

DAMPAK SEGERA KECELAKAAN REAKTOR CHERNOBYL DAN HIKMAHNYA YANG DIPEROLEH

Kunto Wiharto dan Bunawas

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

REAKTOR CHERNOBYL

Reaktor pada instalasi daya nuklir Chernobyl adalah suatu sistem dengan pendingin air dingin dan mederator grafit yang dikenal sebagai RBMK-1000, kapasitas pembangkitan listrik terpasang masing-masing unit adalah 1000 MW. Setiap pasang reaktor pada fasilitas tersebut mempunyai ruang turbin/generator yang sama, yang berisi 4 turbo generator dan sistem sirkulasi yang terkait satu sama lain. Reaktor kembar terdapat pada gedung yang terpisah yang dihubungkan dengan unit pelayanan tersebut.

Matriks inti reaktor RBMK-1000 terdiri atas balok-balok grafit (250x250 mm, dan 600 mm tinggi) yang disusun sebagai silinder dengan diameter 12 m dan tinggi 7 m, dan terletak didalam ruangan kedap-bocor yang terbentuk dari suatu bungkus silindris. Suatu struktur dasar penyangga dan tutup diatas yang terbuat dari baja. Selain sebagai matriks grafit yang mampat yang membentuk reflektor radial, masing-masing balok mempunyai lubang di tengah yang memberi tempat untuk saluran bahan bakar atau batang penyerap. Terdapat 1661 saluran bahan bakar yang mengarah vertikal. Saluran bahan bakar dan batang kendali menembus struktur baja bawah dan atas dan dihubungkan dengan dua sistem pendingin yang terpisah di bawah dan di atas inti.

Bahan bakar berbentuk pelet UO_2 terbalut dalam alloy zirkonium-niobium. Delapan belas batang bahan bakar dengan panjang kurang lebih

3,5 m yang tersusun dalam kelompok-kelompok silindris, yang satu tersambung di atas yang lain, dan masing-masing terletak di dalam saluran bahan bakar. Penggantian bahan bakar dilakukan pada waktu reaktor bekerja dengan suatu mesin yang ada di atas inti reaktor. Satu atau dua saluran bahan bakar dapat diisi kembali setiap hari. Sistem pendingin terdiri atas dua “loop“. Pendingin masuk ke dalam saluran bahan bakar dari bawah pada suhu $270^{\circ}C$, menjadi panas pada waktu bergerak ke atas dan sebagian menguap. Kandungan massa uap pada lubang pelepasan pada inti adalah $\pm 14,5\%$ pada operasi daya penuh. Tekanan pelepasan dan suhunya masing-masing adalah 7 MPa (70 Bar) dan $284^{\circ}C$. Lebih kurang 95% dari energi dari reaksi fisi dipindahkan secara langsung kepada pendingin, 5% diserap di dalam moderator grafit dan sebagian besar kepada pendingin. Bagian energi fisi tersebut terakhir dipindahkan kepada saluran pendingin dengan cara konduksi yang mengakibatkan suhu di dalam grafit mencapai maksimum $\pm 700^{\circ}C$. Suatu campuran gas helium dan nitrogen mengakibatkan perbedaan konduksi antara baalok grafit dan memberi kendali secara kimiawi pada tabung-tabung grafit dan tekanan. Pada iradiasi bahan bakar yang seimbang, reaktor mempunyai koefisien reaktivitas “void“ yang positif, tetapi koefisien suhu bahan bakar negatif dan efek bersih suatu perubahan daya bergantung pada taraf daya. Pada kondisi operasi normal, koefisien dayanya negatif pada taraf daya penuh, dan menjadi positif di bawah $\pm 20\%$ daya penuh.

Oleh karena itu operasi reaktor di bawah 700 MW dibatasi oleh prosedur operasi normal.

Pada 26 April 1986 jam 01:23 waktu setempat, terjadilah kecelakaan pada unit 4 instalasi daya nuklir Chernobyl itu yang mengakibatkan hancurnya inti reaktor dan sebagian gedung tempat reaktor tersebut. Kerusakan pada pengungku reaktor dan struktur inti berakibat terlepasnya materi radiokatif dalam jumlah besar dari dalam reaktor. Pelepasan itu tidak berlangsung sekaligus dalam skala besar, melainkan sebanyak 25% pada hari pertama kecelakaan, sedangkan sisanya dilepaskan selama 9 hari berikutnya. Penyebab kecelakaan tersebut, menurut UNSCEAR (*United Nation Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation*) (A/AC/82/R.469, 1988), adalah selain sifat reaktor itu sendiri, juga ketidaksempurnaan operasi reaktor, para operator pun dengan sengaja melanggar prosedur, dan tidak adanya prosedur tertulis yang memadai. Menurut UNSCEAR (1988), kurva nisbah pelepasan radioktivitas terbagi menjadi empat bagian :

- a) Pelepasan mula-mula pada hari pertama kecelakaan (25%).
- b) Suatu periode 5 hari dengan nisbah pelepasan menurun sampai taraf minimum ± 6 kali lebih rendah daripada nisbah mula-mula. Pada tahap ini nisbah pelepasan menurun karena tindakan pemadam kebakaran dan menimbuni inti reaktor (dengan helicopter) dengan ± 5000 ton boron karbid, dolomid, tanah liat, dan timbal. Pada tahap ini, bahan bakar berukuran lembut yang tersebar dan terlepas dari reaktor secara langsung bersama dengan aliran udara panas dan asap yang berasal dari grafit yang terbakar.
- c) Suatu periode 5 hari dimana nisbah pelepasan radioaktivitas meningkat lagi sampai $\pm 70\%$ dari nisbah pelepasan mula-mula. Pada awalnya, terjadi pelepasan komponen-komponen mudah menguap, khususnya yodium, dan kemudian komposisi radionuklida menyerupai komposisi bahan bakar bekas. Fenomena ini disebabkan oleh

pemanasan bahan bakar dalam inti yang mencapai suhu lebih dari 2000°C akibat pelepasan panas residual.

- d) Penurunan sekonyong-konyong nisbah pelepasan radionoklida pada hari 9 pasca kecelakaan sampai $\pm 1\%$ nisbah mula-mula, dan selanjutnya turun terus. Tahap terakhir ini, yakni pada awal Mei tepatnya tanggal 6, penurunan khas dan cepat pelepasan hasil fisi dan berhentinya secara bertahap pelepasan zat radiaktif, akibat pengungkungan hasil fisi secara kimia yang lebih stabil.

PENGUKURAN DOSIS RADIASI

Berbagai pengukuran radiasi dan analisis sampel yang dilakukan dalam jarak kurang dari radius 30 km disekitar instalasi dan di seluruh USSR (lama), diperkirakan materi dengan aktivitas sekitar 1-2 Ebq (10^{18} Bq) terlepas dari bahan bakar selama kecelakaan dengan lingkup kesalahan terduga $\pm 50\%$. Nilai-nilai ini tidak mencakup pelepasan gas mulia xenon dan kripton yang diperkirakan terlepas seluruhnya dari bahan bakar. Lebih kurang 10-20% yodium, cesium dan tellurium yang mudah menguap diperkirakan juga terlepas, sedangkan pelepasan radionuklida yang lebih stabil misalnya barium, stronsium, plutonium, cerium, dsb. berjumlah 3-6%. Nilai dugaan total deposisi ^{137}Cs adalah 70 PBq (10^{15} Bq), 43% diantaranya terdeposisi di dalam Uni Sovyet sendiri, 38% di Eropa, 8% di dalam laut, dan selebihnya di daerah-daerah lain di hemisfera utara.

Sebelum kecelakaan Chernobyl, hanya ada 2 kecelakaan reaktor daya yang melepaskan radionuklida dalam jumlah yang bermakna, yaitu di Windscale Inggris (Oktober 1957) dan di *Three Mile Island*, USA (Maret 1979). Amatlah sukar untuk memperkirakan pelepasan radionuklida ke dalam atmosfera di Windscale yang melepaskan gas mulia dua kali lebih banyak daripada Chernobyl, tetapi pelepasan ^{131}I dan ^{137}Cs ternyata 2000 kali lebih rendah. Kecelakaan

Three Mile Island dibanding dengan Chernobyl melepaskan 2 % gas mulia dan $2 \times 10^{-5} \% \text{ }^{131}\text{I}$.

Menurut UNSCEAR (*Source and Risks of Ionizing Radiation*, 1988) informasi dasar tentang pelepasan radionuklida dan jenis paparan pada individu-individu teriradiasi sesuai dengan “pola harapan” untuk kecelakaan instalasi pembangkit daya nuklir yang sejenis : hingga 100% fraksi gas dari gas mulia dan nuklida mungkin terlepas dari instalasi; isotop cesium, yodium, dan tellurium sampai sebanyak 10-20% dari seluruh jenis isotop, dan radionuklida lainnya sampai 30%.

Para pekerja instalasi dan staf pembantu yang berada di tempat-tempat industri yang langsung mengelilingi zona kecelakaan terkena gabungan radiasi dari berbagai sumber :

- a) Radiasi eksterna gamma/beta berjangka pendek dari “awan emisi gas” (pada individu-individu di daerah yang langsung berdekatan dengan zona kecelakaan pada saat ledakan);
- b) Radiasi eksterna gamma/beta dengan intensitas yang semakin menurun dari serpihan-serpihan inti reaktor yang rusak yang tersebar pada tempat-tempat industri;
- c) Penyerapan (lewat pernapasan) gas dan partikel debu aerosol yang mengandung campuran radionuklida-radionuklida;
- d) Deposisi partikel-partikel ini pada kulit dan selaput lendir pada saat pembentukan uap dan debu secara intensif, dan pada waktu pakaian menjadi basah.

Faktor-faktor yang paling penting adalah radiasi eksterna sinar gamma seluruh tubuh yang relatif merata, dan radiasi beta pada permukaan tubuh yang luas, serta penyerapan sangat sedikit radionuklida melalui pernapasan, terutama isotop radioyodium dan cesium. Maka gambaran klinis pada dasarnya adalah gambaran “penyakit radiasi akut yang jelas” sebagai akibat iradiasi gamma seluruh tubuh dan iradiasi beta permukaan kulit yang luas. Kandungan isotop yodium di dalam kelenjar gondok yang diukur berulang kali (4-6 kali) sejak hari ke dua setelah kecelakaan

menunjukkan bahwa ^{131}I berjumlah $80 \pm 10\%$, dan isotop lainnya (^{123}I , ^{124}I , ^{126}I , ^{130}I) tidak lebih dari 2%.

Bedasarkan perhitungan untuk memperkirakan kuantitas yang terserap menurut pengukuran kelenjar gondok (sesuai rekomendasi ICRP), dapat dikatakan bahwa sebagian besar dosis pada kelenjar gondok adalah dibawah taraf yang diperkirakan dapat mengakibatkan kerusakan langsung kepada organ tubuh tersebut (kurang dari 3,7 Sv), atau secara nyata dapat mempengaruhi gejala-gejala klinik “penyakit radiasi akut” yang timbul. Tingkat dosis radioyodium yang rendah terlihat pula pada pengukuran pasca kematian 28 individu yang kemudian meninggal.

Nilai-nilai dosis interna berdasarkan pengukuran pasca kematian 6 penderita menunjukkan aktivitas maksimum ^{137}Cs dan ^{134}Cs sebesar 7,4 MBq, kecuali pada dua penderita yang mengalami luka bakar yang luas akibat uap panas, yang mungkin terkontaminasi radionuklida melalui lukanya. Untuk kedua penderita ini, dosimetri pasca kematian masing-masing terdeteksi sebesar 40 dan 80 MBq untuk ^{137}Cs dan ^{134}Cs , dan 450 dan 100 MBq untuk ^{131}I yang memberi dosis gamma eksternanya. Pada penderita lain, dosis interna tidak melampaui 1 – 3 % dari radiasi eksterna.

Unsur-unsur transuranik (misalnya ^{239}Pu), yang diukur dalam urin dari 266 individu (635 analisis), menunjukkan nilai aktivitas urin yang rendah atau negatif sesudah diberi zat pengkkelat. Hal ini menguatkan dugaan tidak adanya kontaminasi plutonium yang nyata pada penderita yang di periksa. Uji pasca kematian dengan spektrometri alfa menunjukkan adanya unsur transuranik (74-300 Bq per organ) hanya di dalam paru-paru: curium sebanyak 90% dari aktivitas spesimen, plutonium dan americium sebanyak 10%. Analisis spektrometri gamma terhadap spesimen-spesimen dalam 36-39 jam pertama pasca kecelakaan, tidak berhasil mengungkap tanda-tanda aktivasi ^{22}Na dan ^{24}Na ,

sehingga menunjukkan bahwa iradiasi neutron pada para penderita tidak terjadi secara nyata.

Pada kebanyakan penderita, puncak-puncak energi lebih dari 20 radionuklida dapat terdeteksi dalam spektrum pengukuran gamma seluruh tubuh, tetapi tidak termasuk yodium dan cesium. Kontribusi isotop-isotop lainnya (^{95}Nb , ^{144}Cs , ^{140}La , dsb) sangatlah kecil. Hasil pengukuran yang dilakukan semasa penderita masih hidup diperkuat juga oleh analisis spesimen pada bedah mayat (lebih kurang 35 spesimen dari masing-masing mayat).

Jumlah total penderita termasuk mereka yang ada di tempat reaktor pada jam-jam pertama tanggal 26 April 1986 adalah 203, seperti dilaporkan oleh Wakil Soviet pada Post Accident Review Meeting, Agustus 1986. Dari jumlah ini, sebanyak 115 orang dirawat mulai dari hari kedua di pusat perawatan khusus di Moskow; dan dari merekalah diperoleh kebanyakan data ilmiah yang dilaporkan. Di rumah-rumah sakit lain di Kiev, hanya ada 12 penderita dengan pola klinis penyakit radiasi akut taraf dua yang jelas, dan seorang dengan penyakit radiasi akut taraf empat.

Peningkatan jumlah total penderita dari 203 menjadi 237 yang diumumkan November 1986 semata-mata akibat ditemukannya individu yang mendapat penyakit radiasi taraf pertama. Terdapat 31 orang yang menderita penyakit radiasi akut taraf pertama di Pusat Perawatan Khusus di Moskow, dan 109 orang di Kiev. Pemantauan (sampai akhir 1986) keseluruhan analisis yang cermat terhadap data menunjukkan adanya penurunan jumlah individu yang menderita penyakit radiasi akut taraf pertama. Pada saat laporan ditulis (1986), sampai $\frac{3}{4}$ jumlah individu ini secara praktis dapat dikatakan sehat.

GEJALA-GEJALA GANGGUAN DAN PENANGANANNYA

A. Sindroma sumsum tulang

Tindakan diagnostik penting dalam beberapa hari pertama pasca kecelakaan adalah

penentuan derajat keparahan sindrom sumsum tulang akibat radiasi eksterna gamma. Diagnosis ini didasarkan pada hitung limfosit dan aberasi kromosom dalam sel sumsum tulang. Sampai hari ke 7 pasca kecelakaan, taksiran dosis rata-rata iradiasi total gamma diperhalus, terutama berdasarkan data hitung limfosit darah perifer dan hitung aberasi kromosom. Dengan demikian pasien dapat dibagi dalam berbagai kelompok prognosis berdasar keparahan sindroma sumsum tulang sbb (I) ringan (1-2 Gy), (II) sedang (2-4 Gy), (III) parah (4-6 Gy), (IV) sangat parah (6 Gy dan lebih). Terdapat pula individu-individu yang menerima dosis kurang dari 1 Gy.

Perhatikan secara khusus pada hari-hari pertama kecelakaan dilakukan untuk menemukan individu-individu yang menderita mielo-depresi yang amat berat dan bersifat tetap (*irreversibel*), yang memerlukan keputusan cepat perlu-tidaknya dilakukan transplantasi sumsum. Gejala tambahan yang menunjukkan penderita termasuk dalam kelompok ini adalah muntah dalam setengah jam pertama dan diare dalam 1-2 jam pertama sejak permulaan iradiasi, pembengkakan kelenjar parotis dalam 24-36 jam pertama, dan penentuan adanya mielo-depresi yang tetap dengan menggunakan tabel diagnostik yang telah dirancang.

Pada waktu laporan UNSCEAR (1988) ditulis, hasil pengukuran indikator biokimia, imunologik dan biofisik sedang diproses dan dianalisis. Tidak satupun indikator ini bersifat lebih informatif daripada gejala-gejala tersebut di atas. Tetapi dapat disebutkan bahwa hiperamilasemia digunakan sebagai uji pelengkap prognosis. Dengan dasar data-data yang terkumpul, diagnosis penyakit radiasi akut dengan sindroma sumsum tulang taraf tahap pertama, kedua, ketiga, dan keempat dapat dilakukan, diketahui masing-masing sebanyak 32, 43, 21 dan 20 penderita.

Perawatan berdasarkan prinsip terapi pendukung, termasuk isolasi, dekontaminasi usus dengan anti mikroba, antibiotika sistemik dan transfusi darah. Bila prognosis adalah mielo-

depresi tetap, dilakukan transplantasi sumsum tulang alogeneik dan sel hati embrionik manusia.

Semua penderita sindrom sumsum tulang taraf kedua, ketiga, dan keempat, secara individu ditempatkan dalam bangsal rumah sakit biasa, yang diatur sedemikian rupa sehingga terjamimn : (a) perawatan secara terpisah; (b) sterilisasi udara dengan lampu ultraviolet; (c) prosedur ketat keharusan para pegawai rumah sakit yang mengunjungi penderita dengan mendis-infeksi tangan pada waktu masuk dan keluar ruangan; (d) kewajiban digunakan pakaian, masker dan tutup kepala milik penderita sendiri atau yang disposable; (e) dekontaminasi antiseptik alas kaki; (f) penggantian pakaian dalam penderita paling sedikit sekali sehari; (g) penggunaan antiseptik untuk membasuh dinding dan lantai ruangan dan barang-barang yang digunakan; dan (h) masing-masing penderita mendapat barang-barang yang disuci-hamakan untuk keperluan sehari-hari. Tindakan ini memungkinkan dipertahankannya populasi mikroorganisme pada taraf kurang dari 500 m^{-3} udara di dalam kamar. Makanan yang disajikan adalah makanan biasa, kecuali sayuran mentah, buah dan makanan dalam kaleng. Pencegahan infeksi endogen dilakukan dengan pemberian secara interna biseptol-480 dan nisistin masing-masing 6 tablet dan 5 juta unit per hari selama 1 hingga 2-3 minggu sebelum terjadi agranulositosis (leukosit $1,0 \times 10^9 / 1$, neutrofil $0,1-0,5 \times 10^9 / 1$).

Bila terjadi demam, diberikan secara intravena dua atau tiga antibiotika, satu antaranya dari kelompok aminoglikosid (gentamicin atau ampicillin), cephalosporin (cephzol, cephamycin, cephobide) dan penisilin semi-sintetik yang aktif terhadap pseudomonas aeruginosa (carbenicillin, piperacil), semua dengan dosis maksimum. Perlakuan ini menurunkan demam pada lebih dari separoh jumlah penderita. Bila dalam 24-48 jam demam belum turun, digunakan gamma-globulin yang diberikan secara intravena 6 gram setiap 12 jam, 3 atau 4 kali. Apabila demam tetap bertahan selama 1 minggu sekalipun diberi antibiotika tersebut diatas, maka diberi 1 mg/kg/hari amphotericin-B secara intravena dikombinasi

dengan gamma-globulin. Dalam keadaan seperti ini, acyclovir digunakan untuk pertama kali (dan memberi efek yang baik) pada penderita penyakit radiasi akut yang mendapatkan infeksi virus herpes simplex. Tidak kurang dari 1/3 jumlah penderita penyakit radiasi akut taraf ketiga dan keempat terkena virus ini.

Salah satu keberhasilan perawatan terhadap sindroma sumsum tulang penderita penyakit radiasi akut yang tidak dapat diragukan adalah penggunaan secara rasional trombosit donor yang segar untuk profilaksis dan penyembuhan perdarahan. Transfusi trombosit menghindarkan perdarahan yang dapat mematikan, bahkan pada penderita dengan trombositopenia yang berat dan berjangka panjang (lebih dari 2-4 minggu).

Transplantasi sumsum tulang allogeneik atau sel hati embrionik dilakukan jika dosis iradiasi gamma seluruh tubuh (yang ditaksir berdasarkan hitung limfosit darah perifer dan aberasi kromosom) $\pm 6,0 \text{ Gy}$ atau lebih. Telah dilakukan 13 transplantasi sumsum tulang allogeneik dan sel hati embrionik. Pengalaman menunjukkan bahwa dalam kondisi kecelakaan ini, peluang untuk mendapatkan hasil yang baik pada kelompok individu yang menunjukkan perlunya transplantasi sumsum tulang sangatlah tipis. Penyebab sebagian besar kematian adalah kerusakan kulit dan usus, sebelum transplantasi dilakukan.

B. Kerusakan kulit

Luka-luka pada kulit yang luas akibat radiasi beta merupakan gejala yang jelas sekali akan bahaya yang diderita dalam situasi darurat. Luka bakar kulit akibat radiasi pada petugas pemadam kebakaran dan pegawai instalansi terlihat disertai dengan luka akibat radiasi pada hemopoiesis, dan oleh karna itu merupakan bagian integral dari penyakit radiasi akut secara umum.

Keadaan tersebut dapat dianggap sebagai gambaran akibat distribusi dosis yang sangat tidak merata dalam fungsi kedalaman penetrasi di

dalam tubuh. Dosis kulit diperkirakan 10-20 kali lebih besar daripada dosis sumsum tulang. Jelas terdapat korelasi keparahan luka dalam kedua jaringan tersebut. Luka kulit terlihat pada lebih dari separoh jumlah penderita, dan hampir ditemukan pada setiap penderita sindroma sumsum tulang taraf ketiga dan keempat.

Peran luka kulit akibat induksi radiasi yang memberatkan gambaran klinik secara keseluruhan tidak hanya karena keparahannya, tetapi juga lamanya luka tersebut bertahan, yang khas dengan timbul-hilangnya proses patologik tersebut. Hiperemia yang menyebar pada beberapa hari pertama (eritema primer) diikuti oleh periode laten (sesudah 3-4 hari). Eritema sekunder terjadi sesudah 5-6 hari, dan pada sebagian besar penderita hal ini terjadi dari hari 8 sampai 21. Bergantung pada derajat keparahannya, maka akan terjadi pengelupasan kulit kering (luka bakar radiasi taraf pertama) atau menjadi basah dengan munculnya pelepasan kulit (luka bakar taraf kedua) atau pembentukan dermatitis melepuh-memborok (luka bakar taraf ketiga) dan dermatitis memborok nekrotik (luka bakar taraf keempat). Pembentukan epitel baru pada kulit yang mengelupas, dan berlanjut selama dua atau tiga minggu sejak munculnya luka pada kulit. Pada 6 penderita, penyembuhan luka bakar pada kulit termasuk nekrotis yang dalam, baru mulai terjadi pada akhir bulan kedua.

Suatu sifat khas pengembangan luka bakar dalam fungsi waktu dan yang dapat dipantau seluruhnya dalam kelompok penderita ini ialah terjadinya “gelombang pasang-surut” eritema yang mulai terjadi pada akhir minggu keempat dan berlanjut sampai hari ke 45-60. Perubahan-perubahan ini khas berupa hiperemia pada kulit yang sebelumnya tidak rusak atau peningkatan tanda-tanda kerusakan secara klinis pada tempat kerusakan primer yang pada waktu itu sedang mengalami proses penyembuhan. Biasanya eritema yang tertunda disertai edema jaringan bawah kulit dapat terlihat pada lutut. Pada waktu berjalan terasa sakit, perubahan kulit dan jaringan di bawahnya (otot, tendon) mengakibatkan rasa

tidak enak. Pada kasus yang paling berat terjadi demam dan semakin buruknya kondisi penderita.

Eritema sekunder tertunda dapat diatasi dalam 2 minggu hanya dengan memberi obat secara lokal, meskipun pada kasus yang lebih parah perlu diberikan perawatan terpetik tambahan misalnya pemberian glukokortikoid, yang cukup cepat menghilangkan manifestasi epidermatitis dan edema bawah kulit, baik lokal maupun menyeluruh.

Luka bakar yang diderita para korban dengan penyakit radiasi akut meliputi 1 sampai 100% permukaan tubuh. Dalam kaitan ini, bila terdapat luka bakar taraf kedua dan ketiga yang relatif dini (hari ke 5-6) yang meliputi daerah 30-40 % permukaan tubuh diikuti oleh penyebaran hiperemia, maka luka bakar ini sangat membahayakan. Pada 19 dari 56 penderita luka bakar, hal tersebut ternyata fatal. Ditemukan bahwa penderita eritema sekunder dini, yang meliputi lebih dari 40% permukaan tubuh, mula-mula mendapat sindroma febril-toksemik, diikuti kegagalan ginjal dan hati serta koma karena gangguan otak dan edema otak besar, dan berakhir dengan kematian pada hari 14-48 pasca iradiasi. Hubungan sebab akibat antara kegagalan ginjal fatal dan koma karena gangguan otak dengan kerusakan kulit, dikonfirmasi oleh kenyataan bahwa perkembangan sindroma fatal ini terdapat pada penderita tanpa sindroma sumsum tulang yang parah atau sindroma usus. Tetapi pada kebanyakan kasus, luka bakar terdapat bersama-sama dengan sindroma sumsum tulang yang berat dan enteritis akut yang parah dan pada beberapa kasus luka bakar mungkin merupakan penyebab kematian yang utama.

C. Sindroma usus

Sindroma usus adalah salah satu manifestasi penyakit radiasi akut yang lebih berbahaya. Pada 10 penderita, ditemukan diare dari hari 4 sampai 8 yang memberi kesan bahwa mereka menerima dosis gamma fatal sebesar ± 10 Gy atau lebih dan semua penderita

meninggal dalam tiga minggu pertama pasca iradiasi. Terjadinya diare sesudah 8 hari pada 7 penderita lainnya merupakan indikasi bahwa mereka menerima dosis yang lebih rendah. Adanya enteritis akibat induksi radiasi yang berlangsung dari hari 10 sampai hari ke 25, sekalipun diberi zat pendukung air elektrolit protein, menunjukkan bahwa sindroma usus bukanlah penyebab utama kematian.

D. Reaksi mulut dan faring

Radiasi akut yang menginduksi peradangan lapisan lendir mulut dan faring terlihat pada 82 penderita. Manifestasi reaksi ini dalam taraf yang lebih ringan (keparahan taraf pertama dan kedua), bersifat khas dan berupa pengelupasan kulit dan edema lapisan lendir daerah pipi dan lidah, dan pelunakan gusi yang terlihat pada 42 penderita (dosis 1,7-4,0 Gy) dari hari 8 sampai hari ke 25. Gejala-gejala mendasar reaksi mulut dan faring yang lebih akut terlihat pada 40 penderita penyakit radiasi akut taraf ketiga dan keempat (dosis 4,5-16 Gy), yang berupa erosi dan luka borok lapisan lendir “mirip karet“ dalam jumlah banyak yang kadang-kadang menyumbat kerongkongan dan menimbulkan gangguan pernafasan. Gejala pertama timbul pada hari 10, dan kemudian menurun sesudah hari 18-20, pada saat itu terjadi pula granulositopenia. Pada cukup banyak kasus, peradangan lapisan lendir akibat radiasi mengalami komplikasi infeksi, dan peradangan ini dirancukan oleh infeksi sekunder mikroba dan virus yang memperpanjang masa sakitnya.

E. Reaksi paru-paru

Reaksi paru-paru terlihat pada 7 penderita penyakit radiasi akut taraf ketiga dan keempat dengan gejala khas kesulitan bernafas yang secara cepat semakin parah dalam 2 sampai 3 hari serta berakhir dengan kematian. Bedah mayat menunjukkan paru-paru yang besar dan berwarna biru dengan edema interstisial yang jelas, tanpa adanya kerusakan lapisan lendir trachea dan

bronkhus. Biasanya pneumonitis interstisial berkembang selama beberapa hari sebelum mati, dan umumnya dalam kombinasi dengan luka-luka kulit dan usus yang berat. Kematian terjadi pada 14-30 hari pasca radiasi.

F. Kerusakan mata

Kerusakan mata terlihat khas dari tersangkutnya semua jaringan mata dalam proses patologi pada saat dini dan saat kemudian. Pada kelompok penderita ini, kerusakan kulit dan konjuntiva kelopak mata sebagian besar disebabkan oleh radiasi beta

Pada dosis dibawah 1 Gy tidak tampak perubahan struktur pada mata. Pada penderita penyakit radiasi akut taraf pertama, perubahan hanya terlihat pada mata bagian depan. Pada 40% penderita penyakit radiasi akut taraf kedua dan 100% penderita taraf ketiga, kulit kelopak matanya menunjukkan eritema gelombang pertama dalam 6-12 jam, dan gelombang kedua dalam 2- minggu pasca iradiasi. Perubahan kulit ini menghilang tanpa bekas, hiperpigmentasi pun menghilang dan kulit menjadi agak kasar. Pada penderita penyakit radiasi akut taraf keempat, eritema gelombang pertama dan kedua masing – masing terjadi pada 1-2 jam dan 8-10 hari sesudahnya.

Dua penderita yang mengalami luka-luka pada kelopak mata dan konjuntiva taraf kedua akibat kombinasi radiasi dan panas mengalami luka borok pada kulit di sekitar mata yang tidak sembuh dalam waktu yang lama. Kerontokan bulu alis terjadi pada hari 15-17 pada 16% penderita penyakit radiasi akut taraf kedua, dan pada 67% taraf ketiga dan 100% taraf keempat. Kerontokan rambut terjadi sebagian dan sementara, pertumbuhan rambut kepala pun kembali normal. Semua penderita tidak kehilangan bulu mata.

Kerusakan kornea terungkap dalam penurunan kepekaan kornea secara dini, yang berkoinidensi dengan eritema gelombang pertama sekalipun penderita taraf pertama tidak

menunjukkan efek ini. Pada waktu-waktu berikutnya (hari 35-55) peradangan kornea akibat radiasi superfisial terlihat pada penderita penyakit radiasi taraf kedua, ketiga, dan keempat masing-masing sebesar 5%, 52% dan 100%. Peradangan surut dalam waktu 1-1,5 bulan, tanpa adanya kekaburan pada kornea. Pada periode akut, perawatan berupa pemberian salep pada permukaan kulit kelopak yang menjadi kasar dengan 20% albucid, sophradex dan larutan vitamin sebagai tetes mata ke dalam rongga konjunktiva. Dalam masa pengamatan sampai 1 tahun tidak ditemukan perubahan lensa yang terjadi akibat radiasi.

HIKMAH YANG DAPAT DIPEROLEH

Dari uraian di muka, jelaslah bahwa jika terjadi kecelakaan seperti di Chernobyl, dampak segera yang dapat terjadi sangatlah mengerikan, belum lagi dampak jangka panjangnya yang belum pasti. Penyebab kecelakaan di Chernobyl meliputi struktur dan sifat reaktor yang tidak sesuai dengan jenisnya; operasi reaktor yang tidak sempurna misalnya prosedur tertulis yang tidak memadai; dan pelanggaran yang dilakukan para pekerja.

1. Jenis Reaktor

Apabila Indonesia hendak membangun PLTN, jelas bahwa jenis reaktor yang akan dipilih bukan jenis RBMK-1000 yang di Rusia sendiri dianggap kurang baik. Jenis yang seharusnya dipilih adalah yang pasti lebih handal dalam hal keamanannya.

Atas undangan pemerintah Soviet (waktu itu) pada April dan Mei 1991, telah datang di Rusia suatu Komisi Keselamatan Internasional untuk meninjau instalasi daya nuklir Kola dan Novoronezh. Komisi tidak menemukan daerah yang harus dikhawatirkan, sekalipun demikian komisi merekomendasikan perbaikan-perbaikan pada program instalasi untuk menghindarkan insiden kecelakaan. Komisi pun menghargai bahwa manajer instalasi sadar akan keterbatasan

disain reaktor WWER-440/230 dan tindakan kompensasi efektif yang diambilnya. Pada kedua instalasi tersebut, Komisi merekomendasikan upaya lebih lanjut untuk memperbaiki prosedur dan mekanisme umpan-balik operasional, dan kualitas perawatan dan pelatihan pekerja untuk perawatan reaktor. Tiga peninjauan yang lain juga telah dilakukan Komisi pada reaktor WWER-440/230 di Jerman, Ceko, Slovakia, dan Bulgaria. Di Bulgaria, IAEA pun telah menyelesaikan telaah ulang yang meluas selama tiga minggu terhadap disain dan aspek operasional unit 1 sampai 4 pada instalasi daya nuklir di Kozloduy. Pada Juni 1991, yakni pada waktu peninjauan selesai, dua dari unit-unit ini beroperasi dan dua lainnya dihentikan. Tim IAEA menganggap ada dua instalasi dalam kondisi buruk dengan sejumlah kekurangan yang berkaitan dengan keamanan dan mendesak Pemerintah Bulgaria agar mengambil tindakan segera. Dengan demikian dapat diketahui bahwa disain reaktor yang secara teknis tidak aman, tidak dapat diterima secara internasional, dan untuk itu IAEA sebagai badan internasional yang berwenang dan berkewajiban mengawasi keselamatan masyarakat akan selalu memantaunya.

2. Prosedur kerja.

Tidak perlu diragukan bahwa prosedur kerja tertulis yang jelas dan diketahui para pekerja harus tersedia. Dalam hal ini reaktor-modern pasti mempunyai prosedur-prosedur demikian secara lengkap dan betul.

3. Operator Reaktor.

Pada akhirnya semua mutu pelaksanaan pekerjaan terletak pada mutu para pekerjanya. Mutu pekerja meliputi kepandaian, kelihaihan dan disiplin serta ketekunan. Memang dalam hal tenaga kerja yang berkualitas ini, perhatian para manajer harus benar-benar dicurahkan. Kelalaian atau kesalahan yang “sengaja“ diperbuat para pekerja di Chernobyl dan kekeliruan para pekerja

di *Three Mile Island* hendaknya dapat menjadi pelajaran bagi para pekerja di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. UNSCEAR, Exposures from the Chernobyl Accident, Dokumen UNSCEAR No. A/AC/82/R.469 Juni 1988.
2. UNSCEAR, Acute Radiation Effects in Victims of the Ionizing Radiation, Vienna, Austria, 1988, hal. 613.
3. IAEA, National Update, International Newsbriefs. IAEA Bulletin Volume 33, no. 2, 1991, hal. 45 – 46.