

**PRAKIRAAN DAMPAK PLTN TERUTAMA LIMBAH TERMAL
TERHADAP EKOSISTEM LAUT**

Heni Susiati, Yarianto S. Budi Susilo *)

ABSTRAK

PRAKIRAAN DAMPAK PLTN TERUTAMA LIMBAH TERMAL TERHADAP EKOSISTEM LAUT. Sistem PLTN tipe air ringan seperti halnya PLTU yang berbahan bakar fosil menggunakan air sebagai cairan kerja (air pendingin) dan pada tahap operasional akan mengeluarkan buangan limbah panas ke lingkungan akuatik di sekitar PLT tersebut mengingat keberadaan PLTN sebagian besar berada di pantai, buangan limbah panas ini perlu dianalisis bagaimana pengaruhnya terhadap ekosistem laut dangkal. Identifikasi cara pengontrolan buangan limbah perlu dilakukan. Diharapkan pengelolaan dan pengembangan di wilayah pesisir dan lautan serta kelestarian fungsi lingkungan hidup di sekitar tapak proyek PLTN dapat diidentifikasi sehingga efek-efek negatif yang akan berpengaruh terhadap ekosistem akuatik dapat dihindari.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF NPPs IMPACT TO THE MARINE ECOSYSTEM ESPECIALLY THERMAL WASTE. Light Water Reactor type, similar to fossil power plant, uses water as working fluid. At operational stage, NPP produce thermal waste to the aquatic environmental surrounding the NPP. Considering that NPPs are mostly located at coastal area therefore the effects of thermal waste to marine ecosystem need to be analysed. Waste discharge control should be identified. It is expected that environmental management and development of coastal and marine area surrounding the NPP would be identified such that the negative effect to the aquatic ecosystem can be avoided.

*) Pusat Pengkajian Energi Nuklir

1. PENDAHULUAN

Prakiraan dampak terhadap lingkungan merupakan salah satu kegiatan penting dalam studi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), karena merupakan proses untuk menduga besarnya dampak suatu kegiatan proyek terhadap lingkungan. Kegiatan tersebut dimulai dari saat studi awal yang digunakan untuk mendapatkan gambaran rona lingkungan awal di daerah calon tapak proyek. Berdasarkan informasi awal ini dan informasi tentang jenis kegiatan proyek (yang akan dan sedang berlangsung) diidentifikasi komponen lingkungan yang akan terkena dampak, intensitas dan arah dampak yang sedang atau akan terjadi dan apakah sifatnya dapat balik secara alamiah atau tidak. Dalam proses kegiatan ini juga harus dapat dirumuskan parameter berkaitan dengan masing-masing komponen yang akan terpengaruh oleh perubahan-perubahan yang dianalisis.

Seperti halnya PLTU yang berbahan bakar fosil, PLTN berbahan bakar uranium menggunakan tenaga uap sebagai penggerak utama turbin guna menghasilkan tenaga listrik. Sistem ini bekerja dengan menggunakan air sebagai cairan kerja (air pendingin), dimana tugas utama air pendingin ini hanyalah mengambil kalor dari kondensor sehingga air pendingin tersebut mengalami kenaikan suhu. Jadi pada tahap operasional PLTN ini akan mengeluarkan buangan limbah panas. Sehubungan dengan volume air yang diperlukan relatif besar dan terus menerus, maka lambat laun proses ini akan mempengaruhi lingkungan akuatik di sekitar PLTN tersebut.

Prakiraan perubahan komunitas bahari oleh limbah panas mungkin terjadi terutama di sekitar muara saluran pembuangan karena organisme tropis hidup pada suhu tertentu. Faktor lainnya adalah kebanyakan ikan dan invertebrata memiliki toleransi suhu yang sempit dan akan memperkecil kelulushidupan (*survival*) bagi biota bila menghadapi perubahan suhu mendadak di bawah atau di atas batas ambang. Disamping juga dapat menghambat pertumbuhan atau bahkan mematikan binatang karang, dan ini banyak terjadi di perairan yang dekat dengan PLTN atau PLT fosil lainnya.

Dalam menghadapi berbagai masalah pengelolaan dan pengembangan di wilayah pesisir dan lautan serta kelestarian fungsi lingkungan hidup di sekitar tapak proyek PLTN, parameter-parameter kelautan (seperti keadaan/musim Monsoon, sifat massa air laut, pasang surut, arus, dan gelombang) perlu diperhatikan karena pengaruhnya yang selalu bergerak sesuai waktu dan ruang terhadap ekosistem lingkungan laut, seperti : hutan mangrove (bakau), terumbu karang, rumput laut, estuaria, yang memiliki keunikan dan menunjang adanya kelestarian sumber daya alam.

Makalah ini merupakan uraian mengenai prakiraan dampak limbah panas PLTN terhadap ekosistem perairan. Diuraikan pula mengenai fungsi dan manfaat beberapa ekosistem perairan dan pengontrolan terhadap limbah panas tersebut. Sistematika uraian makalah ini akan diawali dengan uraian tentang polusi termal PLTN, tingkat kebutuhan air untuk pendingin,

pengontrolan polusi panas, identifikasi komponen ekosistem laut yang mungkin terpengaruh oleh polusi termal PLTN, dan perumusan parameter-parameternya.

2. EKOSISTEM LAUT DANGKAL KRITIS

Keberadaan PLTN yang sebagian besar berada di pantai mempunyai potensi untuk menyumbang penambahan panas di perairan laut di sekitarnya yang dipakai sebagai sumber pendingin. Oleh karena itu dampak yang diakibatkan oleh limbah PLTN tersebut akan berpengaruh terhadap ekosistem laut dangkal seperti estuaria, mangrove, terumbu karang dan padang lamun maupun biota yang berasosiasi. Uraian selanjutnya adalah mengenai ekosistem laut dangkal kritis yang relevan dengan kasus pencemaran limbah PLTN.

▪ Estuaria

Estuaria adalah suatu perairan pantai yang semi tertutup dan mempunyai hubungan dengan laut terbuka. Estuaria sangat dipengaruhi oleh pasang surut dan biasanya sifat-sifat perairan pada sistem ini adalah khas, karena merupakan perairan campuran antara laut (asin) dan darat (tawar). Ditinjau dari kesuburan perairannya, estuaria merupakan ekosistem yang sangat produktif sehingga cenderung memiliki produktivitas hayati yang lebih tinggi daripada perairan bahari yang membekalinya dengan air laut dan perairan tawar yang membekalinya dengan air tawar. Pertemuan arus (antara arus laut dan darat) menyebabkan terperangkapnya unsur-unsur hara di daerah tersebut. Ini biasanya menyebabkan tumbuh suburnya phytoplakton dan hewan-hewan lainnya, seperti ikan dan udang. Oleh karena itu, sistem perairan estuaria seringkali dilindungi dari kerusakannya. Pada umumnya kondisi dari estuaria itu sangat erat dipengaruhi oleh beberapa kriteria antara lain : jumlah buangan air tawar (dalam hal ini limbah dari suatu PLT) dan curah hujan yang terakumulasi pada sebuah sungai. Jadi bila buangan air tawar tersebut melebihi ambang batas yang diijinkan tentunya akan sangat mempengaruhi kondisi estuaria tersebut termasuk organisme yang berada di lingkungan estuaria tersebut, lebih fatalnya akan merusak sebagian dari organisme yang ada. Sebagai upaya perlindungan kemungkinan akan dampak yang terjadi dari buangan limbah panas PLTN di dalam penyajian rona awal lingkungan harus diobservasi mengenai perilaku suhu, volume dan karakteristik dari makhluk yang ada di daerah estuaria tersebut di lingkungan perairan di calon tapak lokasi PLTN tersebut.

▪ Mangrove

Mangrove dapat diartikan sebagai komunitas tumbuhan hutan yang tahan terhadap kadar garam dimana segala tumbuhan dalam hutan tersebut saling berinteraksi dengan lingkungannya, baik yang bersifat biotik maupun abiotik. Karena pohon yang umumnya tumbuh di daerah mangrove adalah tumbuhan bakau, maka mangrove dikenal

dengan hutan bakau. Seperti sistem estuaria, hutan mangrove juga merupakan sistem di pantai dan diketahui juga mempunyai produksi hayati yang tinggi. Daun yang gugur ke dalam air menghasilkan unsur hara atau pupuk bagi phytoplankton di sini, sehingga menyebabkan produktivitas di perairan tersebut tinggi. Ekosistem Mangrove dikenal berfungsi sebagai tempat asuhan (*nursery ground*) bagi berbagai jenis hewan akuatik yang mempunyai nilai ekonomi penting seperti ikan, udang dan kerang dan pembesaran atau mencari makan (*feeding ground*) dari beberapa ikan atau hewan-hewan tertentu. Tingginya produktivitas primer di daerah mangrove memungkinkan hewan-hewan pemanfaatnya dapat tumbuh dan berkembang di wilayah hutan mangrove. Selain organisme perairan, seperti ikan, udang, kepiting, kerang dan lainnya, baik yang menetap atau keluar masuk bersama arus pasang surut, di mangrove juga terdapat hewan-hewan darat yang hidup di situ. Beragamnya jenis biota dalam berbagai tingkatan trofik menyebabkan semakin rumitnya rantai dan jaring-jaring makanan yang ada di sistem hutan mangrove. Karenanya dalam pemanfaatan dan pengelolaan lingkungan mangrove perlu diperhatikan semua komponen kehidupan yang ada di sini. Walaupun sistem hutan mangrove diketahui mempunyai kemampuan adaptasi fisiologis yang cukup baik, akan tetapi beberapa faktor diketahui mempengaruhi kelangsungan hidup sistem ini. Besar kisaran arus pasang dan frekuensinya diketahui merupakan faktor yang penting menentukan kehidupan di hutan mangrove. Kisaran tinggi-rendahnya pasang dan waktu tergenangnya air laut di mangrove yang cukup lama akan mempengaruhi kehidupan di dalamnya.

- **Terumbu Karang**

Terumbu karang (*coral reef*) merupakan sub-sistem pantai atau laut dangkal di daerah tropis dan umumnya ditandai dengan menonjolnya kekayaan jenis biota yang berasosiasi. Perpaduan antara berbagai kehidupan di dalamnya memberikan nilai ekonomi, nilai ilmiah dan estetika yang tinggi. Terumbu karang sebagai sistem juga memproduksi kebutuhan pokok di lingkungan sistem pantai. Sel phytoplankton yang ada di lingkungan ini akan mengkonversi energi cahaya dan CO₂ ke dalam bentuk bahan organik yang dapat menangkap energi matahari dan akhirnya ini akan menjadi sumber makanan bagi phytoplankton itu sendiri dan hewan-hewan lainnya.

Beberapa faktor yang diketahui dapat mempengaruhi kehidupan karang (*reef corals*) adalah cahaya matahari, sedimen, suhu dan salinitas. Oleh karena binatang karang bersimbiose dengan tumbuhan atau jenis ganggang (*zooxanthellae*), maka peran kecerahan air (cahaya matahari) di daerah tersebut adalah penting sekali. Sedimen selain berpengaruh tidak langsung (menggangu penetrasi cahaya), juga dapat berpengaruh langsung terhadap kehidupan karang. Suhu air yang baik untuk kehidupan karang adalah berkisar antara 25 - 29°C. Sedangkan salinitas yang baik adalah sekitar 35 permil, walaupun beberapa jenis dapat hidup pada salinitas di bawah 20 permil dan di atas 70 permil. Dalam ekosistem terumbu karang, peranan karang batu sangat menonjol. Apabila

terumbu karang mengalami kerusakan, maka keseimbangan ekosistem akan terganggu pula. Terumbu karang sebagai penyedia makanan bagi biota-biota laut, apabila mengalami kerusakan, maka aliran energi akan terganggu, atau bahkan dapat memutus rantai makanan. Ikan atau biota laut yang hidupnya sangat bergantung pada terumbu karang akan mengalami pengurangan jumlah populasi yang dramatis. Pengaruhnya pada keanekaragaman-hayati sangat luar biasa. Banyak spesies yang jumlahnya sangat sedikit akan sirna karena tak ada aliran energi. Dampak ini akan berantai sampai pada karnivora yang lebih besar. Dari keterangan tersebut sebelumnya bila limbah panas PLTN tersebut dibuang langsung ke laut akan menyebabkan kenaikan suhu $\pm 11^{\circ}\text{C}$. Tentunya hal ini akan sangat mempengaruhi terumbu karang, akan tetapi dengan pengontrolan limbah air hangat yang biasa dilakukan pada suatu PLTN (dengan membangun *cooling tower*) kemungkinan dampak tersebut dapat dihindari.

▪ **Padang Lamun (*Seagrass bed*)**

Padang lamun merupakan suatu sistem yang terletak di daerah pantai atau perairan laut dangkal. Arus pasang surut dan gelombang banyak mensuplai unsur hara ke dalam sistem ini, yang menyebabkan padang lamun menjadi sangat produktif. Adapun pendukung produktivitas primer selain daripada *algae* atau *Seagrass* itu sendiri, juga organisme *phytoplankton* yang menempel yang disebut *epiphyte*. Sedangkan sebagai konsumen umumnya adalah *polychaeta* dan *moluska* (kerang-kerangan) yang bertindak sebagai herbivora dan *dekapoda* (kepiting) bertindak sebagai karnivora.

Berdasarkan keterangan di atas terlihat bahwa sistem *Seagrass* mempunyai potensi yang cukup besar dalam menunjang produksi perairan pantai, yaitu antara lain :

- a) *Seagrass* mempunyai daya untuk menangkap (*trapped*) sedimen, menstabilkan substrat dasar, dan menjernihkan air;
- b) *Seagrass* sebagai sistem tumbuhan merupakan sumber produktivitas primer, yang mana diketahui mempunyai nilai produksi yang cukup tinggi, yaitu dapat mencapai $1 \text{ kgc/m}^2/\text{th}$;
- c) *Seagrass* merupakan sumber makanan langsung bagi kebanyakan hewan;
- d) *Seagrass* merupakan habitat yang baik bagi beberapa jenis hewan air;
- e) *Seagrass* merupakan substrat bagi organisme (*phytoplankton*) yang menempel;
- f) *Seagrass* mempunyai kemampuan yang baik untuk memindahkan unsur-unsur hara terlarut di perairan yang ada di permukaan sedimen; dan
- g) Akar-akar dan rhizomas *Seagrass* mampu mengikat sedimen sehingga terhindar dari bahaya erosi.

Berdasarkan potensi tersebut *Seagrass* perlu dilindungi dari semua faktor yang mempengaruhi keberadaannya. Beberapa faktor pembatas *Seagrass* yang diketahui adalah cahaya matahari, suhu dan salinitas. Sebagai tumbuhan maka untuk fotosintesa membutuhkan cahaya matahari. Oleh karena itu peranan kejernihan air adalah sangat penting sekali.

Demikian pula suhu dan salinitas adalah berpengaruh sekali terhadap kehidupan *Seagrass*. Suhu dan salinitas yang optimum untuk pertumbuhan *Seagrass* adalah 28 - 30°C dan 24 - 35 permil. Seperti halnya keterangan pengontrolan buangan air hangat PLTN tersebut sebelumnya seperti keterangan pada terumbu karang, hal ini juga akan berlaku untuk ekosistem *Seagrass*. Untuk mencegah kemungkinan terjadinya dampak terhadap ekosistem tersebut, dalam kegiatan rona awal pada studi AMDAL harus diobservasi karakteristik dari ekosistem *Seagrass* yang ada beserta makhluk penghuninya dan bagaimana perilakunya terhadap suhu ataupun salinitasnya.

3. PENGARUH DAMPAK PLTN TERHADAP EKOSISTEM AKUATIK

Masalah lingkungan laut dapat dilihat dari hubungan timbal balik antara dua sistem, yaitu sistem sumberdaya alam dan sistem pendaagunaannya. Daur pertama adalah daur sistem sumberdaya alam ke sistem pemanfaatan sumberdaya tersebut, misalnya adalah eksploitasi perikanan, pertambangan, zona pantai sebagai lahan permukiman, dan berbagai aspek lainnya; sedang daur kedua atau daur baliknya adalah limbah yang dibuang ke lingkungan alam dan pengubahan tatanan lingkungannya. Dampak dari proses ini adalah ketidakseimbangan daur proses energi atau keadaan lain, yang berbentuk pencemaran dan penurunan mutu lingkungan yang berupa kerusakan fungsi lingkungan. Pada saat ini beban lingkungan laut di wilayah pesisir dan lautan, lebih banyak berasal dari daratan di daerah pantai. Oleh sebab itu masalah lingkungan laut tidak dapat dipisahkan begitu saja dari usaha pengelolaan limbah yang dibuang secara langsung ke laut atau yang tidak langsung, yaitu yang berasal dari daratan ke laut, baik itu melalui perairan darat atau yang melalui udara sebagai "fall-out".

3.1. SUHU SEBAGAI FAKTOR LINGKUNGAN

Secara struktural ekosistem akuatik mempunyai media utama air. Air mempunyai kalor penguapan tinggi, dan kisaran suhu dalam suatu badan air lebih kecil daripada di udara. Sifat yang sangat penting dalam perairan adalah suhu, yang merupakan energi gerakan molekul, sehingga organisme air akan bersifat *poikiloterm* (suhu tubuh dipengaruhi suhu massa air sekitarnya) dan *homoioterm* (mempunyai kemampuan sendiri mengatur suhu tubuh). Suhu juga merupakan faktor pembatas terhadap sebaran biota dan mempengaruhi viskositas air. Di samping itu suhu juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen, kerapatan air laut, dan kenaikan salinitas menyebabkan kenaikan kerapatan, serta kerapatan menurun dengan meningkatnya suhu air laut. Mengingat hal-hal tersebut di atas, suhu merupakan faktor ekologi yang penting.

Suatu keuntungan dalam lingkungan hidup akuatik adalah tingginya panas jenis air, dimana air lambat menyerap panas dan lambat pula melepaskannya. Akibatnya suhu relatif konstan, jarang terjadi perubahan suhu yang sangat tajam. Panas jenis air yang tinggi

memungkinkan dipindahkannya kalor (panas) dalam jumlah besar lewat gerakan-gerakan massa air tanpa atau sedikit menaikkan suhu air. Kenyataan di alam menunjukkan bahwa kisaran suhu yang dapat ditoleransi oleh berbagai biota laut berbeda-beda. Banyak organisme laut mati pada suhu-suhu yang tidak banyak berbeda dengan suhu perairan dimana mereka hidup. Khususnya bagi organisme bahari wilayah tropik, titik maut termal mereka hanya beberapa derajat Celcius di atas suhu rata-rata perairan. Sebagai perbandingan dapat dikemukakan bahwa beberapa hewan kutub hidup 13° - 16° C di bawah titik maut termal. Akibatnya bagi organisme laut tropik ialah bahwa mereka peka sekali terhadap pencemaran termal.

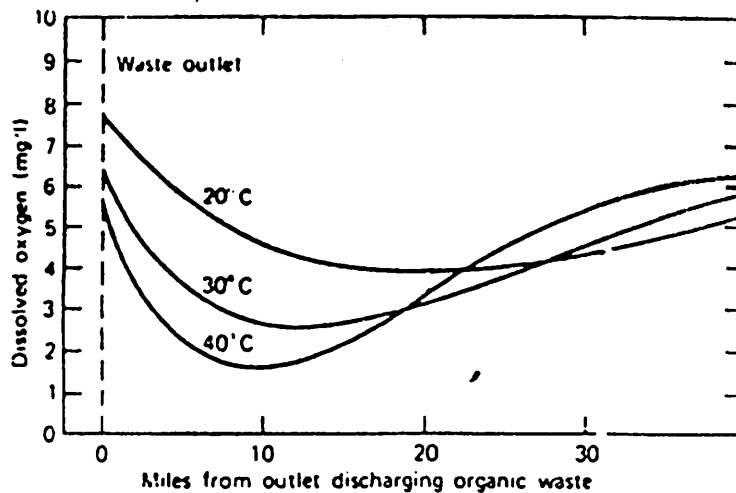
3.2 POLUSI PANAS PLTN

Suatu PLTN berdaya besar memerlukan $1500 \text{ ft}^3/\text{detik}$ air pendingin, dan ini besarnya setara dengan laju aliran air pada diameter 10 feet (diameter laju alir 15 miles/ jam). Air ini biasanya diperoleh dari danau atau laut yang masuk ke sistem pendingin reaktor, dimana suhunya akan naik sebesar 20°F , kemudian air hangat tersebut dikembalikan lagi ke sumbernya. Ada beberapa pertimbangan dilematis ketika limbah panas tersebut dikembalikan ke sumbernya, yaitu :

- Dalam batasan tertentu, dengan bertambahnya panas dapat meningkatkan perkembangan pertumbuhan ikan (kasus di Jepang yang suhu air laut lebih rendah),
- Akan tetapi bila pada waktu pembangkit tersebut *shutdown* sehingga menyebabkan suhu air kembali seperti semula, maka ikan-ikan tersebut yang sudah terbiasa di air hangat akan mati.

Banyak efek merusak ke asosiasi kehidupan akuatik, yaitu :

- Kenaikan laju metabolisme yang terjadi sejalan dengan kenaikan panas. Biasanya kenaikan 10°C (18°F) akan menghasilkan dua kali laju metabolisme yang terjadi. Dengan demikian karena proses organik, kebutuhan akan oksigen terlarutpun bertambah, sehingga pada waktu yang sama penurunan oksigen terlarut dalam air dengan naiknya suhu.
- Berkurangnya oksigen terlarut akan meningkatkan laju dekomposisi limbah melalui proses anaerob yang menghasilkan racun bagi biota. Hal ini menyebabkan dampak negatif biota akuatik. Dari Gambar 1 dapat terlihat hubungan antara oksigen terlarut dan suhu yang menggambarkan batas minimal adalah yang terendah dari oksigen terlarut yang dibutuhkan karena suhu yang tinggi.

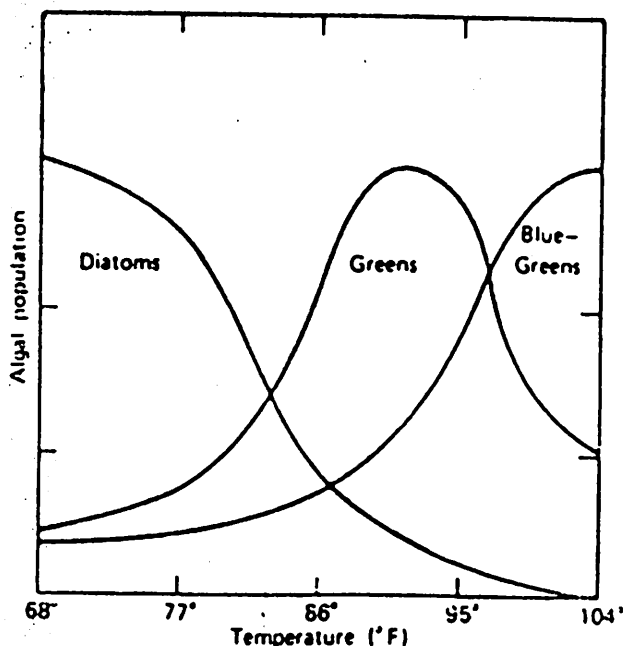


Gambar 1. Hubungan antara suhu dan profil oksigen.

Jadi hubungan antara kandungan oksigen terlarut, suhu, air, jarak dari outlet dapat digambarkan sebagai berikut :

- Pada jarak yang relatif dekat dengan outlet, semakin tinggi suhu air laut semakin rendah kelarutan oksigennya. Pada jarak yang relatif jauh (> 20 miles) oksigen terlarut relatif hampir sama untuk tiga variasi suhu outlet. Hal ini disebabkan telah terdispersinya panas, sehingga pada jarak > 20 miles, kenaikan suhu relatif tidak berbeda jauh. Hal ini dikarenakan aliran yang ada akan menghilangkan panas dari suhu yang tinggi lebih besar.
- Kenaikkan suhu air akan menyebabkan kemungkinan perubahan dalam komunitas organisme setempat. Sebagai contoh, pada Gambar 2, berbagai jenis *alga* yang kelimpahannya tergantung pada suhu. Populai *Diatoms* akan semakin berkurang dengan naiknya suhu. Jenis phitoplankton "*blue green*" populasinya akan semakin bertambah dengan naiknya suhu. Jadi dapat disimpulkan suatu PLT yang fenomenanya mengikuti beban yang naik turun, atau *shutdown* karena pemeliharaan akan berefek terhadap suhu air buangnya, dimana dengan berfluktuasinya beban maka suhu air juga akan mengalami kenaikan dan penurunan atau suhu air akan turun bila reaktor *shutdown*. Hal ini dapat merubah keseimbangan akuatik. Selain itu untuk memperkirakan pada batasan suhu berapa yang baik terhadap kehidupan akuatik juga sulit dilakukan, karena dalam lingkungan akuatik terdapat banyak jenis organisme dengan karakteristik yang berbeda-beda.

EPA membuat suatu batasan dimana batasan suhu air yang dikeluarkan tidak melebihi 90°F dengan toleransi kenaikan 5°F untuk aliran dan 3°F untuk danau. Untuk estuaria dan air laut kenaikan yang diizinkan tidak melebihi 40°F pada bulan September sampai Mei dan 15°F untuk bulan Agustus - April.



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap jenis phytoplankton. Lebih tinggi suhu menghasilkan *blue-green* yang lebih banyak.

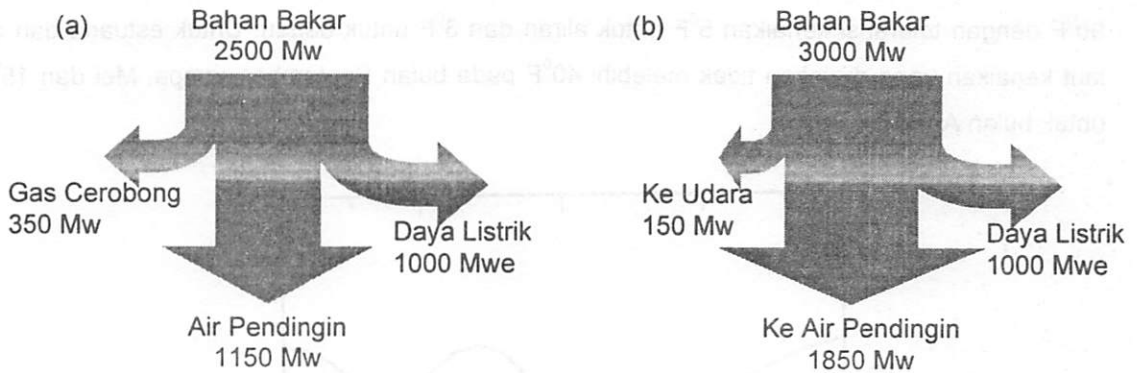
4. KEBUTUHAN AIR PENDINGIN

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa jumlah kebutuhan air pendingin yang dibutuhkan untuk membawa panas akan melebihi jumlah kebutuhan daripada yang dipakai untuk pemakaian lain. Oleh sebab itu air pendingin tersebut merupakan pertimbangan penting dalam penentuan tapak PLT baru. Marilah kita perhatikan perbandingan di bawah ini sebuah PLTU fosil berdaya 1000 MWe, dengan efisiensi operasi 40%, dan PLTN 1000 MWe dengan efisiensi 30%.

Untuk PLTU fosil, energi panas masukan 40% dikonversikan menjadi energi listrik, 10 - 15% hilang ke udara melalui cerobong dan boiler, sedangkan 40% dipindahkan ke air pendingin.

PLTN, energi panas masukan, diubah 33% ke dalam listrik, sedangkan 3 - 5% hilang ke udara, dan 62 - 64% ke air pendingin.

Dari Gambar 3 merupakan ilustrasi dari PLT tersebut, dimana aliran daya untuk PLTN 7% lebih rendah dari PLTU, dan ini akan memindahkan limbah termal sebanyak 60% ke air pendingin. Gambaran ini membuktikan PLTN lebih banyak membuang limbah panas yaitu sebanyak 1850 MW termal, sedangkan PLTU fosil hanya 1150 MW termal sebagai contoh (Gambar 3) PLTN 1000 MWe beroperasi pada daya penuh.



Gambar 3. Perbandingan antara pembangkit fosil dengan pembangkit nuklir dengan panas-hilang terhadap air pendingin dimana keduanya menghasilkan 1000 Mw daya listrik: (a) Fosil dengan efisiensi 40%; (b) Nuklir dengan efisiensi 33%

Perhitungan laju minimum air pendingin yang harus melalui kondensator dengan persyaratan kenaikan temperatur tidak melebihi 15°F adalah sebagai berikut : Air pendingin tersebut harus membawa 1850 MW termal $(1000 \times 1/33\%) \times 60\% = 3300 \times 6/10 = \pm 1850$ MW termal ini setara dengan $\approx 6,3 \times 10^9$ Btu/jam.

Dari definisi 1 Btu akan menaikkan suhu dari 1 lb air sebesar 1°F . Jadi untuk menaikkan 1 lb air karena suhu naik 15°F berarti membutuhkan panas 15 Btu. Oleh karena itu (limit kenaikan 15°F) memerlukan air pendingin $6,3 \times 10^9$ Btu/jam $\times 1/15$ (Btu/lb) = 420×10^6 lb/jam dikonversikan dalam ft^3 perdetiknya adalah 1850 cfs.

Hal yang menarik yang perlu dicatat adalah untuk kenaikan 15°F pada air pendingin, jumlah keluaran yang memenuhi aturan $1 \text{ ft}^3/\text{detik}$ diperlukan untuk setiap MW dari daya yang dipindahkan. Jadi jika PLTU fosil membutuhkan $1150 \text{ ft}^3/\text{detik}$ air pendingin, jika kenaikan suhu yang diinginkan 15°F berarti ini akan memindahkan 1150 MW panas.

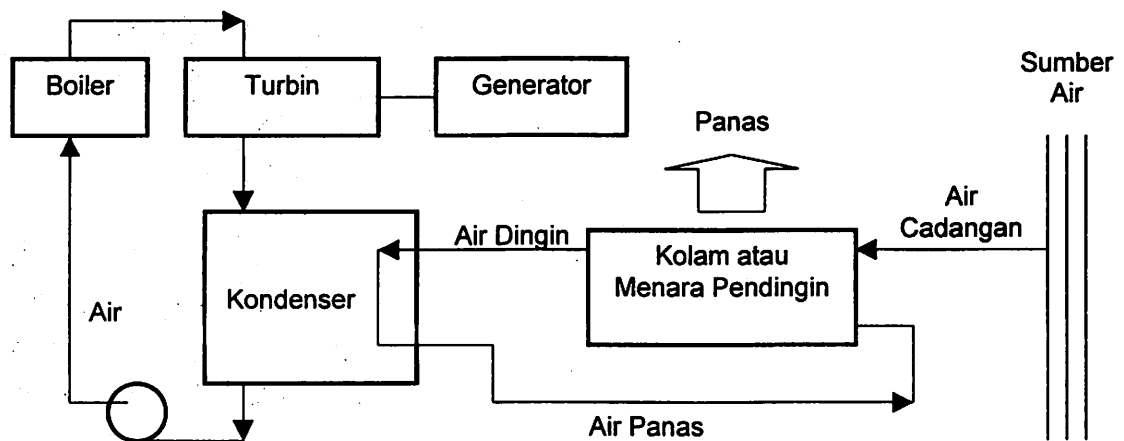
5. PENGONTROLAN POLUSI PANAS

Selama ini air yang dibutuhkan untuk sistem pendingin diambil dari sumber yang memenuhi syarat. Air tersebut dialirkan ke atau melalui kondensator dimana suhunya naik sebesar $10 - 30^{\circ}\text{F}$ dan ini akan dikembalikan ke badan air semula. Biasanya, gelombang aliran air panas tersebut memberi panas lebih tinggi ke atmosfer seperti sistem yang direferenkan sebagai daur tunggal pendingin. Hal ini menyebabkan perubahan yang tidak dapat diterima oleh lingkungan. Polutan termal tersebut sebenarnya dapat dikontrol melalui sistem penampungan air pendingin sebelum dibuang ke tempat semula atau dikembalikan ke kondensator (Gambar 4).

Pada umumnya tempat penampungan tersebut lebar dan besar dengan badan air yang dangkal sehingga dapat mendinginkan air karena penguapan air yang hangat dari kondensator

dipompakan ke dalam bak penampungan tersebut. Walaupun siklusnya tertutup, akan tetapi penambahan air baru tetap dibutuhkan, karena untuk menggantikan air yang hilang akibat penguapan.

Dari segi biaya, biasanya *cooling tower* tersebut tidak mahal, namun keberadaannya memerlukan lahan yang cukup luas $\approx 1 - 2$ acres untuk setiap 1 MWe PLT. Jadi PLT daya 1000 memerlukan 1000 - 2000 acres (1 acres = 4047 m²). Permasalahan yang sering muncul adalah diperlukannya lahan yang luas dan kelembaban yang rendah. Kadangkala air tersebut secara mekanis menyembrot ke udara untuk menambah pendinginan penguapan yang biasa disebut sumur semprot.



Gambar 4. Pengendalian polusi termal dengan memanfaatkan Kolam atau menara pendingin

6. KESIMPULAN

- Kenaikan suhu air secara terus menerus akan berpengaruh terhadap komunitas organisme setempat.
- Buangan limbah air pendingin dari suatu PLTN akan dikembalikan ke badan air semula dengan kenaikan suhu sekitar $\pm 10 - 30^{\circ}\text{F}$.
- Jenis-jenis ekosistem laut yang paling berpengaruh terhadap buangan limbah panas adalah hutan mangrove, terumbu karang, rumput laut dan estuaria.
- Dalam pengoperasian PLTN, pelepasan sumber-sumber potensial polutan ke badan air terutama terhadap panas dari buangan air pendingin kemungkinan tidak dapat dihindarkan. Namun demikian dengan perkembangan teknologi pengontrolan, efek-efek tersebut dapat dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

1. NEWJEC, Kerangka Acuan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (1996).
2. MASTERS, GILBERT M., Introduction to Environmental Science and Technology, John Wiley & Sons, New York (1974).
3. TJAHAJA, POPPY INTAN., PUJADI., SUPRI HARJONO., Pengkajian Dampak PLTN Terhadap Lingkungan: Pengaruh Kenaikan Suhu Air Laut Terhadap Populasi Plankton, (Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan), BATAN, Jakarta (1996).
4. SUPRIHARJONO., Kajian Sosio-Ekologis Dalam Rangka Pembangunan PLTN di Daerah Semenanjung Muria, Jepara., (Prosiding Seminar Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir II), BATAN, Jakarta (1994).
5. HUTOMO, MADIKUSWORO., dan ARINARDI, O.H., Dampak Pembangkit Tenaga Listrik Terhadap Ekosistem Akuatik, Oseana, Volume XVII, Jakarta (1990).