



TESIS - MO142528

# STUDI BAKU MUTU BUANGAN AIR PANAS KE LINGKUNGAN LAUT

JIHANNUMA ADIBIAH NURDINI

4113205003

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK MANAJEMEN PANTAI

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknologi (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Jihannuma Adibiah Nurdini

NRP 4113205003

Tanggal Ujian: 26 Juli 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D  
NIP. 196904201994031003



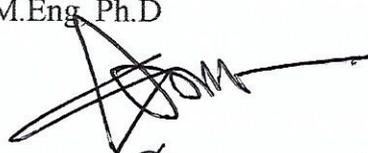
(Pembimbing I)

2. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph.D  
NIP. 196108051989101001



(Pembimbing II)

3. Haryo Dwito Armono, ST, M.Eng, Ph.D  
NIP. 196808101995121001



(Penguji)

4. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D  
NIP. 196107021988031003



(Penguji)

5. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, ST, M.Eng  
NIP. 197401271999031002



(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

NIP. 196107021988031003



## **STUDI BAKU MUTU BUANGAN AIR PANAS KE LINGKUNGAN LAUT**

Nama Mahasiswa : Jihannuma Adibiah Nurdini  
NRP : 4113205003  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D  
Dosen Pembimbing 2 : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph.D

### **ABSTRAK**

Air bahang yang merupakan limbah bekas proses pendinginan peralatan PLTU menjadi masalah karena dibuang ke laut dalam keadaan yang masih bersuhu tinggi. Sedangkan Pemerintah Indonesia telah menetapkan bahwa perubahan suhu air laut ( $\Delta T$ ) yang diijinkan adalah maksimal  $< 2^{\circ}\text{C}$  dari suhu alami laut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan potensi biaya kerugian lingkungan melalui perhitungan manfaat yang hilang karena rusaknya terumbu karang dan matinya ikan akibat tercemar buangan air panas PLTU dengan beberapa variasi  $\Delta T$ , untuk selanjutnya dilakukan perhitungan biaya teknologi pengolahan buangan air panas berupa cooling tower dan cooling pond, yang dari kedua perhitungan tersebut akan dihasilkan baku mutu suhu air laut dalam bentuk  $\Delta T$  yang sesuai untuk kondisi PLTU Paiton.

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan variasi  $\Delta T$  berdasarkan referensi data hasil pemantauan suhu dan hasil pemodelan. Dari variasi  $\Delta T$  tersebut kemudian diperkirakan biaya kerusakan terumbu karang melalui perhitungan manfaat total yang hilang, sedangkan untuk kematian ikan menggunakan pendekatan koefisien kematian ikan. Selanjutnya perhitungan biaya teknologi pengolahan air bahang menggunakan referensi data dari Amerika Serikat tahun 1970 dan 1998. Dari kesemua hasil perhitungan kemudian diplot pada kurva untuk mendapatkan nilai tengah suhu dan total biaya yang paling minimum.

Dapat disimpulkan bahwa pada  $\Delta T$  yang semakin tinggi maka biaya kerugian lingkungan juga semakin tinggi, sebaliknya biaya pengolahan limbah semakin turun. Penelitian ini berhasil menunjukkan prosedur untuk mencari perbedaan suhu air laut di sekitar lokasi pembuangan air bahang dari suhu alami laut ( $\Delta T$ ) yang bisa ditolerir baik oleh lingkungan maupun pihak pencemar. Adapun nilai tengah suhu yang didapat akan sensitif menurut kasus per kasus.

Kata kunci : Air bahang, air pendingin, PLTU, pencemaran laut, baku mutu limbah, baku mutu suhu, suhu air laut

# **STUDY OF QUALITY STANDARD WARM COOLING WATER WASTE TO SEA ENVIRONMENT**

Nama Mahasiswa : Jihannuma Adibiah Nurdini

NRP : 4113205003

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

Dosen Pembimbing 2 : Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph.D

## **ABSTRACT**

Warm water which is waste formerly cooling process of steam power plant equipment become problem because discharged to sea in high temperature condition. While the Government of Indonesia has determined that the permissible sea water temperature ( $\Delta T$ ) change is a maximum of  $<2$  °C from the sea's natural temperature.

This study intends to estimate the potential of environmental losses cost through the calculation of benefits lost due to coral reef damage and the death of fish due to polluted hot water PLTU with some variation  $\Delta T$ , the next step is the calculation of technology costs of processing hot water waste in the form of cooling tower and cooling pond. With both calculations will be produced quality standard sea water temperature in appropriate  $\Delta T$  for Paiton power plant condition.

The first step is to determine the variation of  $\Delta T$  based on the data reference of the temperature monitoring results and the modeling results. From the variation  $\Delta T$  is then estimated cost of coral reef damage through calculation of total benefits lost, while for mortality of fish using coefficient approach mortality of fish. Furthermore, the calculation of the cost of water treatment technology using reference data from the United States in 1970 and 1998. From all the calculations then plotted on the curve to get the middle value of the temperature and the minimum total cost.

It can be concluded that on the higher  $\Delta T$ , the cost of environmental losses is also higher, otherwise the cost of processing warm water waste is decreasing This research has succeeded in showing the procedure to find the difference of sea water temperature around the disposal site of cooling water from natural sea temperature ( $\Delta T$ ) that can be tolerated by both environment and pollutant. The mean value of the temperature obtained will be sensitive according to case by case.

Keyword: cooling water, power plant, thermal pollution, sea temperature, seawater quality standard

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, penguasa alam semesta. Hanya atas kehendak dan pertolonganNya saja tesis yang berjudul “Baku Mutu Suhu Buangan Air Panas ke Laut” ini akhirnya dapat terselesaikan. Terselesaikannya tesis ini juga tidak lepas atas bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih mendalam kepada:

1. Bapak Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D, selaku dosen pembimbing pertama, atas lautan kesabaran yang tak ada habisnya untuk mendorong dan membimbing penulis untuk dapat segera menyelesaikan amanah tesis ini.
2. Bapak Drs. Mustain, M.Sc, Ph.D, yang diamanahi sebagai dosen pembimbing kedua, atas kesabaran dalam mentransfer ilmu dan nasehat yang berharga.
3. Seluruh dosen pengajar di bidang keahlian Teknik Manajemen Pantai yang sangat berjasa memberikan ilmu dan wawasan kelautan
4. Pihak DIKTI, selaku pemberi beasiswa BPP-DN kepada penulis selama menempuh studi Magister
5. Ibu Mauludiyah, ST, MT dan Siti Musabikha, ST, yang banyak memberi solusi saat penulis mengalami kesulitan selama pengerjaan tesis ini.
6. Orang tua penulis, Bapak Drs. Bahauddin Azmy, M.Pd dan Nur Azizah, atas doa siang dan malam juga cucuran keringat dalam membesarkan dan mendidik penulis. Serta Bapak Muhdi Noor dan Ibu Samrotul Qulub atas doa-doa terbaik untuk penulis.
7. Suami tercinta, Fathin Azka, dan anak shalehah, Mahdia Ilma Nafisah, yang selalu menyejukkan hati dan telah menemani dalam keluh kesah, serta penuh kesabaran selama penulis disibukkan oleh tesis.
8. Kepada semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna. Oleh sebab itu, saran untuk perbaikan tesis ini akan penulis terima dengan tangan terbuka. Akhir kata penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 9 Agustus 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan & Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
BAB 2 .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Pencemaran Laut dan Jenis-Jenisnya .....	7
2.2 Perilaku dan Transportasi Polutan di Lingkungan Laut .....	7
2.2.1 Dilusi (Pengenceran) .....	7
2.2.2 Zona Percampuran .....	9
2.2.3 Interaksi Limbah dengan Organisme Pesisir dan laut .....	10
2.3 Sistem Air Pendingin .....	10
2.4 Perubahan Suhu Air Laut akibat Buangan Air Panas .....	11
2.5 Dampak Perubahan Suhu Air Laut terhadap Kesehatan Karang & Ikan .....	12
2.5.1 Pengaruh Kenaikan Suhu Air Laut terhadap Ikan .....	12
2.5.2 Pengaruh Suhu Air Laut terhadap Terumbu Karang .....	13
2.6 Baku Mutu Suhu Air Laut .....	16

2.7	Biaya Kerugian akibat Kerusakan Lingkungan.....	18
2.7.1	Perhitungan Nilai Ekonomi Total .....	18
2.7.2	Perhitungan Biaya Kerusakan Lingkungan.....	19
2.8	Biaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan .....	22
2.8.1	Teknologi Pengolahan Buangan Air Panas.....	24
BAB 3 .....		29
METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Alur Penelitian.....	29
3.2	Deskripsi Alur Penelitian .....	30
3.2.1	Studi Literatur .....	30
3.2.2	Data yang Diperlukan dan Sumbernya .....	30
3.2.3	Perhitungan Potensi Biaya Kerugian Lingkungan.....	31
3.2.4	Perhitungan Potensi Biaya Pengendalian Pencemaran .....	33
3.2.5	Penetapan Baku Mutu yang Sesuai untuk Parameter Suhu .....	36
BAB 4 KONDISI PLTU PAITON & SEKITARNYA.....		37
4.1	Kondisi Geografis dan Hidro-Oseanografi Umum PLTU Paiton .....	38
4.2	Data Umum PLTU Lokasi Studi.....	38
4.3	Sistem Air Pendingin di PLTU Paiton Probolinggo.....	38
4.4	Kondisi Buangan Air Panas di PLTU Paiton .....	39
4.5	Kenaikan Suhu Air Laut di Sekitar Outlet Discharge .....	41
4.6	Terumbu Karang di Perairan PLTU Paiton .....	43
4.7	Kerusakan Terumbu Karang di Perairan PLTU Paiton.....	43
4.8	Kondisi Perikanan Laut di Perairan PLTU Paiton .....	45
BAB 5 .....		47
HASIL PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN .....		47
5.1	Potensi Biaya Kerugian Lingkungan.....	47

5.1.1	Potensi Biaya Kerugian akibat Rusaknya Terumbu Karang .....	47
5.1.2	Potensi Biaya Kerugian akibat Matinya Ikan .....	54
5.1.3	Plotting Potensi Biaya Kerugian Lingkungan .....	56
5.2	Potensi Biaya Pengendalian Pencemaran .....	57
5.2.1	Biaya Pengolahan Limbah Air Panas dengan Cooling Tower .....	57
5.2.2	Biaya Pengolahan Limbah Air Panas dengan Cooling Pond .....	60
5.2.3	Plotting Potensi Biaya Pengolahan Limbah Air Panas.....	62
5.3	Penentuan $\Delta T$ yang Sesuai Kondisi PLTU Paiton.....	64
BAB 6.....		67
KESIMPULAN & SARAN.....		67
6.1	Simpulan .....	67
6.2	Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kegiatan industri energi seperti industri minyak dan gas, pembangkit listrik, dan lain-lain kini berkembang pesat sebagai konsekuensi dari bertambahnya kebutuhan manusia terhadap energi. Mayoritas industri energi berlokasi di kawasan pesisir yang mana ini bertujuan mempermudah akses dalam pengambilan air laut yang akan digunakan sebagai air pendingin (*cooling water*). Air pendingin berfungsi vital dalam kegiatan industri energi sebagai media pendingin peralatan pembangkit. Namun, air pendingin ini akan menghasilkan limbah berupa buangan air panas (air bahang). Buangan bersuhu tinggi tersebut dari kondensor selanjutnya dibuang ke lingkungan laut.

Buangan air panas tersebut menyebabkan peningkatan suhu perairan melebihi batas normal, sehingga berpotensi mengganggu ekosistem dan habitat organisme laut di sekitar industri baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam Bishop (1983), Suhu merupakan salah satu variabel lingkungan paling penting yang mempengaruhi pernafasan dan metabolisme, pertumbuhan dan reproduksi, dan keberlangsungan hidup organisme akuatik. Suhu air laut yang meningkat dapat menyebabkan peningkatan laju metabolisme organisme serta mengurangi konsentrasi oksigen terlarut (Poornima, et al., 2005). Apabila kadar O<sub>2</sub> sedikit saat suhu air naik, maka hal tersebut dapat mengakibatkan makhluk hidup dalam air mati karena kebutuhan O<sub>2</sub> tinggi sedangkan yang tersedia sedikit (Efendi, 2003; dalam Kasman, 2011).

Biota laut yang paling terancam akibat kenaikan suhu perairan adalah ikan dan terumbu karang. Terumbu karang merupakan organisme penghuni ekosistem perairan dangkal yang hidup dekat dengan batas atas suhunya serta sensitif terhadap sedikit kenaikan suhu lingkungan laut (Kleypas et al, 2001 & McClanahan et al, 2007; dalam (Sofyani & Floos, 2013)). Dibuktikan dengan hasil penelitian bahwa kenaikan suhu 2°C diatas suhu maksimum tahunan dapat menyebabkan efek

*sublethal* (hilangnya pigmen zooxanthella) pada terumbu karang, dan kenaikan 4-5°C menyebabkan kematian pada sebagian besar jenis karang (Coles *et al.* 1976 dalam Kasman, 2011)

Pemanfaatan laut beserta sumber daya alamnya dapat mengakibatkan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan laut yang akhirnya menurunkan mutu serta fungsi laut, maka diperlukan adanya standar baku mutu. Pemerintah Indonesia melalui menteri lingkungan maupun pejabat gubernur telah menetapkan baku mutu limbah cair dan baku mutu air laut, khususnya parameter suhu, melalui beberapa peraturan. Menurut Peraturan Menteri LH no.51 Tahun 1995, pengertian baku mutu limbah cair adalah batas maksimum yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan, sedangkan yang dimaksud baku mutu air laut dalam Keputusan Menteri LH no. 51 tahun 2004 adalah, ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air laut. Beberapa baku mutu tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1. Adanya perbedaan baku mutu ini memunculkan kebingungan di berbagai pihak.

Adanya perubahan suhu di perairan sekitar PLTU Paiton Probolinggo akibat buangan air limbah bahang tercantum dalam laporan triwulanan PT. Jawa Power tahun 2015. Data dari tersebut disebutkan bahwa pada pengukuran Agustus 2015 hingga Mei 2016 terjadi peningkatan suhu air laut di outlet discharge (ST-6) hingga 7,2 °C. Kenaikan suhu air laut tersebut lebih besar dari yang dipersyaratkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 yaitu kurang dari 2°C dari suhu alami air laut.

Pembuangan limbah air panas dengan suhu tinggi tersebut akan berbahaya bagi kesehatan karang laut dan ikan. Untuk menurunkan suhu limbah tersebut hingga batas yang dapat ditoleransi organisme diperlukan peran teknologi pengolahan buangan air panas. Opsi teknologi yang dapat digunakan adalah menara pendingin (*cooling tower*) dan kolam pendingin (*cooling pond*) (Bishop, 1983). Dengan teknologi-teknologi yang ada tersebut diharapkan terjadi penurunan suhu limbah panas sampai batas yang dapat ditoleransi.

Tabel 1.1. Perbedaan Baku Mutu berdasarkan Regulasi Pemerintah  
Indonesia

No.	Nama Produk Kebijakan	Jenis Baku Mutu	Suhu Maksimum yang Diperbolehkan
1.	Keputusan Menteri Negara LH no. 51 tahun 1995 tentang <i>Baku Mutu Suhu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	38-40 °C
2.	Peraturan Menteri Negara LH no. 08 tahun 2009 tentang <i>Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal</i>	Baku Mutu Air Limbah yg akan dibuang ke lingkungan	40 °C
3.	Peraturan Gubernur Jawa Timur no.72 tahun 2013 tentang <i>Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	40 °C
4.	Peraturan Menteri Negara LH no. 5 tahun 2014 tentang <i>Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	38-40 °C
5.	Keputusan Menteri Negara LH no. 51 tahun 2004 tentang <i>Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut</i>	Baku Mutu Air Laut	28-30 °C (untuk Coral & Lamun) dan diperbolehkan terjadi perubahan maksimal < 2 °C dari suhu alami laut

Penelitian ini diharapkan mampu memperkirakan tingkat kerusakan karang dan kematian ikan akibat limbah panas melalui perhitungan potensi kerugian ekonomi dalam bentuk biaya kerusakan lingkungan. Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan biaya pengendalian pencemaran melalui biaya teknologi pengolahan buangan air panas, sehingga pada akhirnya didapat suhu yang sesuai dan dapat

ditoleransi organisme khususnya karang laut dan ikan berdasarkan biaya kerusakan lingkungan dan biaya pengolahan limbah buangan air panas untuk lingkungan laut di perairan PLTU Paiton Probolinggo.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan kondisi yang telah dijelaskan pada latar belakang, maka masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perhitungan potensi biaya kerusakan lingkungan yang sesuai untuk kasus buangan air panas di lingkungan laut PLTU?
2. Bagaimana perhitungan potensi biaya pengolahan buangan air panas dengan mempertimbangkan opsi-opsi teknologi yang tersedia?
3. Bagaimana menetapkan nilai perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) di *outlet discharge* dengan suhu alami air laut yang sesuai untuk lingkungan PLTU?

## **1.3 Tujuan & Manfaat Penelitian**

Dengan terselesaikannya penelitian ini diharapkan tercapainya tujuan-tujuan berikut:

1. Mendapatkan potensi biaya kerusakan lingkungan yang sesuai untuk kasus buangan air panas di lingkungan laut PLTU
2. Mendapatkan potensi biaya pengolahan buangan air panas dengan mempertimbangkan opsi-opsi teknologi yang tersedia
3. Mendapatkan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) air laut di sekitar outlet discharge dengan suhu alami laut yang sesuai untuk lingkungan PLTU

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Penelitian mengambil lokasi studi kasus di kawasan PLTU Paiton Probolinggo.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder.
3. Dampak lingkungan buangan air panas terhadap kelangsungan hidup ikan hanya memperkirakan jumlah kematian ikan. Dampak seperti gangguan pertumbuhan fisik maupun penurunan kualitas reproduksi ikan tidak diperhitungkan.

4. Perkiraan jumlah kematian ikan dihitung berdasarkan literatur yang tersedia, yaitu dari Amerika Serikat tahun 1979.
5. Dampak lingkungan buangan air panas terhadap kehidupan terumbu karang hanya memperhitungkan kerusakan karang berupa penyakit pemutihan. Tingkatan atau derajat paparan dampak misalnya tingkat berat (mati) dan ringan (masih bisa pulih) tidak diperhitungkan.
6. Dampak buangan air panas dalam mempengaruhi aktivitas manusia tidak diperhitungkan.
7. Perkiraan biaya untuk opsi teknologi pengolahan buangan air panas mengambil pendekatan dari harga masa lalu, yaitu tahun 1970 dan 1998

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Laut dan Jenis-Jenisnya**

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mendefinisikan pencemaran laut sebagai dimasukkannya substansi atau energi ke dalam lingkungan laut oleh manusia secara langsung atau tidak langsung yang merugikan terhadap sumber daya hidup, membahayakan kesehatan manusia, mengganggu kegiatan kelautan seperti perikanan, merusak kualitas air, dan mengurangi keindahan dan kenyamanan (Bishop, 1983).

Pencemaran laut dipilah lagi berdasarkan lokasi sumbernya, pencemaran dapat bersumber dari laut (*marine based pollution*). Pencemaran bersumber dari laut misal pembuangan limbah cair dari anjungan pengeboran minyak lepas pantai. Pencemaran dapat berasal dari darat (*land based pollution*), contoh aliran limbah cair dan sampah dari sungai-sungai yang bermuara ke laut. Limbah air panas termasuk *land based pollution*. Secara spesifik atau elemental terdapat lima jenis bahan yang potensial sebagai bahan pencemar laut, yaitu bahan organik, bahan anorganik, mikroorganisme patogen, substansi radioaktif, dan limbah panas. Bahan-bahan ini, secara substansi dapat memberikan dampak/ pengaruh kepada lingkungan apabila masuk ke perairan laut melebihi kondisi normalnya (Mukhtasor (2007). Dalam penelitian ini bahan pencemar laut yang dikaji hanya buangan air panas.

#### **2.2 Perilaku dan Transportasi Polutan di Lingkungan Laut**

##### **2.2.1 Dilusi (Pengenceran)**

Secara keseluruhan, Mukhtasor (2007) mengklasifikasikan pembuangan *effluent* ke laut sebagai tiga macam mekanisme pengenceran/ dilusi: dilusi awal (*initial dilution*), dilusi lanjutan (*far-field dilution*), dan dilusi efektif (*effective dilution*). Dilusi secara umum didefinisikan sebagai perbandingan antara konsentrasi limbah pada ujung *port* dengan konsentrasi limbah pada jarak tertentu dari *port* yang dirumuskan pada persamaan 1

$$S = \frac{C_0}{C_n} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

dengan:

- S = ukuran pengenceran/ dilusi
- C<sub>0</sub> = konsentrasi awal (di ujung *port*)
- C<sub>n</sub> = konsentrasi pada jarak/ kedalaman n dari ujung *port*

### Dilusi Awal

Dilusi awal atau *initial dilution*, S<sub>1</sub>, adalah ukuran pengenceran yang terjadi pada daerah *near-field* (disebut juga dengan *active dispersal region* atau *initial mixing region*). Daerah ini didefinisikan sebagai daerah di sekitar pembuangan yang secara dinamis dipengaruhi oleh buoyancy, geometri, dan momentum dari sumber pembuangan. Skala jarak *near-field* bisa tergantung ukuran debit limbah, bisa hanya 10 meter atau sampai ukuran kilometer untuk pembuangan dari instalasi yang besar, dengan skala waktu 1-10 menit.

### Dilusi Lanjutan

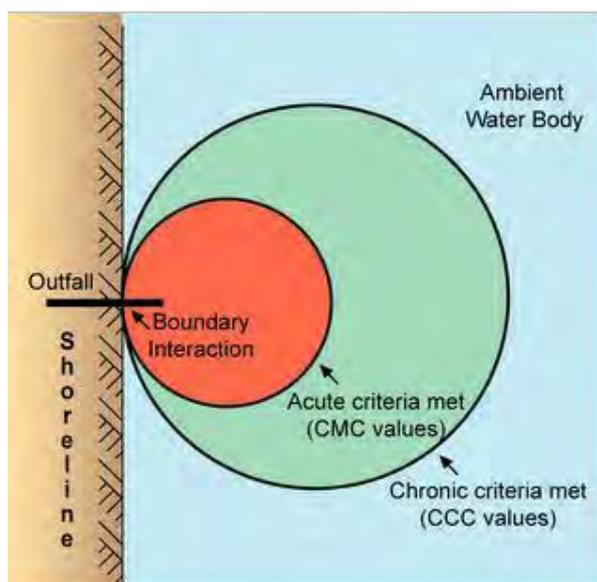
Dilusi lanjutan atau *far-field dilution*, S<sub>2</sub>, (sering disebut juga dengan *dispersion dilution* atau *secondary dilution*) adalah ukuran pengenceran yang terjadi pada daerah *far-field* (disebut juga dengan *passive dispersal region*). Daerah ini didefinisikan sebagai daerah yang lebih jauh dari *near-field* dimana efek dinamis dari kanal pembuangan tidak berpengaruh lagi, tapi lebih dipengaruhi oleh keadaan perairan (seperti arus dan gelombang) dan proses turbulensi.

### Dilusi Efektif

Dilusi efektif, S<sub>3</sub>, merupakan pengurangan dari zat/ substansi yang bersifat nonkonservatif atau mikroorganisme. Reduksi mikroorganisme/ bakteri di perairan dapat dihitung dengan T<sub>90</sub> yang merupakan waktu (dalam jam) yang dibutuhkan untuk bakteri berkurang sebesar 90% karena kematian/ inaktivasi (Roberts dan Williams, 1992; dalam Roberts, 1996; Chang dan Wang, 1995; dalam Mukhtasor, 2007)

### 2.2.2 Zona Percampuran

Zona percampuran menurut Doneker dan Jirka, 2007, didefinisikan sebagai lokasi zona terdampak, yaitu area atau volume terbatas dimana terjadi dilusi awal dari discharge. Sejalan dengan Mukhtasor, 2007, zone dilusi awal (atau disebut juga dengan daerah *near-field* atau *active dispersal zone* atau *mixing zone*) didefinisikan sebagai daerah di sekitar pembuangan yang secara dinamis dipengaruhi oleh buoyancy, geometri, dan momentum dari sumber pembuangan. Skala jarak daerah ini dipengaruhi oleh ukuran debit limbah. Berikut gambaran konsep zona percampuran pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konsep zona percampuran

(dikutip dari Doneker & Jirka, 2007)

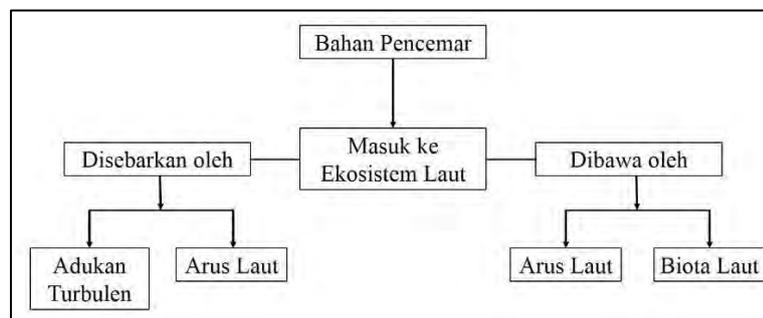
USEPA menetapkan dua kriteria kualitas air untuk mengizinkan seberapa besar konsentrasi zat toxic yang diperbolehkan ada. Kriteria yang pertama yaitu, Criterion Maximum Concentration (CMC), bertujuan mencegah dampak akut dan lethal; Kedua, Criterion Continuous Concentration (CCC) sebagai pencegahan dari dampak kronis yang akan timbul. Nilai CMC lebih besar atau sama dibandingkan CCC, serta memiliki batasan-batasan ketat. Sedangkan CCC harus terpenuhi pada ujung dari regulasi zona percampuran yang sama yang terspesifikasi untuk pembuangan konvensional maupun non konvensional. (Doneker & Jirka, 2007)

### 2.2.3 Interaksi Limbah dengan Organisme Pesisir dan laut

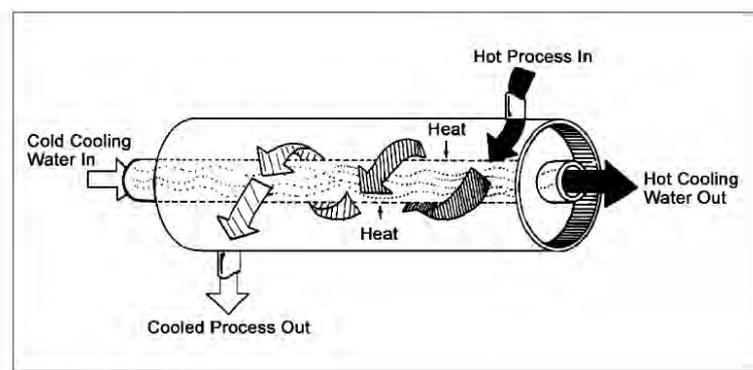
Tiga proses dasar yang menyusun struktur biotik-abiotik organisme pesisir dan laut yaitu; proses produksi (sintesa materi organik) dengan memanfaatkan energi dan nutrien (komponen abiotik); proses konsumasi (memakan materi organik); dan proses dekomposisi atau mineralisasi (pendaurulangan materi) (Bengen, 2004 dalam Mukhtasor, 2007). Tiga proses tersebut terjadi dengan bantuan proses-proses alamiah yang terjadi di laut, seperti adanya arus, gelombang atau pasang surut. Proses masuknya bahan pencemar laut ke dalam ekosistem dijelaskan pada skema Gambar 2.1.

### 2.3 Sistem Air Pendingin

Buangan atau limbah air panas berasal dari pembangkit listrik 'thermal' yang menggunakan bahan bakar seperti minyak atau batu bara atau proses fisi nuklir untuk memanaskan air menjadi uap yang selanjutnya menggerakkan turbin. Kegiatan tersebut membutuhkan volume besar air pendingin untuk mendinginkan mesin dengan prinsip pemindahan kalor panas yang dihasilkan pada prosesnya. Gambar 2.2 menunjukkan prinsip transfer panas secara sederhana yaitu dimana air pendingin berfungsi sebagai penangkap kalor panas yang dilepas mesin-mesin pembangkit selama beroperasi . Air pendingin yang telah menerima kalor panas (buangan air panas) tersebut kemudian dibuang ke laut. Pada pembangkit listrik yang berlokasi di atau dekat pantai, sekitar 60-65% limbah panas hasil proses pembangkitan dibuang ke laut. Panas ini kemudian hilang melalui pengenceran, konduksi, atau konveksi (Langford, 2001).



Gambar 2.1. Proses Masuknya Bahan Pencemar Laut ke Dalam Ekosistem (Mukhtasor, 2007)



Heat Transfer Principle

Gambar 2.2. Prinsip Perpindahan Panas dengan Media Air Pendingin  
(Nalco, 2009)

Dalam *technical document US. Environmental Protection Agency (EPA)*, disebutkan sumber air pendingin atau *intake water* yang dapat digunakan antara lain; (1) air tawar dari sungai, (2) air danau besar, (3) air kolam, (4) air estuari, dan (5) air laut. Kemudian ada lima tipe konfigurasi sistem air pendingin, di antaranya adalah (1) sekali jalan, (2) sekali jalan dengan kolam pendingin tak ber-resirkulasi, (3) sekali jalan dengan tower tidak ber-resirkulasi, (4) resirkulasi dengan tower, (5) resirkulasi dengan kolam pendingin, dan (6) kombinasi.

#### 2.4 Perubahan Suhu Air Laut akibat Buangan Air Panas

Air dapat menyerap panas dalam jumlah besar dibanding substansi lainnya sehingga memungkinkan terjadinya perubahan suhu. Hubungan antara jumlah energi yang ditambahkan dengan perubahan suhu yang dihasilkan dikenal dengan panas spesifik (*specific heat*). Sedangkan energi yang tersimpan di dalam air dikenal dengan panas laten (*latent heat*). Suhu juga merupakan salah satu parameter untuk mempelajari transportasi dan penyebaran polutan yang masuk ke lingkungan laut (Mukhtasor, 2007).

Menurut Langford (2001), Suhu limbah panas dari pembangkit listrik biasanya 8-12<sup>0</sup>C lebih tinggi dari suhu air lingkungan alami pada beberapa situs. Suhu limbah maksimum di beberapa perairan pesisir tropis telah mencapai 42<sup>0</sup>C meskipun 35-38<sup>0</sup>C lebih umum. Ada fluktuasi musiman dan diurnal di banyak situs yang terkait dengan siklus suhu musiman alami dan siklus operasi dari pembangkit listrik.

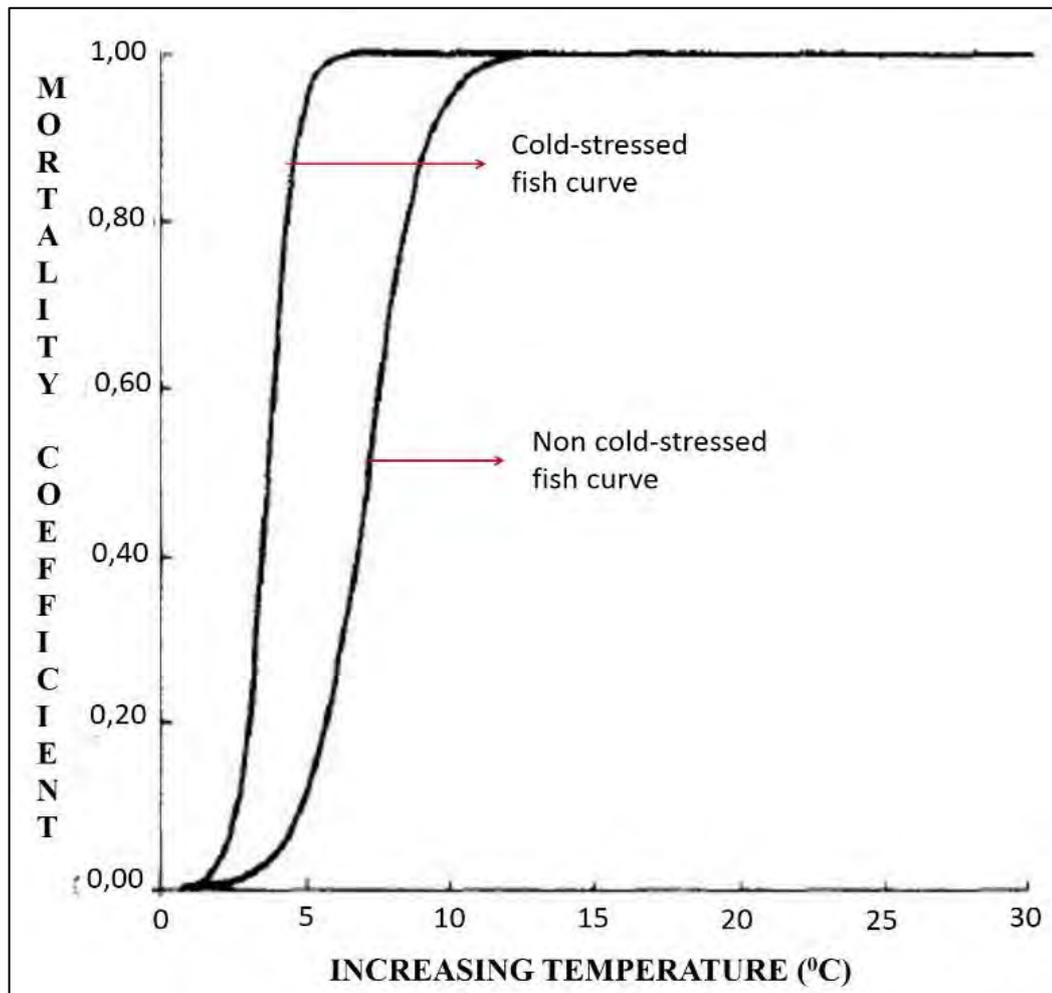
## **2.5 Dampak Perubahan Suhu Air Laut terhadap Kesehatan Karang & Ikan**

Buangan air panas dalam jumlah besar ke lingkungan setidaknya menimbulkan dua kerugian utama, yaitu pengaruh buruk terhadap aktivitas metabolisme kehidupan laut serta mengurangi daya larut oksigen. Kenaikan suhu air laut akan meningkatkan kecepatan metabolisme pada sebagian besar spesies. Sedangkan menurunnya daya larut oksigen akibat menghangatnya air laut memicu peningkatan aktivitas bakteri yang kemudian dapat menurunkan suplai oksigen. Menurunnya suplai oksigen inilah yang menyebabkan perairan tersebut tidak layak lagi sebagai tempat hidup. Dalam kebanyakan kasus, kerusakan parah terjadi pada organisme yang berada sangat dekat dengan pembuangan limbah air panas. Organisme seperti plankton, udang kecil, kemudian larva dan telur ikan, serta kerang laut akan mati atau cedera akibat perubahan suhu air laut secara mendadak atau karena stres akibat turbulensi dan gaya geser pompa juga pipa pendingin (Bishop, 1983).

### **2.5.1 Pengaruh Kenaikan Suhu Air Laut terhadap Ikan**

Buangan air panas bukan hanya menyebabkan kematian ikan, tetapi juga dapat menimbulkan sejumlah besar gangguan internal. Perubahan suhu air laut tersebut dapat mengubah sistem pernafasan, metabolisme, pertumbuhan, perilaku, dan kapasitas reproduksi. Pada akhirnya memicu pelemahan fisik biota sehingga lebih mudah rusak oleh limbah beracun, parasit, maupun penyakit lainnya (Reid & Wood, 1976 dalam Bishop, 1983).

Lebih lanjut. dalam penelitiannya, Kleinstreuer & Logan (1979) memberikan contoh kurva untuk koefisien kematian ikan (Gambar 2.3) untuk tipe ikan yang rentan dengan suhu dingin maupun yang tidak. Pada penelitian tersebut jenis ikan yang diteliti adalah threadfin shad, gizzard shad, bluegill, channel catfish, blue catfish, freshwater drum, white crappie, dan white bass di lokasi pembangkit nuklir Arkansas USA. Sumbu x kurva merupakan kenaikan suhu air laut ( $\Delta T$ ). Kurva logistik tersebut kemungkinan terdiri dari beberapa fungsi dari faktor-faktor penyebab yang ada selain suhu, namun pengaruh suhu tetap cukup dominan.



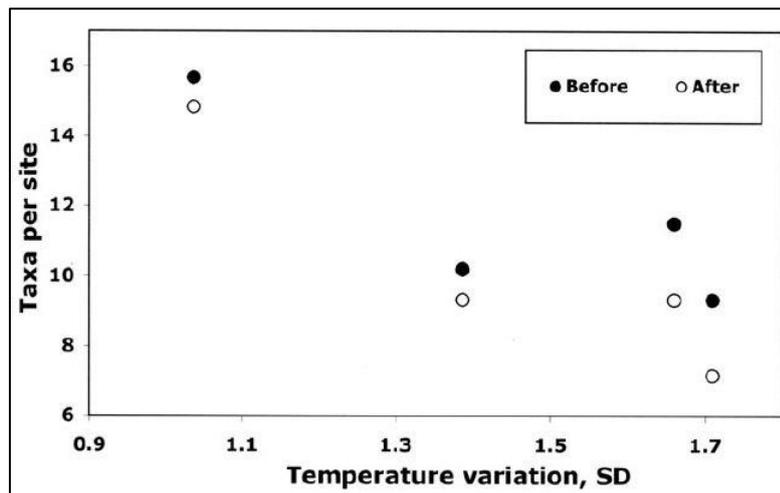
Gambar 2.3. Koefisien Mortalitas Ikan terhadap Suhu (sumber: Kleinstreuer & Logan, 1979)

### 2.5.2 Pengaruh Suhu Air Laut terhadap Terumbu Karang

Beberapa wabah penyakit meningkat akibat anomali pemanasan laut. Meningkatnya wabah penyakit akibat terpapar pemanasan laut dapat terjadi karena karang kurang mampu melawan penyakit saat berada di bawah tekanan suhu, atau karena patogen lebih ganas pada suhu yang lebih tinggi (Raymundo, 2008). Studi terkait pengaruh peningkatan suhu air laut ( $\Delta T$ ) secara anomali di satu lokasi terhadap jumlah keragaman/ taxa (biodiversity) terumbu karang telah dilakukan oleh Mc.Clanahan dan Maina (2003) di Kenya reef lagoons.

Studi dilakukan di empat titik (Gambar 2.4) dengan perbedaan kedalaman, jarak dari pantai dan isolasi dari perairan terbuka. Anomali atau penyimpangan

suhu terjadi pada kisaran 120-275% dibanding standar suhu musim panas, namun hanya berbeda sedikit pada suhu rata-ratanya. Pada penelitian tersebut terdapat nilai keragaman/ taxa terumbu karang sebelum tahun 1998 (*before*) dan pada tahun 2003 (*after*). Rentang tahun 1998 diketahui terjadi peningkatan suhu ekstrim dunia akibat pemanasan global.

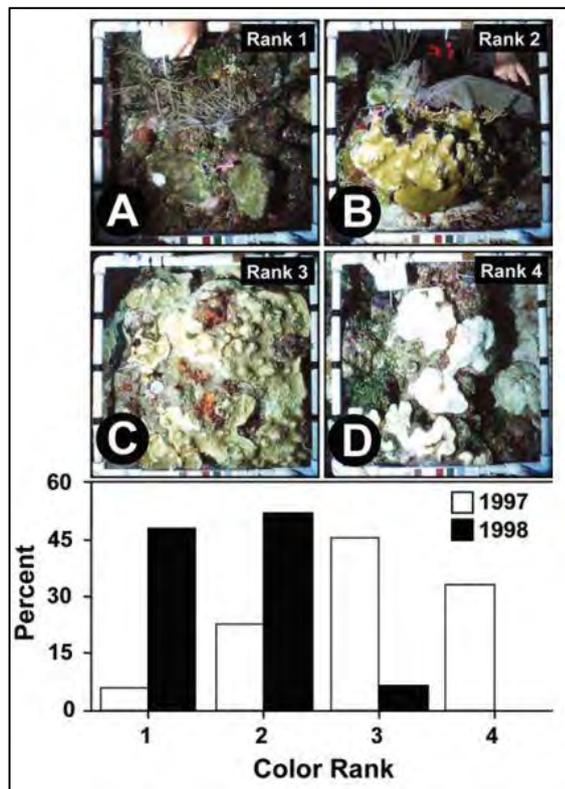


Gambar 2.4. Hubungan antara variasi suhu air laut dengan keanekaragaman terumbu karang di empat lokasi Kenya reef lagoons sebelum dan sesudah tahun 1998 (sumber: Mc.Clanahan, 2004)

### 2.5.2.1 Karang Memutih (*bleaching*)

*Bleaching* mengacu pada hilangnya warna dalam simbiosis antara alga *dinoflagellata/ zooxanthellae* dari genus *Symbiodinium* dan hewan benthik laut, misalnya karang. Pemutihan umumnya menghasilkan tekanan pertumbuhan dan peningkatan angka kematian, dan ini dapat dianggap sebagai respons fisiologis yang merugikan atau penyakit (Douglas, 2003).

Pemutihan karang dapat ditinjau tingkat keparahannya dengan pengelompokan kadar pemutihannya. pengelompokan berdasarkan besar persen pemutihan karang digagas oleh Gleason (1993) dan telah divalidasi oleh Edmunds et al (2003). Edmunds et al (2003) mengelompokkan tingkatan pemutihan karang *Monstastrea* di Florida Keys tahun 1997 menjadi empat peringkat, peringkat ke-1 adalah koloni karang sehat, hingga peringkat ke-4 dengan kondisi karang yang mengalami pemutihan menyeluruh (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Luas pemutihan karang *Montastraea franksi* pada kedalaman 15 m.

Perbedaan tingkat pemutihan koloni: A koloni sehat (peringkat 1); B koloni memutih sebagian (peringkat 2); C koloni memutih sebagian dengan beberapa bagian berwarna normal (peringkat 3); dan D koloni memutih penuh (peringkat 4) (sumber: Edmunds et al, 2003)

### 2.5.2.2 White Syndrome

Suhu perairan yang tinggi terdeteksi berkorelasi dengan peningkatan penyebaran penyakit karang, salah satunya *white syndrome*. Penyakit karang ini umum ditemukan di perairan Indo-Pasific. Istilah white syndrome (WS) telah diadopsi untuk merujuk pada serangkaian gejala penyakit yang mempengaruhi beragam taksa karang, dimana dapat melibatkan lebih dari satu penyebab dan dapat menunjukkan perbedaan dampak pada setiap taksa inang. Secara umum, sindrom putih bermanifestasi sebagai lesi tunggal atau lebih dari satu dan menunjukkan batas yang jelas antara jaringan sehat dan kerangka yang telah hilang jaringannya secara cepat, yang tidak menghasilkan bentuk lesi menyerupai pita (Lozada-Misa.P et al, 2015).

Penyakit white syndrome memiliki ciri-ciri (1). Area lipatan jaringan yang membaur yang mengekspos kerangka kosong dan utuh, (2). Tidak ada pita yang terlihat antara jaringan sehat dan kerangka kosong; Batas lesi dapat diskrit atau berdifusi, namun tidak berpigmen, (3). Tingkat kehilangan jaringan sedang sampai tinggi, (4). Lesi di belakang front penyakit aktif berwarna putih, mengarah ke cokelat secara distal saat kerangka dilewati. Dapat menyerupai pemutihan, namun pemeriksaan yang ketat menunjukkan tidak adanya jaringan, (5). Rentang host lebar, mempengaruhi setidaknya 15 marga. (Raymundo et al, 2008).

Dalam kelompok white syndromes (Gambar 2.6), penyakit karang yang ditandai oleh hilangnya jaringan, antara lain White Syndrome (WS), Ulcerative White Spots (UWS), dan White Plaque (WP). Kelompok penyakit ini ditemukan di perairan indo-pasific tepatnya di Great Barrier Reef dan sekitar perairan *Carribbean* dan belum diketahui secara pasti penyebabnya. *Australian Institute of Marine Science Long-Term Monitoring Program* (AIMS LTMP) mengadopsi nama White Syndrome (WS) untuk membedakannya dengan terumbu karang yang mengalami *bleaching*, skeleton terekspos oleh predator, dan gejala pemutihan lainnya (Willis et al, 2004).



Gambar 2.6. (a). White Syndrome, (b) Ulcerative White Spot, (c). White Plaque  
(sumber: Raymundo, 2008)

## 2.6 Baku Mutu Suhu Air Laut

Pemerintah Indonesia memberi perhatian khusus untuk permasalahan baku mutu buangan limbah industri ke laut dengan dibuatnya beberapa kebijakan yang dituangkan dalam peraturan pemerintah, keputusan menteri, hingga peraturan menteri. Hal tersebut diperlukan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup yaitu dengan mengupayakan pengendalian terhadap usaha dan/atau kegiatan yang berpotensi menimbulkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup.

Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001 menjelaskan bahwa air yang dalam kondisi normal kualitasnya lebih baik dari baku mutu air, berarti masih memiliki kemampuan untuk menerima beban pencemaran. Kemudian setelahnya apabila beban pencemaran yang masuk melebihi kemampuan air menerima beban tersebut maka akan terjadi pencemaran air. Yaitu bahwa tidak memenuhi baku mutu air adalah jika menurut hasil pemantauan tingkat kualitas air tersebut lebih buruk dari baku mutu air, dan disebut memenuhi baku mutu air adalah apabila dari hasil pemantauan tingkat kualitas air tersebut sama atau lebih baik dari baku mutu air.

Tabel 2.1. Baku Mutu Suhu Limbah Cair dan Air Laut (sumber: dokumen publik)

No.	Nama Produk Kebijakan	Jenis Baku Mutu	Suhu Maksimum yang Diperbolehkan
1.	Keputusan Menteri Negara LH no. 51 tahun 1995 tentang <i>Baku Mutu Suhu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	38-40 °C
2.	Peraturan Menteri Negara LH no. 08 tahun 2009 tentang <i>Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal</i>	Baku Mutu Air Limbah yg akan dibuang ke lingkungan	40 °C
3.	Peraturan Gubernur Jawa Timur no.72 tahun 2013 tentang <i>Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	40 °C
4.	Peraturan Menteri Negara LH no. 5 tahun 2014 tentang <i>Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri</i>	Baku Mutu Limbah Cair yg akan dibuang ke lingkungan	38-40 °C
5.	Keputusan Menteri Negara LH no. 51 tahun 2004 tentang <i>Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut</i>	Baku Mutu Air Laut	28-30 °C (untuk Coral & Lamun) dan diperbolehkan terjadi perubahan maksimal <2 °C dari suhu alami laut

Baku mutu suhu limbah cair atau air panas di Indonesia telah ditetapkan di beberapa peraturan. Awalnya pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no.51 tahun 1995 yang mensyaratkan baku mutu suhu limbah cair industri secara umum adalah 38-40<sup>0</sup>C. Selanjutnya menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut disebut mensyaratkan perbedaan suhu kurang dari 2<sup>0</sup> C terhadap suhu alami lingkungan laut. Kemudian pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 08 tahun 2009, baku mutu suhu air bahang adalah 40<sup>0</sup>C untuk kegiatan pembangkit listrik. Senada dengan sebelumnya, pada Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013 ditetapkan baku mutu suhu 40<sup>0</sup>C untuk jenis air limbah pendingin. Terakhir pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 5 tahun 2014 yang menetapkan baku mutu suhu limbah cair industri sebesar 38-40<sup>0</sup>C. Lengkapnya pada Tabel 2.1.

Perbedaan besaran baku mutu suhu yang dipersyaratkan ternyata berbeda-beda dan menimbulkan kerancuan dalam aplikasinya. Sementara itu juga Kasman (2011) dalam penelitiannya menyatakan kenaikan suhu air laut di perairan di industri energi akibat paparan limbah air panas dapat mencapai 1,0 hingga 9,6<sup>0</sup>C (Kasman, 2011).

## **2.7 Biaya Kerugian akibat Kerusakan Lingkungan**

Upaya mengkuantifikasi nilai lingkungan merupakan hal yang cukup sukar karena tidak semua komponen lingkungan dapat dikuantifisir (*intangible*) serta belum masuknya dalam sistem pasar. Namun demikian upaya untuk mendekati nilai lingkungan perlu dilakukan untuk mengingatkan para pengambil kebijakan akan pentingnya dampak yang timbul dari sebuah kegiatan terhadap lingkungan hidup (Mukhtasor, 2007).

### **2.7.1 Perhitungan Nilai Ekonomi Total**

Tietenberg (2012) mendefinisikan nilai ekonomi total yang hilang terdiri dari nilai manfaat dan non-manfaat. Nilai manfaat meliputi manfaat langsung dan manfaat tidak langsung, sedangkan nilai non-manfaat meliputi manfaat pilihan dan manfaat keberadaan. Sehingga nilai ekonomi total didapat dari penjumlahan total

manfaat langsung, manfaat tidak langsung, manfaat keberadaan, dan manfaat pilihan. Rumus untuk perhitungan nilai ekonomi total dijelaskan pada Tabel 2.2.

$$\text{Nilai Ekonomi Total} = \text{Nilai Manfaat Langsung} + \text{Nilai Manfaat Tidak Langsung} + \text{Nilai Keberadaan} + \text{Nilai Pilihan}$$

- a. **Manfaat langsung** adalah manfaat yang langsung dapat diperoleh dari ekosistem terumbu karang, misalnya perikanan terumbu, bahan obat-obatan, penelitian, penambangan terumbu, ikan hias, dll. Dari kesemua nilai manfaat tersebut dijumlahkan untuk mendapat nilai total manfaat langsung.
- b. **Manfaat tidak langsung** adalah manfaat yang secara tidak langsung diperoleh dari adanya terumbu karang, misalnya sebagai penahan gelombang, sehingga manfaat tidak langsung didekati dengan *replacement cost method*, yaitu misalnya menghitung estimasi biaya pembangunan kontruksi penahan gelombang
- c. **Manfaat keberadaan** didekati dari nilai atau harga yang diberikan masyarakat (*willingness to pay*) terhadap keberadaan ekosistem terumbu karang dengan segala kelengkapannya.
- d. **Manfaat pilihan** dapat didekati dari nilai pilihan, misal: keanekaragaman hayati (biodiversity), nilai kegunaan di masa yang akan datang, dsb.

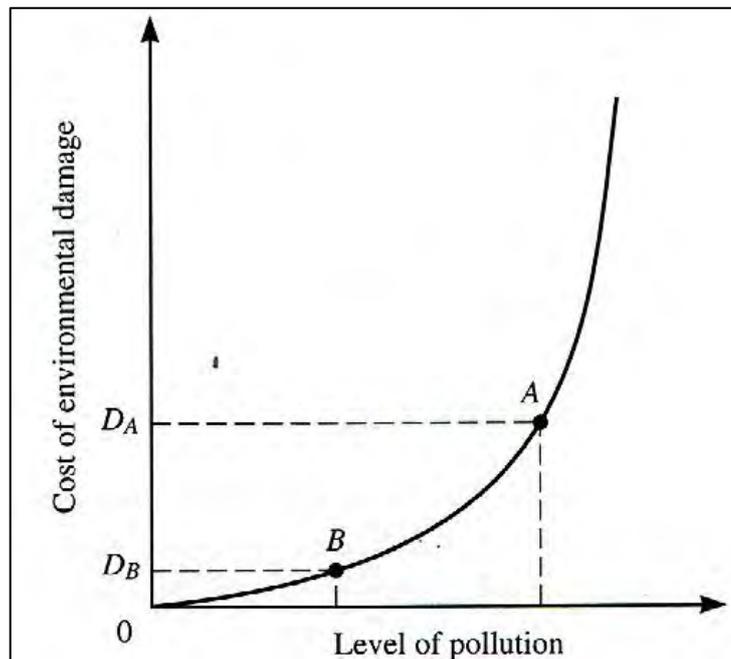
### 2.7.2 Perhitungan Biaya Kerusakan Lingkungan

Kehidupan di laut umumnya sangat peka terhadap perubahan suhu air, misalnya disebabkan oleh air pendingin (*cooling water*) dan *effluent* dari beberapa industri yang dibuang ke lingkungan laut pada suhu yang lebih tinggi daripada suhu alami laut itu sendiri (Mukhtasor, 2007). Dalam penelitian ini biaya kerusakan lingkungan diasumsikan melalui total harga manfaat yang hilang karena rusaknya organisme terumbu karang dan matinya ikan akibat paparan limbah air panas di perairan sekitar PLTU Paiton Probolinggo.

Tabel 2.2. Rumus Perhitungan untuk Mencari Nilai Total Ekonomi Terumbu Karang (sumber: Asadi & Andrimida, 2017)

No.	Nilai Manfaat	Rumus Perhitungan	Metodologi dan Sumber
1	Langsung a) Wisata b) Perikanan tangkap c) Penelitian	$\text{Nilai total SDA} = (\text{SDA}_1 \times \text{harga}_1) + (\text{SDA}_2 \times \text{harga}_2) + \dots + (\text{SDA}_n \times \text{harga})$	a) Metodologi 1) <i>Travel Cost Method</i> (Wisata) 2) <i>Effect On Production</i> (Perikanan) 3) <i>Contingency Valuation Method</i> (Penelitian) Sumber: Permen LH No. 14 th. 2012
2	Tak Langsung Perlindungan pantai	$\text{Nilai total} = (8,55\% \times \text{panjang pantai}) \times \text{biaya pembuatan break water per meter}$	b) Metodologi: <i>Replacement Cost</i> Sumber: (Haslindah, Indar, & Hasmin, 2014)
3	Tak Langsung Habitat ikan	$\text{Nilai total} = \text{persentase terumbu karang yang sehat} \times \text{luas area total} \times \text{unit rent terumbu karang sebagai nursery ground}$	c) Metodologi: <i>Benefit transfer</i> Sumber: (Suparmoko, Ratnaningsih, Setyarko, & Widyantara, 2003)
4	Pilihan	$\text{Nilai total} = \text{nilai pilihan terumbu karang} \times \text{luas kawasan terumbu karang}$	d) Metodologi: <i>Contingency Valuation Method</i> Sumber: (Samonte-Tan & Armedilla, 2004)
5	Keberadaan	$\text{Nilai total} = \text{manfaat keberadaan responden} \times \text{jumlah populasi}$	e) Metodologi: <i>Contingency Valuation Method</i> Sumber: (Haslindah, Indar, & Hasmin, 2014)
6	Warisan	$\text{Nilai total} = 10\% \times \text{nilai total manfaat langsung}$	f) Metodologi: <i>Contingency Valuation Method</i> Sumber: (Haslindah, Indar, & Hasmin, 2014)

Pada Gambar 2.7 sumbu x adalah tingkat pencemaran, sedangkan sumbu y adalah biaya kerusakan lingkungan (*cost of environmental damage*). Biaya kerusakan lingkungan adalah biaya yang harus dikeluarkan sebagai dampak adanya kerusakan lingkungan, misal berkurangnya tingkat kesehatan manusia dan lingkungan akibat terpapar pencemaran dengan tingkatan tertentu. Sedangkan tingkat pencemaran adalah besar kecilnya kadar pencemaran. Dapat disimpulkan bahwa apabila tingkat pencemaran semakin tinggi maka biaya kerusakan lingkungan akan semakin tinggi juga (Rubin, 2001).



Gambar 2.7. Biaya dari Kerusakan Lingkungan Terhadap Tingkat Pencemaran. Peningkatan Pencemaran menyebabkan Peningkatan Kerusakan Lingkungan (Rubin, 2001)

Rubin (2001) juga berpendapat bahwa dengan menurunkan tingkat pencemaran dari level A ke level B maka biaya kerusakan lingkungan juga akan berkurang. Penurunan ini tentu akan menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Sehingga singkatnya keuntungan ekonomi dapat dihitung dari selisih biaya kerusakan lingkungan pada kondisi A ( $D_A$ ) dengan biaya kerusakan lingkungan pada kondisi B ( $D_B$ ).

$$\text{keuntungan ekonomi} = \text{reduksi biaya kerusakan lingkungan} = D_A - D_B \dots \dots \dots (2.5)$$

Pemerintah Indonesia melalui lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no.7 tahun 2014 telah menuliskan pedoman perhitungan kerugian lingkungan hidup akibat pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup termasuk pencemaran air laut dan/atau perusakan laut (terumbu karang, mangrove, dan padang lamun). Dalam dokumen tersebut pada pasal 6 disebutkan bahwa besarnya kerugian lingkungan hidup dipengaruhi oleh faktor teknis dan nonteknis. Faktor teknis antara lain; (a). durasi waktu atau lama terjadinya Pencemaran dan/atau Kerusakan

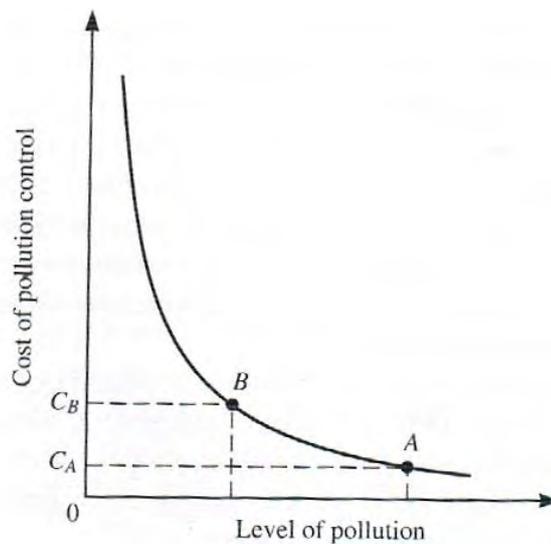
Lingkungan Hidup; (b). volume polutan yang melebihi Baku Mutu Lingkungan Hidup; (c). parameter polutan yang melebihi Baku Mutu Lingkungan Hidup; (d). luasan lahan dan sebaran Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup; dan/atau (e). status lahan yang rusak. Sedangkan faktor nonteknis diantaranya adalah; (a). inflasi; dan/atau (b). kebijakan pemerintah.

## **2.8 Biaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan**

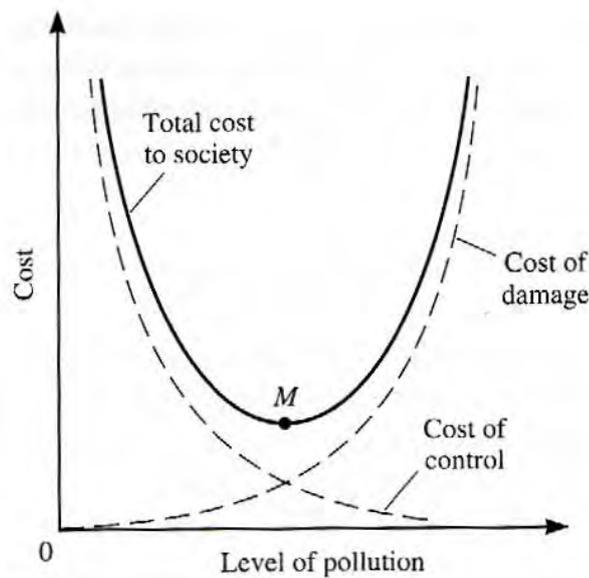
Biaya dan keuntungan dari program pengendalian lingkungan melalui pengolahan limbah secara kualitatif dapat dihitung dan dideskripsikan dengan grafik. Pada Gambar 2.8 diilustrasikan bahwa biaya pengendalian lingkungan (*cost of environmental control*) berkorelasi dengan tingkat pencemaran. Yaitu bahwa biaya pengolahan limbah berbanding terbalik dengan tingkat pencemaran. Bila dilihat pada grafik tersebut, jika ingin menurunkan tingkat pencemaran dari kondisi A ke kondisi B, maka dibutuhkan tambahan biaya pengendalian lingkungan sebesar selisih  $C_B$  dengan  $C_A$ . Sehingga dapat disimpulkan untuk mereduksi pencemaran ke tingkat yang lebih rendah akan dibutuhkan biaya yang semakin tinggi (Rubin, 2001).

Tambahan biaya untuk reduksi tingkat pencemaran dari A ke B =  $C_B - C_A$ .....(2.6)

Setelah biaya pengendalian pencemaran didapatkan maka dapat dikombinasikan dengan biaya akibat kerusakan lingkungan untuk mendapatkan total biaya yang harus dibayar untuk beragam tingkatan pencemaran lingkungan, di mana perpotongan di titik M merupakan biaya minimum baik dari pengendalian pencemaran maupun dari kerugian lingkungan. Kurva M merupakan total biaya yang didapatkan dengan menjumlahkan biaya untuk pengolahan buangan air panas dengan biaya untuk kerugian lingkungan (Rubin, 2001).



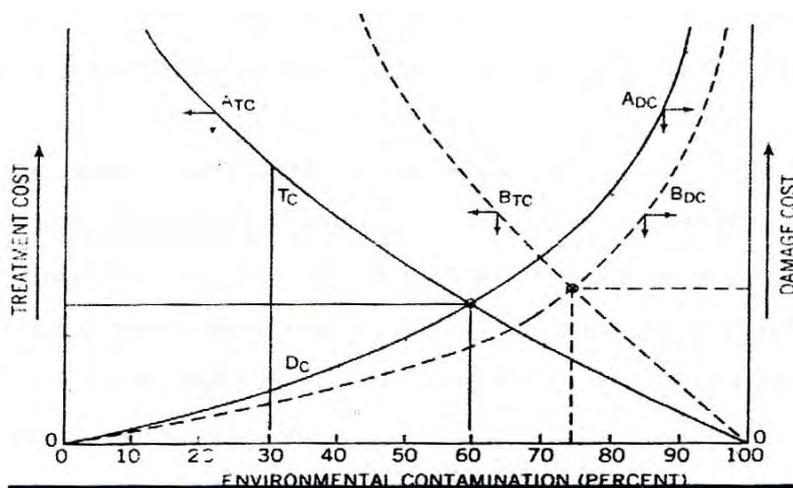
Gambar 2.8. Biaya dari Pengendalian Pencemaran terhadap Tingkat Pencemaran (Rubin, 2001)



Gambar 2.9. Total biaya sosial pencemaran lingkungan. Jumlah biaya kerusakan ditambah biaya pengendalian menghasilkan total biaya bagi masyarakat. Kurva ini memiliki nilai minimum pada titik M (Rubin, 2001)

Nemerrow (1995) dalam Maulidiyah (2005) juga memiliki penjelasan serupa terkait pengendalian pencemaran. Yaitu bahwa pengolahan limbah yang dilakukan secara benar sebelum dibuang akan meminimalisir biaya kerusakan lingkungan (*cost of environmental damage*). Sehingga apabila limbah tidak diolah sebelum dibuang melalui outlet, saat tingkat pencemarannya masih tinggi, atau

ketika biaya pengendalian lingkungan sama dengan nol, maka akan memperbesar biaya kerusakan lingkungan. Lebih jelasnya pada Gambar 2.10



Gambar 2.10. Diagram hubungan tingkat pencemaran berdasarkan biaya pengolahan limbah dan biaya kerusakan lingkungan (Nemerrow, 1995 dalam Maulidiyah, 2005)

### 2.8.1 Teknologi Pengolahan Buangan Air Panas

Melonjaknya populasi manusia dan meningkatkannya kondisi pencemaran lingkungan saat ini menuntut biaya kerusakan lingkungan yang lebih kecil untuk peningkatan kualitas hidup. Tentu saja dengan konsekuensi biaya pengolahan yang lebih besar. Maka pada penelitian ini, alokasi biaya pengendalian pencemaran diasumsikan sebagai biaya teknologi pengolahan buangan limbah air panas..

#### 2.8.1.1 Pengolahan Buangan Air Panas dengan Cooling Tower

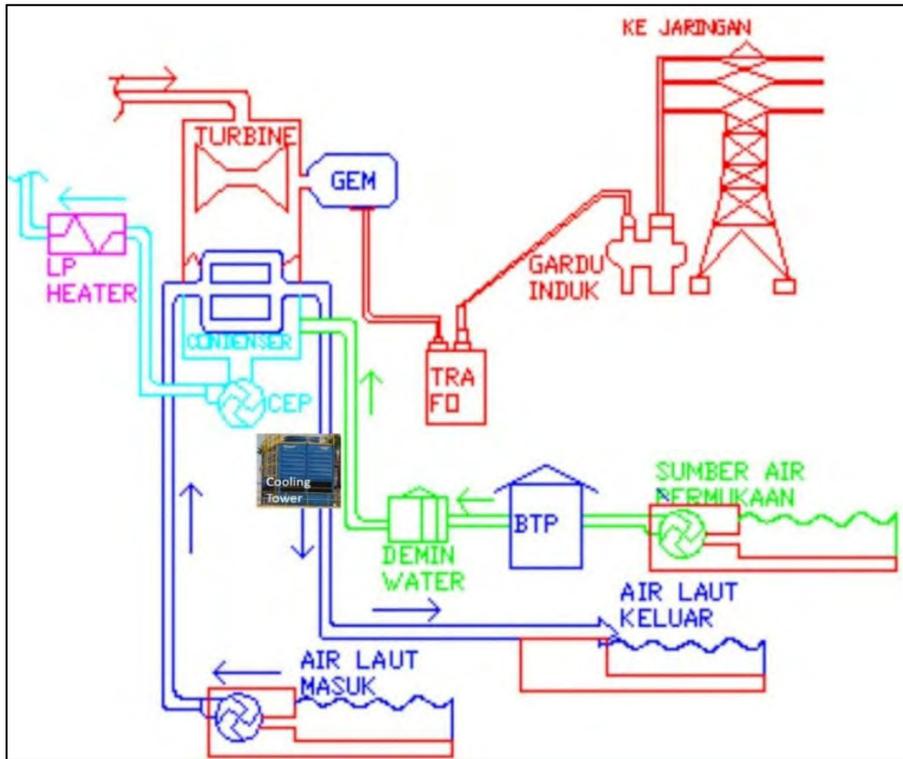
PLTU memiliki sistem air pendingin dengan alur kerja seperti skema Gambar 2.11, dimana air pendingin menggunakan air laut karena tak terbatas jumlah. Air laut masuk melalui intake canal kemudian mendinginkan turbin dengan cara bertukar kalor, air laut yang dalam keadaan panas selanjutnya masuk ke kondenser untuk kondensasi. Pada keadaan eksisting, air laut yang keluar dari kondenser akan masuk ke outlet canal untuk langsung dibuang ke laut.

Menara pendingin menurut *US. Environmental Protection Agency* (2014) merupakan konfigurasi struktur yang mensirkulasikan kembali air dalam sistem

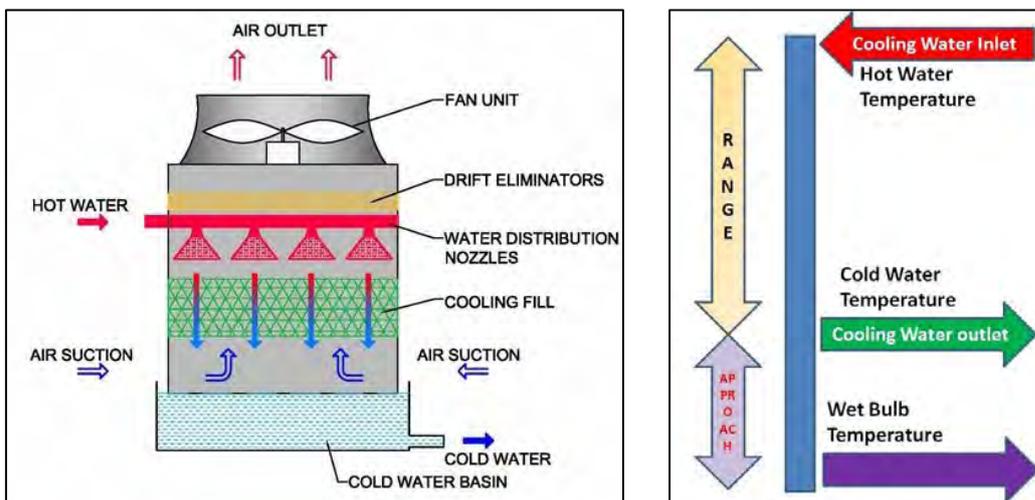
pendingin, sekaligus menyediakan sarana pembuangan kelebihan panas. Menara pendingin memiliki dua tipe, yaitu (1) sistem pendingin basah (*wet cooling system*), dan (2) sistem pendingin kering (*dry cooling system*). Pada sistem pendinginan basah, limbah panas terutama ditransfer melalui penguapan dari beberapa air panas ke udara sekitarnya. Proses ini memungkinkan fasilitas untuk menggunakan kembali air yang tersisa, sehingga mengurangi jumlah air yang harus diambil dari badan air. *Wet cooling system* memiliki dua jenis, yaitu (1) *Natural Draft* dan (2) *Mechanical Draft*. Lebih detail perbedaan karakteristik di antara kedua tipe *cooling tower* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Contoh *wet cooling tower* misalnya. tipe *mechanical draft* dengan tipe aliran *counterflow* dan dengan tipe sirkulasi *forced draft*. Penjelasan sederhana terkait mekanisme kerja *cooling tower* tersebut diilustrasikan pada skema Gambar 5.6. Pertama pada alur panah merah, air panas masuk secara horisontal di tengah2 menara, kemudian didistribusikan ke arah vertikal bawah melewati serpihan-serpihan *filling*, mengalami kontak langsung dengan udara yang masuk dari bawah. Air panas yang melewati *filling* terpecah menjadi butiran-butiran air untuk mempercepat penurunan suhu. Butiran-butiran air tersebut ditampung di bak penampungan bawah kemudian keluar dari menara dan masuk kembali ke *condenser/heat exchanger* untuk mengalami pertukaran kalor. Kedua, pada panah biru udara masuk dari bawah. Udara yang masuk tertarik oleh kipas/ *blower fan* sehingga bergerak menuju ke atas sambil membawa uap panas air yang sedang diproses. Adanya gerak udara ke atas membantu percepatan pendinginan.

Capaian atau kinerja *cooling tower* biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach*. *Range* adalah selisih dari suhu air panas masuk (*inlet*) dengan suhu air panas keluar (*outlet*). *Approach* adalah selisih suhu air panas keluar (*outlet*) dengan suhu *wet bulb*. Gambaran *range* dan *approach* lebih jelas pada Gambar 2.12. Cheremisinoff (1981) membagi *cooling tower* menjadi tiga tipe berdasarkan besar *range*, yaitu (1) *Long Range* (25-26<sup>0</sup>F), sering digunakan dalam *oil refineries* dan aplikasi *steel mill*; (2) *Medium Range* (10-25<sup>0</sup>F), banyak digunakan pada *power plant*. (3) *Short Range* (5-10<sup>0</sup>F), digunakan pada lemari pendingin dan pendingin ruangan.



Gambar 2.11. Skema Umum Alur Sistem Pendingin dengan Opsi Teknologi Pengolahan Buangan Air Panas Cooling Tower



Gambar 2.12. Wet Cooling Tower Tipe Mechanical Forced Draft Jenis Counterflow (kiri). Range dan Approach pada Cooling Tower (kanan) (sumber: [www.chemicalengineeringsite.in](http://www.chemicalengineeringsite.in))

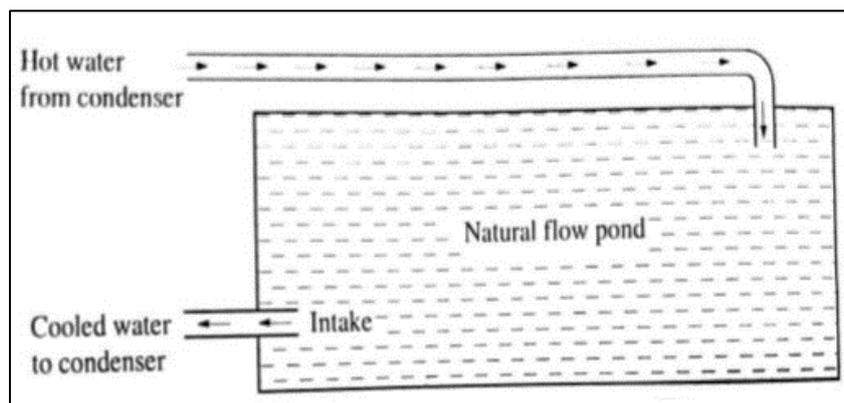
Tabel 2.3. Perbedaan Karakteristik Umum Cooling Tower Tipe Mechanical Draft dengan Tipe Natural Draft (sumber: Cheremisinoff, 1981)

Karakteristik	Cooling Tower tipe Natural Draft	Cooling Tower tipe Mechanical Draft
Lokasi	Dapat dibangun sejajar dengan bangunan industri, pada pusat-pusatnya yang berjarak 1,5 (d) di mana d = diameter dasar.	Harus ditempatkan di suatu tempat yang agak jauh. Hal ini untuk pertimbangan pasokan udara dan karena masalah terkait dengan keluaran uap air (seperti asap) dan arus dari pelepasan udara, juga pertimbangan kebisingan.
material konstruksi	konstruksi berupa cangkang tipis berbahan beton yang memiliki ketahanan yang baik terhadap angin	konstruksi dapat berupa kayu, metal, atau beton. Struktur harus didesain untuk dapat bertahan dari tegangan angin atau gempa bumi, beban mati seperti berat dari tower, air yang bersirkulasi, dan vibrasi dari komponen mekanik.
biaya investasi awal	dibangun dengan material yang relatif mahal seperti beton pre-cast, dan diperkuat, kemudian menggunakan asbes-semen untuk pengisinya	dapat dibangun menggunakan material yang murah seperti kayu, asbes, papan semen, dan material plastik. Namun biaya untuk kipas lebih tinggi
biaya operasi dan pemeliharaan	Total biaya operasi sangat kecil karena memanfaatkan mekanisme alami	Biaya listrik untuk mengoperasikan kipas cukup besar. Biaya pemeliharaan kipas-kipas, termasuk penggerak-penggerak juga transmisi yang terkait, cukup signifikan.
Aplikasi	dengan mempertimbangkan iklim dan kondisi beban, tipe natural draft terbaik diaplikasikan di industri pembangkit. Singkatnya, dapat dipilih bila: (a) kondisi operasi terdiri dari suhu wet-bulb rendah dan kelembaban relatif tinggi; (b) kombinasi antara wet bulb rendah serta inlet dan exit water temperature yang tinggi; dan (c) memungkinkan untuk kondisi musim dingin yang berat	secara ekonomi lebih menguntungkan aplikasi menara pendingin tipe mechanical draft dibanding tipe natural draft, kecuali instalasinya yang sangat besar

### 2.8.1.2 Metode Kolam Pendingin

Suhu buangan air panas dapat meningkat 22 °C (40 °F) lebih tinggi dari suhu awalnya. Salah satu alternatif mengelola buangan air panas tersebut adalah dengan kolam pendingin (Bishop, 1983). Kerja kolam pendingin memanfaatkan mekanisme penguapan, radiasi, dan konveksi untuk menurunkan suhu buangan air panas. Keuntungan pembuatan kolam pendingin yaitu menggunakan sedikit biaya dan desain yang sederhana. Sedangkan kerugiannya adalah dibutuhkan lahan luas untuk kolam pendingin, kurang efisien dalam pendinginan, air banyak yg hilang akibat proses penguapan, dan tidak ada kontrol suhu untuk air yang telah mendingin. Kolam pendingin, ada tiga macam; (1) Natural flow, (2) Single deck and double deck, (3) Open and louver fence.

Gambar 2.13 adalah skema sederhana kolam pendingin tipe *natural flow*, dimana hot water yang berasal dari condenser dan telah mengalami pertukaran kalor, masuk melalui bagian atas kolam pendingin. Di dalam kolam pendingin, air panas melepaskan kalornya dengan mekanisme transfer panas serta penguapan, kemudian keluar melalui bagian bawah kolam dalam kondisi dingin untuk selanjutnya digunakan kembali di condenser untuk proses pertukaran kalor. Proses tersebut berjalan terus menerus dalam siklusnya.

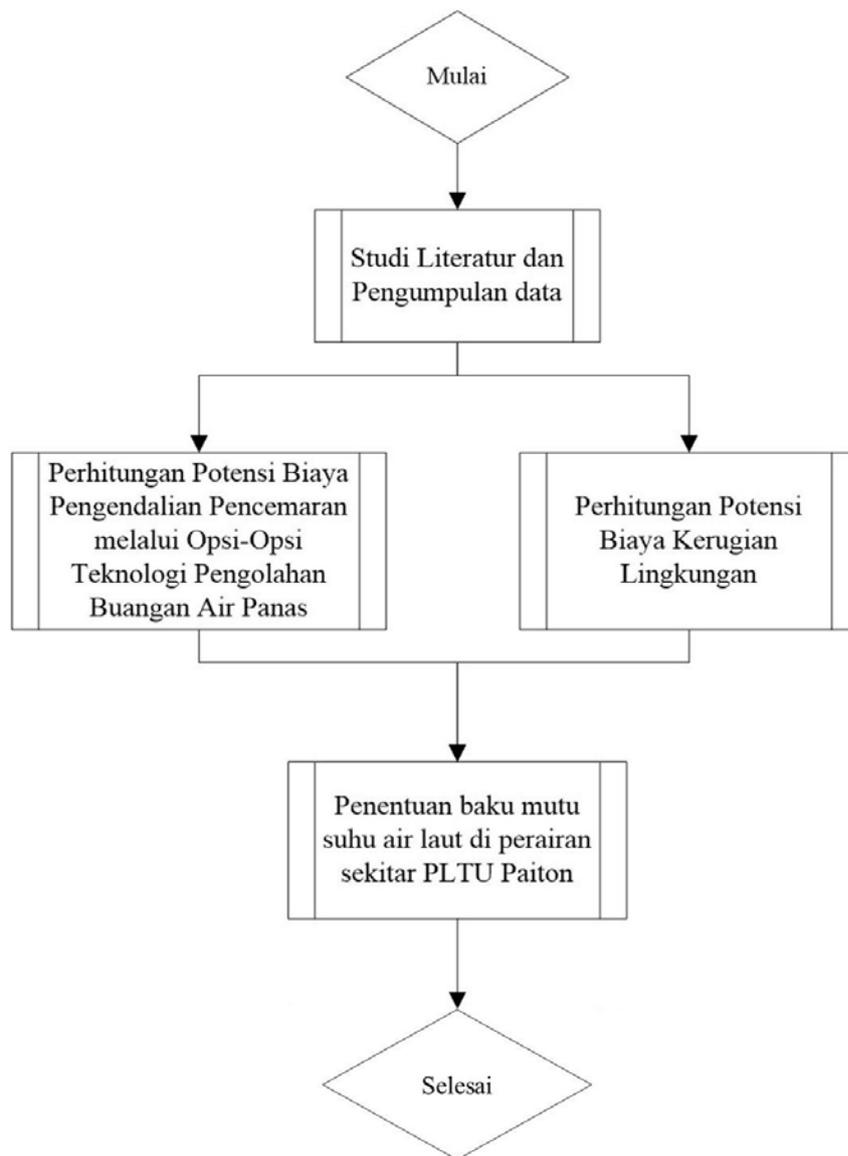


Gambar 2.13. Skema Sederhana Kolam Pendingin tipe Natural Flow

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Secara umum, penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan kerja sesuai diagram alir Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Pengerjaan Penelitian

## 3.2 Deskripsi Alur Penelitian

### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku, jurnal, dan hasil studi para peneliti-peneliti sebelumnya yang relevan untuk mengetahui sejauh mana perkembangan studi yang akan penulis lakukan. Studi literatur dilakukan pada sumber sekunder yang diyakini valid.

### 3.2.2 Data yang Diperlukan dan Sumbernya

Data yang dibutuhkan dalam penyelesaian penelitian ini antara lain;

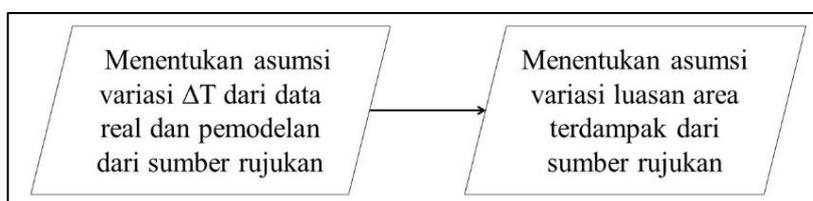
- a. Kondisi Umum Perairan PLTU Paiton Probolinggo  
Diperoleh dari googleearth, bakosurtanal, dan sumber lainnya
- b. Kondisi Eksisting Sistem Air Pendingin Di PLTU Paiton Probolinggo  
Diperoleh dari data sekunder yaitu laporan monitoring lingkungan PLTU Paiton dan dari sumber-sumber lain
- c. Kondisi Eksisting Buangan Air Pendingin di PLTU Paiton Probolinggo  
Diperoleh dari data sekunder yaitu laporan monitoring lingkungan PLTU Paiton dan dari sumber-sumber lain
- d. Data Kerusakan Karang dan Kematian Ikan di Lingkungan PLTU Paiton Probolinggo  
Diperoleh dari data sekunder Badan Pusat Statistik, maupun hasil data peneliti sebelumnya.
- e. Nilai Ekonomi Terumbu Karang dan Ikan di Sekitar PLTU Paiton  
Nilai ekonomi ikan didapat dari harga produksi perikanan yang dipublikasikan Badan Pusat Statistik. Sedangkan untuk terumbu karang, nilai ekonomi menggunakan *benefit transfer* atau merujuk pada data daerah yang terdekat dengan Kabupaten Probolinggo.
- f. Opsi-Opsi Teknologi Pengolah Buangan Air Panas  
Informasi teknologi pengolah buangan air pendingin didapat dari buku-buku teknik atau dokumen pemerintah yang mencakup perancangan sederhana hingga estimasi biaya pembuatan alat pengolah buangan air panas.

### 3.2.3 Perhitungan Potensi Biaya Kerugian Lingkungan

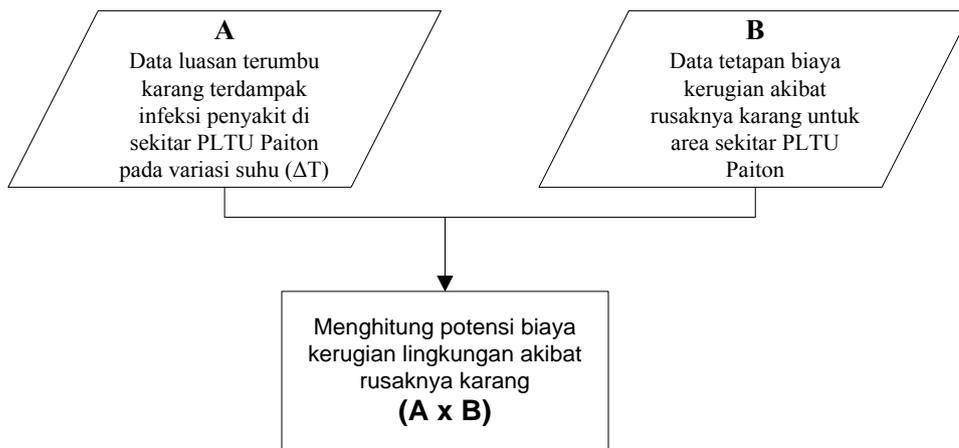
Potensi biaya kerugian lingkungan dapat dihitung dari harga manfaat yang hilang oleh karena kerusakan berupa pemutihan terumbu karang dan matinya ikan-ikan di perairan sekitar PLTU Paiton Probolinggo akibat cemaran buangan air panas pada variasi suhu ( $\Delta T$ ). Definisi  $\Delta T$  adalah selisih suhu air bahang di laut sekitar outlet discharge dengan suhu alami laut.

Tahap pertama adalah penentuan variasi  $\Delta T$  (Gambar 3.2). Variasi  $\Delta T$  didapat dari data pemantauan suhu di lapangan oleh PT. Jawa Power dan pemodelan penyebaran buangan air bahang di sekitar pembuangan limbah air panas PLTU oleh Fudlailah (2013). Sedangkan untuk luasan dampak buangan air panas di laut, juga diasumsikan mengadaptasi dari data pemodelan Fudlailah (2013). Sehingga kemudian variasi  $\Delta T$  dipilih pada salah satu jarak, yaitu 500 m dari mulut kanal, dengan beberapa skenario suhu air bahang di mulut kanal.

Tahap kedua (Gambar 3.3), untuk mendapatkan potensi biaya kerugian akibat kerusakan terumbu karang di perairan PLTU Paiton, langkah pertama adalah mencari data sekunder luasan terumbu karang yang terinfeksi penyakit karang pada variasi suhu ( $\Delta T$ ). Langkah kedua adalah mencari nilai ekonomi ekosistem terumbu karang dari lokasi terdekat dari Kabupaten Probolinggo. Langkah ketiga, setelah mendapat luasan area terumbu karang terdampak tersebut akan dikalikan dengan harga kerugian lingkungan per luasan karang yang rusak. Hasil perkalian tersebut adalah harga kerugian lingkungan akibat rusaknya terumbu karang.

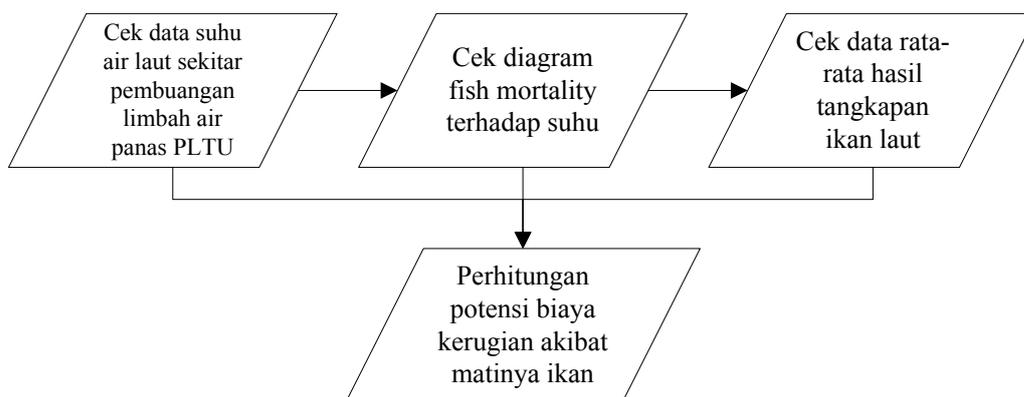


Gambar 3.2. Penentuan asumsi  $\Delta T$  dan luasan area terdampak dari sumber rujukan



Gambar 3.3. Langkah perhitungan potensi biaya kerugian akibat rusaknya terumbu karang di sekitar PLTU Paiton

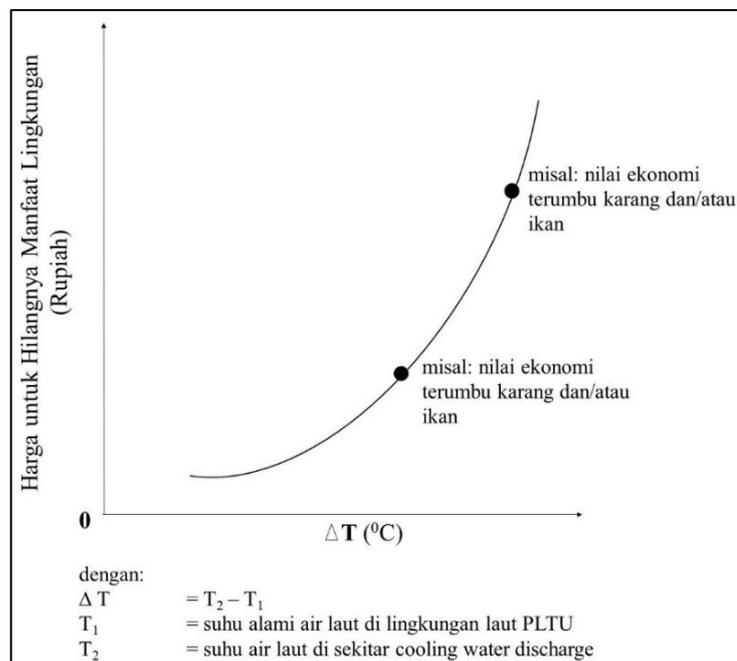
Tahap ketiga (Gambar 3.4) ,untuk mendapat nilai potensi biaya kerugian akibat matinya ikan-ikan di perairan PLTU Paiton, perhitungan nilai ekonomi menggunakan pendekatan harga pasar. Data variasi  $\Delta T$  yang didapat pada tahap pertama disesuaikan dengan diagram koefisien kematian ikan Kleinstreuer & Logan (1979), setelahnya akan didapat besar koefisien yang dikonversi dalam nilai presentase. Presentase potensi ikan yang mati tersebut akan dikalikan dengan nilai rata-rata hasil tangkapan ikan di perairan Kabupaten Probolinggo & Situbondo. Hasil akhirnya akan didapatkan potensi biaya kerugian lingkungan akibat matinya ikan di perairan sekitar PLTU Paiton.



Gambar 3.4. Perhitungan potensi biaya kerugian karena matinya ikan

Selanjutnya setelah didapat nilai ekonomi total terumbu karang dan nilai ekonomi ikan-ikan yang mati akibat adanya buangan air panas pada beberapa

variasi suhu ( $\Delta T$ ), nilai akan diplot pada grafik biaya kerugian lingkungan seperti Gambar 3.4. Menjadi perhatian penting bahwa dampak lingkungan terjadi di laut, sehingga  $\Delta T$  juga mempertimbangkan adanya dilusi (pengenceran) yang menyebabkan suhu air bahang menurun dengan semakin bertambahnya jarak dari titik pembuangan awal. Juga perlu dicatat bahwa area laut terdekat dengan lokasi pembuangan air bahang memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan lokasi laut yang jauh dari lokasi pembuangan air bahang.



Gambar 3.4. Grafik Biaya Kerugian Lingkungan terhadap Perbedaan Suhu Buangan Air Panas di Outlet Discharge dengan Suhu Alami Air Laut di PLTU

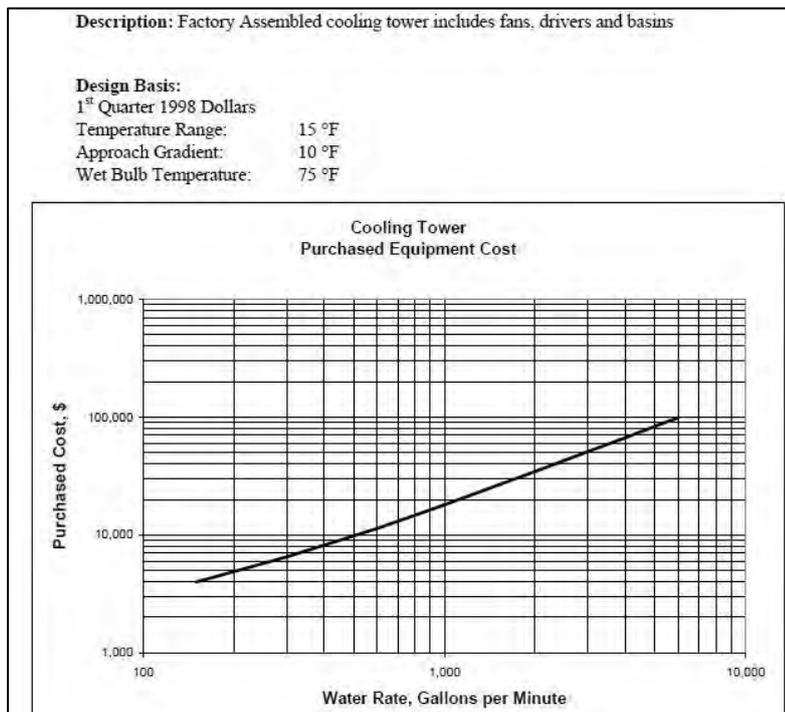
### 3.2.4 Perhitungan Potensi Biaya Pengendalian Pencemaran

Pada penelitian ini, biaya pengendalian pencemaran diperhitungkan sebagai biaya teknologi pengolahan buangan air panas. Opsi-opsi teknologi pengolahan buangan air panas diasumsikan menggunakan *cooling tower* dan *cooling pond*. Estimasi biaya komponen *cooling tower* diestimasi dengan diagram pada Gambar 3.5 menyesuaikan debit buangan limbah bahang pada Tabel 4.2 di Bab IV. *Cooling tower* dapat dibuat lebih dari satu sesuai kebutuhan dengan mempertimbangkan jumlah debit limbah air bahang yang akan diproses.

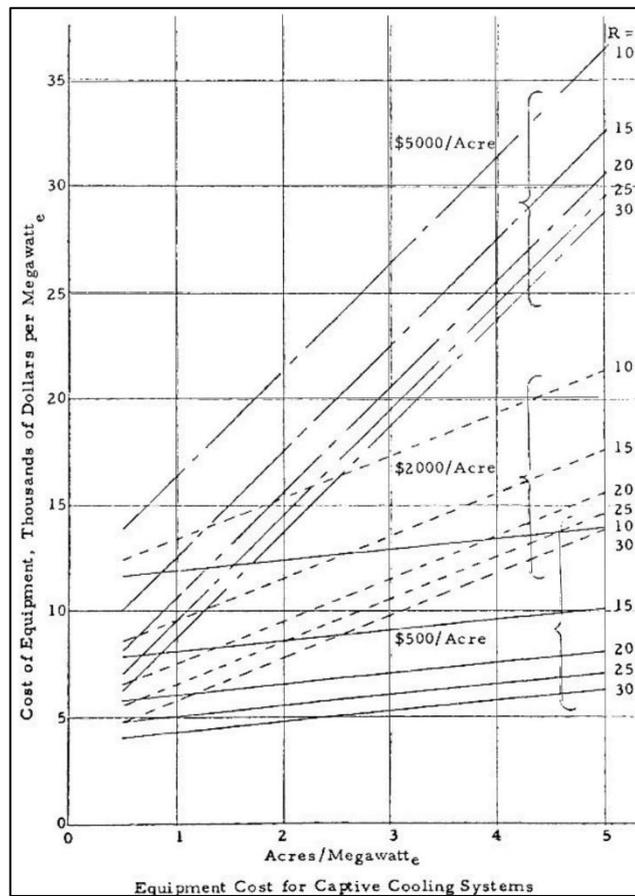
Estimasi biaya untuk membeli komponen konstruksi, pembuatan bendungan air, persiapan lahan, serta pengadaan lahan untuk pembuatan *cooling pond* dapat diperkirakan dengan Gambar 3.6 menurut luasan dan pilihan harga per-*acres* serta *range* suhu yang dikehendaki. Biaya total komponen per megawatt dalam ribu dollar yang diperlukan dapat diketahui dengan menarik garis horisontal ke arah sumbu y dari titik perpotongan yang didapat.

Biaya masing-masing opsi teknologi pengolahan tersebut selanjutnya akan diplot pada kurva Gambar 3.7. Penting untuk diperhatikan bahwa letak pengolahan buangan air panas adalah setelah air bahang keluar dari condenser, sehingga  $\Delta T$  pada sumbu x grafik nantinya harus diasumsikan untuk dapat diplot pada kurva biaya pengolahan pencemaran.

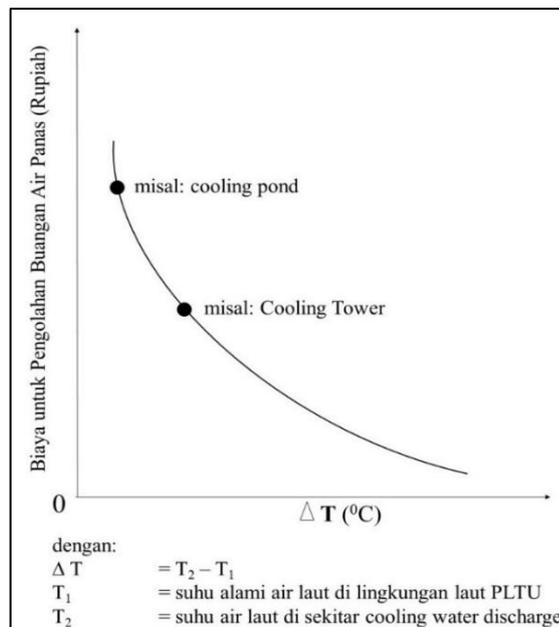
Penentuan  $\Delta T$  untuk kurva biaya pengolahan buangan air panas diawali dengan perhitungan dilusi dengan Persamaan 2.1. Kemudian hasil perhitungan dilusi dikalikan dengan suhu alami laut untuk mengetahui suhu awal sebelum terencerkan atau suhu sekitar mulut kanal. Pada penelitian ini suhu alami laut diasumsikan konstan  $32,8^{\circ}\text{C}$ . Terakhir, suhu di sebelum terencerkan tersebut dikurangkan dengan suhu alami  $32,8^{\circ}\text{C}$  sehingga didapatkan  $\Delta T$ .



Gambar 3.5. Estimasi biaya komponen *cooling tower* (sumber: Loh dkk, 2002)



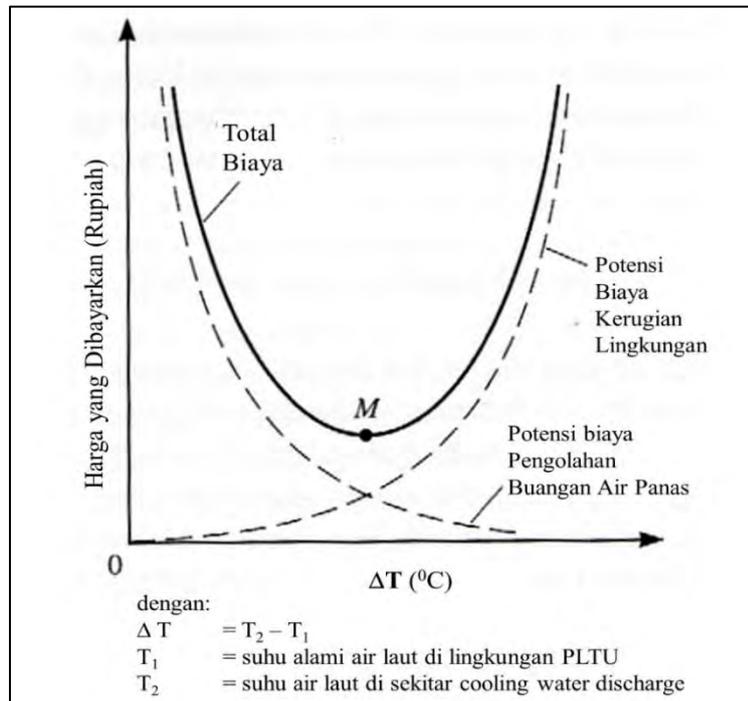
Gambar 3.6. Estimasi Biaya Pembangunan Cooling Pond (sumber: USEPA, 1970)



Gambar 3.7. Kurva Biaya Pengendalian Pencemaran terhadap Perbedaan Suhu Buangan Air Panas di Sekitar Outlet Discharge dengan Suhu Alami Laut

### 3.2.5 Penetapan Baku Mutu yang Sesuai untuk Parameter Suhu

Baku mutu suhu yang sesuai untuk lingkungan PLTU Paiton dapat diketahui dengan menarik garis vertikal ke arah sumbu x dari titik minimum (M). Kurva total biaya didapatkan dengan menjumlahkan biaya kerugian lingkungan dengan biaya pengolahan buangan air panas. Titik M merupakan total biaya minimum yang harus ditanggung baik oleh lingkungan maupun pihak pencemar pertemuan grafik kurva biaya kerugian lingkungan dan kurva biaya pengendalian pencemaran. Secara ideal, titik M didapatkan dari total biaya pada baku mutu suhu hasil perpotongan dua kurva biaya (Gambar 3.8).



Gambar 3.8. Kurva total biaya merupakan Penjumlahan Potensi Biaya Kerugian Lingkungan dengan Potensi Biaya Pengolahan Buangan Air Panas. Titik M merupakan total biaya minimum

## BAB 4 KONDISI PLTU PAITON & SEKITARNYA



Gambar 4.1. Letak PLTU Paition Probolinggo yang berbatasan dengan Selat Madura (sumber: [pltupaition9.blogspot.co.id](http://pltupaition9.blogspot.co.id))

#### **4.1 Kondisi Geografis dan Hidro-Oseanografi Umum PLTU Paiton**

Perairan pesisir Paiton merupakan bagian dari perairan laut Selat Madura, tepatnya terletak di desa Bhinor, Paiton, Probolinggo (Gambar 4.1). Berdasarkan posisi tersebut, kondisi fisik hidrooseanografi di perairan pesisir Paiton banyak dipengaruhi oleh kondisi di Selat Madura seperti pola arus, gelombang, dan pasang surut. Kondisi perairan di Selat Madura pada umumnya relatif tenang dengan karakteristik tinggi gelombang relatif rendah, frekuensi gelombang relatif kecil dan panjang gelombang yang pendek. Pola gelombang di perairan sekitar Paiton lebih banyak disebabkan oleh bangkitan angin dikarenakan daerah ini merupakan perairan laut yang tertutup. Tinggi gelombang di sekitar wilayah pesisir Paiton umumnya kurang dari satu meter, sementara gelombang besar yang dapat mencapai lebih dari empat meter dapat terjadi pada puncak-puncak musim dengan kemungkinan kejadian kurang dari 0.5%. (PJB, 2007).

#### **4.2 Data Umum PLTU Lokasi Studi**

Nama Pembangkit	: PLTU Paiton Swasta Tahap II (unit 5 & 6)
Lokasi Pembangkit	: Desa Bhinor, Paiton, Probolinggo
Jumlah Pembangkit	: dua unit, masing-masing 610 MW
Pola Operasi	: 24 jam/ hari
Jenis Bahan Bakar	: batubara
Kebutuhan Bahan Bakar	: 316.667 ton/bulan

#### **4.3 Sistem Air Pendingin di PLTU Paiton Probolinggo**

Dikutip dari website PT. Jawa Power, sistem kondensasi dan pendingin (*condenser and cooling systems*) menggunakan siklus tertutup. Untuk menghasilkan siklus tertutup, uap yang keluar dari turbin uap dikondensasikan dalam kondensor (14) dan didinginkan dengan air laut dari Laut Jawa. Air laut dibersihkan dengan sistem pembersihan air pendingin (20) kemudian disirkulasikan oleh pompa air pendingin (21) melalui kondensor ke seal pit (22) sebelum dikembalikan ke laut melalui kanal-kanal outlet (23). Lebih jelas pada Gambar 4.2.

Gambar 4.3 selanjutnya memberi keterangan detail suhu air laut yang digunakan dalam proses pendinginan. Dimana diketahui suhu air laut sebelum masuk ke condenser pertama antara 28<sup>0</sup>C - 29<sup>0</sup>C, keluar condenser pertama suhu

naik menjadi 32<sup>0</sup>C-33<sup>0</sup>C, kemudian masuk ke condenser kedua untuk melakukan pertukaran panas, selanjutnya keluar dan dinetralkan dengan suhu 37<sup>0</sup>C-38<sup>0</sup>C menuju outlet canal.

#### 4.4 Kondisi Buangan Air Panas di PLTU Paiton

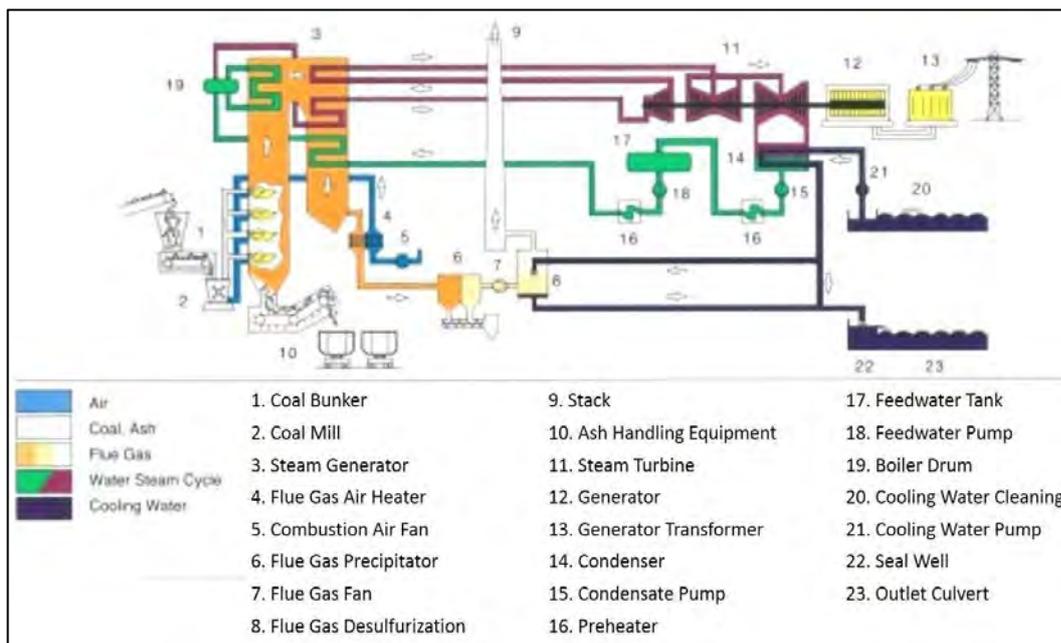
Suhu merupakan salah satu parameter kualitas air yang dikelola oleh PT. Jawa Power, selain pH, TSS, TDS, BOD, COD, dan logam berat. Utamanya terkait penggunaan air laut untuk sistem pendingin selama operasional pembangkit listrik akan menyebabkan suhu air laut meningkat (PT. Jawa Power, 2015). Hasil pemantauan temperatur air laut di lokasi sekitar cooling water intake (ST-3) dan cooling water discharge (ST-6) pada Agustus 2015 hingga Mei 2016 dapat dilihat di Tabel 4.1. Data debit limbah air bahang bulanan bulan Juli hingga Desember 2015 pada Tabel 4.2 dengan hasil perhitungan rata-rata debit yaitu 297.672 galon/menit.

Tabel 4.1. Hasil Analisis Laboratorium Suhu Air Laut di ST-3 & St-6 untuk Pemantauan Agustus 2015 hingga Mei 2016  
(sumber: diolah dari Laporan Monitoring Lingkungan PT. Jawa Power)

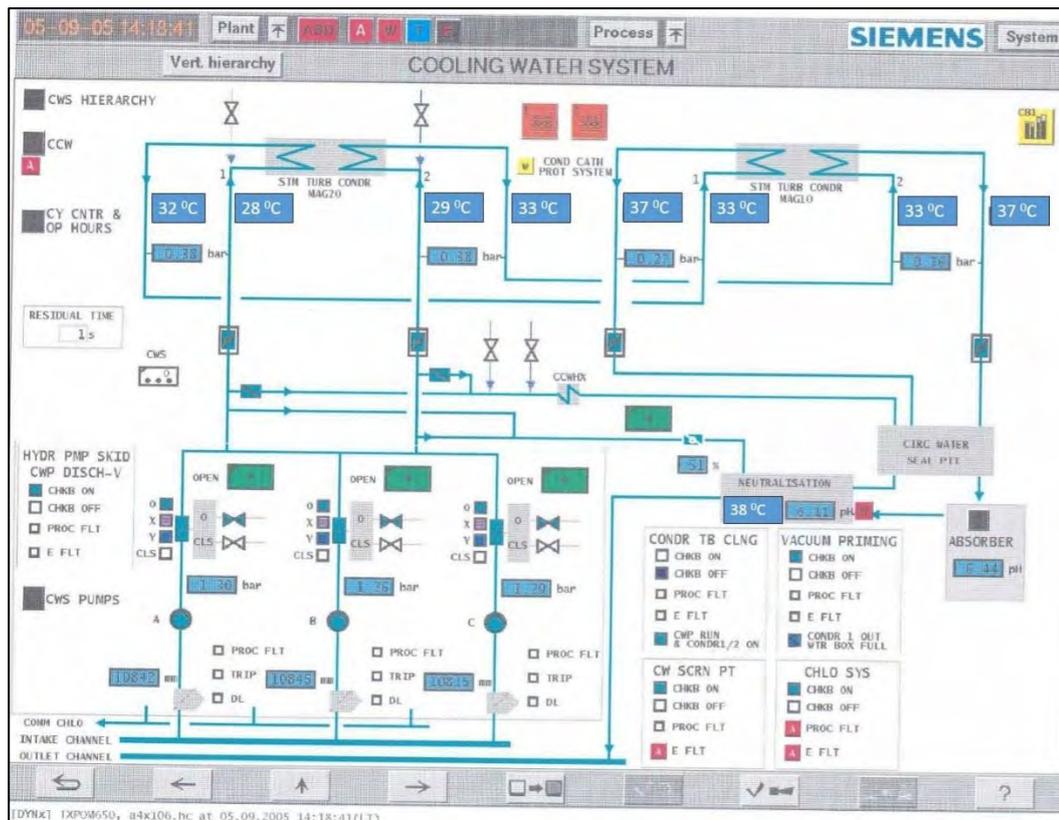
kode	Lokasi	Jenis Sampel	Suhu (°C)				Rata-Rata	
			Agustus 2015	Desember 2015	Maret 2016	Mei 2016		
ST-6	Cooling water discharge	air laut	35,4	37,5	38,3	37,4	37,2	T2
ST-3	Perairan Laut di sekitar cooling water intake	air laut	29,2	31,6	31,1	32,8	31,2	T1
$\Delta T = T_2 - T_1$			6,20	5,90	7,20	4,60		

Tabel 4.2. Volume Bulanan Air Limbah Bahang PLTU Paiton Juli-Desember 2015 (sumber: diolah dari Laporan Monitoring Lingkungan PT. Jawa Power)

Bulan	volume limbah air bahang (m <sup>3</sup> )	
	Outlet canal unit 50	Outlet canal unit 60
Juli 2015	56.717.232	40.964.278
Agustus 2015	23.841.985	58.099.853
September 2015	51.196.249	46.597.320
Oktober 2015	47.497.147	58.205.151
November 2015	53.842.394	55.031.253
Desember 2015	52.482.862	39.662.574
<b>Rata-rata (m<sup>3</sup>)</b>	<b>47.596.312</b>	<b>49.760.072</b>
<b>Rata-rata (galon/menit)</b>	<b>291.056</b>	<b>304.288</b>
<b>Rata-rata (galon/menit)</b>	<b>297.672</b>	



Gambar 4.2. Skema Alir Berwarna Hitam menunjukkan Sirkulasi *Cooling Water* pada Proses Produksi di PLTU Paiton (sumber: PT. Jawa Power)



Gambar 4.3. Cooling Water Masuk ke Condenser pada Suhu 32 °C – 33 °C kemudian Keluar pada Suhu 37 °C – 38 °C (sumber: Laporan Monitoring Lingkungan PT. Jawa Power)

#### 4.5 Kenaikan Suhu Air Laut di Sekitar Outlet Discharge

Fudlailah (2013) dalam penelitiannya melakukan beberapa skenario pemodelan penyebaran buangan air panas ke lingkungan laut PLTU Paiton. Skenario yang dimaksud adalah variasi suhu buangan air panas di mulut outlet canal. Suhu alami laut diasumsikan konstan 28°C. Dari hasil pemodelan tersebut diketahui bahwa terjadi penurunan suhu air bahang seiring bertambahnya jarak dari outlet. Selengkapnya hasil pemodelan pada Tabel 4.3 berikut. Dengan demikian dapat diketahui  $\Delta T$ , yaitu selisih suhu air bahang di sekitar lokasi discharge terhadap suhu alami laut (Tabel 4.4). Dalam pemodelan tersebut juga dapat dianalisa luasan area terdampak buangan air panas untuk tiap variasi suhu (Tabel 4.5). Berdasarkan hasil pemodelan, dengan suhu buangan yang semakin besar, luasan area terdampak juga semakin besar.

Tabel 4.3. Temperatur Buangan Air Bahang di Laut dengan Variasi Suhu Awal di Outlet Discharge (sumber: diolah dari Fudlailah, 2013)

Jarak dari outlet (meter)	Suhu Buangan Air Panas di Laut ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	suhu buangan di outlet = $33^{\circ}\text{C}$	suhu buangan di outlet = $36^{\circ}\text{C}$	suhu buangan di outlet = $38^{\circ}\text{C}$	suhu buangan di outlet = $40^{\circ}\text{C}$
125	30,63	32,2	33,27	34,32
250	29,92	31,7	31,84	32,61
500	29,36	30,17	30,71	31,26
1000	29,02	29,64	30,05	30,46
2000	28,8	29,3	29,61	29,93

Tabel 4.4. Selisih Suhu Air Bahang di Sekitar Lokasi Discharge terhadap Suhu Laut Alami ( $\Delta T$ ) (sumber: diolah dari Fudlailah, 2013)

Jarak dari outlet (meter)	suhu alami laut ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = Suhu buangan sekitar outlet discharge - suhu alami laut			
		Pada suhu buangan $33^{\circ}\text{C}$	Pada suhu buangan $36^{\circ}\text{C}$	Pada Suhu Buangan $38^{\circ}\text{C}$	Pada Suhu Buangan $40^{\circ}\text{C}$
125	28	2,63	4,2	5,27	6,32
250		1,92	3,7	3,84	4,61
500		1,36	2,17	2,71	3,26
1000		1,02	1,64	2,05	2,46
2000		0,8	1,3	1,61	1,93

Tabel 4.5. Data Pemodelan Luasan Area Terdampak Buangan Air Panas ke Laut berdasarkan Kenaikan Suhu ( $\Delta T$ ) (sumber: diolah dari Fudlailah, 2013)

Suhu Buangan Air Bahang ( $^{\circ}\text{C}$ )	Luasan Area Terdampak ( $\text{m}^2$ )		
	Batas kenaikan suhu $>2^{\circ}\text{C}$	Batas kenaikan suhu $>1,5^{\circ}\text{C}$	Batas kenaikan suhu $>1^{\circ}\text{C}$
33	16.927	70.219	758.623
36	227.760	1.063.118	2.585.138
38	758.694	5.580.143	7.387.192
40	2.165.337	6.773.227	8.528.723

#### **4.6 Terumbu Karang di Perairan PLTU Paiton**

Mukhtasor dkk, 2015 telah melakukan penelitian terkait kesehatan karang di tiga lokasi, antara lain di *discharge canal* timur, *discharge canal* barat, dan *intake canal* dengan metode survei Line Intercept Transect, yaitu dengan membuat garis transek sejajar garis pantai. Koloni karang diamati dan diukur dengan ketelitian mendekati 1 cm di sepanjang transek 50 m pada kedalaman 5-7 m.

Diketahui dari hasil penelitian tersebut bahwa Porites merupakan genus karang yang masif yang mendominasi perairan sekitar PLTU Paiton. Koloni Porites dengan jumlah tertinggi yaitu 246 koloni ditemukan di lokasi intake canal, sejumlah 164 koloni di *discharge canal* timur, dan sejumlah 155 koloni di *discharge canal* barat. Selain Porites, terdapat koloni karang dari genus Monstatrea, Goniastrea, Platygra, Favia, dan Diploastrea di tiga lokasi tersebut dengan jumlah lebih sedikit.

#### **4.7 Kerusakan Terumbu Karang di Perairan PLTU Paiton**

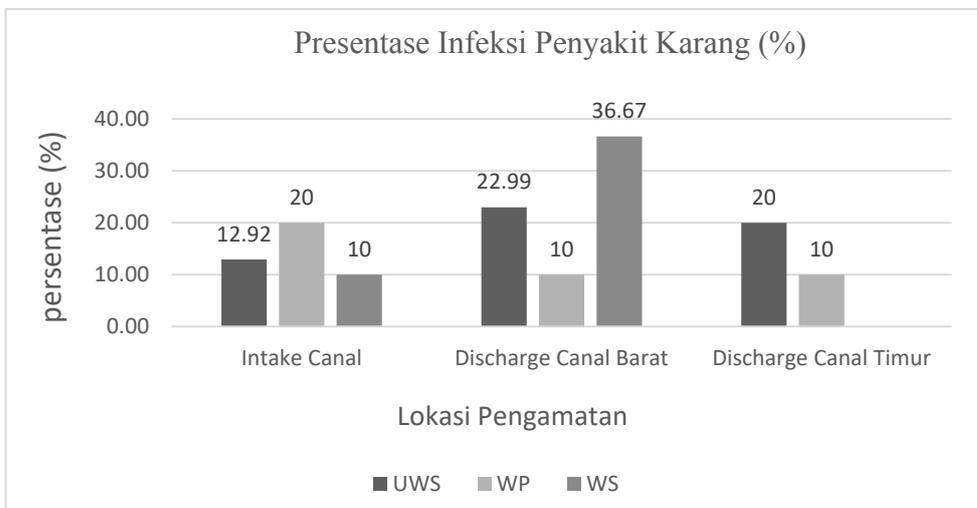
Mukhtasor dkk (2015) berdasarkan penelitiannya, menyebutkan bahwa di tiga lokasi (*discharge canal* timur, *discharge canal* barat, dan *intake canal*) pada pengamatan akhir tahun 2015 dengan menggunakan metode survei Line Intercept Transect, menemukan beberapa karang terinfeksi penyakit Ulcerative White Syndrome (UWS), White Syndrome (WS) dan White Plague (WP) dengan persen infeksi yang berbeda-beda. Penyakit tersebut merupakan kelompok penyakit karang White Syndrome yang ditandai oleh hilangnya jaringan.

Hasil penelitian menyatakan bahwa penyakit Ulcerative White Syndrome (UWS) merupakan jenis infeksi karang yang paling sering menjangkiti terumbu karang di tiga lokasi tersebut dengan rincian 12,92% di *intake canal*, 22,99% di *discharge canal* barat, dan 20% di *discharge canal* timur. Dari data tersebut diketahui *discharge canal* barat adalah lokasi dengan presentase tertinggi koloni karang yang terinfeksi penyakit. Selengkapnya di Gambar 4.5.

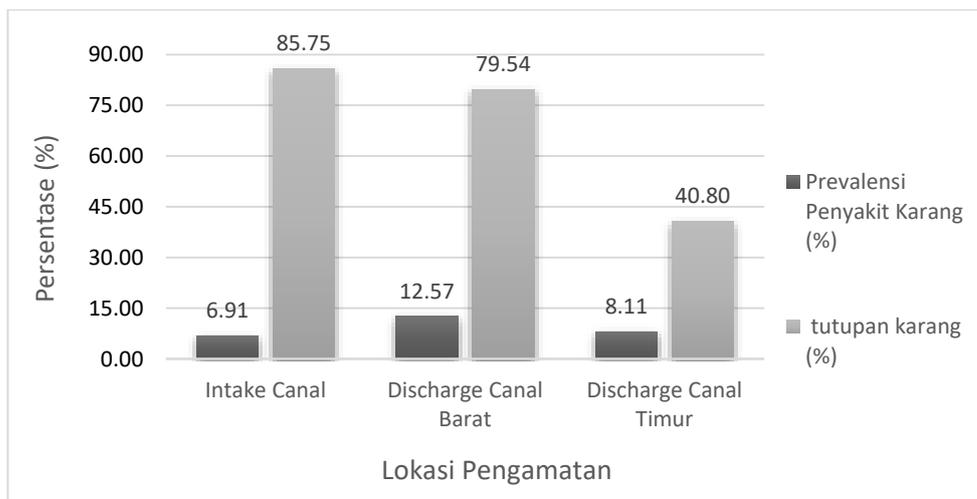
Bila membandingkan nilai prevalensi penyakit karang terhadap presentase tutupan karang (lihat Gambar 4.6), maka lokasi sekitar intake canal memiliki presentase tutupan karang tertinggi yaitu 85,75%, namun di lain sisi prevalensi penyakit karang di lokasi sekitar intake canal adalah terkecil yaitu 6,91%.

Persentase tutupan karang yang tinggi dikarenakan lokasi yang jauh dari titik pembuangan, sehingga pertumbuhan terumbu karang dinilai baik.

Adapun prevalensi kecil disebabkan lokasi yang jauh dari titik pembuangan air bahang sehingga paparan cemaran rendah. Paparan rendah menghasilkan resiko infeksi penyakit rendah. Angka persentase prevalensi tersebut didapatkan dari perhitungan koloni karang terinfeksi sebanyak 17 koloni dibagi jumlah total karang 246 koloni kemudian dikalikan 100.



Gambar 4.5. Luas area karang yang terinfeksi (per koloni) di tiga lokasi pengamatan perairan PLTU Paiton. (sumber: Mukhtasor, 2015)



Gambar 4.6. Penutupan karang dan prevalensi penyakit karang di tiga lokasi perairan PLTU Paiton (sumber: Mukhtasor, 2015)

#### 4.8 Kondisi Perikanan Laut di Perairan PLTU Paiton

Berdasarkan data produksi perikanan laut yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik pada Tabel 4.7 Kabupaten Probolinggo memperoleh 9.665 ton produksi ikan tahun 2013 dengan nilai Rp.180.261.455.040. Pada tahun 2014 total produksi perikanan laut Probolinggo 13,1 ton senilai Rp.131.430.177.690. Kabupaten Situbondo yang berbatasan langsung dengan Probolinggo memiliki produksi perikanan tangkap senilai Rp 85.705.965.000 pada tahun 2014, dan Rp 158.864.721.500 tahun 2015. Total produksi perikanan di kedua kabupaten pada Tabel 4.8.

Tabel 4.6. Produksi Perikanan Tangkap Kabupaten Situbondo dalam Rupiah - Tahun 2014 dan 2015 (sumber: BPS Kab.Situbondo)

Jenis Ikan	Tahun 2014 (Rp)	Tahun 2015 (Rp)
Layang	17.146.125.000	25.875.660.000
Kembung	2.156.325.000	3.585.537.500
Kerapu	3.935.865.000	10.865.735.000
Tongkol	18466860000	24830415000
Selar	8.483.175.000	15.458.740.000
Teri	927.600.000	2.518.382.500
Lemuru	11.147.092.500	15.403.185.000
Layur	960.675.000	5.369.450.000
Petek	349.942.500	1.440.725.000
Cucut	2.513.400.000	4.001.575.000
Manyung	117000000	149.990.000
Pari	198.900.000	81.460.000
Beloso	398.325.000	618.240.000
Udang lainnya	869.925.000	1779902500
Kakap	3.700.950.000	6.255.350.000
Kurisi	3.598.575.000	10.865.735.000
Lainnya	2.808.600.000	7.115.295.000
Cumi-cumi	2.346.592.500	2.050.595.000
Bawal Putih	2.501.775.000	13.816.338.000
Belanak	520.200.000	1.982.506.000
Rajungan	1.097.737.500	2.887.235.000
Beronang	1.460.325.000	1912670000
<b>total</b>	<b>85.705.965.000</b>	<b>158.864.721.500</b>
<b>rata-rata</b>	<b>122.285.343.250</b>	

Tabel 4.7. Produksi perikanan laut Kabupaten Probolinggo Tahun 2013 dan 2014 (sumber: BPS Kab.Probolinggo, 2015)

Jenis Ikan	Tahun 2013 (Rp)	Tahun 2014 (Rp)
Sebelah	76.500.000	190.000.000
Peperek	4.165.500.000	8.459.425.000
Manyung	148.400.000	28.085.000
Kerapu & Kakap	110.993.700.000	194.890.000
Kurisi	1.772.150.000	16.206.610.000
Swanggi	48.300.000	499.425.000
Gulamah	799.700.000	99.030.000
Cucut & Pari	816.900.000	13.490.230.000
Bawal Hitam & Putih	764.400.000	246.850.000
Layang & Selar	14.756.200.000	7.124.755.000
Ikan Kuwe	31.500.000	-
Tetengek	74.100.000	31.890.000
Belanak	957.800.000	1.149.605.000
Kuro	946.100.000	3.890.540.000
Julung-julung	17.800.000	-
Teri & Tembalang	12.955.100.000	5.146.230.000
Lemuru	306.800.000	5.158.930.000
Golok/Parang	112.200.000	-
Kembung	10.065.500.000	25.969.950.000
Tengiri & Layur	6.814.050.000	1.704.980.000
Tongkol	5.489.200.000	5.680.010.000
Ikan Lainnya	4.740.960.000	21.563.759.000
Rajungan & Kepiting	993.365.040	219.433.690
Jenis udang lain	3.203.150.000	14.059.970.000
Kerang	422.980.000	314.580.000
Cumi & Ubur-Ubur	4.289.100.000	-
<b>total</b>	<b>180.261.455.040</b>	<b>131.430.177.690</b>
<b>rata-rata</b>	<b>155.845.816.365</b>	

Tabel 4.8. Total Produksi Perikanan Kabupaten Probolinggo dan Situbondo

Lokasi	Hasil Tangkapan Rata-Rata (Rupiah)
Kabupaten Probolinggo	155.845.816.365
Kabupaten Situbondo	122.285.343.250
<b>total</b>	<b>278.131.159.615</b>

## **BAB 5**

### **HASIL PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Potensi Biaya Kerugian Lingkungan**

Sebagaimana alur perhitungan potensi kerugian lingkungan akibat peningkatan suhu air laut sekitar PLTU Paiton yang tertulis di Metodologi Penelitian, maka potensi biaya kerugian lingkungan merupakan jumlah total potensi biaya akibat rusaknya karang dan matinya ikan di laut sekitar PLTU Paiton.

Buangan air bahang ke laut akan berdampak negatif bagi kelangsungan terumbu karang.  $\Delta T$  didefinisikan sebagai selisih suhu buangan air panas di outlet discharge dengan suhu alami laut. Pada penelitian ini suhu alami laut adalah 32,8 °C sesuai data terbaru Laporan Monitoring Lingkungan PT. Jawa Power Mei 2016 (Tabel 4.1). Sedangkan  $\Delta T$  didekati dari hasil pemodelan Fudlailah (2013) pada beberapa skenario suhu buangan pada jarak 500 meter, selengkapnya pada tabel 5.1. Dari variasi  $\Delta T$  tersebut kemudian diketahui luasan terdampak untuk masing-masing  $\Delta T$  dengan merujuk Tabel 4.5. Rangkuman data delta T dan luasan dampak pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1.  $\Delta T$  untuk Penentuan Potensi Kerugian Lingkungan  
(sumber: diolah dari Fudlailah, 2013)

Jarak dari Outlet (meter)	Pada Suhu Buangan (°C)	$\Delta T$ (°C)
500	33	1,36
500	36	2,17
500	38	2,71
500	40	3,26

##### **5.1.1 Potensi Biaya Kerugian akibat Rusaknya Terumbu Karang**

###### **a. Luas Terumbu Karang yang Rusak**

Luasan terumbu karang yang rusak dapat diestimasi dari prevalensi terumbu karang yang terinfeksi terhadap luas tutupan karang per lokasi, kemudian dikalikan luasan lokasi pengamatan. Data prevalensi infeksi penyakit karang, tutupan karang serta luas lokasi pengamatan terangkum pada Tabel 5.4.

Tabel 5.2. Nilai Prevalensi Penyakit Karang, Presentase Tutupan Karang dan Luas lokasi Pengamatan (diolah dari Mukhtasor dkk, 2015)

Lokasi	Prevalensi Penyakit Karang (%)	Tutupan Karang (%)	Luas lokasi pengamatan (hektar)
<i>Intake Canal</i>	6,91	85,75	0,8
Sekitar <i>Discharge Canal</i> Barat	12,57	79,54	0,8
Sekitar <i>Discharge Canal</i> Timur	8,11	40,80	0,8
Rata-rata	<b>9,2</b>	<b>68,7</b>	

$$\text{Luas karang yang terinfeksi penyakit} = \frac{\text{Nilai prevalensi infeksi penyakit karang}}{\text{Presentase tutupan karang}} \times \text{Luas lokasi pengamatan}$$

Persamaan 5.1. Rumus untuk Mengestimasi Luasan Karang Terinfeksi

Maka jika di sekitar *intake canal* yang memiliki prevalensi penyakit karang 6,91%, luas tutupan karang 85,75%, dan luas lokasi pengamatan 0,8 hektar, maka luas terumbu karang yang rusak di sekitar *intake canal* adalah 0,0645 hektar. Selanjutnya diketahui di sekitar *discharge canal* barat prevalensi penyakit karang 12,57% dengan tutupan karang 79,54 % dan luas area pengamatan 0,8 hektar, maka terumbu karang yang kondisinya rusak adalah 0,126 hektar. Kemudian karena prevalensi penyakit karang di sekitar discharge canal timur adalah 8,11% dengan tutupan karang 4,8% dan luas area pengamatan 0,8 hektar, maka luasan terumbu karang yang rusak 0,159 hektar. Luasan terumbu karang di tiga lokasi pengamatan seluas 2,4 hektar tersebut kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan luasan total terumbu karang yang rusak di sekitar PLTU Paiton, yaitu kurang lebih 0,35 hektar.

Tabel 5.3. Perbandingan Luas Area Terdampak dengan Luas Karang Terinfeksi

A Total Luas Dampak (hektar)	B Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Perbandingan A:B
2,40	0,35	0,15

Tabel 5.4. Luas Area Terdampak Berdasarkan  $\Delta T$

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar) = Luas Area * 0,15
1,36	7,02	1,05
2,17	22,78	3,42
2,71	75,87	11,38
3,26	216,53	32,48

b. Nilai Kerugian pada Luasan

Nilai nominal kerugian per satuan luas didapat melalui metode benefit transfer. Metode ini menggunakan transfer nilai manfaat suatu produk dari lokasi yang berdekatan dan/ atau memiliki kesamaan karakteristik sifat. Pada penelitian ini digunakan nilai manfaat terumbu karang dari perairan Bangsring, Banyuwangi atas pertimbangan kesamaan karakteristik perairan serta lokasi yang berdekatan dengan Paiton Probolinggo. Nilai manfaat dari ekosistem terumbu karang di sekitar PLTU Paiton dihitung mengadaptasi rujukan Tabel 5.5, sehingga diperoleh hasil pada Tabel 5.6 hingga Tabel 5.11.

Tabel 5.5. Nilai Ekonomi Ekosistem Terumbu Karang Pantai Bangsring, Banyuwangi (sumber: Asadi & Andrimida, 2017)

Jenis Nilai	Nilai Manfaat	Satuan
Manfaat Langsung (penangkapan ikan)	472.728.340	Rp/ hektar/ tahun
Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)	8.000.000	Rp/ hektar/ tahun/ 1% tutupan karang
Manfaat Pilihan	120	USD/hektar/ tahun
Manfaat Keberadaan	19.889	Rp/ orang
Manfaat warisan	47.272.834	Rp/ tahun*

keterangan: \*minimal 10% nilai manfaat langsung

## Manfaat Langsung

Terumbu Karang bermanfaat langsung dalam satu kesatuan ekosistem

Tabel 5.6. Potensi Manfaat Langsung yang Hilang Akibat Buangan Air Panas ke Laut

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Nilai Manfaat (Milyar Rupiah)	Manfaat yang Hilang (Milyar Rupiah)= Luas Terinfeksi * Nilai Manfaat
1,36	7,02	1,05	0,473	0,498
2,17	22,78	3,42	0,473	1,62
2,71	75,87	11,38	0,473	5,38
3,26	216,53	32,48	0,473	15,35

## Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)

Ekosistem terumbu karang menjadi rumah bagi sebagian besar ikan di laut, terutama di kedalaman yang masih terjangkau cahaya matahari. Rusaknya terumbu karang akibat paparan buangan air panas ke laut mengakibatkan ikan kehilangan manfaatnya sebagai habitat.

Tabel 5.7. Potensi Manfaat Tak Langsung sebagai Habitat Ikan yang Hilang Akibat Buangan Air Panas ke Laut

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Nilai Manfaat (Juta Rupiah)	Manfaat yang Hilang (Juta Rupiah)= Luas Terinfeksi * Nilai Manfaat * %Tutupan Karang
1,36	7,02	1,05	8	5,79
2,17	22,78	3,42	8	18,78
2,71	75,87	11,38	8	62,55
3,26	216,53	32,48	8	178,51

## Manfaat Tidak Langsung (Penahan Gelombang)

Terumbu karang secara tidak langsung meredam kecepatan gerak gelombang sehingga mengurangi resiko abrasi. Panjang garis pantai kecamatan Paiton adalah 14,6 hektometer (Prameswari dkk, 2014), dan biaya pembangunan breakwater Rp.127.227.961/meter/tahun untuk pantai Cikidang (Chandra dkk, 2014), sehingga

total biaya untuk membangun penahan gelombang dirinci pada Tabel 5.8. Manfaat bernilai sama pada variasi  $\Delta T$ .

Tabel 5.8. Potensi Manfaat Tak Langsung sebagai Penahan Gelombang

Biaya Pembuatan Breakwater (Milyar Rupiah)/ meter	panjang garis pantai Paiton (meter)	Manfaat yang Hilang (Milyar Rupiah)
0,13	7192,4	915,08

### Manfaat Pilihan

Manfaat pilihan nilai di sini merepresentasikan kegunaan ekosistem terumbu karang di masa yang akan datang baik secara langsung maupun tidak langsung. Dengan variasi luas area dan kurs dollar AS sebesar Rp 13.275 per dollar, maka nilai manfaat pilihan ekosistem terumbu karang PLTU Paiton pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Potensi Manfaat Pilihan yang Hilang Akibat Cemaran Air Panas

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Nilai Manfaat (USD)	Manfaat yang Hilang (Juta Rupiah)= Luas Terinfeksi * Nilai Manfaat * kurs Rp.13.275/USD
1,36	7,02	1,05	120	1,68
2,17	22,78	3,42	120	5,44
2,71	75,87	11,38	120	18,13
3,26	216,53	32,48	120	51,74

### Manfaat Keberadaan

Manfaat keberadaan adalah harga yang dibayarkan masyarakat terhadap keberadaan ekosistem terumbu karang dengan segala kelengkapannya. Pada penelitian ini masyarakat diwakili oleh penduduk di kecamatan Paiton 72.285 orang, Kraksaan 69.094 orang, dan Kotaanyar 36.281 orang, maka total berjumlah 177.660 orang. Hasil perhitungan manfaat keberadaan ekosistem karang kawasan laut PLTU Paiton yang bervariasi menurut  $\Delta T$  selengkapnya pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Potensi Manfaat Keberadaan yang Hilang  
Akibat Buangan Air Panas ke Laut

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Nilai Manfaat (Rupiah)	Manfaat yang Hilang (Milyar Rupiah)= Luas Terinfeksi * Nilai Manfaat * jumlah penduduk 177.660 orang
1,36	7,02	1,05	19.889	3,72
2,17	22,78	3,42	19.889	12,07
2,71	75,87	11,38	19.889	40,21
3,26	216,53	32,48	19.889	114,77

### Manfaat Warisan

Manfaat warisan ekosistem terumbu karang di kawasan PLTU Paiton sebesar minimal 10% dari manfaat langsung. Berikut pada Tabel 5.11 manfaat warisan bervariasi mengikuti  $\Delta T$ .

Tabel 5.11. Potensi Manfaat Warisan yang Hilang  
Akibat Buangan Air Panas ke Laut

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Luasan Area Terdampak (hektar)	Luas Karang Terinfeksi (hektar)	Nilai Manfaat (Milyar Rupiah)	Manfaat yang Hilang (Milyar Rupiah)= Luas Terinfeksi * Nilai Manfaat
1,36	7,02	1,05	0,047	0,05
2,17	22,78	3,42	0,047	0,16
2,71	75,87	11,38	0,047	0,54
3,26	216,53	32,48	0,047	1,54

Nilai ekonomi total diperoleh dengan menjumlahkan kelima nilai, yaitu manfaat langsung, manfaat tidak langsung, manfaat pilihan, manfaat keberadaan, dan manfaat warisan pada masing-masing  $\Delta T$ . Selengkapnya pada Tabel 5.12 hingga Tabel 5.15, sedangkan rekapitulasi pada Tabel 5.16.

Tabel 5.12. Potensi Manfaat yang Hilang pada  $\Delta T = 1,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Nama Manfaat	Nilai Manfaat (Milyar Rupiah)
Manfaat Langsung	0,5
Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)	0,006
Manfaat Tidak Langsung (penahan gelombang)	915,08
Manfaat Pilihan	0,002
Manfaat Keberadaan	3,72
Manfaat warisan	0,05
total	919,35

Tabel 5.13. Potensi Manfaat yang Hilang pada  $\Delta T = 2,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Nama Manfaat	Nilai Manfaat (Milyar Rupiah)
Manfaat Langsung	1,62
Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)	0,019
Manfaat Tidak Langsung (penahan gelombang)	915,08
Manfaat Pilihan	0,005
Manfaat Keberadaan	12,07
Manfaat warisan	0,16
total	928,95

Tabel 5.14. Potensi Manfaat yang Hilang pada  $\Delta T = 2,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Nama Manfaat	Nilai Manfaat (Rupiah)
Manfaat Langsung	5,38
Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)	0,063
Manfaat Tidak Langsung (penahan gelombang)	915,08
Manfaat Pilihan	0,0017
Manfaat Keberadaan	40,21
Manfaat warisan	0,538
total	961,27

Tabel 5.15. Potensi Manfaat yang Hilang pada  $\Delta T = 3,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Nama Manfaat	Nilai Manfaat (Milyar Rupiah)
Manfaat Langsung	15,35
Manfaat Tidak Langsung (Habitat Ikan)	0,18
Manfaat Tidak Langsung (penahan gelombang)	915,08
Manfaat Pilihan	0,052
Manfaat Keberadaan	114,77
Manfaat warisan	1,54
total	1.046,96

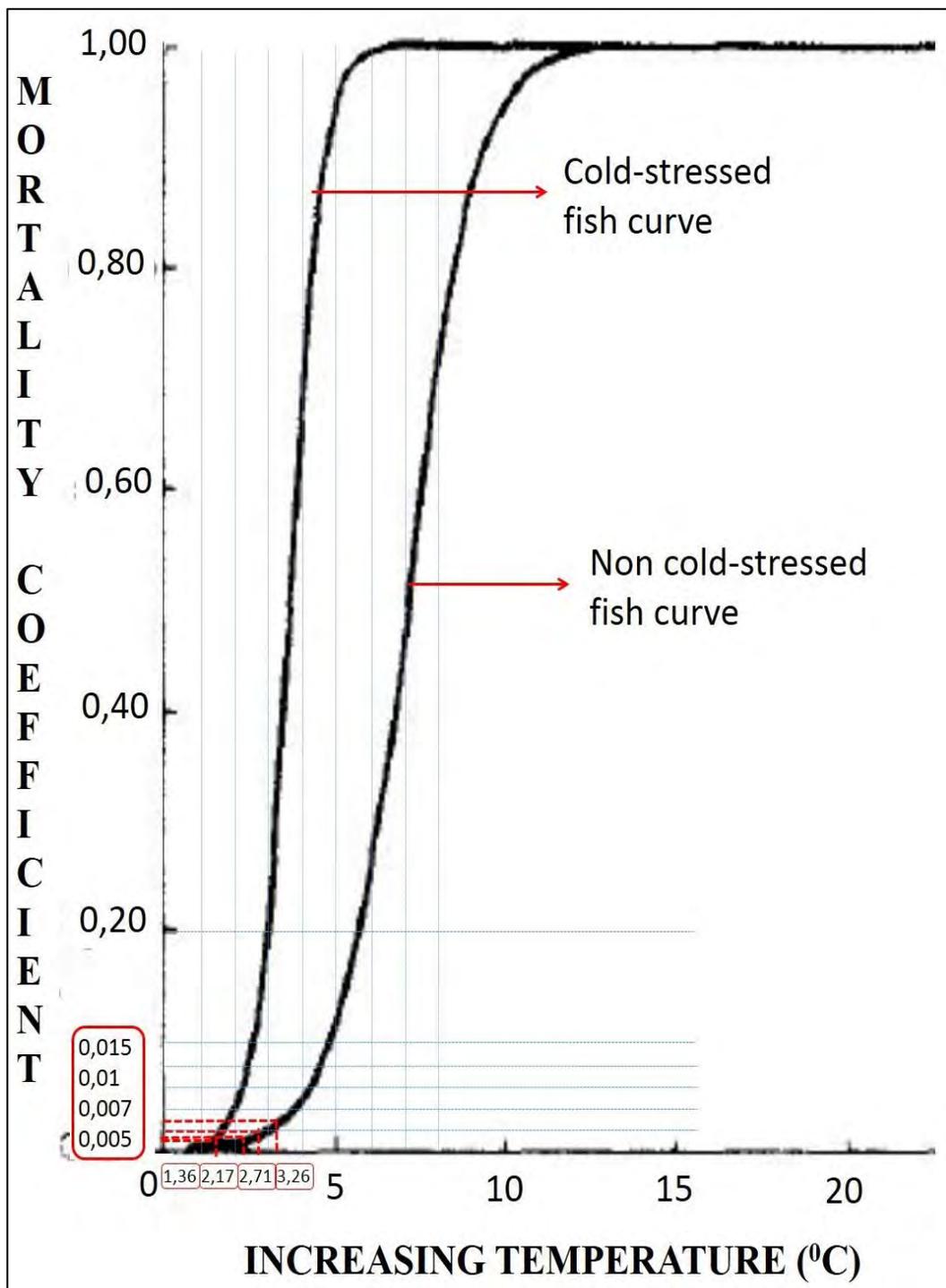
Tabel 5.16. Potensi Manfaat yang Hilang Akibat Rusaknya Karang menurut  $\Delta T$

Kenaikan Suhu Air Laut di Sekitar Discharge terhadap Suhu Alami Laut ( $^{\circ}\text{C}$ )	Total Manfaat (Milyar Rupiah)
$\Delta T = 1,36$	919,35
$\Delta T = 2,17$	928,95
$\Delta T = 2,71$	961,27
$\Delta T = 3,26$	1.046,96

### 5.1.2 Potensi Biaya Kerugian akibat Matinya Ikan

Kenaikan suhu air laut sekitar PLTU akibat adanya buangan limbah air panas bekas proses pendinginan berpotensi menyebabkan kematian organisme ikan. Kenaikan suhu dapat diestimasi merujuk pada diagram koefisien kematian ikan (Gambar 5.1) dengan memasukkan data selisih suhu alami air laut dengan suhu laut di sekitar outlet pembuangan air bahang ( $\Delta T$ ) yang terdapat pada Tabel 5.1.

Bila kita tarik garis tegak lurus ke atas dari sumbu x di kurva kematian ikan jenis non-cold stressed fish sesuai besaran kenaikan suhu, maka akan kita dapatkan nilai koefisien kematian ikan. Misal pada  $\Delta T = 1,36^{\circ}\text{C}$  maka koefisien kematian ikan 0,005 ; sedangkan pada  $\Delta T = 3,26^{\circ}\text{C}$  koefisien kematian ikan 0,015. Koefisien tersebut akan dikalikan 100 untuk mendapatkan persentase kemudian dikali rata-rata hasil tangkapan ikan Kabupaten Probolinggo & Situbondo, sehingga diperoleh potensi kerugian lingkungan. Contoh hasil perhitungan, misal pada  $\Delta T = 1,36^{\circ}\text{C}$  potensi kematian ikan sebesar Rp 1,57 milyar, kemudian pada  $\Delta T = 3,26^{\circ}\text{C}$  didapatkan potensi kematian ikan sebesar Rp 4,72 milyar, dan seterusnya. Hasil perhitungan detail pada Tabel 5.17.



Gambar 5.1. Koefisien Kematian Ikan dengan Kurva Mortalitas (sumber: diperbaharui dari Kleinstreuer & Logan, 1979)

Tabel 5.5. Hasil Perhitungan Potensi Kematian Ikan

$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = suhu limbah bahang - suhu alami laut	Mortality coefficient	Mortality Percentage (%) = coeff * 100	Rata-Rata Hasil Tangkapan Ikan (Milyar Rupiah)	Potensi Kematian Ikan (Milyar Rupiah) = Mortality percentage * Rata-Rata Hasil Tangkapan Ikan
1,36	0,005	0,5	314,71	1,57
2,17	0,007	0,7		2,2
2,71	0,01	1		3,15
3,26	0,015	1,5		4,72

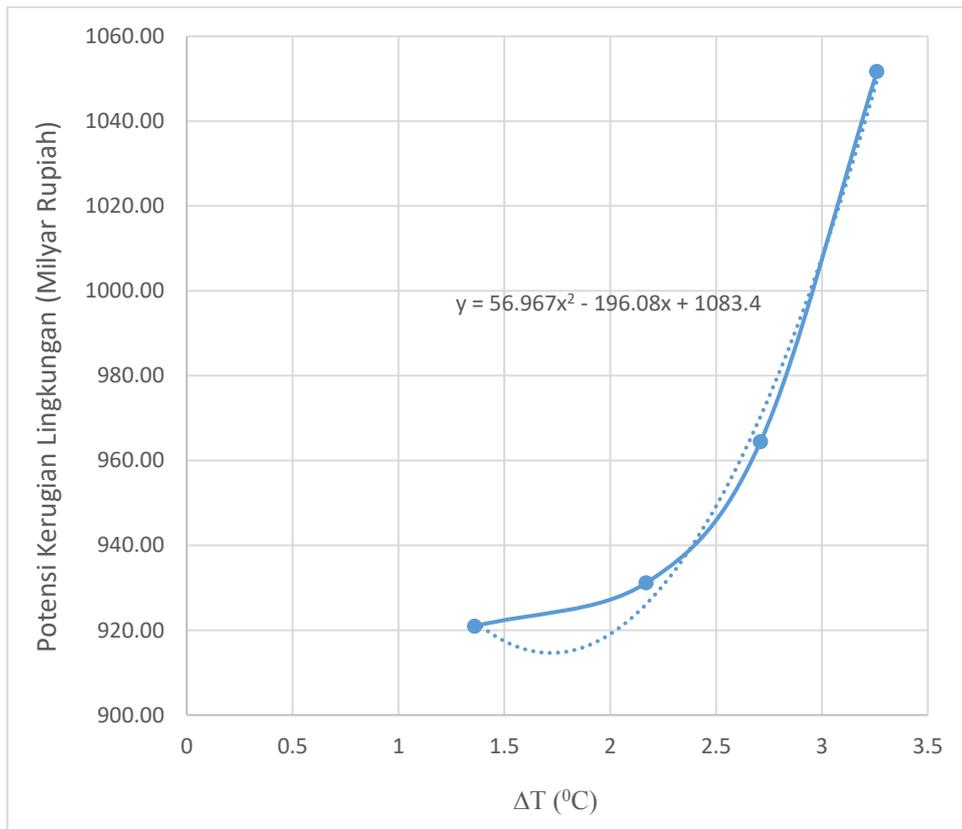
### 5.1.3 Plotting Potensi Biaya Kerugian Lingkungan

Total potensi kerugian lingkungan didapat dengan menjumlahkan potensi biaya kerugian akibat rusaknya terumbu karang dan matinya ikan pada masing-masing kondisi  $\Delta T$ . Definisi  $\Delta T$  adalah selisih suhu air laut sekitar outlet discharge dengan suhu alami laut. Hasil perhitungan pada Tabel 5.6, kemudian diplot pada grafik potensi kerugian lingkungan akibat buangan air panas PLTU (Gambar 5.2).

Kurva biaya kerugian lingkungan cenderung menanjak naik. Hal tersebut dikarenakan biaya kerugian lingkungan berbanding lurus terhadap kenaikan suhu ( $\Delta T$ ). Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar selisih suhu di outlet discharge terhadap suhu alami laut ( $\Delta T$ ), dampak lingkungan beserta biaya kerugiannya akan turut meningkat. Begitu sebaliknya, semakin kecil  $\Delta T$ , dampak lingkungan minim, sehingga biaya kerugian juga kecil.

Tabel 5.6. Potensi Kerugian Lingkungan Akibat Buangan Air Panas berdasarkan Selisih Suhu Air Laut Alami dengan Air Laut Sekitar Outlet Discharge ( $\Delta T$ )

$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = suhu laut sekitar outlet discharge - suhu alami laut	Potensi Kerusakan Karang (Milyar Rupiah)	Potensi Kematian Ikan (Milyar Rupiah)	Total (Milyar Rupiah)
1,36	919,35	1,57	920,93
2,17	928,95	2,2	931,15
2,71	961,27	3,15	964,42
3,26	1.046,96	4,72	1.051,68



Gambar 5.2. Grafik Potensi Kerugian Lingkungan Akibat Rusaknya Terumbu Karang dan Matinya Ikan

## 5.2 Potensi Biaya Pengendalian Pencemaran

Sesuai alur perhitungan potensi kerugian lingkungan akibat peningkatan suhu air laut, maka potensi biaya pengendalian lingkungan merupakan jumlah total potensi biaya opsi-opsi teknologi pengolahan limbah air panas yaitu *cooling tower* dan *cooling pond*.

### 5.2.1 Potensi Biaya Pengolahan Limbah Air Panas dengan Cooling Tower

Kinerja *cooling tower* biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach*. *Range* adalah selisih dari suhu air panas masuk (inlet) dengan suhu air panas keluar (outlet). *Approach* adalah selisih suhu air panas keluar (outlet) dengan suhu *wet bulb*. Mengacu pada Chermisinoff (1979), untuk aplikasi pada power plant, *cooling tower* menggunakan tipe *Medium Range* (10-25 $^{\circ}\text{F}$ ). Dalam penelitian ini suhu *Range* direncanakan 15 $^{\circ}\text{F}$  = 8,3  $^{\circ}\text{C}$  dengan suhu *Approach* 10 $^{\circ}\text{F}$ . Sehingga

biaya pembelian komponen cooling tower dapat diestimasi dengan diagram pada Gambar 5.2 dengan menyesuaikan dengan debit limbah air bahang.

Debit limbah air bahang yang dibuang ke lingkungan laut dari PLTU Paiton pada tahun 2015 mencapai rata-rata 297.672 gallon/minute (lihat Tabel 4.2). Dari jumlah debit buangan air bahang per menit tersebut direncanakan akan terdistribusi dalam 50 unit *cooling tower*. Masing-masing akan menampung maksimal debit air limbah bahang 6000 gallon/menit. Estimasi biaya pembelian komponen dengan debit air 6000 galon/menit diketahui dari grafik Gambar 5.2 yaitu 99.200 USD.

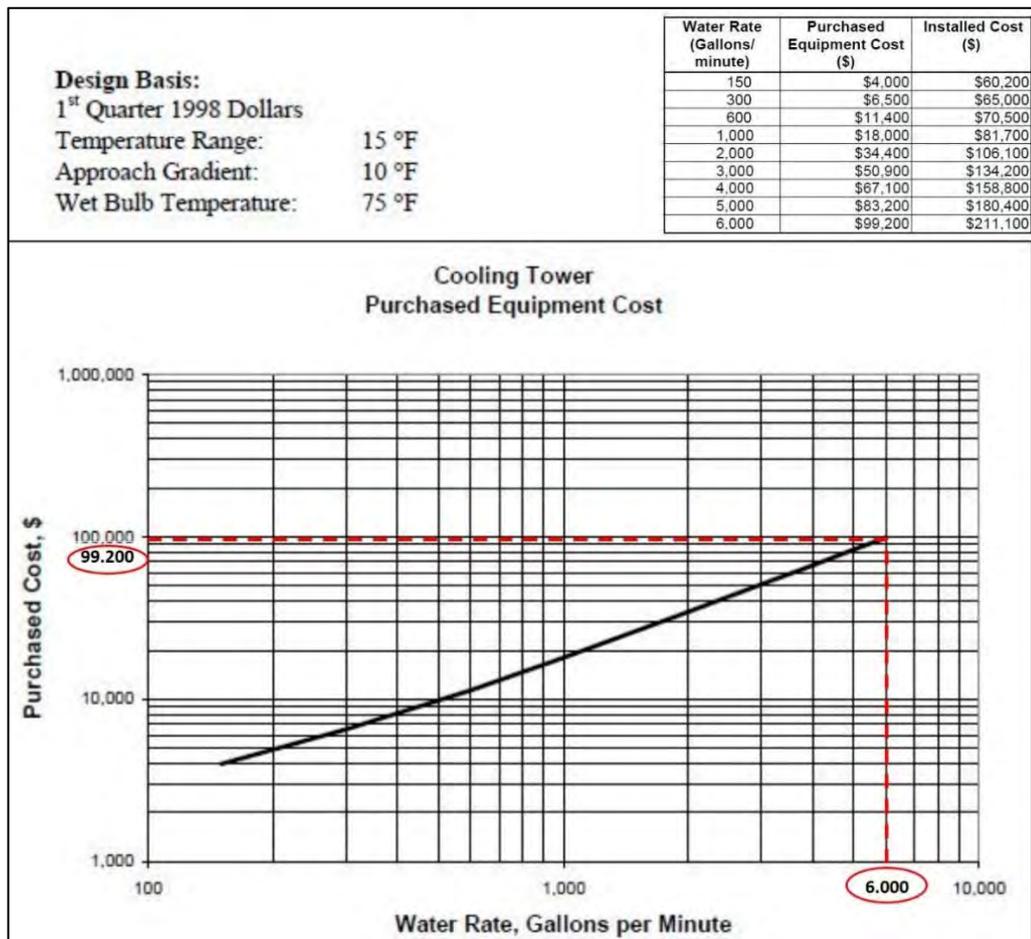
Adapun biaya instalasi cooling tower dengan debit 6000 galon/menit adalah 211.100 USD (Loh dkk, 2002). Nilai US Dollar tahun 1998 dalam perhitungan tersebut perlu dikonversi ke nilai US Dollar tahun 2017 untuk harga yang lebih akurat. Cara menghitung konversi US Dollar dijelaskan pada Persamaan 5.2. Hasil perhitungan menyatakan total biaya Rp 308.973.023.100. Untuk detail perhitungan hingga didapat biaya total untuk pembelian komponen dan instalasi 50 unit *cooling tower* pada Tabel 5.6.

*Konversi nilai US Dollar 1998 ke US Dollar 2017*

$$\frac{\text{CPI 2017}}{\text{CPI 1998}} \times \text{1998 value} = \text{2017 value}$$

Keterangan:  
CPI = Consumer Price Index  
CPI 2017 = 244,524  
CPI 1998 = 163

Persamaan 5.2. Cara Konversi Nilai US Dollar tahun 1998 ke tahun 2017  
(sumber: Bureau of Labor Statistic USA - [www.in2013dollars.com](http://www.in2013dollars.com))



Gambar 5.2. Biaya Komponen dan Instalasi *Cooling Tower* (Loh dkk, 2002)

Tabel 5.6. Perhitungan Biaya Komponen & Instalasi *Cooling Tower* dengan desain Range = 15 °F; dan Approach = 10 °F

Rata-Rata Debit Limbah Bahang	297.672 galon/menit
Jumlah Cooling Tower yang Dibutuhkan	50 unit (debit 6000 gpm/ tower)
<b>BIAYA KOMPONEN</b>	
harga komponen per unit cooling tower (1998 USD)	99.200 USD
harga komponen per unit cooling tower (2017 USD)	148.815 USD
<b>BIAYA INSTALASI</b>	
biaya instalasi per unit cooling tower (1998 USD)	211.100 USD
Biaya instalasi per unit cooling tower (2017 USD)	316.681 USD
harga total untuk 50 unit (2017 USD)	23.274.800 USD
TOTAL (kurs Rp 13.275/ 1 USD)	Rp 308.973.023.100

### 5.2.2 Potensi Biaya Pengolahan Limbah Air Panas dengan Cooling Pond

Potensi biaya untuk membeli komponen pembuatan *cooling pond* dapat diestimasi dengan diagram Gambar 5.3. Diagram tersebut contoh studi kasus di Philadelphia USA. Estimasi biaya didapat dengan menentukan luasan dan pilihan harga per-*acres* yang dikehendaki serta asumsi *range* suhu. Dalam penelitian ini diasumsikan luas kolam pendingin adalah 0,5 acres atau 0,21 hektar, dengan dasar pertimbangan ekonomis serta terbatasnya lahan belum terfungsikan di PLTU Paiton. Range suhu diasumsikan medium sesuai peruntukkan pembangkit listrik menurut Cheremisinoff (1981) yaitu 15 °F, 20 °F, dan 25 °F. Kemudian harga per acres komponen diasumsikan sebesar 500 USD yang merupakan nilai terkecil.

Biaya komponen per megawatt dapat diketahui dengan menarik garis horisontal ke arah sumbu y dari titik perpotongan luas, biaya per acres, dan range suhu. Selanjutnya konversi nilai US Dollar dengan Persamaan 5.3. Nilai biaya dalam US Dollar tersebut diubah ke nilai rupiah sesuai kurs terbaru yaitu Rp 13.275 per USD. Hasil akhir biaya per Acres/MW dikali besar kapasitas pembangkit PLTU Paiton 1220 MW, selengkapnya pada Tabel 5.7.

Harga yang diperoleh dari Gambar 5.3 tersebut sudah termasuk harga kelengkapan konstruksi seperti pembelian tanah, persiapan lokasi, konstruksi dam, dan penahan dari air laut pasang. Variasi harga pembangunan low 500/ acres, average 2000/acres, dan high 5000/acres sangat dipengaruhi kondisi lokasi yang akan digunakan untuk membangun cooling pond.

*Konversi nilai US Dollar 1970 ke US Dollar 2017*

$$\frac{\text{CPI 2017}}{\text{CPI 1970}} \times 1970 \text{ value} = 2017 \text{ value}$$

Keterangan:

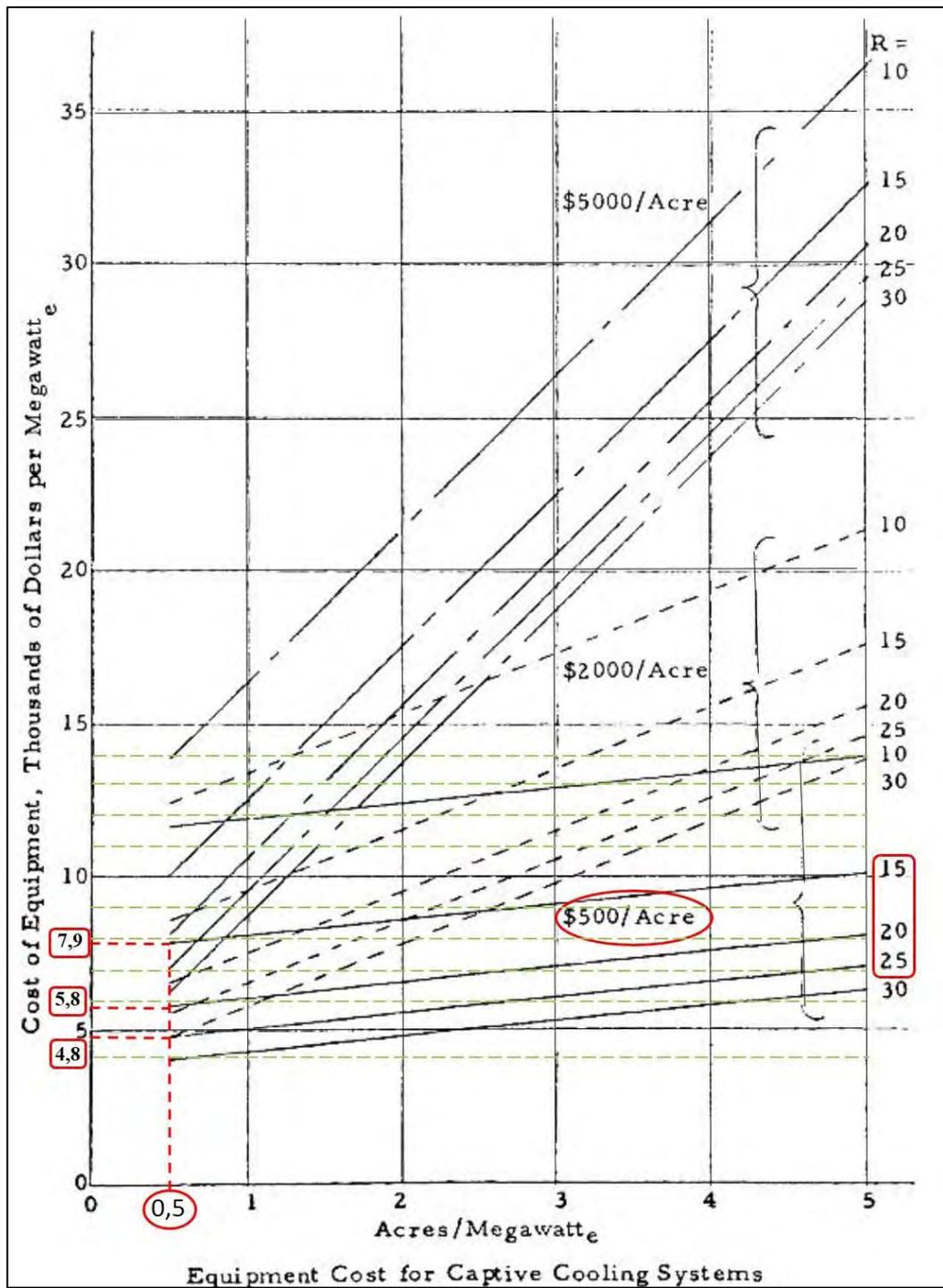
CPI = Consumer Price Index

CPI 2017 = 244,524

CPI 1970 = 38,8

Persamaan 5.3. Cara Konversi Harga Komponen Cooling Pond dari US Dollar 1970 ke tahun 2017

(sumber: Bureau of Labor Statistic USA - [www.in2013dollars.com](http://www.in2013dollars.com))



Gambar 5.3. Diagram Potensi Biaya Komponen Pembuatan Cooling Pond  
(sumber: diperbarui dari US EPA, 1970)

Tabel 5.7. Perhitungan Potensi Biaya Komponen Pembuatan *Cooling Pond*

rencana luas = 0,5 acres
cost per acres = 500 USD
kapasitas PLTU = 1220 MW

Range ( <sup>0</sup> F) = hot water inlet - cooled water	equipment cost (USD 1970)/ MW	equipment cost (USD 2017)/ MW	equipmet cost (Milyar Rupiah kurs Rp 13275)/ MW	total equipment cost (Milyar Rupiah) = equipment cost * 1220 MW
15,0	7.900	49.787	0,66	806,33
20,0	5.800	36.553	0,49	591,99
25,0	4.800	30.250	0,40	489,92

### 5.2.3 Plotting Potensi Biaya Pengolahan Limbah Air Panas

Potensi biaya pengolahan limbah air panas buangan dari sistem pendingin PLTU terdiri dari potensi biaya pembuatan cooling tower dan cooling pond. Biaya bervariasi sesuai besar selisih suhu air laut alami dengan suhu air laut di sekitar outlet discharge ( $\Delta T$ ).

#### a. $\Delta T$ untuk Sumbu X Kurva Biaya Pengolahan Limbah

Definisi  $\Delta T$  sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, merupakan selisih suhu air laut di sekitar *outlet discharge* dengan suhu alami air laut di kawasan PLTU. Langkah pertama adalah menghitung pengenceran limbah atau dilusi (Tabel 5.8). Nilai dilusi didapatkan dengan membagi konsentrasi awal limbah dengan konsentrasi akhir limbah pada jarak tertentu. Pada kasus buangan air panas ke lingkungan laut ini, konsentrasi awal diasumsikan sebagai suhu air bahang di kanal pembuangan, sedangkan konsentrasi akhir merupakan suhu air laut pada jarak 500 m dari mulut kanal.

Setelah dilusi diketahui, suhu air bahang sebelum terencerkan dapat diperkirakan dengan mengalikan dilusi dengan suhu alami air laut, suhu alami laut diasumsikan konstan 32,8 <sup>0</sup>C. Hasil perhitungan pada Tabel 5.9. Dari suhu air bahang sebelum terencerkan (suhu di sekitar outlet discharge) kemudian dikurangkan dengan suhu alami laut sekitar PLTU, sehingga didapatkan variasi  $\Delta T$  untuk digunakan pada plotting kurva biaya pengolahan limbah. Selengkapnya pada Tabel 5.10.

Rekapitulasi biaya pengolahan buangan air panas menggunakan cooling tower dan cooling pond terangkum dalam Tabel 5.11. Dari data dari Tabel 5.11 selanjutnya dapat digambar kurva biaya teknologi pengolahan buangan air panas PLTU (Gambar 5.4)

Tabel 5.8. Pengenceran (Dilusi) Buangan Air Panas di Laut

Suhu Air Bahang di Canal Outlet ( $^{\circ}\text{C}$ )	Suhu Air Laut pada Jarak 500 m ( $^{\circ}\text{C}$ )	Dilusi (kali)= Suhu Outlet Canal/ Suhu Air Laut sekitar Discharge
33	29,36	1,12
36	30,17	1,19
38	30,71	1,24

Tabel 5.9. Suhu Air Laut di Sekitar Outlet Discharge sebelum Terencerkan

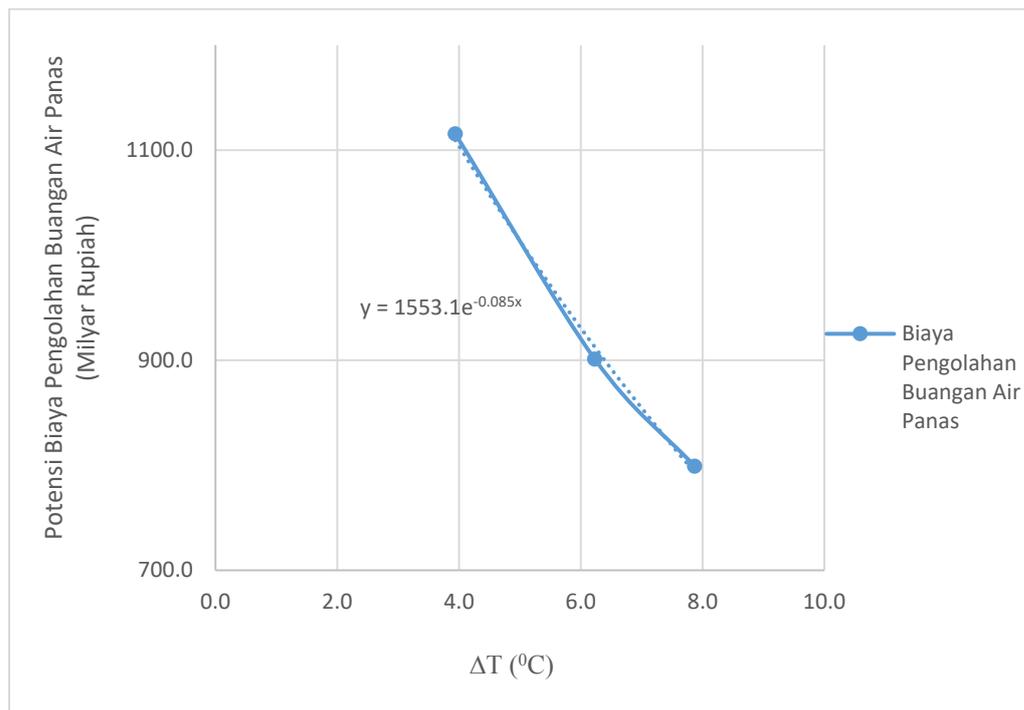
Suhu Alami Laut ( $^{\circ}\text{C}$ )	Dilusi atau Pengenceran (kali)	Suhu Sebelum Pengenceran ( $^{\circ}\text{C}$ ) = Suhu Alami * Dilusi
32,8	1,12	36,74
32,8	1,19	39,03
32,8	1,24	40,67

Tabel 5.10. Variasi  $\Delta T$  untuk Pengolahan Buangan Air Panas

Suhu Sebelum Pengenceran ( $^{\circ}\text{C}$ )	Suhu Alami Laut ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = suhu sebelum pengenceran - suhu alami laut
36,74	32,8	3,94
39,03	32,8	6,23
40,67	32,8	7,87

Tabel 5.8. Potensi Biaya Opsi Teknologi untuk Pengolahan Buangan Air Panas

$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = Suhu Air Sekitar Discharge - Suhu Alami Laut	Biaya Cooling Tower (Milyar Rupiah)	Biaya Cooling Pond (Milyar Rupiah)	Total Biaya (Milyar Rupiah)
4,1	0,31	806,33	1.115,3
6,3	0,31	591,99	900,96
7,8	0,31	489,92	798,89



Gambar 5.4. Grafik Potensi Biaya Opsi Teknologi Pengolahan Buangan Air Panas

### 5.3 Penentuan $\Delta T$ yang Sesuai Kondisi PLTU Paiton

Penentuan  $\Delta T$  atau selisih suhu air laut alami dengan suhu air laut di sekitar outlet discharge yang sesuai untuk kondisi PLTU adalah hal utama pada penelitian ini. Besar  $\Delta T$  didapatkan dari titik perpotongan kurva potensi biaya kerugian lingkungan dengan pengolahan buangan air panas. Kurva diperoleh dengan memasukkan nilai-nilai pada Tabel 5.9. Kurva kerugian lingkungan cenderung menanjak naik, dikarenakan  $\Delta T$  berbanding lurus dengan biaya akibat kerusakan lingkungan. Sedangkan kurva biaya pengolahan buangan air panas cenderung menurun dikarenakan besaran biaya berbanding terbalik dengan  $\Delta T$ .

Selain kurva biaya kerugian lingkungan dan biaya pengolahan buangan air panas, pada Gambar 5.5 juga dapat diketahui total biaya. Kurva total biaya didapatkan dengan cara menjumlahkan biaya kerugian lingkungan dan biaya pengolahan limbah pada tiap titik. Misal pada titik  $\Delta T = 2$  °C, biaya kerugian lingkungan Rp 920 juta sedangkan biaya pengolahan limbah Rp 1,37 Trilyun, maka total biaya pada  $\Delta T = 2$  °C adalah Rp 2,29 Trilyun.

Titik M atau minimum pada kurva total biaya berada pada  $\Delta T = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan biaya kerugian lingkungan Rp 1 Trilyun dan biaya pengolahan buangan air panas Rp 1,22 Trilyun, sehingga total biaya adalah Rp 2,22 Trilyun. Jika  $\Delta T = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maka kenaikan suhu air laut yang dapat diterima baik oleh lingkungan maupun pihak pencemar adalah  $32,8\text{ }^{\circ}\text{C} + 3\text{ }^{\circ}\text{C} = 35,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

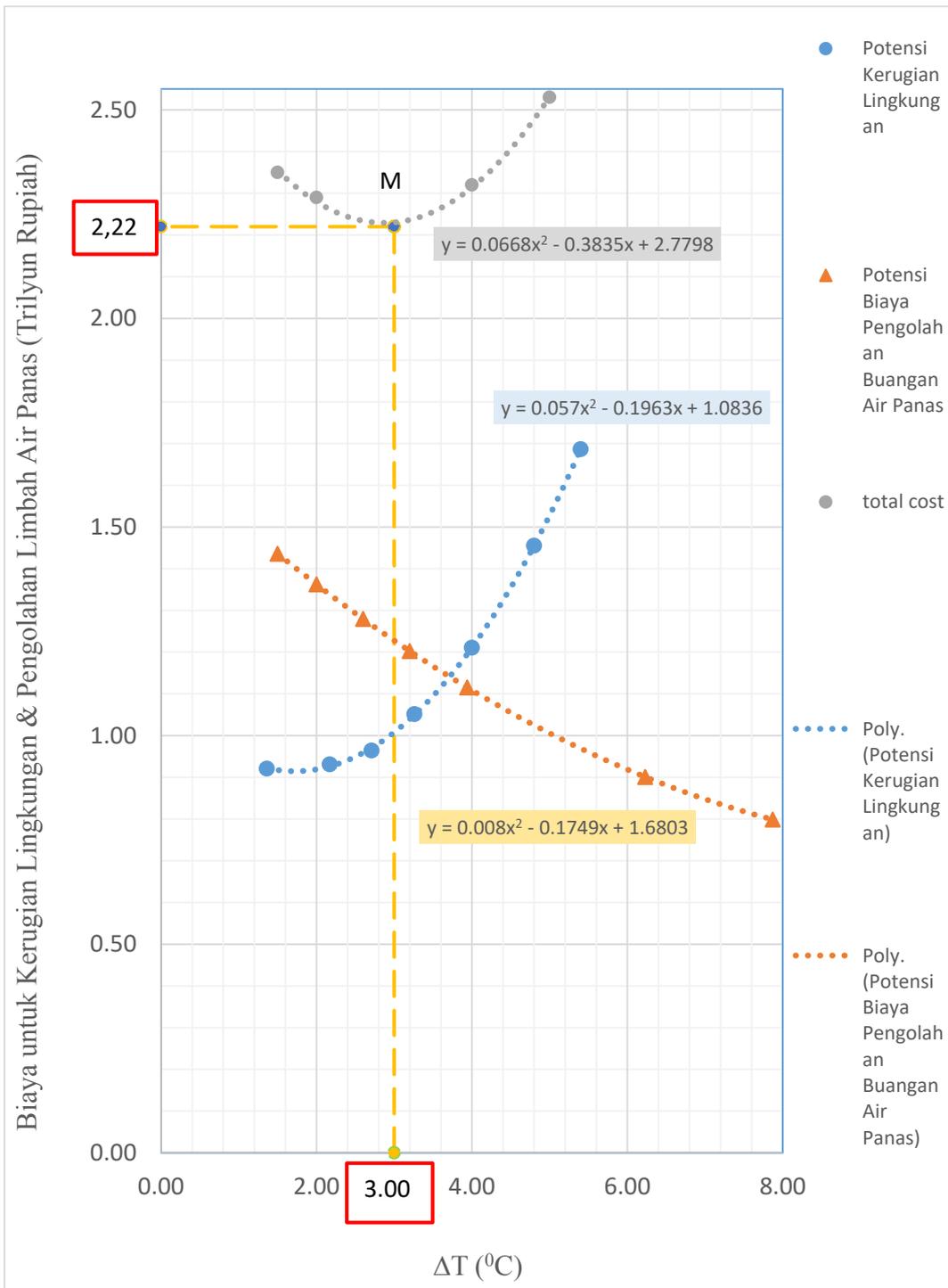
Kurva pada Gambar 5.5 merupakan hasil perhitungan berdasarkan data-data real di lokasi sekitar PLTU, data peneliti terdahulu, dan asumsi-asumsi tertentu. Penampakan kurva tersebut sedikit berbeda dengan kurva teori Gambar 3.8 disebabkan pada penelitian ini nominal biaya kerugian dan biaya teknologi pengolahan yang besar mencapai trilyun rupiah.

Tabel 5.9. Variasi Hasil Perhitungan Nilai Potensi Kerugian Lingkungan dan Nilai Estimasi Pemanfaatan Opsi Teknologi

$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) Biaya Kerugian Lingkungan	Potensi Biaya Kerugian Lingkungan (Trilyun Rupiah)	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) Biaya Pengolahan Buangan Air Panas	Biaya Opsi Teknologi Pengolahan (Trilyun Rupiah)
1,36	0,92	1,5	1,44
2,17	0,93	2,00	1,36
2,71	0,96	2,60	1,28
3,26	1,05	3,20	1,20
4,00	1,21	3,94	1,12
4,80	1,46	6,23	0,90
5,40	1,69	7,87	0,80

Tabel 5.10. Kurva Total Biaya. Total Biaya adalah Penjumlahan Potensi Biaya Kerugian Lingkungan dan Pengolahan Buangan Air Panas

Pada $\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Biaya (Milyar Rupiah)
1,5	2,35
2	2,29
3	2,22
4	2,32
5	2,53



Gambar 5.5. Kurva Potensi Biaya Kerugian Lingkungan dengan Kurva Estimasi Biaya Pengolahan Buangan Air Panas sekitar PLTU Paiton

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN & SARAN**

#### **6.1 Simpulan**

Dengan memperhatikan batasan masalah dan asumsi-asumsi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Segera perlu dicatat bahwa kesimpulan ini hanya berlaku untuk batasan-batasan masalah yang digunakan. Sehingga penelitian ini dapat diterapkan pada usaha untuk menghasilkan prosedur perhitungan baku mutu buangan air panas ke lingkungan laut. Adapun nilai yang lebih realistis untuk wilayah Indonesia perlu dikaji kembali pada saran. Berikut yang dapat disimpulkan:

1. Potensi biaya kerusakan lingkungan akibat rusaknya karang dan matinya ikan untuk kasus buangan air panas ke laut sekitar PLTU Paiton bervariasi menurut selisih suhu air laut alami dengan suhu air laut di sekitar discharge outlet ( $\Delta T$ ). Biaya kerugian lingkungan meningkat sejalan dengan peningkatan  $\Delta T$ . Ini mengartikan bahwa semakin besar nilai  $\Delta T$  atau peningkatan suhu laut dibanding suhu alaminya, maka dampak yang diterima lingkungan juga semakin besar. Maka untuk menurunkan biaya dampak lingkungan, maka  $\Delta T$  harus diperkecil dengan cara mengolah buangan air panas menggunakan teknologi pengolahan.
2. Potensi biaya teknologi pengolahan buangan air panas pada penelitian ini merupakan jumlahan dari perkiraan biaya pembangunan cooling tower dan cooling pond (Tabel 5.8). Biaya pembangunan tersebut telah mencakup biaya komponen, biaya lahan, persiapan pembangunan, serta biaya instalasi. Dari hasil perhitungan, didapati bahwa potensi biaya opsi teknologi meningkat pada  $\Delta T$  yang semakin mengecil. Hal tersebut mengindikasikan bahwa untuk membuat  $\Delta T$  mengecil, ada peran kinerja teknologi pengolahan limbah yang besar. Oleh karenanya diperlukan biaya yang tinggi untuk mengolah suhu air laut mendekati suhu alaminya. Sedangkan jika  $\Delta T$  besar, maka peran teknologi pengolahan dapat dikatakan minim atau mendekati nol..
3. Berdasarkan biaya kerugian lingkungan dan teknologi pengolah limbah pada variasi  $\Delta T$  yang diplot pada kurva Gambar 5.5, maka dapat disimpulkan bahwa biaya total minimum yang harus ditanggung oleh lingkungan dan pihak pencemar adalah Rp 2,22 Trilyun. Adapun suhu yang dapat ditoleransi oleh lingkungan dan pihak pencemar adalah 3 °C. Namun perlu dicatat bahwa angka perbedaan suhu tersebut bukan nilai yang definitif. Angka tersebut berasal dari perhitungan dan asumsi dari rujukan Amerika Serikat tahun 1970an dan 1990an. Maka sesungguhnya angka yang sesuai untuk wilayah Indonesia perlu dihitung kembali dengan menyesuaikan data yang ada di Indonesia

## 6.2 Saran

Merujuk pada batasan-batasan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, berikut saran-saran yang dapat diterapkan di penelitian selanjutnya:

1. Perhitungan dampak lingkungan buangan air panas terhadap kelangsungan hidup ikan hanya memperkirakan jumlah kematian ikan. Oleh karena itu diharapkan pada penelitian selanjutnya dampak seperti gangguan pertumbuhan fisik maupun penurunan kualitas reproduksi ikan juga turut diperhitungkan
2. Perkiraan jumlah kematian ikan dihitung menggunakan rujukan dari Amerika Serikat tahun 1979, sehingga jenis dan kondisi ikan terdapat perbedaan. Maka untuk penelitian selanjutnya perhitungan perkiraan kematian ikan dapat diusahakan menggunakan dasar rujukan dari lokasi terdekat untuk meminimalisir perbedaan.
3. Dampak buangan air panas ke laut terhadap kehidupan terumbu karang hanya memperhitungkan kerusakan karang akibat penyakit pemutihan. Oleh karenanya, pada penelitian lanjutan, tingkatan atau derajat paparan dampak misalnya tingkat berat (mati) dan ringan (masih bisa pulih) sebaiknya juga diperhitungkan.
4. Perkiraan biaya untuk opsi teknologi pengolahan buangan air panas mengambil pendekatan dari harga Amerika Serikat pada tahun 1970 dan 1998. Oleh karena itu di kemudian hari diharapkan dasar perkiraan biaya teknologi dapat diperbaiki dengan data terbaru.
5. Dampak buangan air panas ke laut terhadap manusia tidak diperhitungkan. Sedangkan adanya buangan air panas ke laut misalnya dapat menyebabkan gangguan penyakit kulit untuk masyarakat yang beraktivitas dengan air yang tercemar air bahang. Maka pada penelitian selanjutnya, dampak buangan air panas terhadap manusia dapat ditelaah lebih jauh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asadi, M. A. & Andrimida, A., 2017. Valuasi Ekonomi Ekosistem Terumbu Karang Bangsring, Banyuwangi, Indonesia. *Economic and Social of Fisheries and Marine Journal*, 4(2), pp. 144-152.
- Assessment, M. E., 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*, Washington DC: Island Press.
- Bishop, P. L., 1983. *Marine Pollution and Its Control*. United States of America: McGraw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering.
- Bishop, P. L., 2000. *Pollution Prevention: Fundamental and Practice*. International Editions penyunt. Singapore: McGraw-Hill.
- Cheremisinoff, N. P. & Cheremisinoff, P. N., 1981. *Cooling Towers - Selection, Design, and Practice*. Michigan USA: Ann Arbour Science Publishers.
- Douglas, A. E., 2003. Coral Bleaching-How and Why?. *Marine Pollution Bulletin* 46, pp. 385-392.
- Edmunds, P. J., Gates, R. D. & Gleason, D. F., 2003. The Tissue Composition of *Montastraea Franksi* During a Natural Bleaching Event in the Florida Keys. *Coral Reefs*, Volume 22, pp. 54-62.
- Environmental Protection Agency, U. S., 1970. *An Engineering - Economic Study of Cooling Pond Performance*. Water Pollution Control Research Series penyunt. Washington DC: US EPA- Research and Monitoring.
- Environmental Protection Agency, U. S., 2014. *Technical Development Document for the Final Section 316(b) Existing Facilities Rule*, Washington DC: US EPA Office of Water.
- Fudlailah, P., 2013. *Pemodelan Penyebaran Limbah Panas di Wilayah Pesisir (Studi Kasus Outfall PLTU Paiton) - Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Kasman, 2011. *Analisis Zona Pesisir Terdampak Berdasarkan Model Dispersi Thermal Dari Air Buangan Sistem Air Pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang Kalimantan Timur*, Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no.51 tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri* (1995).
- Kleinstreuer, C. & Logan, B. E., 1979. Mathematical Model for Fishes Losses. *Water Research - Pergamon Press*, Volume 14, pp. 1047-1053.
- Langford, T. E. L., 2001. Thermal Discharges and Pollution. Dalam: *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Southampton: University of Southampton, pp. 2933-2940.
- Loh, H., Lysons, J. & White, C. W., 2002. *Process Equipment Cost Estimation Final Report*, Washington DC: Departement of Energy United States of America.
- Lozada-Misa, P., Kerr, A. & Raymundo, L., 2015. Contrasting Lesion Dynamics of White Syndrome among the scleractinian corals *Porites* spp. *PLoS ONE*, 10(6).
- Maulidiyah, 2005. *Evaluasi Baku Mutu Air Laut untuk Bakteri Escheria Coli Berbasis Resiko Kesehatan dan Biaya Pengolahan Limbah Di Daerah Wisata Kepulauan Seribu Jakarta*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- McClanahan, T. R., 2004. The Relationship Between Bleaching and Mortality of Common Corals. *Marine Biology*, Volume 144, p. 1239–1245.
- McClanahan, T. R. & Maina, J., 2003. Response of Coral Assemblages to the Interaction Between Natural. *Ecosystem*, Volume 6, pp. 551-563.
- Mukhtasor, 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Mukhtasor, Rahayu, S. P. & Saptarini, D., 2015. *Laporan Akhir Hibah Kompetensi: Pengembangan Baku Mutu Limbah Air Panas dari Industri Energi di Lingkungan Laut Berbasis Data Lapangan dan Metode Risk Assessment*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Mursilan, 2014. *Kajian Lingkungan Bentik Perairan Pesisir Paiton, Provinsi Jawa Timur*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Nalco, C., 2009. *Cooling Water Treatment*. Bulletin B-34 penyunt. Naperville, Illinois: Nalco Company.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur no.72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya* (2013).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah* (2014).
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup no.8 tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal* (2009).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air* (2001).
- Poornima, E. H. et al., 2005. Impact of Thermal Discharge from a Tropical Coastal. *Elsevier Journal of Thermal Biology*, Volume 30, pp. 307-316.
- Prameswari, S. R., Anugroho. D. S, A. & Rifai, A., 2014. Kajian Dampak Perubahan Garis Pantai Terhadap Penggunaan Lahan Berdasarkan Analisa Penginderaan Jauh Satelit Di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. *Jurnal Oseanografi Universitas Diponegoro*, 3(2), pp. 267-276.
- PT. Jawa Power, 2015. *Laporan Monitoring Lingkungan No. 77 : Status 1 September 2015 - Laporan Triwulanan PT. Jawa Power (PLTU Paiton Swasta Tahap II) Probolinggo, Jawa Timur*, Jakarta: PT Sucofindo Prima Internasional Konsultan.
- PT. Jawa Power, 2016. *Laporan Monitoring Lingkungan No. 78: Status 3 Desember 2015 - Laporan Triwulanan PT. Jawa Power (PLTU Paiton Swasta Tahap II) Probolinggo, Jawa Timur*, Jakarta: PT Sucofindo Prima Internasional Konsultan.

- PT. Jawa Power, 2016. *Laporan Monitoring Lingkungan No. 79 : Status 22 Maret 2016 - Laporan Triwulanan PT. Jawa Power (PLTU Paiton Swasta Tahap II) Probolinggo, Jawa Timur*, Jakarta: PT. Sucofindo Prima Internasional Konsultan.
- PT. Jawa Power, 2016. *Laporan Monitoring Lingkungan No. 80 : Status 31 Mei 2016 - Laporan Triwulanan PT. Jawa Power (PLTU Paiton Swasta Tahap II) Probolinggo, Jawa Timur*, Jakarta: PT. Sucofindo Prima Internasional Konsultan.
- Putri, I. A. P., 2009. *Tesis: Valuasi Ekonomi Terumbu Karang Kawasan Konservasi Laut Kepulauan Seribu*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor .
- Raymundo, L. J., Couch, C. S. & Harvell, C. D., 2008. *Coral Disease Handbook Guidelines for Assessment Monitoring & Management*. Queensland: Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program.
- Raymundo, L. . J. H., Harvell, C. D. & Reynolds, T. L., 2003. Porites Ulcerative White Spot Disease: Description, Prevalence, and Host Range Of a New Coral Disease Affecting Indo-Pacific reefs. *Diseases Of Aquatic Organisms*, Volume 56, pp. 95-104.
- Rosenberg, E. & Loya, Y., 2004. *Coral Health and Disease*. 1st penyunt. New York: Springer.
- Rubin, E. S., 2001. *Introduction to Engineering and the Environment*. 1st penyunt. New York: McGraw Hill Companies Inc.
- Sofyani, A. A. & Floos, Y. A., 2013. Effect of temperature on two reef-building corals Pocillopora damicornis and P. verrucosa in the Red Sea. *Oceanologia - Polish Academy of Sciences, Institute of Oceanology*, 55(4), pp. 917-935.
- Tietenberg, T. & Lewis, L., 2012. *Environmental and Natural Resource Economics*. 9th penyunt. New Jersey USA: Pearson Education Inc..
- Willis, B. L., Page, C. A. & Dinsdale, E. A., 2004. Coral Disease on the Great Barrier Reef. Dalam: E. Rosenberg & Y. Loya, penyunt. *Coral Health and Disease*. New York: Springer, pp. 69-104.

## BIOGRAFI PENULIS



Jihannuma Adibiah Nurdini lahir pada tanggal 5 Juli tahun 1990 di Kota Surabaya, kemudian menyelesaikan pendidikan dasarnya di Kabupaten Sidoarjo hingga Sekolah Menengah Atas. Tercatat SD Negeri Suko 2 (tahun 1996-2002), SMP Negeri 1 Taman (tahun 2002–2005), dan SMA Negeri 3 Sidoarjo (tahun 2005–2008), yang mana merupakan sekolah di mana penulis pernah menimba ilmu. Pendidikan Sarjana Teknik ditempuh di Departemen Teknik Kelautan tahun 2008 – 2013 dengan topik Tugas Akhir bidang Lingkungan Laut. Adapun pendidikan Magister ditempuh penulis pada Departemen yang sama, mengambil konsentrasi Teknik Manajemen Pantai dengan pendalaman minat dengan bidang Lingkungan Laut dengan judul “Studi Baku Mutu Buangan Air Panas ke Lingkungan Laut”.