

**KAJIAN DISPERSI BUANGAN PANAS DAN PENGARUHNYA
TERHADAP BIOTA DI PERAIRAN LAUT SEKITAR PT. PUPUK
KALIMANTAN TIMUR Tbk, BONTANG, KALIMANTAN TIMUR.**



Tesis

M u j a b,
L4K002029

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

TESIS

KAJIAN DISPERSI BUANGAN PANAS DAN PENGARUHNYA TERHADAP
BIOTA DI PERAIRAN LAUT SEKITAR PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR
Tbk, BONTANG, KALIMANTAN TIMUR

Disusun oleh

M u j a b,
L4K002029

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 14 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

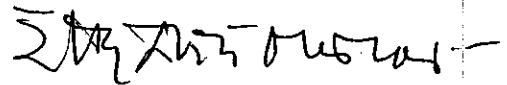
Menyetujui,

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS

Pembimbing II



Drs. Dwi P. Sasongko M.Si

Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	3228 / T / MIL / e /
Tgl.	30 / 12 / 04

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN DISPERSI BUANGAN PANAS DAN PENGARUHNYA TERHADAP
BIOTA DI PERAIRAN LAUT SEKITAR PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR
Tbk, BONTANG, KALIMANTAN TIMUR

Disusun oleh

M u j a b,
L4K002029

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 14 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

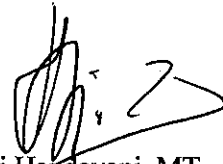
Menyetujui,

Penguji I



Dr. Norma Afiati, MSc

Penguji II



Ir. Dwi Handayani, MT

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS

Pembimbing II



Drs. Dwi P. Sasongko M.Si.

Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya tesis ini dapat disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat S-2 pada Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini dapat diselesaikan berkat adanya bimbingan dan dorongan serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Eko Budihardjo MSc. selaku Rektor Undip Semarang, Prof. Dr. dr. Suharyo selaku Direktur Program Pascasarjana Undip Semarang, serta Prof Dr. Sudharto P. Hadi, MES selaku Ketua Program S-2 Ilmu Lingkungan Undip Semarang yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk mengikuti program pascasarjana Ilmu Lingkungan di Universitas Diponegoro Semarang.
2. Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, MS sebagai pembimbing I dan Drs. Dwi P. Sasongko M.Si, sebagai pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dengan sepenuh hati, pengertian dan kesabarannya mulai dari persiapan sampai penyelesaian penulisan sehingga penulis termotivasi untuk dapat segera menyelesaikan penulisan ini disela-sela pekerjaan rutin sebagai karyawan PT. Pupuk Kaltim.
3. Dr. Norma Afiati, MSc selaku penguji I dan Ir. Dwi Handayani, MT selaku penguji II yang telah berkenan menerima hasil tesis ini serta memberikan tanggapan, masukan dan koreksi sehingga penulis dapat membuat penulisan ini menjadi lebih baik.
4. Ir. Sutarman Hd. IPM, MSiL selaku kepala Biro K3LH PT Pupuk Kaltim Bontang dan Ir. Washington Limbong selaku kepala Bidang Pengendalian Lingkungan Hidup PT Pupuk Kaltim Bontang serta Ir. Wien Hartono MM selaku kepala Biro Pengembangan SDM PT Pupuk Kaltim Bontang yang telah memberikan penulis kesempatan dan fasilitas menggunakan peralatan sarana dan prasarana sehingga proses belajar mengajar sampai pada penelitian dan penulisan tesis ini dapat terlaksana dengan lancar.

5. Istri penulis Sri Nurhidayati, dan ketiga anak penulis Fatmawati, Faiza dan Farhan, atas pengertian, pengorbanan dan bantuan mereka, sehingga selain tugas penulis untuk memenuhi kewajiban keluarga, penulis masih berkesempatan mengikuti program study lanjutan sampai terselesaikannya tesis ini.
6. Rekan sekerja penulis Trijoko, Mujib Utomo, Guntur, Jumadin yang dengan kerelaannya telah membantu penulis mencari bahan, menemani dan mengkompilasi data lapangan.
7. Rekan mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan Undip Semarang kelas Bontang khususnya Arni Kusumastuti, Sugianto Hendrata, Jos Dannari, Yudhi Hartono, Agus Subekti, Sri Juwani Ekowati dan Kusnul Nurmanto yang telah memberi dorongan penulis untuk menyelesaikan tesis ini bersama-sama dan tepat waktu serta rekan-rekan mahasiswa MIL yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu karena mereka pula penulis berkesempatan bertukar informasi sampai terselesaikannya tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna namun penulis berharap tulisan ini dapat berguna bagi para pembaca umumnya dan khususnya bagi penulis, oleh karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan.

Semoga Allah SWT. selalu melimpahkan taufik dan hidayahNya kepada kita semuanya.
Amin.

Bontang, Juni 2004

Penulis

KAJIAN DISPERSI BUANGAN PANAS DAN PENGARUHNYA TERHADAP BIOTA DI PERAIRAN LAUT SEKITAR PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR Tbk, BONTANG, KALIMANTAN TIMUR.

Mujab*, Sutrisno Anggoro**, Dwi P. Sasongko**

ABSTRAK

Kajian dispersi buangan panas dan dampaknya terhadap biota laut di perairan laut sekitar PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengkaji model dispersi panas dari sumber buangan air panas pabrik PT. Pupuk Kaltim ke badan air penerima dan (2) Menganalisis pengaruh/ dampak dispersi buangan panas terhadap biota laut (plankton, nekton dan bentos) di perairan sekitar PT. Pupuk Kaltim. Lokasi penelitian di area *water outfall* panas pabrik PT. Pupuk Kaltim pada badan air sampai radius 3 km serta di *water intake* PT. Pupuk Kaltim sehingga terliput pola penyebaran panasnya.

Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus dengan pengambilan contoh secara *purposif* pada lokasi penelitian dengan memperhatikan kemudahan yang bisa dijangkau secara teknis. Untuk pemeriksaan suhu pada arah horizontal kerapatan sampling diambil mengikuti gradien penurunan suhu dari *outfall*, sedangkan variabel suhu pada arah vertikal hanya dilakukan ditempat yang mempunyai kedalaman lebih dari 8 meter. Data dianalisis dengan model peta kontur sebaran panas.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Pabrik Pupuk Kaltim telah membuang kalor yang cukup besar yaitu $1,396 \times 10^9$ kkal/jam. Penyebaran temperatur pada permukaan air laut semakin jauh semakin turun dengan penurunan yang mengikuti pola eksponensial mendekati temperatur rata-rata air laut ($28 - 30^\circ\text{C}$), batas keluaran *outfall* dengan temperatur 39°C sampai 30°C , berada pada radius terjauh 3 km dari *outfall* dan selanjutnya temperatur di laut lepas berkisar 28°C sampai 30°C . Pola penyebaran temperatur secara vertikal di tempat-tempat dengan kedalaman lebih dari 8 meter (di area basin dan alur) temperatur dasarnya mendekati 30°C meskipun temperatur permukaannya mencapai di atas 35°C . Kelimpahan plankton di area dengan radius kurang dari 1 km rata-rata 15000 ind/liter sedangkan di radius lebih besar dari 1 km kebanyakan di bawah 10000 ind/liter sedangkan kondisi *bentos* di area dengan temperatur permukaan $33-37^\circ\text{C}$ ditemukan dengan kelimpahan rata-rata 400/m² tidak jauh beda dengan kondisi di luar itu. Pemeliharaan ikan dengan karamba terapung di radius 600 meter dari *outfall* menunjukkan hasil yang baik dengan berat rata-rata 250 gram pada umur 75 hari, dan tingkat kematian yang rendah (3 persen). Hasil tangkapan Belat di daerah lhok tuan (1500 m dari *outfall*) tertangkap 10 jenis ikan, terbanyak jenis Bawes (*Siganus vermiculatus*). Hal ini membuktikan bahwa cemaran dari *outfall* pabrik PT Pupuk Kaltim masih bisa diterima oleh lingkungan dan biota yang ada di dalamnya.

Kata kunci : Biota laut, Dispersi Buangan Panas, Perairan laut Bontang,

* Mahasiswa S₂ MIL, Program Pascasarjana UNDIP

** Pembimbing.

A STUDY OF THERMAL DISCHARGE DISPERSION AND ITS EFFECT TO THE MARINE BIOTIC COMMUNITY IN SURROUNDS PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR Tbk., BONTANG, EAST KALIMANTAN.

Mujab*, Sutrisno Anggoro**, Dwi P. Sasongko**

ABSTRACT

This study of water outfall heat dispersion and its effect to the marine biota in the sea surrounds PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk has been done. The aim of this study are (1) Study a heat dispersion model from the heat water outfall source of PT. Pupuk Kaltim to the water receiver and (2) Analyze the effect of dispersion of thermal *water outfall* to the marine biotic (plankton, nekton, and bentos) in the sea surrounds PT. Pupuk Kaltim. The location of this research is in the area of thermal *water outfall* of PT. Pupuk Kaltim at the water body to the radius of 3 km and at *intake* of PT. Pupuk Kaltim, so that its heat spread pattern can be covered.

The used research method was a case study with sampling taking *purposively* in the research area by paying attention to the ease that can be reached technically. For the temperature checking in the horizontal direction, the sampling density taken follow the gradient of temperature decline from the *outfall*, meanwhile the temperature variable in the vertical direction only be conducted in the area having a depth more than 8 meters. Data was analyzed by using a method of contour of heat spread.

From the result, it can be concluded that PT. Pupuk Kaltim discharged thermal calory is $1,396 \times 10^9$ kcal/hour. The temperature spread in the water surface is getting down with the decreasing that follows exponential pattern close to the average temperature of sea water (28 - 30°C), the limit of *outfall* output with its temperature is 39°C to 30°C, is in the furthest radius 3 km of *outfall* and then the temperature in the sea is about 28°C to 30°C. The vertically pattern of temperature spread in the areas with depth is more than 8 meters (in the basin and alur area) its basic temperature is almost 30°C, eventhough its surface temperature reaches above 35°C. The plankton density in the area with radius is less than 1 km, is about 15000 ind/liter, meanwhile in the radius that is more than 1 km mostly is under 10000 ind/liter, meanwhile the *bentos* condition in the area with surface temperature 33 - 37°C is founded with its average excess is 400/m² it is not different with the condition outside of it. The fish treatment by using floating *keramba* in the radius of 600 meters from the *outfall* indicates a good result with its average weight is 250 grams in the age of 75 days, and the low mortality rate (3 percent). The amount of *Belat* catch in Lhok Tuan (1500 m of *outfall*) consists of 10 kinds of fish, the most amount is kind of *Bawes* (*Siganus Vermiculatus*). This shows that pollution of *outfall* from PT. Pupuk Kaltim still can be received by the environment and biota inside.

Keywords : Marine biota, water discharge dispersion, Bontang seashore.

* Postgraduated student of of MIL, UNDIP Postgraduated Program

** The Advisors

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Kegunaan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Landasan Teori	4
2.2. Pembahasan Penelitian Terdahulu Yang Relevan	13
2.3. Originilitas Penelitian	14
III. METODA PENELITIAN	
3.1. Rancangan Penelitian /Perpektif Pendekatan Penelitian	15
3.2. Ruang Lingkup Penelitian / Fokus Penelitian	15
3.3. Lokasi Penelitian	16
3.4. Variabel Penelitian / Fenomena yang Diamati	16
3.4.1. Klasifikasi variabel	16
3.4.2. Variabel konseptual	16
3.4.3. Variabel operasional	19
3.5. Jenis dan Sumber Data	19
3.6. Instrumen Penelitian	20
3.6.1. Alat yang digunakan	20

3.7. Populasi dan atau Teknik Pengambilan Sampel	20
3.8. Teknik Pengumpulan Data	21
3.9. Teknik Analisis Data	22
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Keadaan Umum Daerah Penelitian.....	24
4.2. Hasil Penelitian.....	24
4.3. Analisis Hasil dan Pembahasan.....	25
4.4. Persepsi Masyarakat Terhadap Air Buangan Bersuhu Tinggi	30
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan	33
5.2. Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Penelitian pengaruh panas terhadap terhadap organisma air	7
Tabel 2 Flux evaporasi pada perbagai suhu.	10

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 . Faktor-faktor kualitas air yang mempengaruhi bentos	12
Gambar 2. Peta lokasi penelitian	17
Gambar 3. Lay out pabrik dan saluran	18
Gambar 4. Kontur panas dan titik sampling sekitar PKT	28
Gambar 5. Grafik Jarak Vs Temperatur	29
Gambar 6. Peta kelimpahan dan keragaman Bentos	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 . Kurve Fit Jarak Vs Temperatur	37
Lampiran 2. Data survey temperatur air laut dan DO (sebaran horizontal)	38
Lampiran 3. Data survey temperatur air laut, (sebaran vertikal)	45
Lampiran 4. Kelimpahan (ind/liter) dan keanekaragaman fitoplankton	
Lampiran 5. Jumlah spesies (S), jumlah individu (N), index keanekaragaman (H'), index keseragaman (E) dan index dominansi (C) dan plankton (pada saat perairan konda).....	46
Lampiran. 6. Jumlah spesies (S), umlah individu (N), index keanekaragaman (H'), index keseragaman (E) dan index dominansi (C) plankton	46
Lampiran 7. Kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton.	47
Lampiran 8. Pengukuran parameter oseanografi fisika dan kimia.	47
Lampiran 9. Jumlah dan berat total hasil tangkapan belat.	47
Lampiran 10. Nama latin hasil tangkapan.	48
Lampiran 11. Kelimpahan (ind/la) dan keanekaragaman bentos	49
Lampiran 12. Data suvey temperatur dan salinity air laut pada kedalaman	50
Lampiran 13. Data temperatur lokasi dan jarak	51
Lampiran 14. Kriteria baku mutu air berdasarkan kelas (PP 82 tahun 2001)	52
Lampiran 15. Gambar pengambilan contoh bentos dengan sampling grab	55
Lampiran 16. Gambar sejenis cacing dan siput yang sering ditemukan	55
Lampiran 17. Gambar bentos yang telah terkena pewarna rose bengal dan yang belum ...	56
Lampiran 18. Gambar karamba terapung dekat buangan panas	56
Lampiran 19. Gambar peralatan GPS dan water analyzer	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT Pupuk Kalimantan Timur Tbk. yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur saat ini memiliki 4 unit pabrik ammonia urea dan 1 unit pabrik urea dengan total produksi ammonia 1,6 juta ton per tahun dan urea 3 juta ton per tahun. Bahan baku dari proses produksi ammonia urea adalah dari gas alam, udara dan uap air. Ketiga bahan tersebut masuk dalam proses di pabrik ammonia menghasilkan ammonia cair dan gas karbondioksida. Selanjutnya ammonia dan karbondioksida diproses lebih lanjut di pabrik urea menghasilkan urea. Di pabrik urea hanya $\pm 70\%$ ammonia produk diproses menjadi urea dan sisanya disimpan di tangki ammonia untuk disimpan atau dijual. (PKT, 2002a).

Aktifitas operasional pabrik memerlukan sistem pendingin yang menggunakan air laut sebagai media pengambilan panasnya dengan sistem sirkulasi terbuka atau sekali lewat (setelah digunakan langsung dibuang). Air laut disedot masuk melalui 5 buah *Sea Water Intake* yaitu Kaltim-1, Kaltim-2, Kaltim-3, Kaltim-4 dan Popka (urea unit 4) dengan debit masing-masing 20 s/d 65 ribu m^3 /jam dengan total ± 155 ribu m^3 /jam pada temperatur 25 – 30°C. Setelah disirkulasi untuk mengambil panas dari proses, selanjutnya air laut dikeluarkan melalui 5 buah *Sea Water Outfall* yang berjarak ± 2 kilometer dari *intakenya* dengan temperatur 33 – 37°C. Dengan demikian selama dalam proses pendinginan telah terjadi perubahan suhu air pendingin yang disirkulasi dari 27°C menjadi 36°C (PKT, 2004a).

Air laut yang keluar dari *Water Outfall* dengan temperatur 33 – 37 °C masuk ke badan air laut yang suhu ambiennya di perairan Bontang berkisar antara 25 - 30°C. Mekanisme pencampuran air panas di badan air berlangsung secara konveksi sehingga untuk mengetahui pola persebaran panas di badan air diperlukan model persebaran panas konveksional. Faktor-faktor yang mempengaruhi dispersi panas adalah dinamika perairan seperti pola arus, pola gelombang dan pasang surut di ukur di area penelitian sehingga diperlukan model transfer panas dalam badan air yang dapat dipetakan

melalui *Model Dispersi Panas*. Dengan model ini akan diperoleh gradien perubahan suhu secara horizontal dan vertikal yang dapat disajikan melalui peta kontur isothermal.

Buangan air laut dengan temperatur yang cukup tinggi ini berpotensi untuk menimbulkan gangguan terhadap kondisi lingkungan perairan laut di sekitar PT. Pupuk Kaltim. Kenaikan temperatur ini dapat menyebabkan penurunan daya dukung lingkungan dengan terganggunya habitat biota laut (plankton, bentos, nekton) dan terumbu karang yang berdampak lanjut pada penurunan produktivitas perairan sehingga menyebabkan penurunan pendapatan nelayan di sekitar PT. Pupuk Kaltim.

Berdasarkan hal tersebut di atas diperlukan penelitian lanjut untuk mengkaji pola penyebaran panas di lingkungan ambien menggunakan model program untuk memetakan kontur panas dan model persamaan dispersi panas serta kajian dampaknya pada biota laut.

1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Beberapa macam jenis limbah cair dari kegiatan operasional pabrik memiliki kandungan ammonia dan panas yang berpotensi menimbulkan gangguan kondisi lingkungan perairan. Salah satunya yang akan diteliti adalah pengaruh panasnya, sehingga perumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah: Apakah kajian dispersi buangan panas dapat digunakan untuk memetakan pola penyebaran panas dan dampaknya terhadap biota laut di perairan laut di sekitar PT. Pupuk Kaltim.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

- a) Mengkaji dan menentukan pola dispersi panas dari sumber buangan panas pabrik PT. Pupuk Kaltim ke badan air penerima.
- b) Menganalisis pengaruh dispersi buangan panas terhadap biota laut (plankton, nekton dan bentos) di perairan laut sekitar PT. Pupuk Kaltim.

1.4. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah :

a) Manfaat untuk PT. Pupuk Kaltim Tbk .

Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai masukan bagi PT. Pupuk Kaltim Tbk. dalam menyusun strategi pengelolaan dan pemantauan lingkungan perairan dan laut di sekitar PT. Pupuk Kaltim Tbk. dengan memperhatikan kepentingan masyarakat dan industri bekerja sama dengan Pemerintah Kota Bontang.

b) Manfaat untuk pemerintah daerah

Rekomendasi hasil penelitian dapat dijadikan sebagai masukan bagi Pemerintah Kota Bontang dalam penyusunan dan pelaksanaan program pengelolaan dan pemantauan perairan laut Kota Bontang.

c) Manfaat untuk masyarakat

Hasil dari penelitian diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat sebagai upaya untuk meningkatkan kesadaran tentang pentingnya pengetahuan kondisi biota laut di sekitar PT Pupuk Kaltim sehingga wawasan menjadi luas dan tidak timbul persepsi yang keliru sehubungan dengan keberadaan PT. Pupuk Kaltim.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Karakteristik air yang terkait dengan perubahan suhu adalah besaran panas jenis. Nilai panas jenis air yang tinggi, tidak segera mengikuti perubahan temperatur karena dapat melepas dan menyerap panas yang besar dibandingkan dengan perubahan temperaturnya (Melle, 2000).

Suhu air permukaan perairan umumnya berkisar antara 28 – 31 °C. Secara alami suhu air permukaan memang merupakan lapisan hangat karena mendapat radiasi matahari pada siang hari (Nontji, 1993).

Menurut Dahuri dkk (2001), suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan, serta proses interaksi antara air dan udara, seperti alih panas, penguapan dan hembusan angin.

Pengaruh besaran panas terhadap lingkungan tergantung dari volume dan temperatur keluarannya yang dapat ditoleransi oleh badan air penerimanya. Pengaruh ini dapat digolongkan sebagai (Rute, 1996) :

- a. *Thermal pollution* bila input panas yang keluar dari industri menuju ke perairan atau danau dapat berakibat membahayakan pada kehidupan biota perairan.
- b. *Thermal enrichment* adalah bila input panas tersebut menghangatkan perairan dan kegunaannya menguntungkan seperti dapat diperpanjangnya musim memancing ikan dan mengurangi penutupan es pada musim dingin serta mempercepat pertumbuhan ikan budidaya komersial.
- c. *Thermal shock* terjadi akibat ikan/organisme tidak dapat beradaptasi pada range temperatur tertentu secara mendadak sehingga ikan tersebut mati, hal ini dapat terjadi pada saat pabrik mengalami *shut down* tiba-tiba karena adanya kerusakan.

2.1.1. Pengaruh temperatur terhadap biota perairan.

Suhu merupakan *controlling factor* penting untuk menjaga karakteristik optimum perairan. Sebagai contoh, suhu yang tidak membunuh ikan atau kerang-kerangan mungkin akan berakibat pada metabolisme, reproduksi dan pertumbuhannya sebab pengurangan organisme makanan tertentu. Ini akan mengakibatkan ketidakseimbangan pada suatu sistem (Yvonne, 2000).

Dengan mempertimbangkan kompleksitas sistem alami, maka pengaruh temperatur terhadap biota perairan tidak bisa digeneralisasikan, karena beberapa spesies lokal tertentu dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan suhu (Rute, 1996)

Kecepatan metabolisme naik dengan naiknya temperatur sampai batas *lethalnya*, besarnya juga tergantung pada kelarutan oksigen dan kadar garamnya. Perubahan temperatur mungkin dapat dijadikan indikator peristiwa perpindahan tempat ikan untuk bertelur (*spawning ground*).

Mekanisme kematian karena tingginya suhu disebabkan karena :

1. Percepatan reaksi enzim sehingga enzim menjadi tidak aktif.
2. Penggumpalan sitoplasma dan protein sel.
3. Berkurangnya permeabilitas membran sel
4. Terbentuknya produk beracun.
5. Gangguan regulasi osmotik dan regulasi ion (Gerking, 1978)

Suhu dan reproduksi ikan sangat berhubungan. Suhu mempengaruhi perkembangan embrio. Suhu membuat kehidupan ikan akan terpengaruh, meskipun ada beberapa ikan yang sangat toleran terhadap suhu.

Peristiwa simultan karena kenaikan suhu akan berpengaruh pada kehidupan ikan, sebagai contoh kenaikan suhu akan diikuti oleh kenaikan NaCN. Kenaikan suhu dan toksisitas biasanya terjadi bersamaan. Penurunan O₂ terlarut dan naiknya laju metabolisme membuat lingkungan kurang cocok untuk kehidupan ikan (Rute, 1996).

Tanjung et al.(1980) mengatakan bahwa efek-efek merugikan akibat kenaikan suhu adalah :

1. Goncangan temperatur.
2. meningkatnya kepekaan organisme akuatik terhadap parasit, penyakit serta toksin-toksin kimia.

3. tergantung pola migrasi.
4. Menurunnya oksigen pada suatu waktu, sementara kenaikan suhu akan menaikkan pula kebutuhan organisme akan oksigen.
5. Meningkatnya derajat eutrofikasi oleh karena kenaikan suhu dan penurunan kandungan oksigen akan memungkinkan leluasa berkembangnya ganggang biru, hijau yang tidak diinginkan.
6. Menurunnya keberhasilan telur dan daya tahan hidup ikan-ikan muda yang mempunyai toleransi suhu yang rendah.
7. Terganggunya rantai makanan oleh hilangnya satu atau berbagai spesies kunci, terutama plankton, pada jenjang-jenjang rendah rantai makanan.
8. Perubahan komposisi spesies ke arah spesies yang tidak diinginkan.

Aklimatisasi suhu sangat penting untuk kehidupan ikan, perubahan *gradual* lebih dapat ditoleransi dari pada perubahan secara cepat. Inkubasi dari telur ikan dan perkembangan benih sangat sensitif terhadap suhu.

Temperatur sangat mempengaruhi kehidupan komunitas biota perairan. Apabila temperatur badan air diketahui maka kehidupan komunitas air dapat diperkirakan. Beberapa jenis ikan air dingin seperti *salmon* dan *trout* akan hilang sebagai akibat dari kematian telur, penurunan reproduksi dan kematian ikan dewasa dan digantikan oleh ikan air hangat semisal *sunfish* dan *cyprinid* (Melle, 1996).

Pada perairan dengan suhu di atas 30°C keberadaan organisme bentos dapat diperkirakan seperti ikan dari family *Centrarchidae* (*sunfish bluegill, crappie*) adalah jenis ikan air hangat, mampu hidup dengan baik pada temperatur maksimal 35°C sedangkan telur dan embrionya masih bisa hidup dengan baik pada temperatur maksimal 34°C. Bahkan ada di antaranya (*green sunfish, Lepomis cyanellus*) yang toleran terhadap kekeruhan tinggi dan oksigen terlarut yang rendah serta arus air yang tenang.

Beberapa komunitas plankton akan tumbuh dengan subur pada kondisi temperatur yang berbeda, seperti *diatom* pada 20 - 25°C, alga hijau pada 30 - 35°C dan *cyanobacteria* mendominasi di atas 35°C.

Menurut GESAMP (1984), beberapa penelitian pengaruh panas yang dilakukan terhadap organisme air tropis menunjukkan batas atas temperatur kematian (*lethal temperature*) adalah 35°C. Perlakuan aklimatisasi pada organisme penelitian pada 15, 20 dan 25°C dimana temperatur tersebut berada di bawah temperatur *lethalnya*, menunjukkan bahwa selisih 8 – 9°C tidak menimbulkan kerusakan. Aklimatisasi pada jangka panjang pada temperatur tinggi dan berfluktuasi menjadi sebab organisma ditemukan hidup pada temperatur di atas 35°C. Hasil penelitiannya disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 .Penelitian pengaruh panas terhadap organisme air.

No.	Organisma	ΔT (°C)	Pengaruh yang timbul	Temp. kritis (°C)
1	Bakteri.	17 10	Tidak berpengaruh pada < 36°C Tidak berpengaruh pada aktifitas heterotrop.	
2	Diatom : <i>Gyrosigma spenceri</i> .	10 17	Tidak ada, temperatur asal 12°C Tidak ada, temperatur asal 16°C	39 39
3	Flagellata : <i>Dunaliella tertiolecta</i> <i>Skeletonema costatum</i>	10 17 17	Tidak ada, temperatur asal 12°C Tidak ada, temperatur asal 17°C Dikenakan pada 31°C	41 41 35
4	Molusca : <i>Pecten maximus</i>	10-17	Kematian larva naik dan pertumbuhan menurun, pada temperatur asal 15-17°C	
5	Crustacea: <i>Maia squinado</i> <i>Acartia clausi</i>	10-15	Kematian meningkat dengan naiknya ΔT Ini dan beberapa spesies 50 % mati pada temperatur 20-34°C	35 >34

No.	Organisma	ΔT ($^{\circ}C$)	Pengaruh yang timbul	Temp. kritis ($^{\circ}C$)
6	Ikan: <i>Engraulis encrasicolus</i> <i>Clupea harengus</i> <i>Solea solea</i> <i>Mullus surmuletus</i>	10-17 10-17 10-17	Telur dan larva 100 % mati Telur dan larva 100 % mati.	>30 39 30

Sumber : GESAMP, 1984

2.1.2. Respon biota laut terhadap suhu perairan

- a) *Eurythermal* adalah jenis ikan atau biota laut yang sanggup hidup dengan daya toleransi yang luas terhadap suhu. Sebagai contoh adalah Goldfish yang mampu hidup pada temperatur 1 s/d $40^{\circ}C$ atau 34 sampai $104^{\circ}F$ sesuai dengan alam yang telah mengaklimatisasikannya. Ikan Kakap (*Lutjanus sp*) dan ikan putih (*Siganus sp*) termasuk dalam jenis ini.
- b) *Stenothermal* adalah jenis ikan yang daya toleransinya terbatas atau sempit terhadap suhu. Jenis ini dibagi lagi menjadi yang menyukai suhu tinggi disebut *Polythermal* dan yang menyukai suhu rendah disebut *Oligothermal*.

2.1.3. Pengaruh panas terhadap sifat fisik perairan.

a. Berat jenis dan Viskositas.

Berdasarkan hukum Stokes, pengendapan padatan pada media non-turbulen dijelaskan dengan formula sbb.:

$$V_t = \frac{D^2 g}{18\mu} (\rho_s - \rho_l)$$

Dengan :

V_t = kecepatan pengendapan partikel.

D = diameter partikel.

g = percepatan gravitasi

μ = viskositas dinamik.

ρ_s = densitas cairan.

ρ_l = densitas partikel

Kenaikan suhu akan menurunkan ρ_s dan μ dan dengan demikian V_t akan naik. Akibat kenaikan suhu maka jumlah pengendapan sedimen dilokasi tersebut akan naik. Perbedaan berat jenis yang kecil saja (0.001-0.002) sudah dapat menimbulkan fenomena *stratifikasi* yaitu perlapisan temperatur air yang tergantung dari kedalaman dan pergerakan air horizontal sehingga hal ini akan mempengaruhi pencampuran vertikal dan kelarutan oksigen (Rute, 1996). Makin tinggi suhu air, maka kelarutan gas (oksigen) semakin rendah.

b. Tekanan uap

Laju evaporasi akan naik dengan naiknya tekanan uap yang disebabkan perbedaan tekanan uap air antara udara dan air dan juga oleh kecepatan angin .

$$F = \frac{CW}{L}(e_s - e_a)$$

dengan :

F = flux evaporation ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

L = latent heat (J kg^{-1})

C = empirical evaporation coefficient

W = wind speed (m s^{-1})

e_s = vapor pressure of saturated air in temperatures of surface water (Pa)

e_a = vapor pressure of overlying air (Pa)

Sebagai contoh efek dari beragam temperatur permukaan dengan menjaga kondisi tetap semua persamaan diatas kecuali e_s adalah: (Rute, 1996)

$$L = 2.44 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$C = 11.4 \text{ (typical)}$$

$$W = 4.47 \text{ m s}^{-1}$$

$$e_a = 999 \text{ Pa (suhu udara pada } 294.3^\circ\text{K dan } RH = 40\%)$$

Tabel 2 : Flux Evaporasi (Kg/m²/det) pada perbagai suhu :

TH ₂ O (K)	e _s (Pa)	F(Kg m ⁻² s ⁻¹)
283.1	1210.5	1.07*10 ⁻⁵
288.7	1750.0	3.61*10 ⁻⁵
294.3	2473.7	7.01*10 ⁻⁵
299.8	3447.3	1.16*10 ⁻⁴
305.4	4750.0	1.78*10 ⁻⁴

c. Oksigen terlarut.

Kehidupan organisme tergantung pada oksigen terlarut dalam air. Hubungan antara suhu air dan kelarutan gas merupakan aspek yang penting. Kelarutan oksigen berhubungan langsung secara proporsional dengan tekanan parsial pada temperatur kesetimbangan. Perubahan temperatur menyebabkan masalah penyesuaian kesetimbangan oksigen dalam air. Kelarutan oksigen terkait dengan beberapa faktor kebutuhan oksigen seperti *reaerasi atmosferik*, produksi *fotosintesis*, *difusi*, pencampuran dan lain-lain. Kenaikan suhu akan menurunkan kapasitas bawaan dan kadar oksigen terlarut di dalam air sehingga kurang dari optimum. Bukti terbaru menunjukkan bahwa naiknya temperatur akan menaikkan level nitrogen sehingga kehidupan ikan dapat berakibat serius (Rute N, 1996)

Oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari atmosfer, atau proses fotosintesa tumbuhan air. Jumlah oksigen terlarut dalam air tergantung pada suhu, tekanan atmosfer dan kadar mineral dalam air (Coleridge, 1977).

Didalam lingkungan perairan air tawar yang tidak tercemar, kadar minimum DO sebesar 5 ppm sudah cukup untuk mendukung beberapa aktifitas kehidupan yang normal seperti pertumbuhan juvenil, bertelur dan kelangsungan hidup bagi beberapa spesies ikan (Alabaster and Loyd., 1982), sedangkan banyak sedikitnya oksigen yang dikonsumsi organisme tergantung dari jenis, stadium dan aktifitas dari organisme tersebut. Kadar DO juga dipengaruhi oleh salinitas dimana kenaikan salinitas akan menyebabkan penurunan gas-gas yang larut dalam air, misalnya DO (Boyd, 1979).

2.1.4. Pengaruh panas terhadap sifat kimia perairan.

Kenaikan suhu akan mempercepat reaksi kimia. Kondisi kesetimbangan juga akan berpengaruh oleh perubahan suhu. Kecepatan reaksi kira-kira dua kali lebih cepat tiap kenaikan suhu 10 °C.

Pada reaksi bolak-balik, efek suhu akan mencapai kesetimbangan pada titik kesetimbangannya sebagaimana persamaan berikut:



Beberapa reaksi yang berakibat pada kualitas air adalah biokimia dan kegiatan mikrobial dimana kebanyakan reaksi terjadi pada suhu rendah dengan adanya enzim yang sensitif terhadap suhu. Pada golongan mesofilik kebanyakan enzim bekerja aktif pada suhu 10 – 40°C dan aktifitas maksimal terjadi pada suhu antara 30 – 37°C yang selanjutnya menurun.

Rasa dan bau pada air bisa disebabkan oleh suhu yang mempercepat reaksi biokimia, khususnya bila kekurangan oksigen terlarut. Zat-zat yang terkumpul dalam air seperti H₂S, SO₂, CH₄, SO_x, senyawa besi, karbonat, sulfat dan fenol akan menimbulkan rasa dan bau yang lebih menyengat pada air hangat disebabkan kelarutannya menurun.

Kenaikan temperatur menyebabkan aktifitas mikroorganisma yang sesuai untuk penurunan BOD pada keluaran zat organik yang *biodegradable* menjadi lebih singkat. Kenaikan temperatur menjadikan efek pencampuran pada reaksi kimia yang spesifik (Rute, 1996)

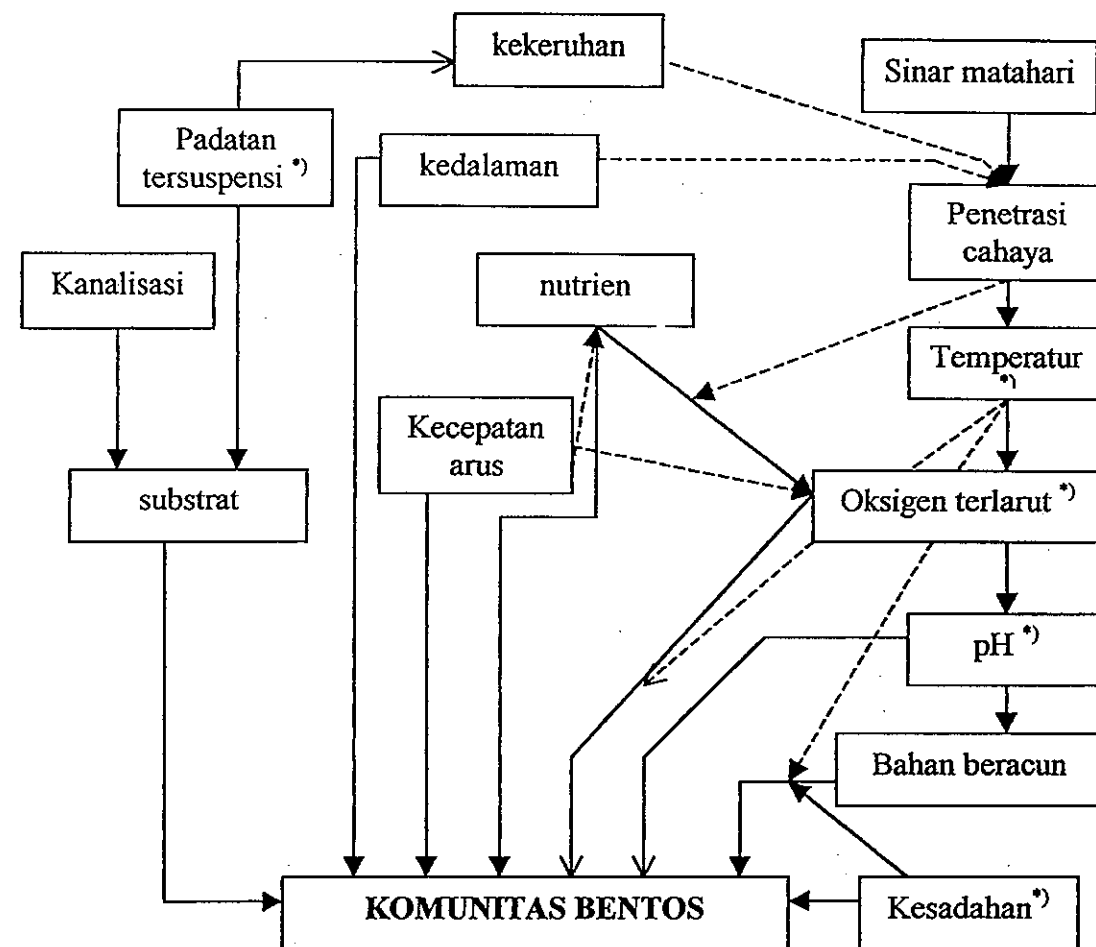
2.1.4. Makrozoobenthos sebagai indikator kualitas perairan.

Zoobentos merupakan hewan yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan, baik yang sesil, merayap maupun menggali lubang. Hewan ini memegang beberapa peran penting dalam perairan seperti dalam proses dekomposisi dan mineralisasi material organik yang memasuki perairan serta menduduki beberapa tingkatan trofik dalam rantai makanan (Odum, 1993). makrozoobentos dapat mencapai ukuran tubuh sekurang-kurangnya 3 - 5 mm pada saat pertumbuhan maksimum. APHA (1992) menyatakan bahwa makrozoobentos dapat ditahan dengan saringan No. 30 Standar Amerika. Selanjutnya Slack *et al.* (1973) dalam Rosenberg and Resh

(1993) menyatakan bahwa makrozoobentos merupakan organisme yang tertahan pada saringan yang berukuran besar dan sama dengan 200 sampai 500 mikrometer.

Organisme yang termasuk makrozoobentos diantaranya adalah: Crustacea, Isopoda, Decapoda, Oligochaeta, Mollusca, Nematoda dan Annelida (Cummins, 1975).

Secara skematis, Hawkes (1978) mengemukakan 14 faktor yang mempengaruhi keberadaan hewan bentos di perairan sembilan diantaranya merupakan faktor penentu kualitas perairan.



Keterangan :

- *1 = Faktor penentu kriteria kualitas air
- = Faktor bukan penentu kualitas air
- * = Faktor yang tidak umum
- = Pengaruh langsung
- - - → = Pengaruh interaksi

Gambar 1. Faktor-faktor kualitas air (sifat fisika kimia) yang mempengaruhi komunitas bentos (Hawkes, 1978)

Spesies indikator merupakan organisme yang dapat menunjukkan kondisi lingkungan secara akurat, yang juga dikenal dengan bioindikator. Makrozoobentos (seperti polychaeta) merupakan indikator yang baik untuk kualitas air lingkungan laut karena respon mereka terhadap polutan dapat dibandingkan terhadap sistem air tawar. Polychaeta dikenal sebagai organisme yang sangat toleran terhadap tekanan lingkungan (seperti rendahnya kandungan oksigen, kontaminasi organik di sedimen dan polusi sampah) sehingga mereka digunakan sebagai indikator lingkungan yang tertekan.

Untuk perairan pesisir, belum begitu banyak terungkap spesies-spesies yang dapat dijadikan indikator kualitas perairan, kecuali beberapa informasi tentang keberadaan polychaeta dan beberapa kelompok dari molluska yang menunjukkan kondisi perairan yang berada dalam keadaan kandungan oksigen yang rendah, kontaminasi organik di sedimen dan polusi sampah. Tidak ditemukannya makrozoobentos tertentu belum tentu dikarenakan adanya pencemaran organik, sebab mungkin dikarenakan kondisi fisik perairan yang kurang mendukung kehidupannya atau kemunculannya dikarenakan daur hidupnya (Hawkes, 1979).

2.2. Pembahasan Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian sebelumnya yang relevan adalah tentang pemetaan biota laut di sekitar PT. Pupuk Kaltim kerjasama PPLH Undip dengan PKT tahun 2001. Data biota yang diamati meliputi data plankton, bentos dan karang. Penelitian lain yang dibahas adalah penelitian yang dilakukan oleh Universitas Mulawarman kerjasama dengan PT. Pupuk Kaltim tahun 2003 tentang analisis logam berat dalam biota laut dan keanekaragaman plankton serta kondisi karang di perairan Bontang bagian utara. Juga penelitian yang dilakukan mahasiswa Unmul dan mahasiswa UI yang melakukan penelitian di perairan PT. Pupuk Kaltim pada tahun 2003. Kondisi pada tahun 2003 dibandingkan dengan sekarang (tahun 2004) tidak jauh berbeda yaitu keberadaan pabrik tidak mengalami perubahan yaitu adanya pabrik Kaltim1, Kaltim-2, Kaltim-3, Popka dan Kaltim-4 sehingga parameter buangan panas juga tidak berubah.

2.3. Originalitas Penelitian

Penelitian ini secara lebih spesifik mengkaji parameter panas hasil buangan pabrik amoniak dan urea di perairan laut Kota Bontang. Penelitian persebaran panas memang pernah dilakukan pada waktu awal berdirinya pabrik namun tidak mengaitkan pengaruhnya terhadap biota laut di area persebarannya.

Pada penelitian ini didapatkan data terbaru dari persebaran panas dan data biota dari hasil pengamatan dan kompilasi dari penelitian sebelumnya yang relevan sehingga terlihat hubungannya.

BAB III

METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian /Perpektif Pendekatan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode studi kasus melalui pendekatan permodelan pemetaan dengan mengidentifikasi sumber panas dan parameter-parameter hidrooseanografi yang mendispersi panas. Dengan demikian dapat disusun peta pola dispersi untuk mensimulasikan pengaruh parameter-parameter hidrooseanografi terhadap sebaran kalor sehingga diperoleh peta kontur persebaran kalor di perairan laut di PT Pupuk Kaltim. Selanjutnya akan dikaji pengaruh persebaran panas terhadap biota laut.

3.2. Ruang Lingkup Penelitian / Fokus Penelitian

Ruang lingkup penelitian adalah persebaran panas dari kegiatan PT. Pupuk Kaltim dalam badan air laut di sekitarnya dan pengaruhnya terhadap biota laut.

Batas wilayah studi ditetapkan berdasar atas :

1. Batas administratif sampai 4 mil dari garis pantai sesuai dengan yuridiksi wilayah perairan Kota Bontang menurut UU No. 22 Tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah.
2. Batas teknis adalah batas yang bisa dicapai berdasarkan ketersediaan sarana dan prasarana penelitian.
3. Batas Ekologis adalah batas yang bisa diterapkan berdasarkan area persebaran buangan panas dan kondisi biota yang dikaji di perairan.
4. Batas kajian berdasar dispersi buangan panas ditetapkan sampai suhu perairan laut ambien yang diperoleh melalui penelitian pendahuluan.

Dalam kajian ini yang digunakan adalah butir 2, 3 dan 4 yang bisa dijangkau secara teknis dan masih dalam wilayah administratif Kota Bontang.

3.3. Lokasi Penelitian

Pemetaan panas dilakukan di areal *outfal* pabrik PT. Pupuk Kaltim Kota Bontang, Propinsi Kalimantan Timur pada badan air sampai radius 3 km sesuai dengan survey awal, sedangkan data biota laut yang menggunakan data sekunder memasukkan seluruh data baik di area penelitian maupun diluar area penelitian sebagai bahan perbandingan.

3.4. Variabel Penelitian / Fenomena yang Diamati

3.4.1. Klasifikasi variabel

- a. Variabel Fisik.
 1. Suhu air.
- b. Variabel Kimia
 1. Salinitas
 2. Oksigen terlarut (DO)
- c. Variabel Biota.
 1. Plankton.
 2. Nekton
 3. Bentos.
- b. Variabel hidrooseanografi.
 1. Arus.
 2. Pasang surut.

3.4.2. Definisi konseptual.

- a) Suhu adalah ukuran kandungan panas yang dimiliki suatu materi.
- b) Debit aliran kalor adalah kalor yang mengalir per satuan waktu.
- c) Laju penukaran kalor adalah kalor yang mengalir per satuan waktu dari air pendingin ke badan air.

GAMBAR : 2
PETA KOTA BONTANG

LOKASI PENELITIAN

KETERANGAN :

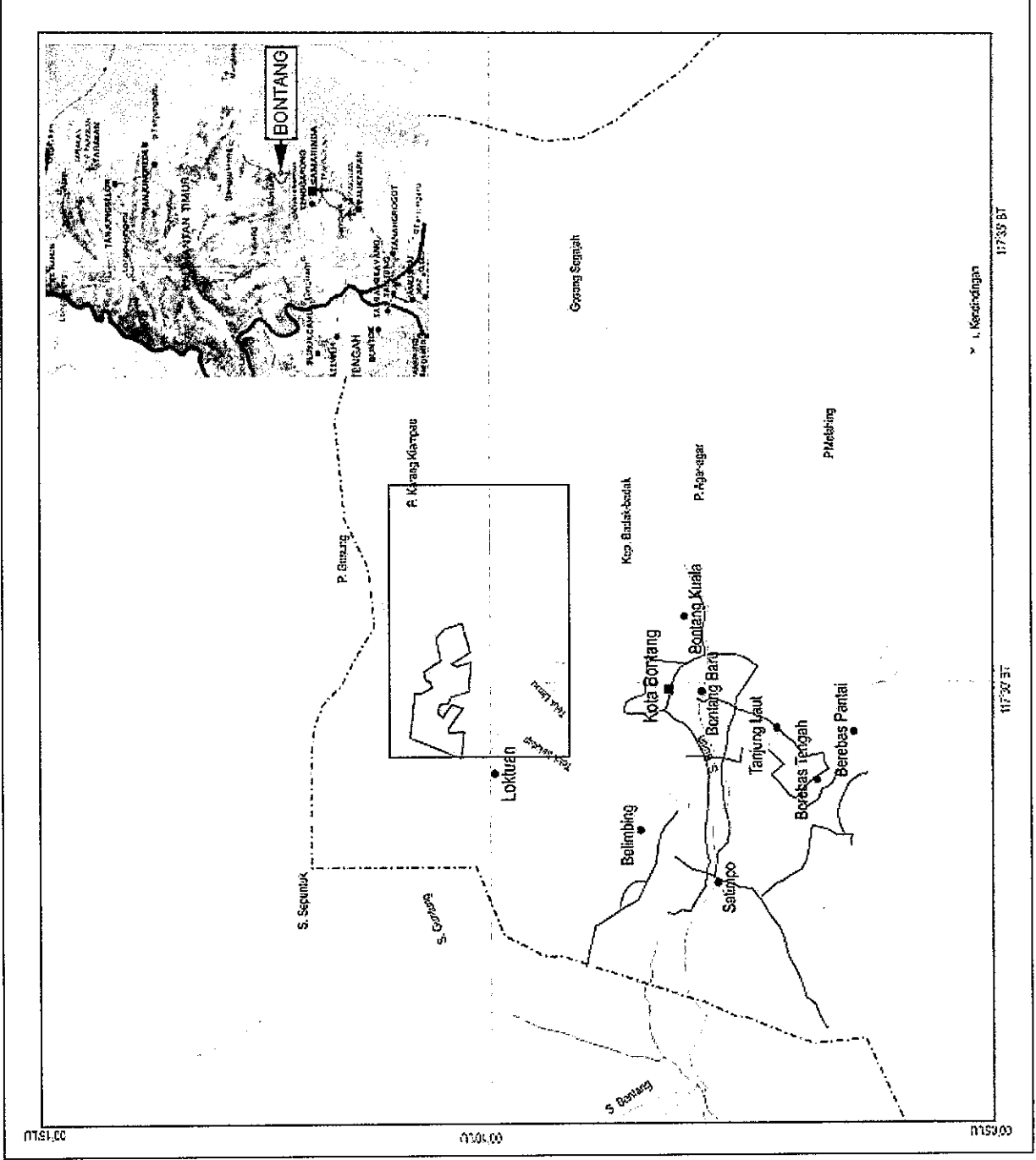
- Jalan Arteri Primer
- Jalan Arteri Sekunder
- Jalan Kolektor Sekunder
- Jalan Lokal
- - - Batas Kota Bontang
- ~ Sungai
- ~ Pulau Karang
- ~ Lokasi PT. PUPUK KALTIM

□ Lokasi Penelitian

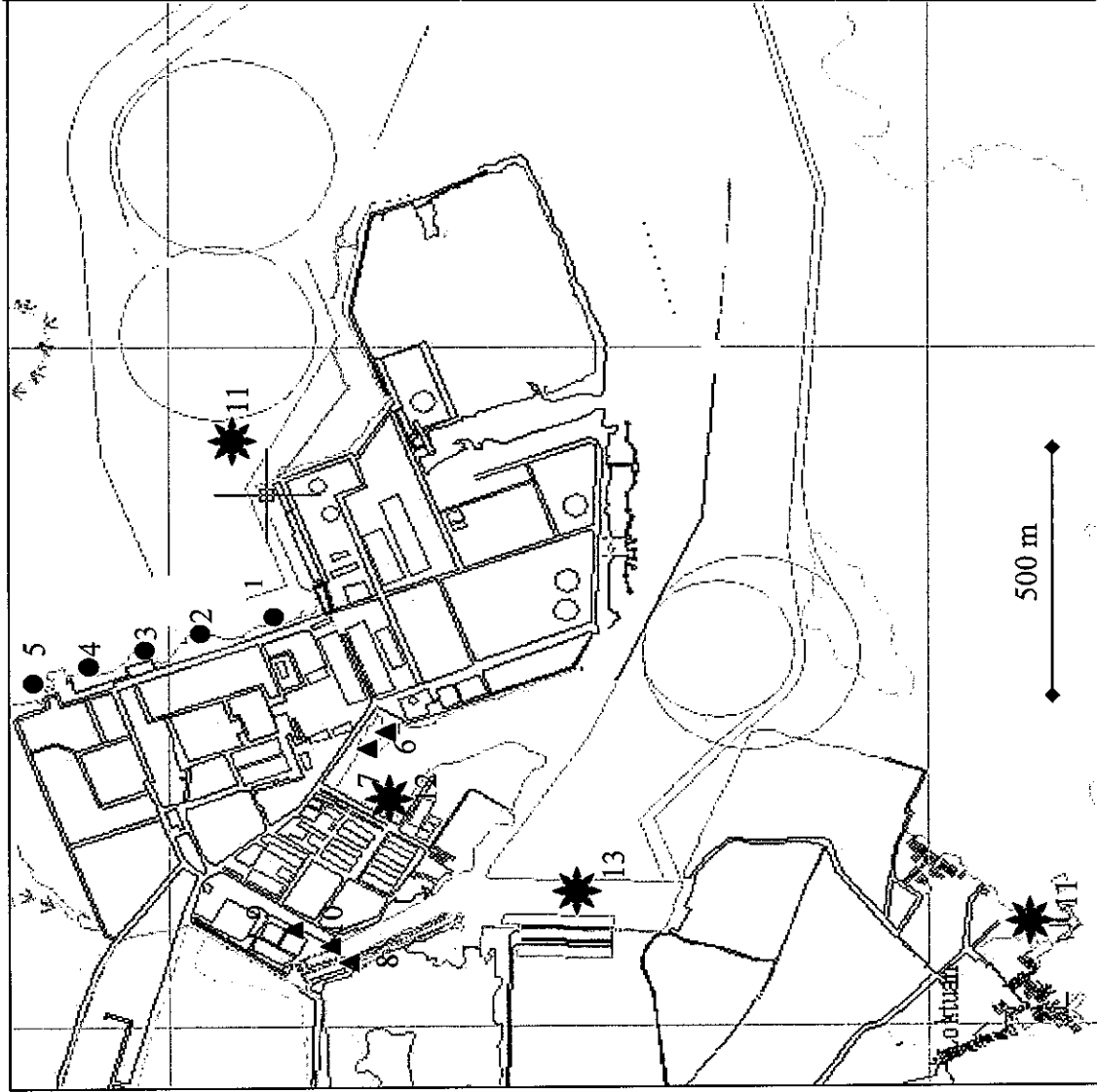
Sumber :
- Bappeda Kota Bontang
- Peta Rupa Bumi Balikpapan, 1991



SKALA
1 : 50.000



Gambar 3
Lay out Pabrik dan Saluran



1 s/d 5
Saluran Intake
K1/K2/K3/K4/Popka

6 s/d 10
Saluran Outfall
K1/K2/K3/K4/Popka

- 11. Pelabuhan Jetty Ammonia.
- 12. Pelabuhan Jetty Konstruksi.
- 13. Pelabuhan Tursina.
- 14. Pelabuhan Lhok Tuan.

- d) Salinitas adalah kandungan garam yang terlarut dalam air.
- e) Oksigen terlarut adalah besarnya oksigen yang terlarut dalam air.
- f) pH adalah derajat keasaman (banyaknya ion H^+) pada suatu larutan.
- g) Indeks keanekaragaman plankton adalah bilangan yang menyatakan keseimbangan ekosistem.
- h) Indeks dominansi plankton adalah bilangan yang menyatakan sejauh mana suatu kelompok organisme mendominasi kelompok komunitas plankton.
- i) Nekton adalah hewan yang hidupnya melayang di dalam air dan dapat melakukan perpindahan tanpa tergantung adanya arus.
- j) Bentos adalah hewan yang hidup di dasar perairan dan dalam mencari makan hanya mengandalkan nutrient yang tersedia di dasar perairan tersebut tanpa perpindahan yang berarti.

3.4.3. Definisi Operasional Variabel

- a) Suhu diukur dengan thermometer dengan satuan $^{\circ}C$.
- b) Debit aliran kalor dihitung berdasar atas data massa jenis, debit air pendingin, nilai kalor jenis dan beda suhu antara *intake* dan *outfall*.
- c) *Salinitas* diukur dalam satuan permil ($^{\circ}/_{00}$).
- d) *DO* diukur dalam satuan mg/liter O_2 .
- e) *pH* diukur dalam satuan $-\log(H^+)$ hasilnya antara 1 sampai 14
- f) Indeks keanekaragaman dihitung berdasarkan rumus indeks Shannon-Wiener (Krebs, 1989).

3.5. Jenis dan Sumber Data

- a) Data primer didapat dengan cara mengukur dan meneliti langsung kondisi perairan dan kondisi ikan untuk menentukan :
 1. Pengukuran suhu.
 2. Pengukuran DO.

3. Pengukuran Salinitas.
- b) Data sekunder yang digunakan didapatkan dari data laporan pabrik dan laporan penelitian sebelumnya yang relevan yaitu :
1. Debit pengambilan air pendingin.
 2. Plankton, bentos dan nekton.

3.6. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan adalah yang dibutuhkan sesuai dengan reliabilitas atau kecocokan sampel yang diukur yaitu:

Peralatan / Sarana / Prasarana :

1. Water analyzer, merk : YSI model 85 D dengan perlengkapan : probe dan kabel probe sepanjang 12 meter. Alat ini secara simultan dapat mengukur: temperatur, salinitas dan oksigen terlarut.
2. GPS (Global Positioning System), merk: Garmin, model GPSMAP 175.
3. Mikroskop Leica (max 25 x 40) dan stereo mikroskop Leica (max 5x20) dilengkapi kamera *webcam* dan *laptop* untuk merekam obyek mikroskop secara langsung.
4. Planktonnet , jaring untuk menangkap plankton.
5. *Outfit sampling grab* untuk mengambil contoh bentos.
6. Karamba terapung untuk kultivasi nekton dan periphyton/ bentos (bio indikator).
7. *Speed boat* untuk alat transportasi.

3.7. Populasi dan atau Teknik Pengambilan Sampel

1. Populasi ruang : wilayah perairan laut sekitar PT Pupuk Kaltim \pm 3 km.

Penetapan titik ukur dilakukan dengan membuat grid-grid minimal berukuran 10 x 10 meter, namun pengambilan sampel dilakukan secara purposif dan random dengan melihat pola gradien penurunan suhunya dimana kerapatan grid

tergantung gradien penurunan suhunya. Lokasi pengukuran variabel fisik kimia dilakukan di titik-titik sudut grid.

2. Populasi air laut: badan air laut di wilayah perairan sekitar PT. Pupuk Kaltim.

Penetapan lokasi pengambilan sampel air untuk biota, mengikuti penetapan lokasi pengukuran variabel fisik kimia hidrooseanografi.

Teknik pengambilan sampel air laut untuk pengambilan bentos dilakukan dengan *grab sampler*.

3.8. Teknik Pengumpulan Data

3.8.1. Pengukuran temperatur, DO dan salinitas.

Dilakukan dengan cara menjelajahi daerah penelitian dengan kapal dan melakukan pengukuran secara *in situ* berbagai parameter yang diukur langsung di lapangan meliputi, suhu, DO dan salinitas.

3.8.2. Sampling plankton dan benthos

Kegiatan ini dilakukan dengan cara menjelajahi daerah penelitian dengan kapal dan melakukan pengambilan sampel plankton menggunakan plankton net dan pengambilan sampel sedimen dengan menggunakan *van ven grab sampler* untuk diteliti makrozoobenthosnya. Penentuan lokasi survai dan pengambilan sampel didasarkan pada pola distribusi parameter setelah survai temperatur.

Untuk mengambil fitoplankton dan zooplankton digunakan *plankton net*, sampel yang diperoleh ditampung dalam botol sampel dan diawetkan dengan formalin 4% selanjutnya diidentifikasi untuk mengetahui jumlah populasi, kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton dan zooplankton.

Pengambilan sampel makrozoobenthos di dasar perairan dilakukan menggunakan *van ven grab sampler*. Sampel makrozoobenthos yang didapat kemudian disaring dengan ayakan makrozoobenthos (\varnothing : 1 mm) kemudian makrozoobenthos yang didapat ditampung dalam botol sampel ditambah *rose bengal* dan diawetkan dengan formalin 4%, selanjutnya diidentifikasi untuk mengetahui kelimpahan dan keanekaragamannya.

3.9. Teknik Analisis Data

a. Debit aliran kalor

Dari T1 dan T0 diperoleh delta T. Setelah diperoleh debit aliran dV/dt dan nilai C diperoleh debit aliran dQ/dt.

b. Sebaran panas

Sebaran panas diperoleh menggunakan model dispersi untuk memetakan gradien perubahan suhu horizontal dan vertikal. Dengan menggunakan program Surfer 7.0 hasilnya disajikan dalam peta kontur isothermal.

c. Analisis data plankton dan bentos.

Identifikasi plankton dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokular pembesaran 100 – 400 kali dengan menggunakan *Sedwick Rafter Counting* (SRC). Penghitungan jumlah plankton yang diperoleh dilakukan dengan metode *Luckey Drop Microtransect Counting Method* (LDMC) sbb.:

$$N = \frac{T}{L} \times \frac{B}{P} \times \frac{V}{v} \times \frac{1}{A}$$

dengan:

N = Jumlah plankton (ind/ liter)

T = Jumlah kotak SRC (1000 kotak)

L = Jumlah kotak yang terlihat dibawah mikroskop (1 kotak, zoom 200x)

B = Jumlah plankton yang terlihat

P = Jumlah kotak SRC yang diamati (10 kotak)

V = Volume air tersaring dalam botol sample (ml)

v = Volume SRC (1 ml)

A = Volume air disaring (liter)

Identifikasi makrozoobenthos dilakukan dengan bantuan Stereo mikroskop dengan pembesaran 10 – 40 kali. Perhitungan indeks keanekaragaman plankton dan hewan makrobentos di gunakan indek Shannon Wiener (H') (Krebs, 1989):

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i)$$

dengan H' = Indek diversitas (Shannon-Wiener)

S = jumlah spesies

p_i = perbandingan jumlah spesies i (n_i) terhadap jumlah semua

spesies (N) = (n_i/N)

Indek keanekaragaman yang didapatkan kemudian dimasukkan dalam kriteria keanekaragaman sebagai berikut (Krebs, 1989):

$H' < 1$ = Keanekaragaman jelek (kecil)

$1 < H' < 3$ = Keanekaragaman sedang

$H' > 3$ = Keanekaragaman tinggi

Data yang diperoleh digunakan untuk keanekaragaman plankton dan bentos.

Keseragaman ditentukan oleh Index Evennes. (Krebs, 1989)

$$E = H'/H'_{\max}$$

Dengan : E = Indeks Evennes.

H' = Indeks Shannon-Wiener.

$H'_{\max} = \log_2 S$

S = Jumlah spesies.

Dominansi ditentukan oleh indeks Simpson, (Krebs, 1989).

$$C = \sum_{i=1}^s (P_i^2)$$

Dengan : C = Indeks Simpson.

P_i = n_i/N

S = Jumlah spesies.

Nilai E dan C berkisar 0 sampai 1, keseragaman dan dominansi tergolong rendah bila nilainya mendekati 0 dan tergolong tinggi bila mendekati 1 (Krebs, 1989).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Daerah Penelitian

Kawasan industri PT Pupuk Kalimantan Timur Tbk yang terdiri dari 4 pabrik urea amonia dan 1 pabrik urea (Popka) membuang limbah panasnya ke laut di *sea water outfall*. Ada 2 area *sea water outfall* yaitu di area *Jetty* konstruksi (berasal dari pabrik Kaltim-1 dan Kaltim-2 dengan flow $\pm 94.000 \text{ m}^3/\text{jam}$) dan di area *Jetty* Tursina (berasal dari pabrik Kaltim-3, Kaltim-4 dan Popka dengan flow $\pm 60.000 \text{ m}^3/\text{jam}$). Suhu keluar dari outfal $36 - 39^\circ\text{C}$ dan selanjutnya mengalir, menyebar dan terdispersi ke area laut di sekitarnya.

Air laut disedot melalui *sea water intake* oleh *sea water pump (SWP)*, untuk Kaltim-1 mengoperasikan 5 *SWP* + 1 *standby* dengan kapasitas $15.000 \text{ m}^3/\text{jam}$ per *SWP*, untuk kaltim-2 mengoperasikan 3 *SWP* + 1 *standby* dengan kapasitas $10.500 \text{ m}^3/\text{jam}$ per *SWP*, untuk kaltim-3 mengoperasikan 2 *SWP* + 1 *standby* dengan kapasitas $10.500 \text{ m}^3/\text{jam}$ per *SWP* dan Kaltim-4 jumlah dan kapasitasnya sama dengan Kaltim-3.

Di area *Jetty* tempat keluarnya water outfall tersebut sering berkerumun beberapa jenis ikan -ikan kecil dan kadangkala awak kapal sandar sering mendapatkan ikan baronang dengan cara memancingnya. Di area *Jetty* Tursina (dekat pelabuhan *speed boat*) juga telah dipasang karamba yang diisi bibit ikan Kakap dan ikan Putih sebagai indikator terhadap buangan pabrik Kaltim-3 , Popka dan Kaltim-4.

Di dekat alur di area Tanjung Harapan ditemukan karang jenis masif yang mulai tumbuh di permukaan batu karang yang telah mati. Di tiang pancang *jetty* banyak ditumbuhi teritip dan berbagai jenis perifiton.

4.2 Hasil Penelitian

4.2.1. Temperatur dan Kandungan Oksigen Terlarut (DO)

Penelitian yang dilakukan terhadap penyebaran temperatur secara horizontal dan parameter DO nya pada area di dekat *outfall* sampai radius $\pm 3 \text{ km}$, dan juga secara dipetakan secara vertikal di area yang mempunyai kedalaman lebih dari 4 meter sehingga didapatkan data pada lampiran 2 dan lampiran 3.

4.2.2. Plankton.

Penelitian yang dilakukan oleh Undip (2001) seperti tercantum pada lampiran 4 mendapatkan bahwa di sekitar Pupuk Kaltim kelimpahan fitoplankton berkisar 4.000 sampai 20.000 ind/liter dengan Indeks keanekaragaman 0,2 sampai 1,0 begitu pula penelitian yang dilakukan Kumalasari, (2003) yang hasil penelitian fitoplanktonnya tercantum di lampiran 7 dengan kondisi parameter hydroceanografi di lampiran 8 dimana didapatkan kelimpahan 2.000 – 5.000 dan indeks keanekaragaman 0,5 – 2,0.

Menurut penelian yang dilakukan Unmul (2003) seperti di lampiran 5 menunjukkan angka plankton yang tinggi yaitu 200.000 – 400.000 ind/liter dan keanekaragaman 3,8 – 4,5 hampir sama dibandingkan penelitian yang dilakukan Masrah (2003) seperti di lampiran 6 yang menunjukkan nilai 336.000 sampai 585.000 ind/lt dengan indeks keanekaragaman 3,8 – 4,1.

4.2.3. Nekton dalam Karamba dan tangkapan Belat

Karamba ikan berupa karamba terapung dengan ukuran 2 x 3 x 1,5 meter dibuat dengan kerangka dari kayu ulin yang bagian dalamnya diselimuti oleh jaring ukuran 0,5 inci. Karamba diisi ikan Kakap dan ikan Putih sebanyak 72 ekor pada pertengahan Pebruari 2004. Sampai akhir April 2004 (umur \pm 75 hari) beratnya telah mencapai rata-rata 250 gram.

Belat adalah alat penangkap ikan yang terbuat dari bambu dan biasanya ditancapkan atau dibangun di daerah pasang surut. Belat juga disebut sero, banjang, seroh dan kelong. Penelitian yang dilakukan oleh Siburian (2003) dari data tangkapan ikan yang terdapat di belat seperti ditunjukkan di lampiran 9 dimana jenis Bawes (*Siganus Vermiculatus*), Bete-bete (*Leiognathus sp*) dan Kerapu (*Epinephelus amblycephalus*) ditemukan di semua lokasi tangkapan belat.

4.3 Analisis Hasil dan Pembahasan

4.3.1. Debit Aliran Kalor

Total kalor yang diterima badan air dari seluruh pabrik per jam dihitung dengan basis.:

- Temperatur *intake* : 30°C
- Temperatur *outfall* : 39°C.

UPT-PUSTAK-UNDIP

- *Flow* total pabrik : $154.000 \text{ m}^3/\text{jam} = 154 \times 10^6 \text{ ltr/jam}$

Dengan menggunakan persamaan untuk aliran kalor

$$Q = m.C.\Delta T$$

Persamaan diturunkan per satuan waktu.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial m}{\partial t} . C . \Delta T$$

$$= \rho \frac{\partial V}{\partial t} . C . \Delta T$$

dimana :

$\partial Q/\partial t$ = Kalor per satuan waktu. (Kkal/jam)

ρ = massa jenis air . (1 kg/ltr)

$\partial V/\partial t$ = debit lepasan air. (liter/jam)

C = panas jenis air . (1 kkal/kg°C)

ΔT = beda suhu (39 – 30°C)

$$\begin{aligned} \partial Q/\partial t &= 1 \times 154 \times 10^6 \times 1 \times (39-30) \\ &= 1386 \times 10^6 \text{ kkal /jam.} = 1,386 \times 10^9 \text{ kkal/jam.} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa Pabrik Pupuk Kaltim telah membuang kalor yang cukup besar yaitu $1,396 \times 10^9$ kkal/jam. Namun demikian berdasarkan perhitungan ternyata hasil buangan panas tersebut masih mampu dapat ditenggang oleh badan air laut sesuai dengan daya tampung lingkungannya.

4.3.2. Penyebaran Temperatur Arah Permukaan (Sebaran Horizontal)

Sebaran secara horizontal di permukaan air laut (lampiran 2) terlihat bahwa pada radius 500 meter dari *outfall* temperatur turun 2,5°C dari 39°C ke 36,5°C dan selanjutnya pada radius 1000 meter turun 2°C lagi menjadi 34,5°C. Pada radius 1500 meter turun menjadi 33°C dan pada radius 2 km temperatur menjadi 32°C. Lebih dari 2 km sampai radius 3 km temperatur bervariasi antara 29 sampai 32°C tergantung kondisi medan (pola arus, kedalaman, gelombang, karang) yang melingkupinya. Batas terjauh suhu 30°C masih tercapai pada jarak 4 km dari *outfall* dan selanjutnya temperatur di laut lepas berkisar 28 sampai 30°C.

Bila menggunakan model simulasi hidrodinamika perairan dangkal maka persamaan yang digunakan diturunkan dari hukum Newton II tentang persamaan gerak fluida yang dijabarkan sbb. (Safwan *et al*, 1996) :

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = -2\Omega \times \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \vec{\tau} + \vec{g} - A_h \nabla^2 \vec{u}$$

dimana :

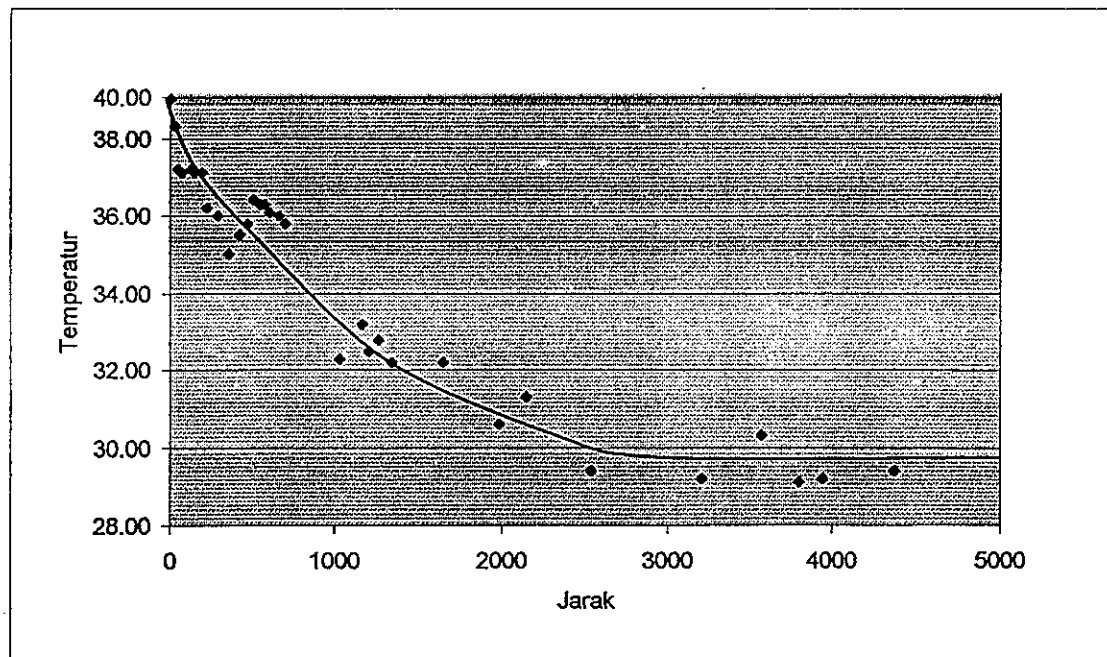
- \vec{u} = kecepatan arus laut
- t = variabel waktu
- Ω = kecepatan sudut rotasi bumi
- P = tekanan air laut
- $\vec{\tau}$ = stress akibat gaya-gaya luar (angin dan dasar)
- \vec{g} = percepatan gravitasi bumi
- ∇ = operator nabla
- A_h = koefisien viskositas eddy horizontal
- ρ = densitas air laut.

Asumsi asumsi fisika yang digunakan untuk penurunan persamaan model diatas adalah:

- densitas air laut adalah uniform dan besarnya 1 gr/cm^3
- tidak ada sumber (source) dan kebocoran (sink) massa air laut yang terjadi di dalam area, artinya evaporasi dan presipitasi diabaikan serta dasar laut impermeabel.
- tidak ada sumber momentum (gaya-gaya luar) yang terjadi pada area, seperti gerakan kapal atau gravitasi benda angkasa terhadap massa air.
- Area dianggap datar sehingga sistem kordinat kartesian dapat digunakan, momentum difusi horizontal dapat diabaikan
- batas tertutup tidak bergeser dengan naik turunnya permukaan air laut.

Untuk menggunakan persamaan tersebut harus diintegrasikan sehingga diperoleh persamaan gerak 2 dimensi untuk aliran rata-rata yang disebut Hukum Kekekalan Momentum Horizontal yang tidak dibahas disini karena sangat kompleks sehingga perlu bantuan program komputer dan dibutuhkan data-data pendukung yang memadai.

Gráfico jarak Vs temperatur yang diambil dari data mulai dari water outfall Kaltim 3/ Kaltim-4 disajikan pada gambar 3, sedangkan data selengkapnya tercantum pada lampiran 13.



Gambar 5 :Grafik Jarak Vs Temperatur

4.3.3. Penyebaran Temperatur Arah Kedalaman (Sebaran Vertikal)

Dari hasil sebaran temperatur terhadap kedalaman di lampiran 3, dapat dilihat bahwa pada dasar laut kedalaman lebih dari 8 meter (di area basin dan alur) suhu di dasar laut kebanyakan mendekati 30°C. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan berat jenis dari air dengan temperatur tinggi dan temperatur rendah, begitu juga kadar garamnya. Air yang di bawah berkadar garam lebih tinggi (29-30 permil) sedangkan di permukaan lebih rendah (28-29 permil) karena ada pengenceran dari air hujan (13).

4.3.4. Kelimpahan dan Keanekaragaman Plankton

Dari hasil pemeriksaan kelimpahan (N) fitoplankton di lampiran 4 diperoleh informasi bahwa di area radius 1 km dari *outfall* kelimpahannya rata-rata 15000 individu per liter dibandingkan dengan area di luar radius 1 km yang kebanyakan

dibawah 10.000 ind/ltr. Sampel data yang lain di lampiran 5 yang menunjukkan bahwa area dekat *outfall* memiliki kelimpahan plankton yang lebih besar di banding ditempat lain bahkan dengan laut lepas, begitu pula hasil dari penelitian Masrah (2003) seperti pada lampiran 6 menunjukkan hasil yang mirip yaitu area di dekat *outfall* memiliki kelimpahan yang lebih besar di banding ditempat yang lain.

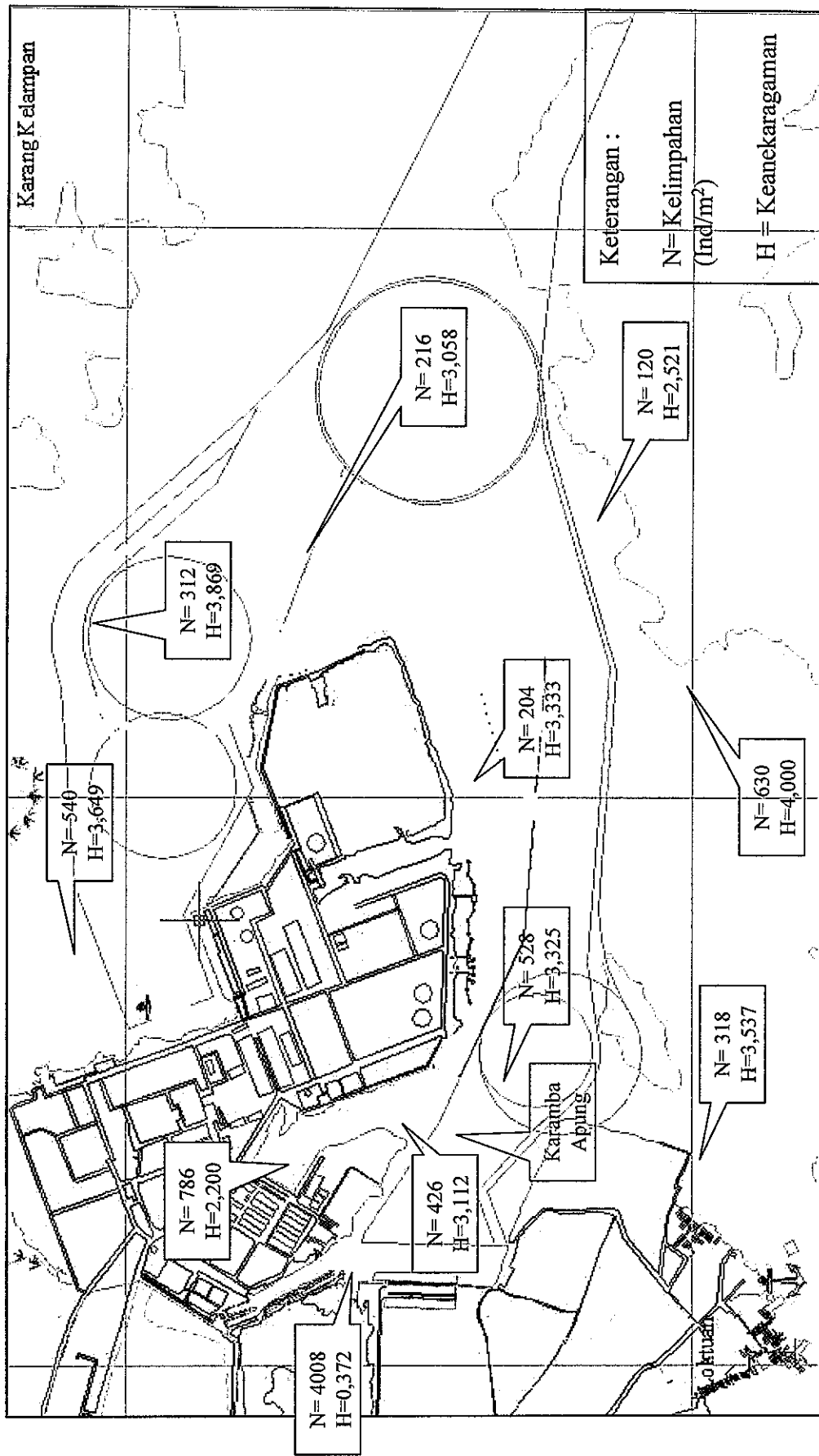
Menurut Kumalasari (2003) dalam lampiran 7 dinyatakan bahwa penyebaran fitoplankton seimbang tetapi indeks keanekaragamannya rendah karena ada jenis fitoplankton yang mendominasi di perairan PKT yaitu : *Chaetoceros*, *Tintinopsis* dan *Nitzschia* yang jumlahnya melimpah di seluruh lokasi studi.

4.3.5. Nekton

Pemeliharaan ikan Kakap dan ikan Putih dalam keramba apung dalam jarak 600 meter dari *outfall* menunjukkan tingkat kehidupan yang sangat baik dari 72 ekor hanya 2 ekor yang mati, padahal di area tersebut temperatur 35-36 °C. Sampai umur ± 75 hari berat rata-rata telah mencapai 250 gram dari mula-mula bibit berukuran 20 gram saja.

Di area *speed boat* (500 meter dari *outfall*) ditemukan gerombolan ikan-ikan kecil. Awak kapal yang memancing di area tersebut sering mendapatkan ikan Kakap. Hal ini juga terjadi di *Jetty* konstruksi (muara *outfall* Pabrik Kaltim-1 dan Kaltim-2) dan di *Jetty* Tursina (300 meter dari muara *outfall* Kaltim-3, Kaltim-4 dan Popka/KPA).

Menurut Siburian (2003), seperti pada lampiran 9 dan 10, hasil tangkapan di 4 lokasi belat yang terdapat di perairan pesisir Bontang yaitu : lokasi Lhok tuan (1500 m dari *outfall*), Batu tambun (> 3 km dari *outfall*), Karang Segajah (> 3 km dari *outfall*) dan Pulau Gusung (2 km dari *outfall*), berdasarkan uji Chi-Kuadrat dalam jumlah maupun berat tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (tidak signifikan), sedangkan terhadap jenis yang dominan tertangkap antar lokasi menunjukkan perbedaan yang nyata (signifikan). Ikan Bawis (*Siganus Vermiculatus*) banyak tertangkap di Pulau Gusung dan Karang Segajah, Bete-bete (*Leiognathus sp*) banyak tertangkap di Batu Tambun dan Pulau Gusung dan Baronang (*Siganus canaliculatus*) banyak tertangkap di Pulau Gusung. Di area Karang Segajah, Batu Tambun dan Pulau



Gambar 5 : Peta Kelimpahan dan Keragaman Bentuk

Gusung temperatur 29,5 °C sama dengan temperatur laut lepas sedangkan di Lhok Tuan yang paling dekat dengan outfall temperturnya 31°C .

4.3.6. Bentos.

Kondisi bentos di area sekitar PT. Pupuk Kaltim ditunjukkan pada lampiran 11, dimana dapat dilihat bahwa di area dengan radius 1 km dari outfall dan lebih besar 1 km dari outfall tidak menunjukkan perbedaan yang berarti bahkan di area 3 yang hanya berjarak ±300 m dari outfall menunjukkan kelimpahan yang tinggi namun dengan keaneka ragaman yang rendah yang didominasi sejenis cacing (polychaeta Sp).

4.4. Persepsi Masyarakat Terhadap Air Buangan Bersuhu Tinggi.

Keberadaan PT. Pupuk Kaltim mempunyai titik singgung yang kuat dengan masyarakat di sekitarnya. Segala aktifitas yang dilakukan didalam pabrik dan terlihat dampaknya di lingkungan pabrik akan menjadi sorotan tajam masyarakat. Segala aktifitas pabrik kadang dikaitkan sebagai pencemaran manakala mata pencaharian mereka sebagai nelayan mengalami penurunan atau kegagalan seperti kematian ikan di karamba pemeliharaan masyarakat, hasil tangkapan yang sedikit dan kegagalan panen rumput laut, padahal kejadian tersebut belum tentu disebabkan oleh aktifitas PT. Pupuk Kaltim.

Disamping penghasilan harian nelayan yang selalu menjadi tolok ukur anggapan pencemaran, pendidikan juga merupakan faktor yang mempengaruhi persepsi. Oleh karena itu diperlukan pembelajaran dalam menanggapi situasi di lingkungannya, salah satu contoh adalah dengan membina LSM lingkungan yang ada di Bontang dan memberikan fasilitas gratis untuk mengikuti pelatihan amdal A yang diselenggarakan di Pupuk Kaltim, dengan demikian dapat diperoleh persamaan persepsi bila ada ketidak seimbangan lingkungan khususnya terhadap buangan air bersuhu tinggi.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. Karakteristik penyebaran panas di permukaan air laut di sekitar area buangan PT. Pupuk Kaltim menunjukkan pada penyebaran horizontal semakin jauh semakin turun dari 39°C dengan penurunan yang mengikuti pola eksponensial mendekati temperatur normal air laut (28 – 30°C) dengan persamaan $Y = 37,964 - 0,0049 X + 6,88 \cdot 10^{-7} X^2$
2. Pola penyebaran secara vertikal menunjukkan adanya stratifikasi lapisan panas dimana air laut yang panas berada di lapisan atas sedangkan di dasar laut yang kedalamannya lebih dari 8 meter, menunjukkan temperatur mendekati temperatur rata-rata air laut 30°C.
3. Kondisi kelimpahan plankton cukup tinggi (280.000 indiv/ltr sampai 408.000 indiv/ltr) dan indeks keanekaragamannya menunjukkan perairan yang baik (3,8 – 4,1), sehingga cukup baik bagi rantai makanan nekton seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Unmul (2003) dan Masrah (2003)
4. Perairan di sekitar buangan panas meskipun dekat dengan *outfall* panas menunjukkan kondisi perairan yang aman terhadap biota seperti ditunjukkan dengan dapat hidup dan tumbuh normalnya ikan yang dipelihara dalam karamba terapung, dengan tingkat kehidupan di atas 95 %, padahal temperaturnya 35 – 36°C.
5. Kondisi bentos di dasar perairan juga menunjukkan hasil yang masih baik di mana di dasar perairan temperatur tetap berkisar 29 – 31°C, meskipun di permukaan temperatur dapat mencapai 36°C.
6. Keberadaan PT. Pupuk Kaltim berhubungan dengan buangan panas kadang dikaitkan sebagai pencemaran manakala mata pencaharian mereka sebagai nelayan mengalami penurunan atau kegagalan seperti, kematian ikan di karamba pemeliharaan masyarakat, hasil tangkapan yang sedikit dan kegagalan panen rumput laut, padahal kejadian tersebut belum tentu disebabkan aktifitas PT. Pupuk Kaltim.

5.2. Saran

1. Agar tidak menambah beban panas air laut di kawasan PT. Pupuk Kaltim maka untuk pabrik baru yang akan datang akan lebih baik bila menggunakan pendinginan sistem *cooling water* daripada dengan sistem sekali lewat (*one through*), teknologi *cooling water* air laut ini telah tersedia dan telah digunakan.
2. Untuk memonitor secara langsung pengaruh buangan *outfall* terhadap kehidupan ikan maka karamba-karamba ikan supaya diperbanyak yang ditempatkan di area yang terkena buangan langsung maupun ditempat yang agak jauh dan tidak terkena buangan sehingga hasilnya bisa menjadi bahan perbandingan.
3. Untuk menjaga kualitas perairan dan kehidupan biota laut, maka para *stakeholders* (masyarakat, pemerintah, dinas terkait) dan perusahaan-perusahaan di kawasan wilayah pantai Bontang perlu memantau dan mengelola lingkungan secara terpadu dan sinergis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabaster, J.S. and R. Lloyd, 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*, FAO and Butterworth Scientific, London.
- Boyd, C.E., 1979., *Water Quality in Warm Water Fish Ponds*. Auburn University Alabama.
- Coleridge. S.T., 1977. "Water, do you lose if you use it" in *Introduction to Environmental Science*. P.W. Foster and R.H. Hermanson (eds) Learning System Co. Division of Richard D. Irin Inc., Home Word Illinois.
- Dahuri, R. Rarr, J. Ginting, P.S. Citepu, J.M. 2001, *Pengelolaan Wilayah Pesisir dan laut secara terpadu*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Gerking, S.D. 1978, *Ecology of Freshwater Fish Production*. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- GESAMP, 1984 (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution): *Thermal Discharges in the Marine Environment*, UNEP Regional Seas Report and Studies No. 45. United Nation Environment Programme
- Hawkes, H. A. 1978. Invertebrates as Indicators of River Water Quality *dalam* A. James dan L. Evison (Ed.) *Biological Indicator of Water Quality*. John Willey & Sons. Toronto
- Krebs, T. 1989. *Ecology, The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper & Row Publication.
- Kumalasari, L. 2003, *Study Fitoplankton di Perairan Laut Sekitar PT. Pupuk Kalimantan Timur, tbk.*, Laporan kerja praktek, Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA, Universitas Indonesia, Jakarta
- Masrah, 2003, *Study Struktur Komunitas Plankton di Perairan Pesisir Bontang Utara Kota Bontang*, Skripsi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Samarinda
- Melle J. 2000, *Thermal Pollution and Aquatic Life*. Diambil dari <http://www.users.nac.net/jmele/TPAL.html>.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup, "Keputusan Nomor : 04 Tahun 2001, Tentang Kriteria Baku Kerusakan Terumbu Karang".
- Nontji, A. 1993. *Laut Nusantara*. Djambatan, Jakarta.
- PKT-Undip, 2001. "Studi Pemetaan Kondisi Biota Laut di Perairan Pesisir dan Laut Sekitar PT. Pupuk Kaltim Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur". Kerjasama PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.

- PKT-Undip, 2003. "*Usulan Penataan Ruang Kawasan Pesisir dan Laut Sekitar PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk. Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur*". Kerjasama PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
- PKT-Unmul, 2003. "*Analisis Logam Berat Dalam Biota Laut dan Keanekaragaman Plankton Serta Kondisi Karang di Perairan Pantai Bontang Bagian Utara*" Kerjasama PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Universitas Mulawarman, Samarinda.
- PKT, 2002a, *Laporan Tahunan*, Bulletin, Bontang.
- PKT, 2004a, *Laporan Mingguan*, K3LH, Bontang.
- Reynolds, Tom D.(1982) *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*, Wadsworth, Inc., Belmont, California.
- Romimohtarto, K., Sri Juwana, "*Biota Laut: Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut*", Djambatan, Jakarta.
- Rute N, 1996, *Thermal Pollution*, diambil dari :
<http://www.cape.canterbury.ac.nz/Archive/THERMAL/tte1.htm>
- Siburian, YL. 2003, *Study Jenis dan Ukuran Nekton Hasil Tangkapan Belat Pada Lokasi yang Berbeda di Perairan Pesisir Bontang Utara Kota Bontang*, Skripsi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Samarinda
- Supriharyono, 2000. "*Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang*". Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Smith, van Ness, 1950 "*Introduction to Chemical Engineering Thermodynamic*". Modern Asia Ed., John Willey & Sons, Inc., New York,
- Safwan.H, Fitriyanto M.S, 1996., *Pemodelan dan Simulasi Komputer Masalah Dispersi Thermal Akibat Sirkulasi Air Pendingin Suatu Power Plant*. Institut Teknologi Bandung.
- Tanjung. H.S.D., Susilo Handari Suntoro dan Tjut Sugandawaty Djohan. 1980., *Beberapa Efek Pencemaran Panas terhadap Kehidupan Air Tawar*. Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Yvonne C. 2000, *Effect of thermal pollution on aquatic Life*. Diambil dari:
<http://www.davison.k12.mi.us/academic/global/thermpol.htm>