laut sebesar 1,21°C. Perubahan ini sudah cukup membuat terumbu karang tertekan atau *stress*. Terumbu karang yang *stress* akan memicu terjadinya *bleaching* sehingga separuh dari karang batu yang sehat menjadi *bleaching*. Suhu permukaan laut pada tahun 1998 mulai menurun kembali sampai tahun 1999. Pada pemantauan tahun 1999, persentase penutupan karang batu sudah membaik/*recovery*, tetapi penurunan suhu tersebut belum berhenti. Pada tahun 2000 suhu permukaan laut terus menurun sebesar 1,54°C.

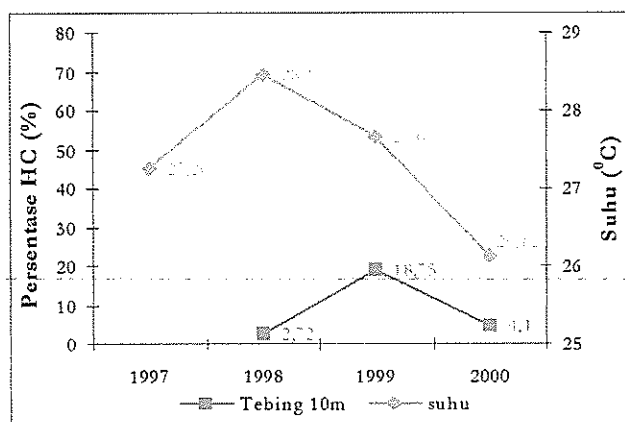
Persentase penutupan karang batu juga turun kembali karena timbul kembali karang yang mengalami *bleaching* bahkan sampai mati. Hal ini mungkin disebabkan oleh perubahan dari panas ke dingin yang cukup drastis pada waktu yang cukup singkat.



Gambar 40. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Kebun Koral, Amed

#### 4.3.2.3. Tebing

Kenaikan suhu tahun 1997 sangat besar pengaruhnya terhadap penurunan persentase penutupan karang batu di tahun 1998 karena adanya 14,5% karang batu yang mengalami *bleaching* di kedalaman 10 m (Lampiran 2). Kemudian penurunan kembali spl pada tahun 1999 memberi kesempatan terumbu karang untuk *recovery* sehingga persentase penutupan karang batu meningkat kembali (Gambar 41).



Gambar 41. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Tebing, Amed.

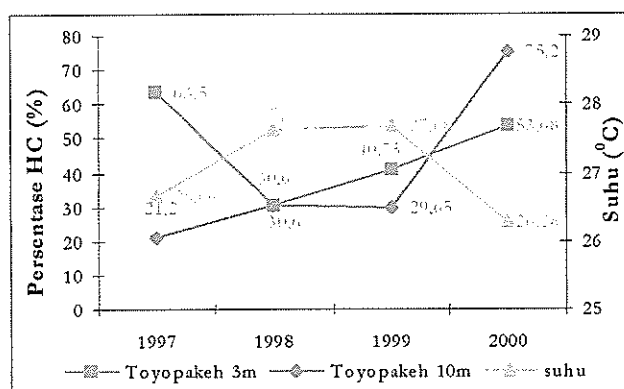
Penurunan spl ternyata berlangsung terus sampai tahun 2000. Hal ini menyebabkan karang yang baru memulih itu kembali *stress* sehingga persentase karang batu yang ditemukan berkurang dan berubah menjadi karang mati atau *dead*

*coral* (DC). Namun yang paling besar perubahannya adalah pada kategori biotik yaitu *sand* atau pasir (Lampiran 3). Hal ini diduga karena seringnya terjadi penangkapan ikan dengan bom di stasiun Tebing ini. Stasiun ini terletak agak sulit untuk dipantau dari pantai karena terhalang oleh tebing yang tinggi dan merupakan sisi ujung dari teluk.

#### 4.3.3. Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan perubahan persentase karang batu di Stasiun Nusa Penida

##### 4.3.3.1. Toyopakeh

Perubahan suhu permukaan laut di Nusa Penida pada umumnya menunjukkan adanya pola peningkatan selama tahun 1997-1999. Peningkatan terbesar terjadi pada tahun 1997-1998 dimana suhu meningkat dari 26,66°C menjadi 27,63°C, sedangkan peningkatan pada tahun 1998-1999 boleh dikatakan konstan, yaitu hanya sebesar 0,05°C (Gambar 42).



Gambar 42. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Toyopakeh, Nusa Penida

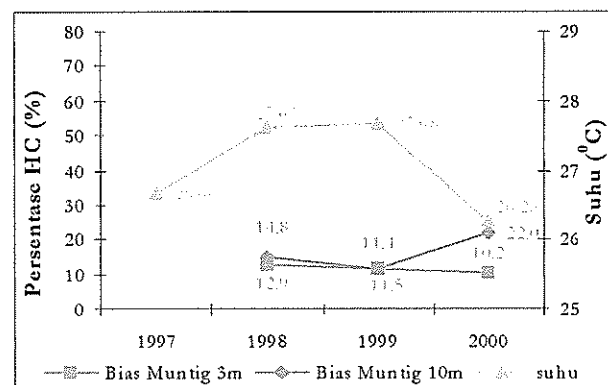
Peningkatan suhu ini mempengaruhi kondisi ekosistem terumbu karang, terlihat dari perubahan persentase karang batu di kedalaman 3 m (Lampiran 3). Persentase karang batu di kedalaman 3 m menunjukkan penurunan yang besar saat terjadi peningkatan suhu pada tahun 1997, sedangkan di kedalaman 10 m yang terjadi adalah peningkatan persentase karang batu. Perubahan suhu permukaan laut menjadi konstan pada tahun 1998-1999, ada kesempatan bagi karang batu di kedalaman 3 m untuk pulih atau *recovery* sehingga persentase karang batu meningkat. Sedangkan di

kedalaman 10 m, konstannya perubahan spl tidak terlalu berpengaruh terhadap komposisi persentase karang batu (Gambar 42).

Kemudian terjadi penurunan suhu yang besar di tahun 1999-2000 sebesar  $1,40^{\circ}\text{C}$ . Perubahan ini membuat pengaruh positif terhadap perbaikan persentase karang batu di kedalaman 10 m, karena selama waktu tersebut, peningkatan persentase karang batu terjadi sampai sekitar 45,55% sedangkan di kedalaman 3 m meningkat sebesar 12,93. Diduga bahwa di daerah Toyopakeh dan Nusa Penida pada umumnya fluktuasi spl lebih berpengaruh terhadap kondisi ekosistem terumbu karang di kedalaman 3 m, dari pada di kedalaman 10 m.

#### 4.3.3.2. *Bias Muntig*

Perubahan suhu permukaan laut di Bias Muntig menunjukkan suatu korelasi negatif terhadap persentase penutupan karang batu di kedalaman 10 m, sedangkan persentase karang batu di kedalaman 3 m menunjukkan pola penurunan mulai tahun 1997-2000 (Gambar 43).



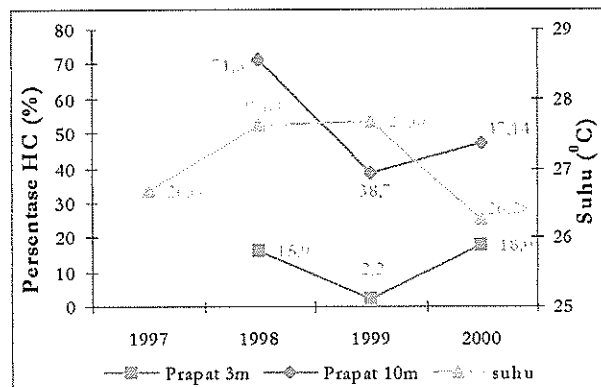
Gambar 43. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Bias Muntig, Nusa Penida

Pada saat terjadi peningkatan suhu tahun 1997-1998, belum ada pengamatan mengenai terumbu karang. Pada tahun 1998-1999 menjadi relatif konstan, sedangkan persentase karang batunya menunjukkan adanya penurunan baik di 3 m maupun 10 m. Kemudian pada tahun 2000, persentase karang batu di 10 m meningkat sedangkan suhu rata-rata permukaan laut menurun cukup besar, yaitu sebesar  $1,41^{\circ}\text{C}$ .

Di kedalaman 3 m, persentase karang batu terus menurun ketika terjadi penurunan suhu tersebut.

#### 4.3.3.3. Prapat

Perubahan persentase karang batu di Prapat pada kedalaman 3 m dan 10 m menunjukkan suatu pola yang hampir sama baik pada tahun 1998-1999 maupun 1999-2000. Respon penurunan persentase karang batu terhadap konstannya perubahan suhu pada tahun 1998-1999, diduga merupakan efek lanjutan dari peningkatan suhu pada tahun 1997-1998, sehingga pada tahun 1998, walaupun suhu cenderung konstan, tetapi keseimbangan karang untuk beradaptasi terhadap perubahan suhu tersebut belumlah stabil. Ditambah pula dengan faktor-faktor lain misalnya aktivitas manusia yang semakin menambah tekanan terhadap terumbu karang di sub stasiun tersebut.

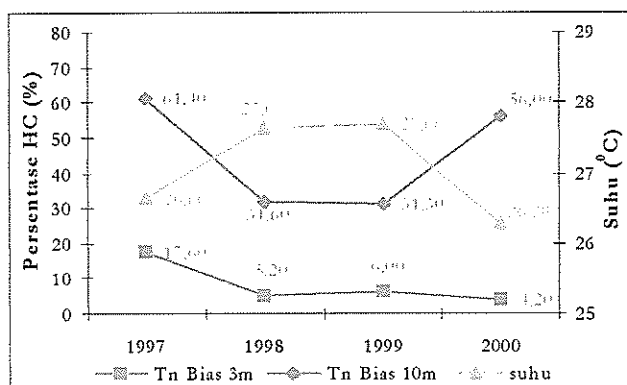


Gambar 44. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Prapat, Nusa Penida

Ketika terjadi penurunan suhu yang drastis di tahun 2000, respon yang diberikan oleh terumbu karang ternyata positif. Terbukti dengan adanya peningkatan persentase karang batu baik di kedalaman 3 m maupun 10 m ketika suhu kembali berkisar antara  $26^{\circ}\text{C}$ – $27^{\circ}\text{C}$ , seperti semula saat suhu belum naik pada tahun 1997 (Gambar 4). Besar kemungkinan bahwa terumbu karang di sub stasiun Prapat ini memiliki toleransi suhu yang sempit, yaitu sekitar  $26^{\circ}\text{C}$ – $27^{\circ}\text{C}$  saja untuk bisa bertahan hidup dan hidup dengan normal.

#### 4.3.3.4. Tanah Bias

Suhu permukaan laut pada tahun 1997-1998 mengalami kenaikan, diikuti oleh penurunan persentase karang batu di sub stasiun Tanah Bias, kedalaman 3 m dan 10 m. Persentase karang batu di kedalaman 3 m dan 10 m menunjukkan perubahan yang sebanding pada tahun 1997-1999, namun pada tahun 2000 timbul perbedaan dimana persentase karang batu di kedalaman 10 m meningkat sedangkan di kedalaman 3 m menurun (Gambar 45). Penurunan persentase penutupan karang batu di kedalaman 3 m sangat dipengaruhi oleh aktivitas penduduk sekitar pantai, dimana pada sub stasiun Tanah Bias terdapat kegiatan budidaya rumput laut yang berpotensi untuk menimbulkan dampak negatif terhadap kehidupan terumbu karang di kedalaman 3 m.



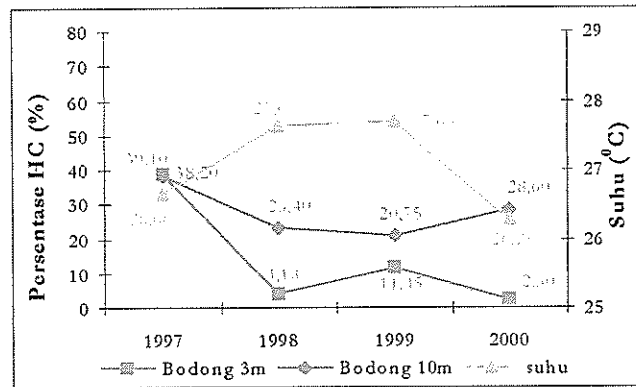
Gambar 45. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Tanah Bias, Nusa Penida

#### 4.3.3.5. Bodong

Perubahan persentase karang batu menunjukkan penurunan baik di kedalaman 3 dan 10 m pada tahun 1997-1998 kemudian terus menurun untuk kedalaman 10 m, namun sedikit meningkat pada kedalaman 3 m pada tahun 1998-1999 (Gambar 46). Hal ini mungkin disebabkan karena kecilnya fluktuasi perubahan suhu permukaan laut sehingga memberi kesempatan bagi HC untuk *recovery*.

Tahun 1999-2000 persentase karang batu di kedalaman 10 m meningkat sedangkan persentase karang batu di kedalaman 3 m menurun. Tapi pada dasarnya kondisi karang batu di kedalaman 10 m relatif konstan dengan perubahan yang tidak

terlalu besar. Perubahan di kedalaman 3 m cenderung berubah-ubah. Diduga karena terlalu peka terhadap perubahan suhu.



Gambar 46. Perubahan Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Laut dan Persentase Penutupan Karang Hidup di Sub Stasiun Bodong, Nusa Penida

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data citra NOAA/AVHRR, pada tahun 1997 suhu permukaan laut di perairan Bali pada semua sub stasiun pengamatan mengalami titik terendah dan pada tahun 1998 mengalami titik tertinggi. Terjadi juga peningkatan suhu rata-rata tahunan sebesar  $1,10^{\circ}\text{C}$  pada tahun 1997-1998.

Peningkatan suhu permukaan laut tersebut merupakan akibat dari terjadinya gejala La Nina pada tahun 1998 sehingga suhu permukaan laut meningkat di ekuatorial Pasifik sampai ke pantai barat Amerika Selatan. Sedangkan terjadinya gejala El Nino pada tahun 1997 diduga kuat ikut memberikan dampak kuat terhadap perubahan suhu permukaan laut di Indonesia pada tahun 1997, namun tidak dapat dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini karena keterbatasan data.

Selama tahun 1997 sampai tahun 2000, pola perubahan suhu permukaan laut yang dapat terlihat adalah terjadinya penurunan suhu pada musim timur (Juni-Agustus), kemudian meningkat pada musim peralihan II (September-November), dan mencapai klimaks pada musim barat (Desember-Februari) dan pada musim peralihan I (Maret-Mei).

*Bleaching* pada terumbu karang secara luas terjadi pada tahun 1998 di seluruh dunia berdasarkan laporan-laporan yang berasal dari berbagai sumber. Pada ekosistem terumbu karang di perairan Pulau Bali juga tercatat adanya karang yang mengalami *bleaching*, yaitu pada stasiun Amed (Nurlidiasari, 1999), Nusa Penida, dan Menjangan (Putra dan Wijonarno dalam Zamani dkk., 1999).

Hubungan antara perubahan suhu permukaan laut dengan terjadinya *bleaching* pada terumbu karang di Bali diselidiki melalui perubahan persentase penutupan karang batu atau *hard coral* (HC), yang diasumsikan dapat mewakili kondisi seluruh ekosistem terumbu karang tersebut.

Pada saat terjadi fenomena *bleaching* pada terumbu karang yaitu pada tahun 1997-1998, suhu permukaan laut dari data citra NOAA/AVHRR mengalami



peningkatan sebesar  $1,10^{\circ}\text{C}$ . Kenaikan rata-rata suhu tahunan ini serta fluktuasi rata-rata suhu bulanan yang berubah secara drastis, mengakibatkan terumbu karang mengalami *stress* sehingga zooxanthellae yang bersimbiosis dengan polip karang terusir dan karang menjadi pucat atau *bleaching*.

Pada saat *trend* suhu permukaan laut meningkat tahun 1997-1998, persentase penutupan karang pada semua stasiun pengamatan cenderung menurun. Kemudian pada saat *trend* suhu tersebut menurun pada tahun 1998-2000, persentase penutupan karang di stasiun Amed meningkat kembali, pada stasiun Nusa Penida cenderung turun dan tetap, sedangkan pada stasiun Menjangan persentase penutupan karang cenderung naik.

Penurunan persentase penutupan karang batu (HC) terjadi di semua sub stasiun pengamatan pada tahun 1997-1998 sebagai respon hewan karang terhadap terjadinya peningkatan suhu permukaan laut. Namun respon selanjutnya setiap ekosistem terumbu karang terhadap penurunan suhu permukaan laut pada tahun berikutnya tidak sama. Setiap substasiun memberikan respon yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan dan daya dukung dari masing-masing ekosistem tersebut.

## 5.2. Saran

Perlu adanya suatu standarisasi kegiatan pengumpulan data *time series* yang tepat dan akurat, baik data suhu permukaan laut maupun data terumbu karang.

Data terumbu karang yang baik dan akurat adalah data yang berasal dari titik pengamatan yang sama. Untuk itu sangat dianjurkan untuk membuat transek permanen terumbu karang.

Peristiwa *bleaching* dapat mengakibatkan kematian terumbu karang dalam skala besar, karena itu perlu adanya kegiatan monitoring terumbu karang yang berkesinambungan dan terkoordinasi supaya ekosistem terumbu karang tetap lestari.

Pengamatan suhu permukaan laut dengan menggunakan penginderaan jauh juga dapat dilakukan dengan menggunakan data citra yang resolusi spasialnya lebih baik, seperti SeaWiifs, Landsat, dan Ikonos.

## DAFTAR PUSTAKA

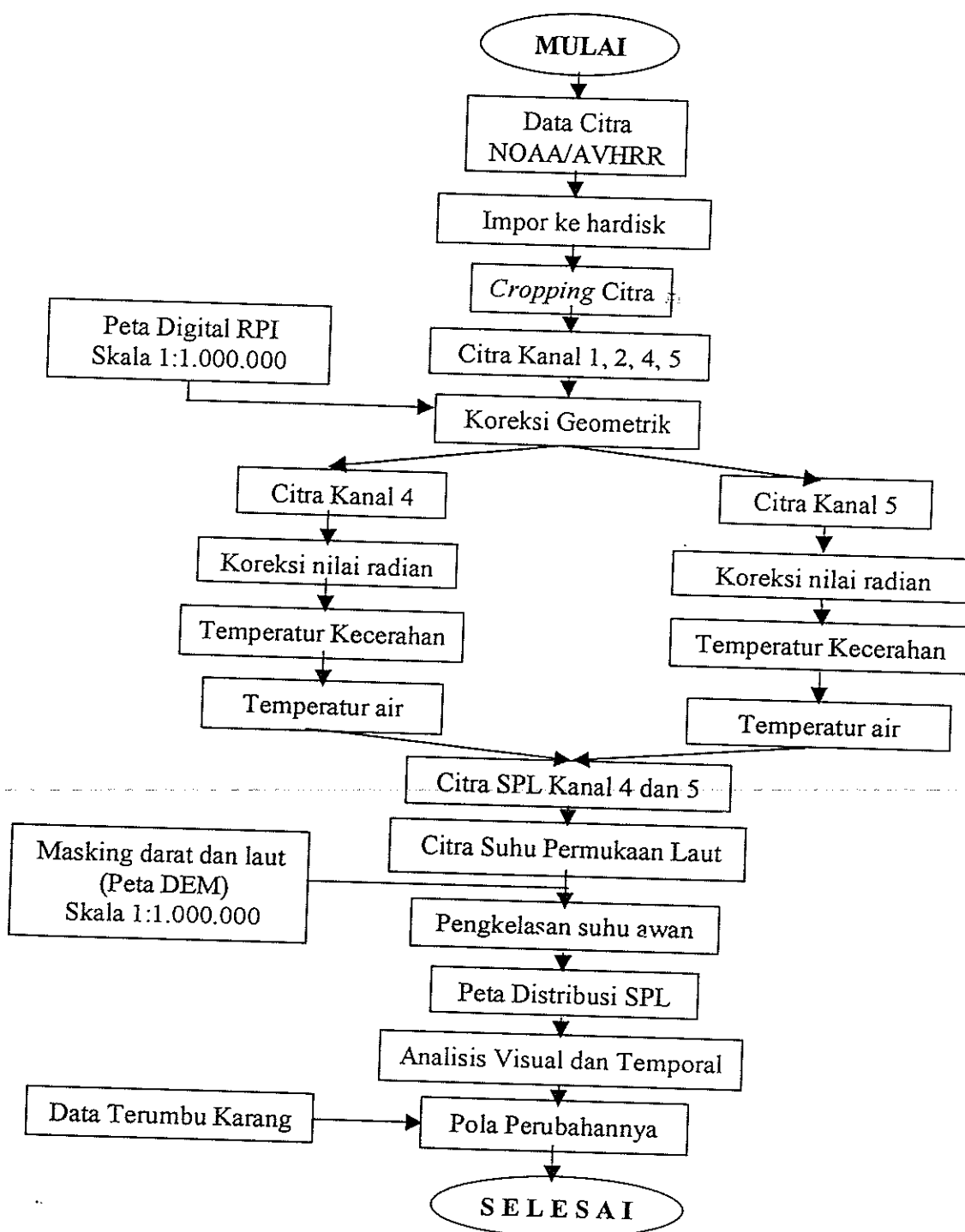
- Brown, O.B., J.W. Brown and R.H Evans. 1985. Calibration of Advanced Very High Resolution Radiometer Infra Red Observations. *Journal of Geophysical Research*. 90 (C6). 11667-11667
- Brown, B.E. and Suharsono. 1990. Damage and Recovery of Coral Reefs Affected by El Nino Related Seawater Warming in The Thousand Islands, Indonesia. *Coral Reefs*. 8:163-170
- Coffroth, M.A., H.R. Laskeer, J.K. Oliver. 1990. Coral Mortality outside The Eastern Pacific during 1982-1983; Relationship with El Nino. dalam Glynn, P.W. *Global Ecological Consequences of the 1982-1983 El Nino Southern Oscillation*. Elsevier. Amsterdam.
- Dahuri, R.,J. Rais, S.P. Ginting dan M.J. Sitepu. 1996. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 229 hal.
- Gomez, E. D. and H. T. Yap. 1984. Monitoring Reefs Conditions. In: Kechington, R.A, and B.E.T. Hudson (editor). *Coral Reefs Management Handbook*. UNESCO Regional for Science and Technology for South East Asia. Jakarta.
- Glynn, P.W., 1990. Coral Mortality and Disturbances to Coral Reefs in The Tropical Eastern Pacific. dalam Glynn, P.W. *Global Ecological Consequences of The 1982-1983 El Nino Southern Oscillation*, Elsevier, Amsterdam.
- Harsanugraha, W.K. dan E. Parwati, 1992. Aplikasi Algoritma Multikanal Untuk Estimasi SST Menggunakan Data NOAA-11/AVHRR. LAPAN. Jakarta.
- Hasyim, J.B., 1986. Penentuan Temperatur Permukaan Laut Menggunakan AVHRR dengan Analisa Berbagai Saluran. *Majalah LAPAN*, No. 41. Jakarta.
- Hoegh-Guldberg,O, and G.J. Smith. 1989. The Effect of Sudden Changes in Temperature, Light, and Salinity on the Population Density and Export of Zooxanthellae from the Reef Coral *Stylaphora pistillata* Esper and *Seriatopora hystrix* Dana. *J Exp Marine Biology Ecology* 129:279-303.
- Hyne, J. 1998. Bleaching The Great Unknown. *Reef Research* 8:8-11
- Irmudyawati, L. 2000. Respon Suhu dan Tekanan di Udara dan Perairan Selat Lombok terhadap El-Nino 1997 dan La-Nina 1998. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- King, C.A.M., 1963. Introduction to Coastal Oceanography. McGraw Hill. New York.
- Nikijuluw, V.P. 1998. Management of Coastal Area by Villagers of Jemeluk, Bali Island. Indonesian Journal of Coastal and Marine Resources Management. 1:21-30.
- Nontji, A. 1987. Laut Nusantara. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Nurlidiasari, M. 1999. Kajian Perubahan Komposisi Terumbu Karang Akibat Fenomena *Bleaching* di Perairan Amed, Bali. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nybakken, 1988. Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis. Alih Bahasa, H.M. Eidman et.al. Cetakan 1. Jakarta. Gramedia, 1988, 459 hal.
- Odum, E. P. 1971. Fundamental of Ecology. Toppan Company, Ltd. Tokyo.
- Pellegrini dan Penrose, 1986. Comparison of Ship Based and Satellite AVHRR Estimates of Sea Surface Temperature. 1<sup>st</sup> Australian AVHRR Conference. Perth.
- Philander, S.G. 1990. El-Nino, La-Nina and The Southern Oscillation. Academic Press. Inc.
- Pomerance, R. 1999. Coral Bleaching, Coral Mortality, and Global Climate Change. Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs. USA.
- Purba, M. 1991. Diktat Kuliah. Interpretasi Data Penginderaan Jarak Jauh II. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Robinson, I.S., 1985. - Satellite Oceanography an Introduction for Oceanographer and Remote Sensing Scientist. Ellis Harwood Ltd. John Willey and Sons. New York.
- Sukarno, 1986. The Status of Coral Reef in Indonesia. Proceedings of MABCOMAR Regional Workshop on Coral Reef Ecosystem : Their Management Practices and Researches/Trainings Needs. UNESCO-LIPI. Jakarta.
- Wijonarno, A. 1999. Kajian Struktur Komunitas Terumbu Karang di Pulau Menjangan dan Pulau Nusa Penida, Bali. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.

- Williams, E.H. and L.B. Williams. 1990. The World-wide Coral Reef Bleaching Cycle and Related Source of Coral Mortality. *Atoll Research Bulletin*. 335:39-53
- Weyl, P.K. 1970. *Oceanography. An Introduction to The Marine Environment*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of South East Asian Waters*. Naga Report Vol 2. The University of Calofornia la Jolla.
- Yayasan WWF Indonesia, Kawasan Wallacea 1998. *Kondisi Terumbu Karang Bali Dewasa Ini*. Denpasar. Denpasar. 1998.
- Zamani, N.P. 1995. Effect of Environmental Stress on Cell Dividsion and Other Cellular Parameters of Zooxanthellae in the Tropical Symbiotic Anemone *Heteractis malu*, Haddon and Shackleton. *A Dessertation Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy*. Marine Science and Coastal Management Department University of Newcastle Upon Tyne, United Kingdom.
- Zamani, N.P. 1997. *Inventarisasi Biota Laut dan Pendidikan Selam*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Zamani, N.P., M. Nurlidiasari, dan K.S. Putra, 1999. Fenomena *Bleaching* di Perairan Amed, Bali: Monitoring 1997-1999. *Pros. Lok. Pengelolaan dan Iptek Terumbu Karang Indonesia*. Jakarta, 22-23 November 1999: 146-156.

Lampiran 1.

### Bagan Alir Pengolahan Data Suhu Permukaan Laut Dari Citra NOAA/AVHRR



**Peristiwa Bleaching pada Terumbu Karang Tahun 1998  
di Kawasan Asia Tenggara dan Asia Timur, Pasifik Barat, dan Samudera Hindia**

**ASIA TENGGARA DAN ASIA TIMUR**

No	Negara	Waktu terjadinya	Lokasi	Suhu Laut	Persentase bleaching	Spesies yang bleaching
1	Indonesia		Taman Nasional Bali Barat, Tulamben		75-100%	HC, SC, dan anemon
			Nusa Penida, Nusa Lembongan			
		Januari-Maret 1998	P. Seribu, Taman Nasional Karimun Jawa		0-46% (3m)	<i>Acropora</i> , <i>Galaxea</i>
		Maret 1998	Lombok		1-25% (10 m)	<i>Pachyseries</i> , <i>Hydnopora</i> , <i>Galaxea</i>
		Januari 1998	Kalimantan Timur	23°C	90%	<i>Acropora</i>
2	Cambodia	Mei 1998	Sihanoukville		60-70%	
		Juli 1998	Pulau Okinawa (26°N)	25-28°C (Juni), 28-31,5°C (Juli)	80%	<i>Acropora</i> , <i>Pocillopora</i>
3	Jepang	Agustus 1998		31°C, 30°C (offshore)		<i>Acropora</i> , <i>Merulina</i> , <i>Pocillopora</i> , <i>Montipora</i> , <i>Porites</i> .
		September 1998	Sampai ke daratan Jepang (33°N)			
4	Malaysia	Juli-Agustus 1998	Pulau Ishigaki (24°N), Amakusa, Kyushu (32°N)	30°C	50-70%	<i>Heliopora</i> , <i>Fungia</i> .
		Mei 1998	Sabah	32°C	30-40%	
			Pulau Sakar		30%	semua spesies, <i>Acropora</i> (90%), kima raksasa (20%)

## Lampiran 2 (lanjutan)

No	Negara	Waktu terjadinya	Lokasi	Suhu Laut	Persentase bleaching	Spesies yang bleaching
4	Malaysia		Pulau Baik		5%	<i>Symphylia</i> , <i>Lobophyllia</i> , <i>Lithophyllion</i>
5	Filipina	Juli-Agustus 1998 Juli 1998	Pulau Mamutik (Taman Tunku Abdul Rahman), Taman Turtle Island Bolinao - Puerto Galera dan Negros Island,	33-34°C	75%	SC dan anemon, <i>Galaxea fascicularis</i> , platting, branching, foliose, masif, faviid. branching dan SC. semua spesies HC, SC.
6	Singapura	Oktober 1998 Juni-Juli 1998	Danao Bay, barat laut Mindanao	33°C, normal 28-30°C		
7	Taiwan	Juni 1998 Agustus 1998	Penghu Island Posunatou, Taiwan tenggara	30°C 31°C (20 m), 34°C (1m)	30-40% 80%	
8	Thailand	April 1998	Narathivat-Trat sampai Chonburi	32-35°C (normal: 28-29°C)		<i>Acropora</i> (100%), <i>Pocillopora damicornis</i> (80%), <i>Porites</i> (60-70%)
9	Vietnam	Juli 1998	Chumporn (10°50'N) Sichang Island dan Mun Islands Nha Trang, Taman Nasional Con Dao		30-50% 50-60% 70-80%	<i>Acropora</i> , <i>Porites</i> , <i>Lobophyllia</i>

## PASIFIK BARAT

No	Negara	Waktu terjadinya	Lokasi	Suhu Laut	Persentase bleaching	Spesies yang bleaching
1	Australia	Januari 1998	Great Barrier Reef (17-23°S) (P. Orpheus, Pandora, Elford, P. Heron)		87% inshore, 28% offshore (rendah), 55% inshore, 5% offshore (parah)	<i>Simularia</i> , <i>Acropora</i> , <i>Pocillopora</i> , dan hampir semua SC

Lampiran 2 (lanjutan)

No	Negara	Waktu terjadinya	Lokasi	Suhu Laut	Persentase bleaching	Spesies yang bleaching
	Australia	Maret 1998	Selatan Queensland (26°S)- Utara New South Wales (28°30'S)	28°C-30°C, normal 25°C	60-70%	<i>Pocillopora damicornis</i> , <i>Stylophora pistillata</i>
2	Mikronesia	September 1998	Yap	30 - 31°C	20%	<i>Acropora</i> , <i>Goniastrea</i> , <i>Favia</i> , <i>Platygyra</i> , <i>Porites</i> , <i>Leptoria</i> , <i>Mycodium</i> , <i>Goniopora</i> , <i>Physogyra</i> , <i>Astreopora</i> , <i>Psammocora</i> , <i>Pocillopora</i> , <i>Turbinaria</i> , <i>Pavona</i> , <i>Fungia</i> <i>Hydophora</i> , <i>Seriatopora</i> , <i>Echinopora</i> , <i>Stylophora</i> , <i>Diploastrea</i> , <i>Montipora</i> , <i>Sarcophyton</i> , <i>Lobophyton</i> , <i>Heteractis</i> , <i>Helioptora</i> .
3	Polynesia	Awal 1998	Takapota, Rangiroa, Manihi, Moorea, Bora Bora.		12%	
4	Palau	September 1998	Arakabasan, Cemetary, Peleliu, The Blue Corner, The Big Drop-Off, Iwayama Bay, Blue Hole.	30-32°C	75%	
5	Papua New Guinea	Agustus 1998	Kimbe Bay (New Britain)	31-31,5°C-10 m 32-33°C-0 m	75%	<i>Acropora</i> , <i>Porites</i> , <i>Platygyra</i> , <i>Montipora</i> .
		Februari- Maret 1998	Barat Daya Kimbe Bay Selatan P. Normanby s.d Cape Vogel, dan Tufi	29,5-30°C 29-30°C	10% hampir 100%	<i>Acropora</i> karang batu, karang lunak, dan anemon



## Lampiran 2 (lanjutan)

SAMUDERA HINDIA						
No	Negara	Waktu terjadinya	Lokasi	Suhu Laut	Persentase bleaching	Spesies yang bleaching
1	Comores	Mei 1998	Grande Comore, Galawa			
2	India	Mei 1998	Lakshadweep Islands, Teluk Kutch, Andaman Islands		10-30%	
3	Kenya	Maret-Oktober 1998	Lamu (2°S), Mombasa	32°C	5%	
4	Madagaskar	Februari-Maret 1998	Belo Sur Mer, Antananbe, Toliara, Nosy Be Mitsio, Mananara-Nord, Masoala Peninsula	32-33°C	40-80%	<i>Acropora</i>
5	Maldives	April-Mei 1998	Pusat turisme		30-80%	<i>Acropora</i> , SC, anemon
		April-Juni 1998	South Male Atoll	>30°C		<i>Simularia</i> , <i>Acropora</i> , <i>Fungia</i> , <i>Porites</i> (60-80%), kima raksasa,
6	Mauritius		Iles aux Benities	30°C	1-15%, 50% (di laguna)	
7	Mayotte	April 1998	Kepulauan Comoro			<i>Acropora</i> (80%), <i>Galaxea</i> , <i>Lobophyllia</i> , <i>Goniopora</i> , SC.
8	Reunion	Maret 1998	Reunion	tidak terekam	30-50%	<i>Acropora</i> , <i>Galaxea</i> , <i>Pocillopora</i>
9	Seychelles	Maret-Mei 1998	Aldabra, Providence Group (9°S; 46-52°E), Alphonse Group (7°S; 53°E)	29-34°C, 34°C di laguna	40-50%	<i>Acropora</i> , <i>Millepora</i> , anemon, <i>Pocillopora</i> , SC, kima raksasa

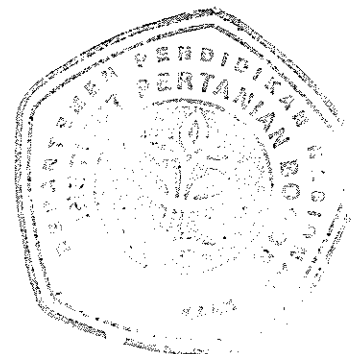
10	<b>Sri Lanka</b>	April- Juni 1998	Hikkaduwa Marine Sanctuary, Battilaoa	32-35,5°C normal 29-30°C	75%	<i>Montipora</i> .
11	<b>Tanzania</b>	Mei 1998	Mnazi Bay (10°S)	30,5°C	15-25%	<i>Acropora, Porites</i>
			Zanzibar (6°S)		25-50%	
			Tanga (5°S)		25%	
12	<b>Laut Timor</b>	Mei 1998	Chumbe		80-95%	<i>Acropora</i>
			Scott, Seringapatam, Cartier, Hibernia-Australia (14°S, 121°E)		70-100% (1-9 m)	SC ( <i>Lobophyton</i> , <i>Sarcophyton</i> )

Sumber : Copyright ©1996-2000 Australian Institute of Marine Science

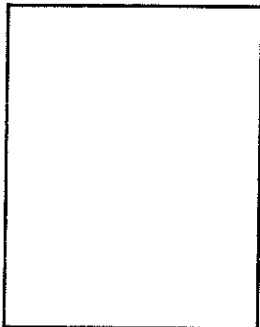
## Persentase Penutupan Karang Bali Tahun 1996

Stasiun	Tahun	Kedalaman 3 m						Kedalaman 10 m						
		HC	SC	OT	Algae	DC	Abiotik	HC	SC	OT	Algae	DC	Abiotik	
<b>AMED</b>														
<i>Reef Check</i>	1996													
	1997	43,39	1,83	3,05	0,00	15,24	32,32	39,63	0,61	14,03	0,00	0,00	45,73	
	1998	32,93	0,00	7,32	0,00	28,05	31,71	7,32	0,00	3,66	0,00	19,51	69,50	
	1999	15,07	0,00	1,37	0,00	0,00	83,57	18,75	0,00	5,00	0,00	1,25	75,00	
	2000	8,80	1,20	0,20		89,80		7,40	0,20	3,20	6,60	73,40	9,20	
<i>Kebun Korai</i>														
	1996													
	1997													
	1998	31,21	0,12	1,08	0,00	23,51	23,96							
	1999	48,70	0,00	0,00	0,00	9,77	41,54							
	2000	1,80	0,00	45,20	44,00	49,30	0,00	24,78	0,00	2,00	60,20	0,00	13,00	
<i>Tebing</i>														
	1996													
	1997													
	1998	29,23	0,00	4,38	7,58	27,76	26,66	7,96	0,18	11,60	0,00	18,90	46,53	
	1999							18,75	0,00	5,00	0,00	1,25	75,00	
	2000	52,80	0,00	4,80	0,00	35,60	4,40	4,40	1,20	10,20	16,80	25,40	44,40	
<b>NUSA PENIDA</b>														
<i>Toyopakeh</i>														
	1996													
	1997	63,50	18,40	5,50	6,00	2,50	4,10	21,20	23,50	2,50	9,60	2,20	41,10	
	1998	30,60	37,85	1,00	0,00	3,60	26,95	30,60	15,30	0,00	0,65	6,90	46,55	
	1999	40,75	26,55	1,90	0,00	7,30	23,55	29,65	21,85	4,95	0,00	5,85	37,70	
	2000	38,89	29,43	4,45	0,00	2,78	24,44	75,20	3,70	7,70	4,00	2,20	11,40	
<i>Bias Muntig</i>														
	1996													
	1997													
	1998	12,90	39,50	0,00	0,00	1,70	45,90	14,80	63,70	0,00	0,00	2,00	19,50	
	1999	11,50	5,90	2,80	0,00	35,40	44,40	11,40	12,30	17,30	0,30	43,50	15,10	
	2000	10,20	0,20	0,00	88,60	0,00	1,00	22,00	1,20	0,00	69,00	0,00	7,80	
<i>Tn Bias</i>														
	1996													
	1997	17,60	53,10	1,70	2,40	4,90	20,40	61,40	25,90	2,00	9,20	0,00	1,50	
	1998	5,20	1,50	0,00	0,00	11,80	81,50	31,60	7,60	1,40	0,40	36,60	22,40	
	1999	6,00	7,70	0,20	5,60	46,60	34,00	31,30	10,70	12,10	10,50	24,30	11,20	
	2000	4,20	3,20	3,00	10,00	8,00	71,60	56,00	9,40	11,60	9,00	1,60	12,40	
<i>Prapat</i>														
	1996													
	1997													
	1998	15,90	3,20	1,40	0,00	33,80	45,70	71,30	2,10	2,20	0,00	23,60	0,80	
	1999	2,20	13,80	0,00	0,00	84,00	0,00	38,70	4,10	7,30		33,20	16,70	
	2000	18,00	0,20	0,00	61,80	3,40	16,60	47,14	2,00	0,00	50,86	0,00	0,00	
<i>Bodong</i>														
	1996													
	1997	39,10	42,70	0,30	16,30	0,00	1,50	38,20	44,00	7,80	0,40	0,10	9,00	
	1998	19,70	1,30	0,00	0,30	48,70	30,00	23,40	18,50	1,70	1,30	30,10	25,00	
	1999	11,45	5,00	1,50	3,00	58,75	20,00	20,75	18,70	10,25	6,80	22,30	21,20	
	2000	2,30	8,20	14,00	89,66	2,20	1,00	28,60	8,20	4,00	31,40	6,20	21,60	
<b>MENJANGAN</b>														
<i>Garden Eel</i>														
	1996	16,20	17,80	0,60	0,00	58,40	7,00	13,70	4,70	13,80	6,90	35,30	25,60	
	1997													
	1998	3,48	15,50	5,60	3,52	18,42	53,48	1,00	7,52	12,40	0,00	40,20	38,88	
	1999													
	2000	7,56	5,20	32,69	1,30	17,20	36,05	10,35	0,00	0,51	0,15	13,12	75,87	
<i>Pos 2</i>														
	1996	29,60	37,60	2,90	0,00	25,50	4,40	20,20	18,10	9,40	0,50	30,00	21,80	
	1997													
	1998	3,26	29,98	15,00	6,12	1,56	44,08	3,30	4,76	3,58	10,72	0,00	45,44	
	1999													
	2000	6,61	18,39	19,15	30,37	4,96	20,52	20,47	10,30	23,81	19,40	22,37	3,65	

- **FDC** tercinta: Diklat XV (e.t *buddy*, nie\$, cha2, amehr, bimo, yudi, hero, paul, begin, azis, khalif, tiar, jacky), nanang, mimil, budi, Cpo, Eko, Giejlig, jambul, mbak femmy, mbak neekee, mbak resti, m'ina, erdi *supey*, nugie, jay, bang La Ila,
  - *Special thanks* to: Dek Cpo, Bunga, Stany, Asheem, Iyet, Musleh, Ecy, Etti, Ferly, Wiwik, Minar, Bang Andi, Kika.
  - **ITK'33** : giant, QQ, link, mone, sari, ati, ula, ochi, yuyun, ie', lylys, ika, mae, pipit, eneng, anny, henny, ami, tonyot, irfan, saiful, achay, roni, fai, amehr, bimo, boegil, rudi, yudi, natsir, dudu, aris, agus *bodat*, heri, edi, hermadi, wanto, iman, ipunk, rizal, nunung, darma, baris, charles, fujita, basuki, syachrul, ketut, bowo, giri, juhri, dillah, mahdan, tryo, entang.
  - **Kopelkhu**: Maria, Herma, Tia, Ale, Rani, Evelyn, Naomi, Anne, dll
  - **Staf ITK**: M' Yanti, P'Lucky, P'Danu, M'Dedeh, Bibik.
  - **Kakak kelas dan adek kelas**: Aco, Bang Min, Mas Yoyo, Erdi, Nugie, Bang Joni, Jambul, Mbak Ina, Mbak Mona, Bang Paul, Dicky, Pentoel, Dek Cpo, Chitet, Daeng, Mimil, Nanang, Surya, Ayu, Riri, Dian, Thunky, dll.
  - **Tim Expedisi Zooxanthellae V**, semuanya..... termasuk Bik Uwat dan Keluarga Pak Kades Pasar Krui, Kak sam, Bu Roh, Wulan, Else dan Ilyas, dan si Beetle Juice.
  - Rekan-rekan sekalian : **Warga FPIK '33**
  - Yang ku hormati selalu, **Bu Murni** dan **Bapak**, atas semangat, doa, cinta, kehangatan dan dukungan moril yang tak habis-habisnya.
- 
- Semua **Dosen** dan **tenaga pengajar FPIK IPB**.



## Riwayat Hidup



Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 25 Juni 1978, anak ketiga dari tiga bersaudara, pasangan dr. F.P. Pardede dan dr. Nancy Marfa Mochally.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Baptis Palembang tahun 1990, melanjutkan lagi di SMP Xaverius I Palembang sampai tahun 1993, kemudian menyelesaikan pendidikannya di SMA Negeri I Palembang pada tahun 1996 dan lulus Ujian Masuk Perguruan Tinggi Negeri di Institut Pertanian Bogor, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan.

Selama melaksanakan studi di Institut Pertanian Bogor, penulis pernah aktif menjadi Asisten Luar Biasa untuk m.a. Ikhtiologi pada periode 1998/1999 dan 1999/2000, Asisten Luar Biasa m.a. Widya Selam periode 1998/1999, Asisten Luar Biasa m.a. Anatomi dan Biologi Ikan periode 1999/2000.

Untuk kegiatan non-akademik penulis aktif di organisasi Persekutuan Mahasiswa Kristen Institut Pertanian Bogor dalam Komisi Pelayanan Khusus, sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Ilmu dan Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor (HIMITEKA-IPB), dan anggota aktif Fisheries Diving Club (FDC). Selama menjadi anggota FDC, penulis pernah mengikuti Expedisi Zooxanthellae V dan ikut serta sebagai partisipan dalam tim Reef Check Indonesia 1999 dan 2000 yang diselenggarakan atas kerja sama dengan WWF Wallacea Bioregion Programme, Bali.

Bogor, 7 September 2001

Shinta Trilestari Pardede