

BERKALA ILMU KEDOKTERAN (Journal of the Medical Sciences)

ISSN 0126 — 1312 CODEN: BIKEDW

Diterbitkan oleh Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada

Jilid XXII

September 1990

Nomor 3

Aspek Fisika Ledakan Nuklir¹⁾

Oleh: Budi Santoso

Pusat Penelitian Nuklir²⁾
Badan Tenaga Atom Nasional
Yogyakarta

ABSTRACT

Budi Santosa — *Physical aspects of a nuclear explosion*

This article describes the principles of nuclear power, the nature of the atomic bomb and its impact on the environment, including the climate and the resulting nuclear winter.

The author also points out the effects of nuclear radiation to the living organisms, both immediate and delayed. In conclusion he emphasizes the importance of immediate cessation of nuclear tests, in the atmosphere, on the surface, submarine as well as underground, because otherwise it is bound to increase radioactivity in the environment which endangers future generations, even in countries which are not involved in nuclear testing.

Key Words: nuclear explosion — nuclear physics — nuclear winter — radioactive fall-out — medical effects of nuclear war

PENGANTAR

Pada tanggal 16 Juli 1945, terlihatlah bola api raksasa di daerah gurun pasir New Mexico, suatu ledakan dahsyat dari percobaan bom atom pertama di muka bumi ini oleh Amerika Serikat. Ledakan nuklir berikutnya terjadi pada tanggal

-
- 1) Dibacakan pada Simposium dan Diskusi Panel Polemologi Kedokteran, Yogyakarta 4 Maret 1986.
 - 2) Alamat sekarang: Pusat Pengkajian Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta.

6 Agustus 1945 di Hiroshima dan tanggal 9 Agustus 1945 di Nagasaki. Sejak itu penelitian dan percobaan ledakan nuklir dilakukan terus dengan giat oleh negara-negara adikuasa dalam rangka pengembangan kemampuan persenjataan nuklir mereka. Banyak protes ditujukan untuk penghentian program perlombaan senjata ini. Indonesia termasuk negara yang tidak menyetujui pengembangan dan penyebaran senjata nuklir, yaitu dengan ditandatanganinya perjanjian non-proliferasi pada tahun 1970 dan diratifikasi dalam tahun 1979, dengan demikian perjanjian ini menjadi undang-undang di negara kita. Non-proliferasi atau pencegahan penyebaran senjata nuklir pertama kali dicetuskan oleh Szilard yang kemudian berkembang menjadi suatu ketentuan yang disebut NPT (Non-Proliferation Treaty). Anggota NPT terikat oleh suatu perjanjian yang menyangkut kewajiban dan hak anggotanya.

Pada pokoknya isi perjanjian tersebut antara lain:

Pasal 2.— Bahwa negara tak bersenjata nuklir anggota NPT berjanji untuk tidak menerima penyerahan atau penguasaan atas senjata atau alat ledak nuklir baik langsung maupun tidak langsung dari siapapun; berjanji untuk tidak berusaha membuat atau memperoleh senjata atau alat ledak nuklir; berjanji untuk tidak mencari atau menerima bantuan bagi pembuatan senjata atau alat ledak nuklir.

Negara-negara yang menjadi anggota NPT ini, yaitu yang tidak menyetujui penyebaran atau penggunaan senjata nuklir, tidak berarti anti-program teknik nuklir seperti yang kadang-kadang disalah-artikan. Program teknik nuklir untuk maksud bukan perang seperti listrik tenaga nuklir, pemakaian isotop di bidang medis, pertanian dan industri, *radio-dating* dalam ilmu-ilmu dasar dll, bahkan mendapat dorongan dan bantuan dari Badan Tenaga Atom Internasional yang menginspeksi anggota NPT.

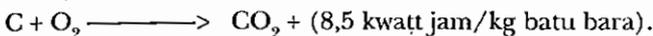
Program teknik nuklir di Indonesia telah masuk dalam Garis-garis Besar Haluan Negara dan setapak demi setapak kemajuan terus dicapai. Kadang-kadang dimasalahkan mengenai risiko, yang secara teknis risiko kecelakaan nuklir itu terlalu kecil dibandingkan dengan risiko kecelakaan lain. Risiko perang nuklir itu memang harus dihindarkan dengan menghapuskan program persenjataan nuklir. Program persenjataan nuklir bagi negara-negara berkembang jauh lebih berat dan lebih sulit dibandingkan dengan program teknik nuklir untuk tujuan kesejahteraan karena masalah-masalah alih teknologi yang berhubungan dengannya tidak mungkin diperoleh. Indonesia dengan ditandatanganinya NPT, terang-terang anti senjata nuklir, walaupun bom atom pertama yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki memberikan *blessing in disguise* bagi rakyat Indonesia. Rakyat Indonesia dapat segera memproklamasikan kemerdekaannya, yang seandainya kekalahan Jepang terhadap sekutu waktu itu terundur beberapa bulan saja lagi, pemuda-pemuda Indonesia yang banyak tinggal kulit pembalut tulang bisa mati kelaparan. Terlihat pula betapa suburnya teknologi di Jepang setelah kekalahan perang akibat senjata nuklir ini.

Berikut ini akan diulas aspek-aspek fisika ledakan nuklir, agar para pembaca yang awam mengenai masalah ini dapat ikut mengetahui betapa dahsyatnya dan mengerikan akibat-akibat langsung, maupun akibat-akibat berbahaya yang tidak langsung ledakan ini. Uraian ini diambil dari dua buku bacaan pokok, yaitu *Nuclear Explosions—A World-Wide Hazard* tulisan A. M. Kuzin (Soviet) dan *The Effects of Nuclear Weapons* tulisan Samuel Glasstone (Amerika).

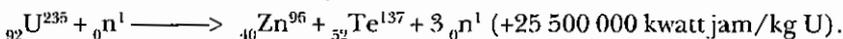
TENAGA ATOM

Kata atom berasal dari bahasa Yunani *atomos*, yang berarti tak terbagi lagi. Pengertian tak terbagi lagi ternyata sekarang menjadi kurang tepat, karena atom tersusun atas inti atom yang dikelilingi elektron orbit. Demikian juga istilah tenaga atom lebih tepat bila dikatakan dengan istilah tenaga nuklir (tenaga inti), karena memang tenaga nuklir yang dahsyat dibebaskan oleh pembelahan inti (fisi) atau penggabungan inti (fusi). Berbeda dengan tenaga kimia seperti pembakaran kayu, bensin dll. yang dihasilkan oleh penyusunan kembali ikatan-ikatan kimia dari atom penyusunannya, tenaga nuklir diperoleh karena terjadinya penyusunan kembali batu-batu penyusun inti atom yang biasa disebut nukleon (neutron dan proton). Tenaga yang dibebaskan pada reaksi pembelahan nuklir (uranium misalnya) sebanding dengan sejuta kali tenaga yang dibebaskan pada reaksi kimia untuk berat bahan bakar yang sama. Tidaklah mengherankan bahwa 1 kg uranium yang berfisi menghasilkan energi yang setara dengan energi 3 juta kilogram batubara. Satu kilogram batubara dapat menghasilkan 8,5 kilowatt jam, sedangkan 1 kg uranium dapat menghasilkan 25 500 000 kilowatt jam.

Berdasarkan reaksi kimia, karbon-batubara yang dipanasi akan bereaksi dengan oksigen yang berada di udara:

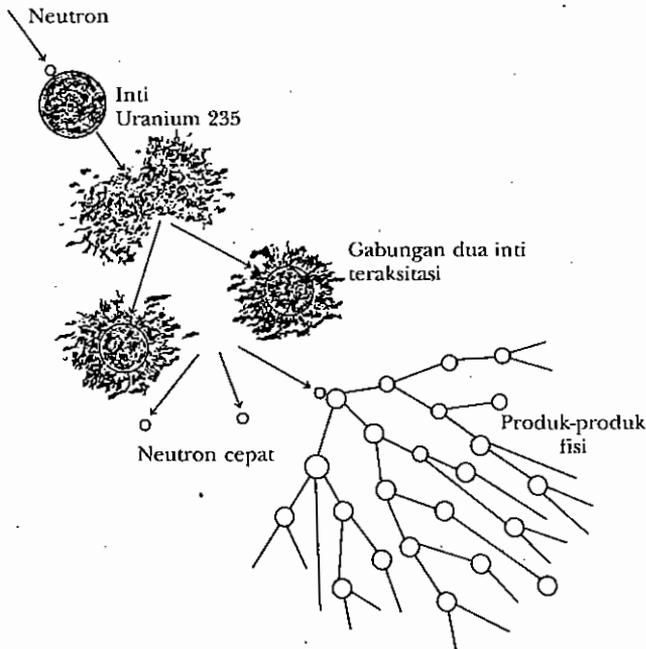


Panas pembakaran cukup untuk membantu reaksi pembakaran selanjutnya, sehingga pembakaran terus berjalan. Pada reaksi berantai nuklir, neutron dapat masuk ke dalam inti atom (jari-jari inti atom sangat kecil, yaitu $1/100\,000$ jari-jari atom) dan mengadakan reaksi pembelahan.



Reaksi di atas hanya merupakan salah satu contoh reaksi pembelahan, karena reaksi pembelahan ada bermacam-macam. Setiap kali reaksi pembelahan (fisi) diperlukan sebuah neutron dan setelah pembelahan dihasilkan rata-rata 2,6 neutron. Neutron yang dihasilkan ini akan mencari sasaran U^{235} yang lain, sehingga terjadi reaksi berantai yang makin banyak. GAMBAR 1 menunjukkan bagaimana reaksi berantai ini terjadi.

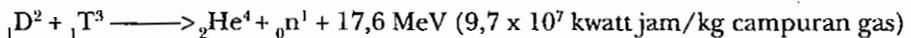
Reaksi yang semakin cepat dan terjadi dalam waktu yang sangat singkat itu mengakibatkan terakumulasinya panas (tenaga) sesaat yang sangat besar, sehingga terjadi ledakan nuklir. Ide ini yang mendasari pembuatan senjata nuklir. Di laboratorium bahan-bahan murni U-235 dan Pu-239 harus disimpan secara hati-hati jangan sampai mencapai kritis. Sebaliknya untuk dapat meledakkan bahan tersebut, sejumlah bahan subkritis disatukan secara spontan. Hasil satuan ini harus mencapai kritis. Ada dua cara untuk menyatukan secara spontan. *Pertama*: dua bagian yang masing-masing subkritis (yang jumlahnya sama atau lebih besar dari massa kritis) didetonasi sedemikian sehingga mereka bersatu sesaat dan mencapai kritis. Cara *kedua* adalah massa yang subkritis (mendekati kritis) dikompresi dengan suatu denotator sedemikian sehingga kekritisiannya dicapai. Di pihak lain apabila jumlah neutron yang dibebaskan dapat diatur, yaitu dengan mengintroduksi suatu bahan penyerap neutron agar neutron tidak memakan U^{235} dengan cepat dan tak terkendalikan, maka tenaga yang



GAMBAR I.— Reaksi berantai.

dibebaskan juga dapat diatur. Ini yang mendasari reaktor nuklir untuk pusat-pusat tenaga listrik nuklir. Reaktor nuklir pertama dibuat oleh grupnya Enrico Fermi di Amerika Serikat. Reaktor ini tidak dimaksudkan untuk menghasilkan tenaga listrik, tetapi sekedar untuk membuktikan apakah manusia dapat mengambil dan mengontrol tenaga nuklir yang dibebaskan dari reaksi pembelahan. Reaktor nuklir pertama yang dimaksudkan untuk pusat tenaga listrik adalah buatan Uni Soviet di tahun 1954.

Cara lain untuk memperoleh tenaga nuklir adalah dengan cara fusi. Atom-atom ringan seperti isotop hidrogen dapat berfusi (bergabungan) dan membebaskan energi nuklir yang sangat besar. Contoh reaksi penggabungan adalah:



Bandingkan dengan energi yang dibebaskan oleh pembelahan 1 kg uranium ($2,5 \times 10^7$ kwatt jam). Untuk dapat menggabungkan inti-inti atom diperlukan suhu yang sangat tinggi, yaitu berorde jutaan derajat Celcius. Penggabungan ini dihalangi oleh gaya-gaya tolak listrik yang memuati inti atom. Reaksi nuklir semacam ini terjadi di matahari yang merupakan sumber energi kehidupan di jagad raya. Reaktor daya yang direncanakan berdasar reaksi fusi disebut fusi dimana suhu jutaan derajat Celcius dari bahan yang menjadi plasma hanya mungkin dikungkung dengan botol-botol magnetik. Bom atom yang diledakkan berdasar prinsip energi fusi disebut bom termonuklir.

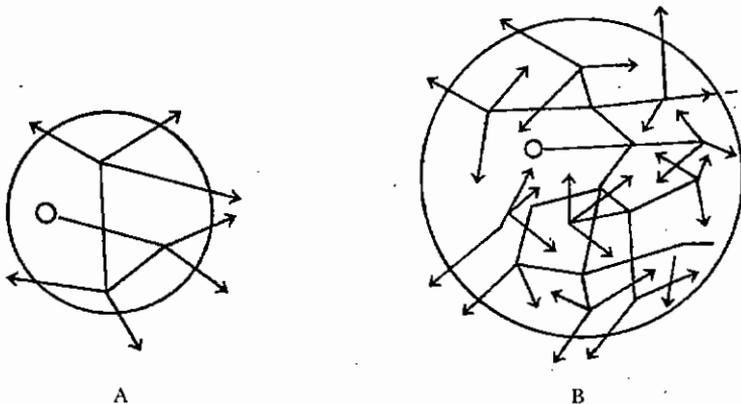
BOM ATOM

Sebenarnya istilah bom atom juga lebih tepat dikatakan bom nuklir, karena energi yang diambil adalah dari tenaga nuklir. Seperti dijelaskan di depan terjadinya ledakan nuklir karena pembebasan energi yang sangat besar dan sesaat oleh pembelahan inti atom. Bahan-bahan yang dapat membelah yang merupakan bahan bom atom adalah U^{235} atau Pu^{239} .

Syarat agar bom atom dapat meledak sempurna adalah pertama bahannya harus sangat murni agar neutron yang terjadi tidak terserap oleh bahan-bahan impuritas. Kedua massa bahan haruslah mencapai massa kritis. Massa kritis adalah suatu massa di mana ledakan dapat terjadi. Pada GAMBAR 2 ditunjukkan dua massa bahan yang kritis dan tidak kritis. Masa kritis untuk uranium-235 kira-kira 1 kg. Perlu dicatat bahwa 1 kg uranium ini volumenya sekitar sepertiganya volume 1 kg besi, karena berat jenis uranium adalah sekitar 19 (pada suhu kamar), sedang berat jenis besi sekitar 7. Ledakan 1 kilogram U^{235} ini ekuivalen dengan 20 000 ton TNT (trinitrotoluen = bahan bakar bom konvensional) atau cukup dengan istilah 20 kiloton.

Hampir 80% energi yang dibebaskan berupa tenaga kinetik produk-produk hasil fisi, 'shock wave', radiasi termal dan kilatan cahaya. Enam persen yang lain dibebaskan sebagai emisi radioaktif selama ledakan, termasuk tiga persen dalam bentuk emisi neutron yang dapat mengaktifasi bahan-bahan di sekitarnya dan sisanya (14%) dibebaskan dalam bentuk debu-debu radioaktif sebagai hasil fisi.

Pengembangan lebih lanjut dengan alat ledak fusi dengan bahan bakar isotop hidrogen diilhami oleh berhasilnya ledakan bom atom fisi. Bom fusi dapat dicapai dengan suhu awal jutaan derajat Celcius, dan suhu ini dicapai sesaat oleh

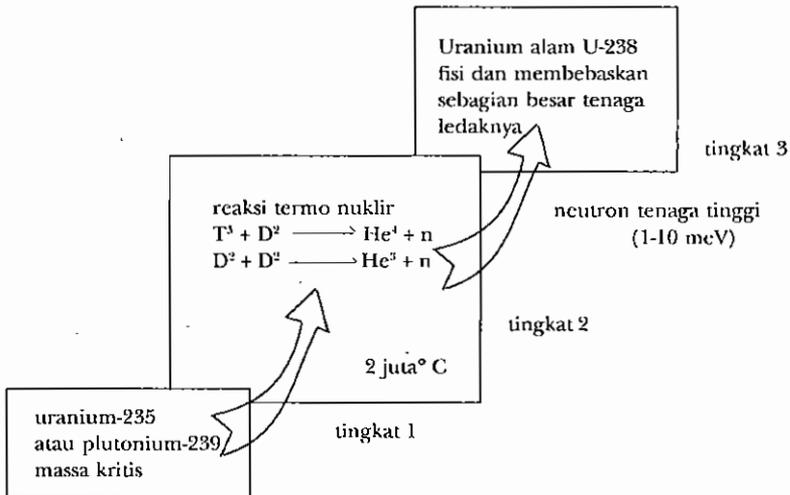


GAMBAR 2.- A. Massa tidak kritis (atau terlalu kecil) sehingga banyak neutron bocor keluar bahan.
 B. Massa kritis (cukup besar) sehingga banyak neutron yang mengadakan pembelahan di dalam bahan dalam waktu sesaat. Jumlah yang bocor lebih kecil dibandingkan dengan yang mengadakan reaksi belah.

ledakan nuklir fisi. Dengan demikian bom atom termonuklir fusi lebih dahsyat dari bom atom fisi karena ledakan ini dicapai secara bertahap, yaitu ledakan fisi lebih dahulu, kemudian bahan bakar hidrogen terbakar oleh suhu fisi dan terjadi ledakan tingkat kedua termofusi.

Bom nuklir terhemat adalah bom yang bahan bakarnya mudah didapat, yaitu U^{238} . Bahan bakar ini sangat murah dan melimpah secara alami. Bahan bakar ini hanya dapat diledakkan dengan neutron cepat yang dapat dihasilkan oleh bom termofusi. Dengan demikian setelah ledakan tahap kedua dapat diperbesar lagi dengan ledakan tahap ketiga dengan bahan bakar uranium alam (uranium-238).

Skema tingkat tiga bom fisi-fusi-fisi dengan bahan bakar uranium alam ditunjukkan pada GAMBAR 3.



GAMBAR 3.— Suatu tingkat-tiga bom fisi-fusi-fisi dengan bahan bakar U^{238} .

Percobaan pertama yang paling dahsyat dengan sistem tiga tingkat ini adalah percobaan bom 15 juta ton (15 megaton) TNT pada tanggal 1 Maret 1954 di Bikini Atoll yang mengakibatkan polusi jatuhnya radioaktif (*fall-out*) yang cukup banyak.

Berikut disajikan perbandingan kekuatan bom atom dengan bom konvensional yang pernah diledakkan.

TABEL 1.— Perbandingan kekuatan bom atom dengan bom konvensional

Jenis Bom	Kekuatan (dalam ton TNT)
1. Bom atom yang dijatuhkan di Nagasaki	20 000
2. Seluruh bom yang dijatuhkan di Jerman selama Perang Dunia II	1 300 000
3. Seluruh bahan ledak selama perang dunia II	5 000 000
4. Bom hidrogen yang diledakkan di Bikini Atoll 1954	15 000 000

ASPEK FISIKA

Sebelum kita bicarakan lebih lanjut mengenai aspek fisika ledakan nuklir, ditinjau dahulu korban ledakan nuklir di Hiroshima dan Nagasaki, karena dua contoh ini yang pertama kali (mudah-mudahan yang terakhir kalinya) menderita akibat ledakan nuklir. Menurut N. Kusano (1953), korban ledakan nuklir di kedua tempat ini adalah seperti dalam TABEL 2.

TABEL 2.- Korban ledakan nuklir di Hiroshima dan Nagasaki menurut Kusano

Korban Ledakan Nuklir	Hiroshima	Nagasaki
Meninggal	78 150	23 753
Hilang	13 983	1 924
Luka-luka	37 424	23 345
Menderita lain-lain	235 656	89 025
Total	365 213	138 047

Menurut versi estimasi Samuel Glasstone (1957) korban bom di kedua tempat adalah seperti dalam TABEL 3.

TABEL 3.- Korban ledakan nuklir di Hiroshima dan Nagasaki menurut estimasi Glasstone

	Hiroshima	Nagasaki
Penduduk total	255 000	195 000
Daerah yang hancur (mil kuadrat)	4,7	1,8
Meninggal dan hilang	70 000	36 000
Luka-luka	70 000	40 000

Dalam catatan ini ada perbedaan data yang disajikan dan data yang paling benar tidak bisa diketahui.

PENGEMBANGAN BOLA API

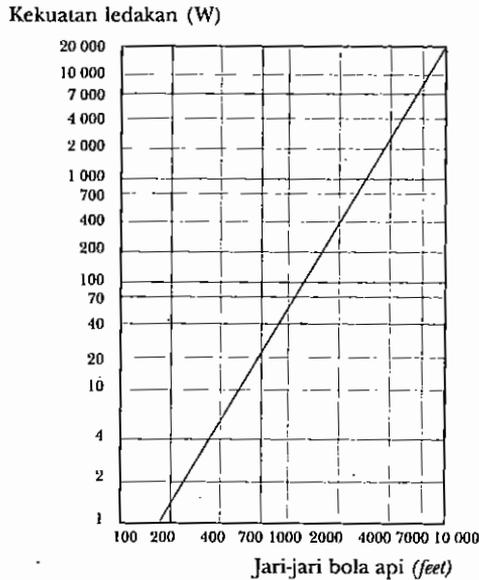
Pada saat permulaan terbentuknya bola api ledakan nuklir suhu di seluruh bola kira-kira sama, sehingga kadang-kadang disebut dengan istilah bola isothermal (*isothermal sphere*). Bola api berkembang dengan cepat dan desakan permukaan gelombang berjalan lebih cepat yang mengakibatkan kompresi udara sangat kuat. Bola api yang terjadi sekarang menjadi dua yang konsentris, bagian dalam dengan suhu yang uniform dan dikelilingi oleh lapisan yang luminus, dengan tekanan udara yang sangat tinggi dan berjalan cepat. Untuk beberapa saat bola api terus berkembang; selama periode ini, tekanan muka gelombang menurun terus, sehingga daerah luminus semakin kabur.

Dari berbagai percobaan ditunjukkan secara empiris bahwa ukuran maksimum bola api luminus memenuhi:

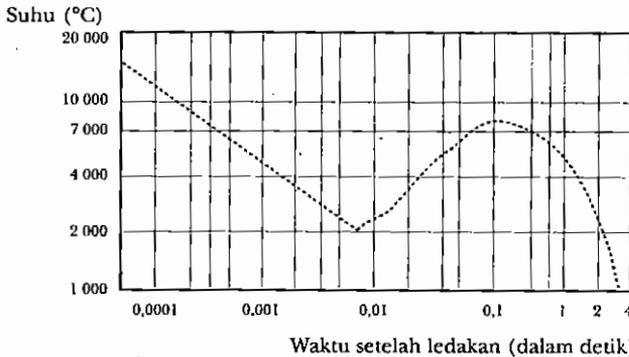
$$R = 230 W^{2/5}$$

di mana R adalah jari-jari bola api ledakan nuklir (dalam *feet*) dan W adalah kekuatan ledakan dalam kilatan TNT. GAMBAR 4 melukiskan hubungan antara R dan W.

Sebagai dikatakan di depan, suhu bola api inti menurun terus, tetapi suhu permukaan bola menurun terus sampai titik terendah kemudian naik sampai titik maximum, sebelum turun lagi secara kontinu. Kelakuan yang aneh ini



GAMBAR 4.— Hubungan antara jari-jari bola api R dengan kekuatan ledakan W.



GAMBAR 5.— Variasi suhu permukaan bola api terhadap waktu untuk ledakan 20 kiloton.

diakibatkan oleh pertukaran energi radiasi dan energi desakan yang kecepatannya berbeda pada suhu kira-kira 2300°C (pada suhu ini besi telah melebur). Suhu rata-rata bola api tidak sama dengan partikel penyusun bola api. Suhu neutron misalnya jauh lebih tinggi dari suhu rata-rata ini.

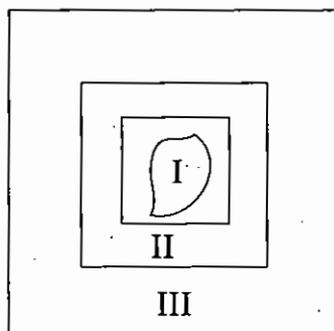
JANGKAUAN KERUSAKAN

Ledakan nuklir seperti ledakan bom konvensional mempunyai jangkauan kerusakan tertentu, hanya ukurannya jauh lebih besar. Jangkauan kerusakan akibat satu ledakan bom atom (nominal) adalah sebagai dalam TABEL 4.

TABEL 4.- Jangkau kerusakan akibat satu ledakan bom atom

Radius (km)	Kerusakan
0,4	Hancur total
0,8	Kerusakan berat terhadap bangunan beton bertulang
1,2	Kehancuran total semua bangunan kecuali bangunan beton bertulang yang kuat
1,6	Kehancuran bangunan-bangunan dengan beton ringan dan kerangka baja, kehancuran total bangunan bertingkat yang hanya dengan batu bata pasangan
2,0	Batas kerusakan berat, kerusakan terhadap bangunan kerangka baja
2,4	Kerusakan terhadap bangunan bertingkat dengan batu bata pasangan
2,8	Batas kerusakan sedang, kerusakan rumah kayu, jendela pintu
3,2	Batas kerusakan parsial, kehancuran rumah kayu, kerusakan akibat kebakaran bahan-bahan mudah terbakar.
3,6	Kerusakan atap, kerusakan parsial struktur bangunan
4,2	Radius kerusakan ringan

Untuk bom yang lebih kuat (20 megaton) kerusakannya dapat ditunjukkan dalam GAMBAR 6.



- I. Luas 104 km² daerah kehancuran berat total
 II. Luas 500 km² daerah kehancuran total
 III. Luas 25 000 km² daerah kehancuran ringan

GAMBAR 6.- Daerah kerusakan akibat ledakan 20 megaton.

Di samping ada kerusakan mekanik, juga ada kerusakan radiasi terhadap makhluk hidup.

TABEL 5.- Kerusakan radiasi terhadap makhluk hidup

Radius (km)	Dosis (röntgen)	Kerusakan
0,7	10 000	100 % fatal
1,2	1 000	
1,4		75%
1,5		25%
1,7	100	sakit radiasi
2,0		
2,2	10	tak tampak sesaat akan korban radiasi

TABEL ini ditunjukkan untuk bom atom nominal (20 kiloton)

Akibat di atas adalah akibat yang langsung dirasakan sesaat. Akibat radiasi punya ekor yang lebih panjang, karena radiasi yang dikenakan pada makhluk hidup walaupun sesaat tidak terlihat, tetapi efeknya dapat timbul setelah jangka waktu yang cukup panjang. Radioaktivitas lingkungan akan naik setelah ledakan dan sebagian besar disebarkan ke seluruh dunia. Radioaktivitas yang dihasilkan itu sangat besar, yaitu untuk 20 megaton fisi-fisi-fisi dihasilkan sekitar $8,2 \times 10^{14}$ curie setelah satu menit ledakan. Radiasi ini tidak langsung habis bahkan sampai waktu sepuluh tahun kekuatannya masih mencapai 8×10^6 curie.

Debu-debu radioaktif yang tersebar di seluruh bumi akan dijatuhkan sebagai hujan radioaktif atau dengan istilah hujan jatuhan (*fall-out*). Menurut perkiraan hujan jatuhan ini akan reda (bersih) setelah waktu 400 tahun, sehingga setiap ada ledakan nuklir memungkinkan adanya akumulasi hujan jatuhan itu. Bagaimana dampak hujan jatuhan ini terhadap kehidupan, dapat dipelajari dengan seksama. Para sarjana terus giat mempelajari akibat radiasi baik yang interna maupun radiasi externa. Hujan jatuhan ini terutama memberikan efek radiasi interna, karena beberapa elemen radioaktif dengan umur peluruhan yang cukup panjang dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalan. Yang banyak dianalisis dan potensial dapat mengakibatkan efek negatif adalah strontium-90 dengan umur paruh 28 tahun.

Beberapa efek yang mungkin terjadi akibat radiasi terus-menerus, walaupun dosis yang cukup kecil, adalah

1. pemendekan umur atau proses ketuaan prematur (dini)
2. kenaikan keboleh-jadian tumor tulang dan leukemia
3. kenaikan dalam jumlah penyakit infeksi
4. kelainan saraf
5. kerusakan pada tunas yang baru tumbuh dan efek genetik.

PENGARUH TERHADAP CUACA

Pengaruh ledakan nuklir terhadap cuaca tadinya diduga dari dua hal, yaitu pertama energi yang ditambahkan atmosfer mungkin dapat mengubah pola cuaca dan yang kedua adalah bahwa ledakan men-*trigger* energi alam yang lebih besar untuk mengubah jalurnya. Tetapi berdasarkan pertimbangan bahwa energi yang dibebaskan oleh ledakan nuklir ini, walaupun sangat dahsyat secara lokal, secara global energi ini terlalu kecil, sehingga praktis gangguan cuaca oleh bertambahnya energi ini secara rata-rata terabaikan.

Pertimbangan lain yang mungkin lebih masuk akal adalah:

1. debu-debu yang dihamburkan ke angkasa akan menjadi bahan yang membantu mengkondensasikan awan, sehingga dapat mengubah pola awan dan hujan yang telah ada
2. perubahan konduktivitas udara akan mengubah pola fenomena meteorologi
3. debu-debu yang terhambur jauh ke stratosfer dapat menghalangi transmisi cahaya matahari ke bumi, sehingga dapat menurunkan suhu bumi.

Memang benar setelah ledakan nuklir Hiroshima tahun 1945, jatuhlah hujan deras akibat putaran angin yang menghembus uap air dari atas samudera. Efek ini mirip dengan efek angin kencang yang datang karena adanya kebakaran

hutan atau kota-kota dalam Perang Dunia kedua. Tetapi percobaan-percobaan nuklir lain tidak selalu memberi efek yang sama. Di samping itu efek yang teramati adalah efek kecepatan angin dan struktur atmosfer di dekat ledakan beberapa saat saja setelah ledakan nuklir. Dan walaupun kelihatan ada awan tebal ledakan nuklir, tetapi secara global keadaan cuaca tidak banyak berubah. Jumlah ionisasi di udara yang dihasilkan oleh radiasi cukup kecil dibandingkan dengan keadaan alami, sehingga perubahan akibat ionisasi inipun tak dapat langsung dideteksi. Debu-debu yang dihamburkan oleh ledakan nuklir menurut perkiraan hanya 1% dari ledakan gunung Krakatau tahun 1883, sehingga menurut perkiraan ini cuacapun tak banyak dipengaruhi oleh debu-debu akibat ledakan nuklir.

Perhitungan-perhitungan dan pengamatan di atas adalah untuk satu kali ledakan terisolasi di suatu daerah. Perhitungan dengan simulasi komputer menunjukkan adanya efek cuaca yang disebut musim dingin nuklir. Perhitungan ini didasarkan pada model ledakan 10 000 megaton dari total 15 000 megaton senjata nuklir yang sekarang siap dipakai untuk perang. Dipertanyakan apakah simulasi ini dapat dipercaya keandalannya, tetapi yang terang perang nuklir adalah suatu bunuh diri umat manusia yang harus dihindarkan.

MUSIM DINGIN SETELAH PERANG NUKLIR

Penemuan baru melalui simulasi komputer menunjukkan bahwa bahaya yang diakibatkan oleh perang dengan menggunakan senjata nuklir tidak saja diakibatkan oleh radiasi langsung baik sinar γ , sinar α , sinar panas yang mem-bakar, kerusakan oleh gelombang bunyi dan oleh desakan udara panas sesaat ketika bom nuklir diledakkan, tetapi juga efek-efek sesudahnya yang tidak kalah mengerikan. Efek ini diderita oleh pihak yang berperang baik yang kalah maupun menang dan juga oleh pihak yang netral. Efek tersebut adalah efek musim dingin yang dahsyat, yang disebut musim dingin nuklir. Di samping musim dingin yang dahsyat ini juga ada gas-gas beracun dan radioaktif yang dapat mematikan. Musim dingin yang dahsyat terjadi karena timbulnya debu yang dihamburkan ke langit, sehingga membuat cuaca gelap selama berhari-hari, bahkan berminggu-minggu tidak ada cahaya matahari yang terang. Suhu rata-rata di belahan bumi utara dapat mencapai -25°C selama kira-kira dua minggu. Suhu yang begitu rendah ini akan mematikan banyak kehidupan, termasuk manusia. Mereka yang masih hidup akan menderita kedinginan, kelaparan, polusi beracun, kekurangan air, dan lemah akibat radiasi lingkungan yang meningkat. Dalam hal ini pihak yang menangpun hancur akibat musim dingin ini. Peristiwa pembekuan di planet, akibat blokade cahaya matahari oleh kabut adalah seperti yang ada di planet Mars yang telah dipelajari oleh Dr. Carl Sagan.

Perhitungan model komputer dilakukan dengan mengandaikan ledakan nuklir 100 sampai 10 000 megaton (1 megaton kira-kira ekuivalen dengan satu juta ton TNT). Senjata nuklir yang dibuat di bumi ini telah mencapai 50 000 megaton. Dengan mengandaikan 10 000 ledakan berkekuatan 5 000 kiloton dan 20% saja mengenai daerah industri dan daerah urban, maka akibatnya adalah kabut gelap dari debu yang tersebar di belahan bumi utara selama satu sampai

dua minggu. Suhu yang dicapai sekitar -15°C sampai -25°C selama satu atau dua minggu.

Dari sini nyata bahwa bila mereka yang menyiapkan perang nuklir menyadari akibatnya, maka mereka akan dipojokkan pada pilihan yang sulit karena bagi yang menang pun artinya bunuh diri karena akibat samping yang berupa musim dingin nuklir.

KESIMPULAN

Dalam menyimpulkan tulisan ini, beberapa hal penting perlu dicatat:

1. Usulan-usulan mengenai penghapusan senjata nuklir agar segera diterima oleh semua pihak dengan jujur. Khususnya umat yang percaya kepada Tuhan Yang Maha Esa, dan umat beragama mendoakan agar kehancuran umat manusia oleh perang nuklir ini dapat dihindarkan.
2. Percobaan-percobaan ledakan nuklir baik di angkasa luar, di atas bumi, di dalam laut, maupun di dalam tanah harus segera dihentikan, karena mereka menambah radioaktivitas lingkungan yang dapat membahayakan generasi berikutnya. Protes percobaan nuklir ini harus diajukan oleh seluruh negara, karena akibat percobaan nuklir di manapun akan diderita pula oleh negara yang tidak melakukan percobaan nuklir.
3. Protes-protes yang telah dirintis seperti yang diorganisasi oleh Prof. Bertrand Russell pada bulan Agustus 1955 di London, untuk penghentian ledakan nuklir, serta pernyataan-pernyataan 9235 *scientists* dari 44 negara (Januari 1958) yang merupakan petisi yang diajukan kepada Sekjen PBB Hammar-skjöld untuk penghapusan percobaan bom nuklir perlu mendapat dukungan lebih banyak termasuk para sarjana yang bertugas dalam pembuatan senjata nuklir.

KEPUSTAKAAN

- Ajello, Aldo 1985 *Nuclear Winter*. International Foundation for Development Alternatives. Dossier, Nyon, Swiss.
- Glasstone, Samuel 1957 *The Effects of Nuclear Weapons*. United States Atomic Energy Commission, Washington, D. C.
- Kuzin, A. M. 1959 *Nuclear Explosions - A World Wide Hazard*. Foreign Languages Publ. House, Moscow.
-