

PENCEMARAN AIR PANAS TERHADAP LINGKUNGAN LAUT PERLU MENDAPAT PERHATIAN KHUSUS DALAM PEMBANGUNAN PLTN

Oleh :

Aprilani Soegiarto *) dan Kasijan Romimohtarto *)

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik di Indonesia dicerminkan pada rencana pemerintah untuk mendirikan berbagai jenis pusat tenaga listrik diberbagai tempat di Indonesia. Peningkatan tenaga listrik dua kali lipat setiap lima tahun telah disebut oleh Pemerintah sebagai gambaran tentang rencana peningkatan tersebut. Kapasitas listrik terpasang di Indonesia telah diproyeksikan akan menjadi berlipat ganda dari 200 MW pada saat ini menjadi kira-kira 64.000 MW pada tahun 2000 dan dari kapasitas ini diperkirakan 80% akan diperlukan bagi P. Jawa, dimana sesudah tahun 1985 akan dipasang kira-kira 46.000 MW (BAIQUNI & SUDARSONO 1974).

Disamping pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang konvensional, yang sudah ada dan yang akan direncanakan, PLTN akan memegang peranan penting dalam menunjang tenaga listrik di Indonesia diwaktu mendatang. Hal ini dapat digambarkan dari proyeksi kebutuhan tenaga listrik untuk tahun 2000 yang pada urutan terakhir dari daftar sumber penggerak pembangkit listrik (SEMINAR ENERGI NASIONAL 1974) tercantum nuklir yang akan menghasilkan 15 - 25.000 MW atau 23 - 29% dari tenaga listrik yang akan tersedia.

Dipandang dari segi biaya pembangkit untuk setiap satuan kapasitas terpasang dan dari segi efisiensi pemanfaatan sumber kekayaan alam, tampaknya tenaga nuklir merupakan alternatif yang paling menarik (SOEGIARTO 1975), namun ada hal-hal yang diperhatikan dalam kaitannya dengan kemungkinan pencemaran lingkungan laut yang lebih besar; yang dapat diakibatkan oleh PLTN jika pembangkit-pembangkit tenaga listrik ini dibangun di tepi pantai atau di tepi muara sungai. PLTN mempunyai efisiensi termis lebih rendah dari PLTU, yang berarti panas buangan yang dihasilkan oleh PLTN untuk setiap satuan MW tenaga listrik yang dihasilkan lebih besar dari PLTU.

Mengingat semakin susutnya persediaan air tawar untuk air jernih maupun untuk air pendingin di Indonesia umumnya dan di Pulau Jawa khususnya, maka kemungkinan besar PLTN akan dibangun di pantai dimana persediaan air pendingin berupa air laut masih cukup berlimpah.

Air panas bekas pendingin akan dibuang kembali ke laut, karena cara ini merupakan cara yang ekonomis dan praktis.

Hal ini dapat menimbulkan pencemaran panas pada lingkungan laut. Sebagai contoh di Amerika Serikat diperkirakan bahwa pada tahun 1970, 81,3% pence-

*) Lembaga Oseanologi Nasional, LIPI.

maran panas yang terjadi di ekosistem akuatik (termasuk ekosistem laut) berasal dari pembangkit tenaga listrik. Dengan adanya rencana penambahan pembangunan PLTN di negara ini, maka dalam tahun 1980 seperlima dari seluruh ekosistem akuatik akan terkena pencemaran (SOEGIARTO 1974).

Kemungkinan pencemaran panas yang diakibatkan oleh pembangkit-pembangkit tenaga listrik terhadap lingkungan laut di Indonesia sebenarnya masih merupakan hal yang baru. Pengalaman-pengalaman negara-negara maju dalam masalah pencemaran ini perlu mendapat perhatian, karena lingkungan pantai yang bakal menjadi sasaran bagi pembangunan PLTN di Indonesia sangat penting sebagai sumber utama bagi kehidupan sebagian besar nelayan-nelayan kita.

Kertas kerja ini disajikan untuk memberi gambaran umum tentang pencemaran panas terhadap lingkungan laut yang mungkin diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan pembangkit-pembangkit tenaga listrik serta akibat-akibat buruk yang mungkin ditimbulkan terhadap kehidupan biota laut khususnya dan terhadap kehidupan manusia dipantai umumnya.

SUHU SEBAGAI SALAH SATU FAKTOR LINGKUNGAN YANG AMAT PENTING.

Barangkali tidak ada faktor lingkungan lain yang secara umum sepenting suhu (MOORE 1958). Kenaikan suhu dapat mempercepat reaksi-reaksi kimiawi. Hukum van't Hoff menyebutkan bahwa kenaikan suhu 10°C melipat duakan kecepatan reaksi, meskipun secara umum hukum ini tak dapat dipakai. Proses-proses badaniah yang merupakan hasil dari sedikitnya dua proses, pembentukan dan pemecahan, akan menaik sampai puncaknya dengan kenaikan suhu, tetapi kemudian menurun kembali. Ini terjadi dalam reaksi-reaksi enzima.

Perubahan suhu cenderung untuk mempengaruhi proses-proses kimiawi yang terjadi secara simultan dalam jaringan tubuh tumbuh-tumbuhan dan binatang, dan karenanya juga akan mempengaruhi jasad-jasad hidup tersebut secara menyeluruh.

Pengaruh suhu terhadap proses-proses fisika dapat digambarkan misalnya dengan mengurangnya daya larut zat asam dari air dengan meningkatnya suhu, sebaliknya viskositas air akan naik dengan turunnya suhu, dan sebaliknya akan terjadi, misalnya viskositas air laut akan meningkat lebih dari dua kali lipat dengan penurunan suhu dari 30° ke 0° dan daya larut zat asam meningkat menjadi hampir dua kali lipat. Proses-proses fisika lainnya seperti kenaikan salinitas, turbulensi air mempunyai kaitan erat dengan perubahan atau perbedaan suhu air laut.

Hubungan antara suhu dan penyebaran geografik biota laut telah kita ketahui. Contoh yang paling populer ialah penyebaran karang. Binatang-binatang karang ini tidak dapat hidup pada laut yang suhunya jauh dibawah 21°C . Daerah-daerah subtropik dan daerah-daerah dingin dimana suhu Winter minimum jauh dibawah 21°C tidak terdapat karang. Akibatnya penyebaran geografik dari terumbu karang terbatas pada suatu jalur sekeliling permukaan bumi di kiri kanan katulistiwa sampai di daerah subtropik yang suhu perairannya tidak pernah turun dibawah 21°C .

Lebih penting lagi dalam kaitannya dengan masalah pencemaran panas dilaut ialah toleransi berjenis-jenis biota laut terhadap kenaikan suhu, karena pada hakikatnya pencemaran panas pada lingkungan akuatik adalah masalah toleransi kehidupan akuatik maupun manusia yang memanfaatkan lingkungan akuatik tersebut

terhadap perubahan suhu lingkungan. Biota akuatik dari daerah sedang dan dingin umumnya tahan terhadap perubahan suhu yang besar.

Sebaliknya biota akwatik yang hidup di perairan tropik dimana perubahan suhu sepanjang tahun tidak besar biasanya tidak cukup toleran terhadap perubahan suhu yang besar. Perairan Indonesia mempunyai perbedaan suhu umum $\pm 20 - 29^{\circ}\text{C}$ sedangkan perairan pantainya antara $27^{\circ} - 31^{\circ}\text{C}$.

Penting dicatat pula keterangan MAYER (MORRE 1958) yang menyebutkan bahwa sebagian besar jenis-jenis biota dari perairan panas hidup lebih dekat pada batas suhu tertinggi daripada suhu terendah. Ini berarti bahwa kita harus lebih berhati-hati terhadap kenaikan suhu air daripada penurunan suhu.

GAMBARAN TENTANG BESARNYA PENCEMARAN PANAS OLEH PEMBANGKIT LISTRIK.

Pembangkit-pembangkit listrik baik yang menggunakan bahan bakar batu bara, gas, dan minyak maupun nuklir, dan yang menggunakan sistim siklus uap, memerlukan sejumlah besar air untuk pendingin yang dialirkan melalui kondensor. Waktu uap dirubah menjadi air didalam kondensor, timbul panas yang harus dibuang.

Cara pembuangan yang paling ekonomis dan praktis adalah memindahkan panas ke air, sedangkan cara yang termudah ialah dengan sistim "once through cooling", yakni dengan menghisap air pendingin dari sungai, danau atau laut, dilewatkan melalui kondensor dan dibuang kembali ke sumbernya dengan suhu $5 - 10^{\circ}\text{C}$ lebih panas dari suhu air sumber.

Berikut adalah besarnya air panas dan besarnya kenaikan suhu yang dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit tenaga listrik.

- a. Pembangkit tenaga listrik dengan bahan bakar minyak berkapasitas 1 juta kW dan efisiensi 40%, mampu membuang air 110 juta L (30 juta gallon) per jam dengan meningkatkan suhu 15°F ($\pm 8,3^{\circ}\text{C}$) sedangkan yang bertenaga nuklir dengan kapasitas sama tetapi efisiensi 30%, mampu membuang air sebanyak 190 juta L (50 juta gallon) per jam dengan menaikkan suhu 15°F ($8,3^{\circ}\text{C}$) (SOEGIARTO 1975).
- b. Pembangkit listrik Morgantown Potomac Estuary, Maryland, USA dengan bahan bakar minyak (fossil fuel) yang terdiri dari dua unit masing-masing berkapasitas 572,9 MW dan 575,17 MW dan masing-masing dengan pompa air pendingin tambahan mampu membuang air panas sebanyak 826.000 gallon per menit (49,56 juta gallon per jam) dengan menaikkan suhu $9,2^{\circ}\text{F}$ ($\pm 5,1^{\circ}\text{C}$) (CARTER 1973).
- c. Pembangkit listrik PEPCO Chalk Point menggunakan minyak, berkapasitas 2×355 MW, di muara Patuxent. Maryland, USA masing-masing menggunakan 15 juta gallon per jam dan menaikkan suhu pada kondensator $11,4^{\circ}\text{F}$ ($6,3^{\circ}\text{C}$) (CARTER 1968).
- d. PLTU Priok UNIT III & IV mempunyai perbedaan suhu air masuk dan keluar sebesar $2 - 4^{\circ}\text{C}$ (MARTONO 1975).

MANFAAT DAN AKIBAT AIR PANAS BUANGAN

Sebenarnya pengaruh air panas hasil buangan pembangkit tenaga listrik terhadap lingkungan akuatik banyak diteliti di beberapa negara. Tetapi di Indonesia belum ada penelitian semacam itu, meskipun ada pembangkit-pem-

bangkit tenaga listrik yang menggunakan sistim uap (PLTU), mengambil air dari laut dan membuang air panas kembali ke laut, seperti PLTU Priok. Apakah pencemaran panas ini yang dikenal dengan "thermal pollution" membawa akibat menguntungkan atau merugikan, tidak dijawab secara umum. Ada bukti-bukti yang menunjukkan bahwa air panas yang dibuang kelingkungan laut di daerah dingin dapat mempercepat pertumbuhan dan penetasan telur ikan asal tidak melampaui batas-batas ketahanan ikan-ikan tersebut. Buangan thermik disebut-sebut sebagai bahan pemanas dinegara-negara dingin dan dapat memberi lingkungan pantai tempat rekreasi yang hangat dimusim dingin, karenanya memperpanjang musim rekreasi di pantai.

MC CAIN & PECK (1973) menerangkan bahwa pembuangan thermik dari suatu PLTU di Kahe, Hawaii, dimana air panas buangan mencapai dasar perairan, telah merubah komposisi jenis ikan-ikan yang nampaknya dihubungkan dengan bertambahnya algae dasar laut yang mungkin menunjang kehidupan ikan-ikan terutama dari famili Acanthuridae (ikan butana). MARTONO (1975) menyebutkan bahwa PLTU PRIOK UNIT III & IV terdapat banyak ikan pada "discharge" yang olehnya dikaitkan dengan terhisapnya kamanan dari lapisan air bawah (air intake) Unit-unit ini menaikkan suhu air pemasukan (27,5 - 29,5°C).

Keterangan-keterangan diatas hendaknya tidak mengurangi kewaspadaan kita terhadap bahaya-bahaya yang mungkin ditimbulkan akibat pencemaran panas oleh pembangkit-pembangkit listrik. Sebab fakta-fakta dan hasil-hasil penelitian menunjukkan berbagai akibat buruk air panas buangan terhadap lingkungan laut dan karenanya terhadap penghuni lingkungan tersebut.

Pengaruh-pengaruh negatif yang dapat ditimbulkan oleh air panas buangan terhadap lingkungan laut ialah :

Pengaruh fisik :

- a. Mengurangnya daya larut zat asam dalam air akibat kenaikan suhu mengakibatkan menurunnya daya asimilasi air terhadap kotoran-kotoran organik yang memerlukan zat asam untuk pemecahannya. Akibatnya proses pembusukkan makin lambat, bertumpuknya sampah tidak sempat dicerna lagi dan kualitas air menjadi menurun baik dipandang dari segi ekosistem secara keseluruhan maupun dari segi kegunaan bagi manusia.
- b. Air panas yang disebar kelingkungan pantai terutama dekat muara dapat merupakan "pintu penghalang" bagi masuknya ikan-ikan yang biasa bermigrasi dari atau ke sungai (untuk memijah) karena mereka tidak berani menembus bagian perairan yang panas itu. Sebagai akibatnya pemijahan mungkin bisa gagal.
- c. Pemanasan air akan mempercepat penguapan. Akibatnya volume air akan lebih cepat mengurang, menyebabkan lebih terkonsentrasinya unsur-unsur tertentu dalam air. Kalau proses ini terus berjalan maka pencemaran unsur-unsur tersebut tak dapat dihindari lagi, karena konsentrasinya akan melebihi daya cerna air yang bersangkutan.

Pengaruh biologik

Karena biota laut hidup dalam rangkaian suatu rantai makanan, maka pengaruh negatif terhadap sesuatu anggota dalam jaringan rantai makanan tersebut dapat mempengaruhi anggota-anggota lainnya dalam rantai tersebut.

Gambaran tentang nasib suatu bahan pencemar yang memasuki ekosistem laut dapat dilihat pada diagram terlampir.

Pada dewasa ini belum banyak data yang tersedia untuk memberi jawaban yang pasti tentang akibat-akibat yang mungkin timbul oleh pencemaran air panas terhadap lingkungan laut tropik. Ada kecenderungan pendapat bahwa karena suhu rata-rata air di daerah tropik itu sudah tinggi, kenaikan suhu 1 – 2°C tidak akan mempengaruhi apa-apa. Hal ini tidaklah selalu benar. Bahkan jika kita teliti bahwa sebagian biota akuatik dari perairan tropik hidup pada suhu beberapa derajat dibawah atas suhu lethal, dan karenanya pengaruh kenaikan suhu terbesar di daerah tropik (CUURANT & PFUDERER 1974), maka kita harus berhati-hati dalam mengintroduksi air panas yang dapat menaikkan suhu perairan meskipun hanya beberapa derajat diatas suhu lingkungan.

Beberapa aspek pengaruh biologik dapat disebutkan disini :

a. **Penyebaran :**

Percobaan-percobaan yang dilakukan di beberapa negara (antara lain di Hawaii) menunjukkan bahwa bila komunitas karang diberi air bersuhu 2 – 3°C lebih tinggi daripada suhu optimal, binatang-binatang tersebut akan dapat mati secara perlahan-lahan. Study tentang polusi panas di Miami, USA (FERGUSON WOOD & ZIEMAN 1969) menunjukkan bahwa pada kondisi musim panas, suatu generator listrik berkapasitas 800 MW, telah mengakibatkan kematian 91% dari rumput laut *Thalassia* pada jarak 450 yard (\pm 405 m) dari pantai tempat pembuangan, sedangkan 9% nya dalam keadaan kurang sehat. Pada jarak 900 yard (\pm 810 m) 48% mati. Pengaruh air panas ini masih terasa pada jarak beberapa mil dari tempat pembuangan, terbukti 23% rumput tersebut mati. Matinya komunitas rumput laut, yang sebenarnya merupakan penunjang bagi pencegahan erosi dasar laut, dapat mengakibatkan terjadinya pengikisan lumpur dasar. Akibatnya jika terjadi pengadukan (turbulensi) maka air di tempat tersebut menjadi keruh dan akan merupakan gangguan yang fatal terhadap kehidupan akuatik dan mengurangnya produktivitas perairan tersebut.

b. **Reproduksi dan perkembangan hidup.**

Kenaikan suhu dapat mempengaruhi berbagai fase proses reproduksi seperti pemijahan, perkembangan embrio, penetasan, dan perkembangan burayak (larva). Penelitian-penelitian telah dilakukan terhadap pengaruh termik terhadap berbagai fase proses reproduksi pada biota akuatik. FERGUSON WOOD dan ZIEMAN (1969) telah membuat daftar tentang suhu-suhu optimum masing-masing bagi 73 jenis biota akuatik yang telah diselidiki dalam kaitannya dengan pemijahan dan penetasan; 44 jenis dalam kaitannya dengan perkembangan embrio; dan 34 jenis dalam kaitannya dengan perkembangan burayaknya. Daftar ini amat penting karena dengan mengetahui batas-batas suhu yang dikehendaki oleh sesuatu jenis untuk berbiak atau berkembang atau memijah, maka dapat dihindari pembunuhan terhadap jenis itu oleh air panas. Misalnya *Saurida tumbil* (ikan kedel atau bebolak) yang banyak terdapat sebagai hasil pukat dasar, di perairan kita, didalam daftar disebutkan bahwa kenaikan suhu 4°C dari suhu lingkungannya tidak mempengaruhi pemijahan. Jadi jika suatu PLTN atau PLT-PLT lain akan dibangun di daerah dimana terdapat potensi jenis ini yang mungkin sangat digemari oleh masyarakat setempat, dan jika jenis ini merupakan satu-satunya sumber pangan di-

tempat itu maka kenaikan suhu air dasar setinggi 4°C mungkin dapat dipertanggung jawabkan dengan catatan tidak ada pencemaran-pencemaran lain.

c. **Fisiologik.**

GOLDNER (1973) menentukan bahwa perubahan suhu diluar suhu optimum dapat menambah kepekaan sesuatu jenis biota terhadap zat-zat toksik. DE SYLVA & HINE (1972) menduga bahwa alga-alga toksik seperti *Lyngbya majuscula*, *Calothrix crustacea* dan *Schizothrix calcicola* akan bertambah potensinya jika dihadapkan dengan pengaliran suhu dan volume air yang lebih besar.

d. **Lain-lain.**

Penaikan suhu menambah mortalitas kerang Pasifik (*Crassostrea gigas*) karena terjadinya penyuburan bakteri-bakteri, seperti yang dibuktikan dalam studi laboratorium (LIPOVSKY & CHEN 1971).

Banyak contoh-contoh lain yang menjelaskan mengenai pengaruh biologik dari pencemaran panas terhadap kehidupan di laut. Jika ditinjau secara umum maka kerugian yang diakibatkan oleh pembuangan air panas akan "outweighed" keuntungan yang dapat diberikan.

BEBERAPA SIFAT AIR PANAS BUANGAN DAN PENDINGINAN DI PERAIRAN BEBAS.

Air panas buangan dari suatu pembangkit tenaga listrik yang diambil dari suatu perairan pantai mempunyai sifat-sifat antara lain suhunya yang lebih tinggi dari suhu asalnya (sampai kira-kira 10°C lebih tinggi), mengandung biocida, mengandung plankton baik nabati maupun hewani yang penting bagi kehidupan biota-biota laut lainnya.

Air panas tersebut jika dibuang ke perairan pantai melalui saluran pembuangan akan mengalami pendinginan yang melalui dua proses utama yakni :

- a. pendinginan permukaan melalui penguapan ke udara di atas air. Disini perantara suhu udara dan angin sangat penting.
- b. pendinginan melalui pengenceran oleh massa air yang jauh lebih besar jumlahnya daripada air panas yang dibuang.

Dalam banyak hal proses pengenceran lebih utama daripada proses pendinginan permukaan. Oleh karenanya pemusatan pengamatan ditujukan pada sifat-sifat dari proses pendinginan melalui pengenceran. Massa air panas buangan mempunyai sifat "bouyant" dan karena sifat stratifikasi densitas perairan yang stabil (yang berat dibawah dan ringan diatas) maka proses pengenceran terjadi secara mendatar kecuali jika terjadi suatu pencampuran air menegak. Ini berarti bahwa pembuangan air panas hanya terjadi pada lapisan tipis diatas dan jika pantainya cukup dalam maka dasar laut yang umumnya dihuni biota-biota benthik tidak ikut terpengaruh. Sifat penyemprotan air panas dari pipa pembuangan adalah tegak lurus terhadap pantai. Jika tidak terjadi suatu arus yang bergerak sejajar pantai maka pembuangan air panas dapat diarahkan jauh dari pantai dan pendinginan melalui pengenceran akan cepat terjadi. Jika di daerah pembuangan terdapat arus sejajar pantai arah air panas akan dibelokkan ke kanan atau ke kiri sesuai dengan arah arus tersebut mendekati pantai dan pendinginan melalui pengenceran akan lambat terjadi (penjelasan secara matematik lihat PRITCHARD & CARTER 1972).

USAHA PENANGGULANGAN

Pemikiran mengenai pencegahan bahaya yang dapat ditimbulkan oleh pembuangan air panas perlu selalu diikuti dalam setiap perencanaan pembangunan PLTN. SOEGIARTO (1975) menjelaskan tentang beberapa cara penanggulangan dalam pembuangan sisa panas, yang sifatnya masih "prohibitive" untuk diterapkan di Indonesia.

a. "Artificial Cooling Pond"

Sebelum air dibuang ke perairan bebas, ditampung dahulu didalam suatu "kolam pendingin". Untuk generator berkapasitas 1 juta KW diperlukan kolam seluas 400 - 500 ha. Ini terlalu luas untuk daerah dimana tanah semakin langka dan harga semakin menggilas.

b. "Wet Cooling Tower"

Pendinginan air panas dengan cara menyemprotkan udara kedalam (atau mempertemukan aliran panas dengan aliran udara). Penguapan akan terjadi dan airpun mendingin. Namun usaha ini dapat merubah cuaca setempat, sebab biasanya air yang harus didinginkan berjumlah berjuta-juta liter per harinya. Pembangunan menaranya harus cukup besar (kira-kira diameternya 200 m dan tingginya 170 m).

c. "Dry Cooling Tower"

Sistimnya seperti bekerjanya radiator dalam mobil. Sistim ini sebetulnya yang terbaik, tetapi juga termahal. Diperkirakan akan menambah biaya 10% dari biaya keseluruhan sedangkan untuk "artificial cooling pond" diperkirakan hanya 0,5% dan "wet cooling tower" kira-kira 5%.

Dari pertimbangan-pertimbangan diatas maka sistim "once through water cooling" merupakan sistim yang biasa diterapkan. Dalam sistim ini panas buang sebagai hasil akhir dari suatu siklus tenaga termodinamik harus dibuang kedalam "lubuk panas" dan boleh dikatakan alur-alur air seperti sungai, muara, dan perairan pantai telah menjadi lubang untuk pembuangan panas dari pembangkit-pembangkit tenaga-tenaga listrik. Sampai sekarang belum ada kerusakan lingkungan akuatik yang berarti akibat pembangkit-pembangkit listrik. Tetapi di negara-negara maju terutama Amerika Serikat, telah banyak publisitas tentang kehidupan akuatik yang terancam karena pembangkit-pembangkit tersebut. Biasanya untuk sistim "once through cooling" di sungai dibutuhkan perbedaan suhu antara "inlet" dan "outlet" sebesar 3 - 5°F (1,6 - 2,6°C) dalam merencanakan suatu pembangkit listrik. Tetapi bagi pembangkit-pembangkit listrik yang sudah tua perbedaan itu dapat mencapai 20°F (11°C) (CALLOW 1975).

Dipandang dari segi penyelamatan lingkungan akuatik, bentuk-bentuk sistim "once through water cooling" yang dianjurkan hendaknya memenuhi kriteria sbb. :

(PRITCHARD & CARTER 1972) :

1. Dari segi kehidupan biota laut :

- a. Mengingat akan selalu ada biota yang terbawa air pendingin melalui kondensator yang akan mengalami kenaikan suhu dalam kondensator, maka hendaknya kondensator dibuat sependek mungkin.

- b. Air panas buangan yang mengandung biota tersebut hendaknya mengalami pendinginan secepat mungkin.
- c. Pemberian biocida ke dalam air pendingin untuk pemberantasan binatang pengotor hendaknya seminimal mungkin.
- d. Daerah dasar perairan yang dilewati massa air panas yang dapat membunuh biota bentik hendaknya dibuat sesempit mungkin.
- e. Kecepatan arus air pendingin ke pipa penghisap supaya serendah mungkin agar biota yang bergerak bebas seperti ikan-ikan, kepiting dan sebagainya tidak terhisap dan harus dihindarkan menjauhi pipa penghisap.

2. Kriteria pemilihan lokasi :

- a. PLTN harus ditempatkan di perairan yang mempunyai kapasitas pengenceran potensiil yang besar. Setidak-tidaknya jumlah air yang diperlukan untuk pengenceran setiap waktu paling sedikit 5 kali volume air panas buangan dalam waktu yang sama.
- b. Perairan sekitar dibangunnya PLTN harus mempunyai kedalaman lebih besar dari ketebalan lapisan massa air panas yang dibuang. Ini untuk membatasi sekecil mungkin pengaruh air panas tersebut terhadap biota dasar.
- c. Struktur saluran pembuangan hendaknya dibuat sedemikian rupa agar menghasilkan semprotan air buangan dengan kecepatan tinggi. Ini dimaksudkan untuk mempercepat pengenceran. Dianjurkan supaya pipa buangan dipasang di bawah laut untuk menghindari gangguan terhadap alur pelayaran.
- d. Untuk menghindari pengaruh proses pasang surut, tekanan angin gaya-gaya alam lainnya yang menyebabkan terjadinya arus sepanjang pantai, yang dapat mengurangi daya pengencer perairan, perlu dibuat pipa pembuangan yang menjorok jauh ke laut untuk mendapatkan kapasitas pengenceran perairan lebih besar. Pipa itu harus dipendam di dasar perairan kecuali mulut pembuangan.
- e. Waktu yang digunakan oleh air panas dari kondensor ke titik pembuangan supaya sependek mungkin. Jangan membuat kanal yang panjang dengan aliran air yang perlahan-lahan. Ini dapat membunuh plankton dan menjebak ikan-ikan ke dalam kanal yang mengandung biocida dan air panas.

BEBERAPA BAHAN PERTIMBANGAN

Persoalan pencemaran air panas dilingkungan akuatik pantai oleh pembangkit tenaga listrik dan pencegahannya sangat majemuk. PLTN, disamping mempunyai keuntungan-keuntungan yang lebih dari PLT-PLT biasa, seperti tidak adanya pencemaran udara secara umum dan penggunaan areal tanah yang lebih kecil, tetapi mempunyai kelemahan-kelemahan dan menimbulkan masalah lingkungan yang mungkin lebih besar. Antaranya ialah biaya yang lebih mahal, kemungkinan-kemungkinan timbulnya bahaya radiasi dan dalam kaitannya dengan pencemaran panas, PLTN ini mempunyai efisiensi termik yang rendah, sehingga menghasilkan panas buangan yang lebih besar pada satuan output listrik yang sama daripada PLTU. Sebagai contoh dapat diberikan tentang perbandingan panas melalui air pendingin sebagai berikut :

PLTU : 1512 kcal/kWh (6000 Btu/kWh)
PLTN : 2520 kcal/kWh (10000 Btu/kWh) (MARTONO 1975)

Bila lokasi PLTN akan diletakkan di suatu ekosistem pantai disamping persyaratan-persyaratan teknik yang telah diuraikan diatas, maka perlu diperhatikan hal-hal berikut :

- a. Sifat alami dari lautan tropik yang selalu bersuhu tinggi sehingga adanya pemisahan abadi lapisan air atas kurang subur dengan lapisan bawah yang sangat subur mengakibatkan bahwa laut yang dangkal merupakan suatu daerah yang subur. Tak terkecuali pantai utara P. Jawa yang landai dan dangkal yang akan dapat mendukung usaha intensifikasi perikanan dan budidaya bagi peningkatan sumber protein. hewani yang murah.
- b. Adanya pengaruh angin musim di Indonesia yang selalu berganti arah setiap enam bulan menyebabkan sulitnya menetapkan arah yang harus diperhatikan didalam membuang bahan buangan ke suatu ekosistem pantai.
- c. Perlu diperhatikan tipe endapan, batuan dasar dan komposisi masyarakat biota dari daerah dimana akan dibangun PLTN agar dapat dibatasi pada kerugian-kerugian ekologis yang sekecil-kecilnya.
- d. Mengingat majemuk dan sulitnya permasalahan yang dihadapi, maka disarankan agar kegiatan penelitian lingkungan pantai baik yang bersifat base-line study maupun yang bersifat umum dijadikan bagian yang integral dari seluruh perencanaan pembangunan PLTN. Dan karenanya perlu dijamin penyediaan tenaga peneliti, peralatan dan biaya yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- BAIQUNI, A. dan B. SUDARSONO, 1974. - Pola pengembangan enersi nasional dilihat dari segi tenaga nuklir - Kertas Kerja pada Seminar Energi Nasional, Jakarta : 1 - 15.
- CALLOW, J.A. 1975. - Relationships between energy resources and the environment dalam : Course on environmental aspects of development - UN. IAEA D.P. 75/EAD/1.15(c) : 1 - 16
- CARTER, H.H. 1968 - The distribution of excess temperature from a heated discharge in an estuary - Technical Report, Chesapeake Bay Inst. The Johns Hopkins Univ., Technical Report 44 : 1 - 39.
- CARTER, H.H. 1972 - Design and siting criteria for once-through cooling system based on a first order thermal plume model - Chesapeake Bay Institute, The Johns Hopkins University, Technical Report 75 : 1 - 51
- CARTER, H.H. 1973 - The distribution of excess temperature from the Morgantown Generating station on the Potomac Estuary - Chesapeake Bay Institute, The John Hopkins University, Technical Report 84 : 1 - 90
- COURANT, C.C. & H.A. PFUDERER 1974 - Thermal effects - J. WPCP 46(6) : 1476 - 1541
- FERGUSON WOOD, E.J. & J.C. ZIEMAN 1969 - The effects of temperature on estuarine plant communities - Chesapeake Science 10 (3 & 4) : 172 - 174.

- GOLDNER, D.R. 1973 - The effect of some DDT and methoxychlor analogs on temperature selection and detality in Brook trout fingerlings. - Pestic. Bochem. Physiol. 2 : 437 (lihat no. 6)
- MARTONO, I.A. 1975 - Kemungkinan pencemaran karena pembangkitan tenaga listrik di Jakarta - Publ. Lembaga Masalah Ketenagaan 05-ER-75 : 1 - 19, 1 - 6; 7 lampiran.
- MC CAIN, J.C. & J.M. PECK Jr. 1973 - The effects of a Hawaiian power plant on the distribution and abundance of reef fishes - UNIHI - Seagrant - AR - 73; NOAA, 730 80104. Univ. Hawaii, Honolulu. (lihat no. 6)
- MOORE, H.B. 1958 - Marine Ecology - John Wiley & Sons Inc. London : 1 - 493
- SOEGIARTO, A. 1974 - Beberapa catatan tentang pencemaran air panas berasal dari PLTU - PLTN - Pewarta Oceana, tahun 1 No. 8 : 1 - 4
- SOEGIARTO, A. 1975 - Kemungkinan pencemaran lingkungan suatu masalah yang perlu diperhatikan didalam pemilihan lokasi pembangkit tenaga listrik tenaga nuklir Kertas Kerja pada Lokakarya Pemilihan Lokasi PLTN Karangates : 1 - 14.

LEMBAGA OSEANOLOGI NASIONAL
L I P I

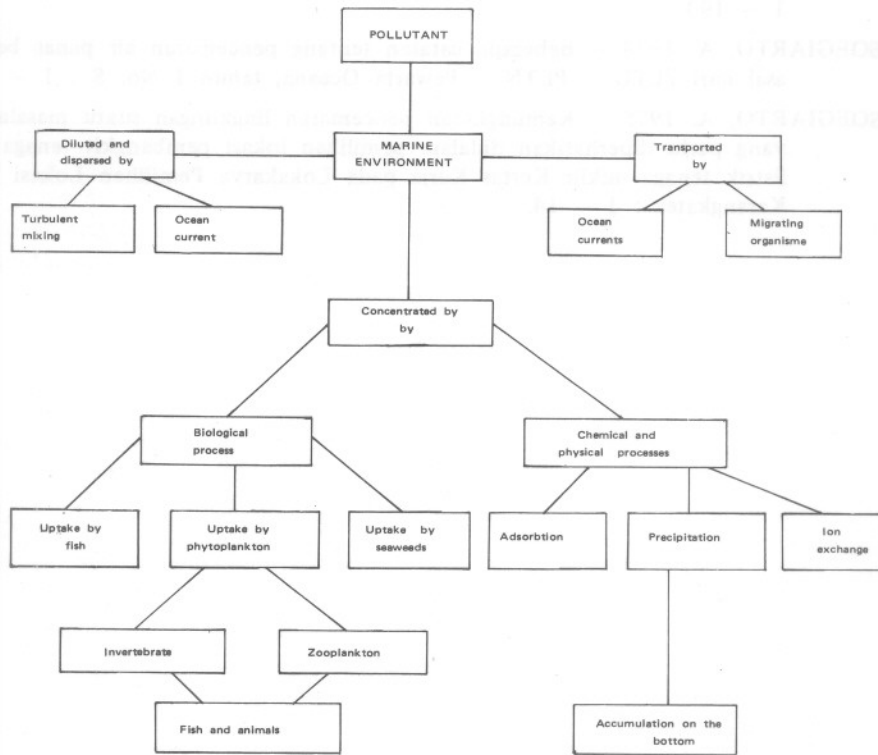


Fig. 1 The various process which determine the fate distribution of a pollutant added to the marine environment.

KOMENTAR :

A. Arismunandar.

1. Komentar ini bersifat umum dan ditujukan kepada semua pemrasaran masalah-masalah lingkungan dalam Sidang III.
2. Saya berpendapat bahwa kita harus melihat masalah pencemaran lingkungan PLTN dalam kaitan (context) dan sebagai bagian dari kebijaksanaan (policy) senergi nasional. Pendapat ini didasarkan atas posisi Delegasi RI ke UN Conference on the Environment (Stockholm, 1972) yang pada pokoknya menyatakan bahwa pencemaran lingkungan negara berkembang terutama disebabkan oleh kemelaratannya. Karena itu, bila kebijaksanaan energi nasional ditujukan terutama untuk meningkatkan derajat hidup rakyat melalui pengadaan energi yang cukup dan harga yang terjangkau oleh rakyat, maka kebijaksanaan energi ini harus didahulukan terhadap kebijaksanaan lingkungan instalasi energi (cq. PLTN).
3. Pendapat tersebut di atas juga didasarkan atas kenyataan bahwa setiap usaha untuk menghilangkan atau mengurangi pencemaran selalu membawa akibat bertambahnya biaya investasi di Jepang 10 – 20% Kenaikan biaya investasi ini mengakibatkan kenaikan harga jual energi. Sebagai negara berkembang yang sumber dananya terbatas, kita perlu mempertimbangkan untung-rugi usaha penghilangan pencemaran itu secara nasional.

JAWABAN :

Kasijan Romimohtarto.

Di Indonesia masalah pencemaran sudah menjadi perhatian nasional seperti dapat dilihat dari Seminar-seminar pencemaran yang telah dan yang akan diadakan.

Saudara perhatikan perkembangan industri di DKI dimasa datang perkembangan inipun akan merupakan sumber pencemaran disamping kemiskinan.

Pembangunan PLTN untuk menaikkan taraf hidup rakyat secara menyeluruh (di negara berkembang) belum saya lihat contohnya, tetapi pencemaran panas lingkungan akuatik karena PLTN ada publisitasnya walaupun mungkin kecil artinya. Jadi masalah pencemaran (lingkungan akuatik) perlu diperhatikan. Sebab saya rasa masalah inipun termasuk dalam setiap perimbangan pembangunan PLTN di Amerika.

Perlu pendapat pembicara lain.

KOMENTAR :

Andini Martono.

- a. Dalam anjuran-anjuran sistim "once through cooling" hal 8-9, kriteria-kriteria ada yang bertentangan satu sama lain :
 - 1 a. kondensor dibuat sependek mungkin.
 - 1 e. kecepatan arus air pendingin ke pipa pengisap supaya serendah mungkin.

Kondensor yang makin pendek mengakibatkan air pendingin harus makin banyak bila temperatur dibatasi, sehingga kecepatan masuk air pendingin harus lebih besar.

- 1 d. Daerah dasar perairan yang dilewati massa air panas yang dapat membunuh biota bentik hendaknya dibuat sesempit mungkin.
- 2 d. Pipa pembuangan yang menjorok jauh ke laut yang harus dipendam di dasar perairan kecuali mulut pembuangan.

Air pendingin umumnya diisap dari lapisan bawah yang dingin dan dibuang dilapisan atas (sesuai 1 d.).

- b. Indonesia mempunyai garis pantai yang sangat panjang, tidak seperti USA atau Eropa, maka mestinya kami punya banyak pilihan untuk lokasi PLTN, % garis pantai yang mungkin tercemar sangat sedikit.
- c. Cooling tower selain biayanya mahal juga mengakibatkan penguapan 2%, Mengingat Indonesia punya kelembaban 70 - 90% (Jakarta) penambahan uap air itu bila dekat kota besar akan menambah payah pencemaran udara karena SO_2 , NO_x , CO dan lain-lain.

JAWABAN :

Kasijan Romimohtarto.

- a). Kriteria-kriteria yang diberikan harus dipandang dari beberapa segi yang berbeda misalnya yang menyangkut biota yang mungkin terisap atau plankton yang terbawa oleh air pendingin dan sebagainya. Jadi kriteria-kriteria tersebut sifatnya alternatif. Tidak keseluruhannya harus dipenuhi.
- b). Kita harus melihat jauh kedepan mengenai perkembangan penduduk di Jawa (dimana terdapat lokasi-lokasi PLTN yang dipilih). Ada kemungkinan daerah pantai sepanjang pulau ini akan menjadi perhatian untuk kepentingan permukiman sumber perikanan atau pariwisata.

KOMENTAR :

Ir. Martias Nurdin

1. Pernyataan hal perubahan viskositas pada hal 1, kurang tepat (paling-paling untuk hal khusus dan kondisi).
2. Perhitungan pada hal 3 bagian bawah saya kira salah — mohon penjelasan.
3. Ada pernyataan dari Paper Jerman Barat dan Negeri Belanda bahwa Δt boleh saja $10^0 - 15^0C$; dapatlah kiranya memberikan tanggapan/penjelasan.
4. Kriteria pemilihan lokasi, mengenai penyediaan air pengencer 5 x dari air buangan ini tidak berdasarkan sama sekali. Secara besar air pengencer sama dengan air buangan sudah menurunkan Δt menjadi separonya.
5. Sebagaimana saudara ketahui bahwa kecepatan arus air laut cukup besar (8 m/det - 16 m/det) jelas merupakan alat pembawa dan pemindahan yang baik sekali, Pertanyaan saya : kenapa paper saudara tidak menjelaskan adanya data-data -perhitungan tersebut.
6. Terima kasih.

JAWABAN :

Kasijan R.

1. Hanya untuk ilustrasi peranan suhu sebagai faktor lingkungan akuatik yang penting.

- 2, Terima kasih atas koreksi.
3. Perlu dijelaskan untuk lingkungan perairan tropik atau daerah sedang. Sudah dijelaskan bahwa umumnya biota laut tropik hidup dekat sekali pada batas suhu lethal teratas. Perlu hati-hati kalau kita ingin berurusan dengan sesuatu jenis biota komersil.
4. Tergantung dari tingginya suhu air buangan dan jenis biota yang diselamatkan. Kriteria di atas untuk lingkungan dan jenis biota tertentu. Perlu diteliti pendapat saudara.
5. Walaupun ada data arus di beberapa bagian laut di Indonesia tapi yang berkaitan dengan masalah pencemaran atau yang dikaitkan dengan masalah itu belum ada.

PERTANYAAN :

Ir Bakri Arbie.

1. Apakah saudara/LON mempunyai data temperatur maximum dan minimum baik di pantai maupun di laut Jawa ?
2. Saya pernah membaca suatu studi di Swedia (Symp. Containment & Siting IAEA 1967) dimana pembangkitan listrik sebesar 5000 MWc akan menaikkan temperatur-temperatur air sungai 3°C (maximum). Maksud pertanyaan saya adalah seandainya kenaikan temperatur karena adanya Pembangkit masih berada dibawah range temperatur maximum dan minimum maka pencemaran termis relatif bisa diabaikan.

JAWABAN :

Kasijan Romimohtarto.

1. Sudah disebutkan bahwa suhu rata-rata perairan bebas di Indonesia ± 27–29°C dan perairan pantai ± 27 – 31°C. Tapi tidak berarti bahwa tidak ada suatu bagain perairan tertentu yang suhu airnya diluar batas tersebut. Sebagai contoh kuhangan (pool) di pantai pasir dapat bersuhu sampai 38°C.
2. Seperti disebutkan, umumnya biota akuatik di daerah sedang tahan terhadap perubahan suhu yang besar, karenanya apa yang telah saudara baca mungkin benar. Tapi untuk daerah tropik dimana umumnya biota-biota akuatik hidup pada kisaran suhu yang kecil maka hal diatas perlu ditinjau kebenarannya.

PERTANYAAN :

Mulyono.

Di pantai Utara Jawa, terutama sepanjang pantai antara Jawa – Lasem, penduduk mengusahakan penggaraman rakyat (pembuatan garam). Bagaimanakah pengaruh air panas hasil pembuangan atas pembuatan garam tersebut ?

JAWABAN :

Kasijan Romimohtarto.

Hal ini tidak terpikirkan oleh saya. Tetapi kalau yang digunakan adalah air panas buangan PLT–PLT harus diperhatikan hal-hal berikut :

- a. Biasanya air buangan itu mengandung biocida (zat kimia pembunuh binatang pengotor) yang mungkin beracun.
- b. Dari PLTN mengandung radioaktif.

PERTANYAAN :

S. Kiamadibrata.

Pada hal 6 disebutkan bahwa pengaruh panas dapat mencapai ± 400 m dari Sentral. Apakah hal ini benar-benar hanya karena panas atau karena penggunaan bahan kimia (mis. chlorine) yang biasa dipakai untuk membunuh binatang karang pada PLTU-V untuk tidak membantu kondensernya.

JAWABAN :

Kasijan Romimohtarto.

Dalam pustaka yang berisi hal tersebut disebutkan oleh kenaikan suhu. Ini didasarkan atas sifat dari kerusakan jaringan tumbuh-tumbuhan tersebut yang hanya dapat diakibatkan oleh suhu.
(Kami persilahkan membaca pustaka no. 7 dari kertas kerja kami)