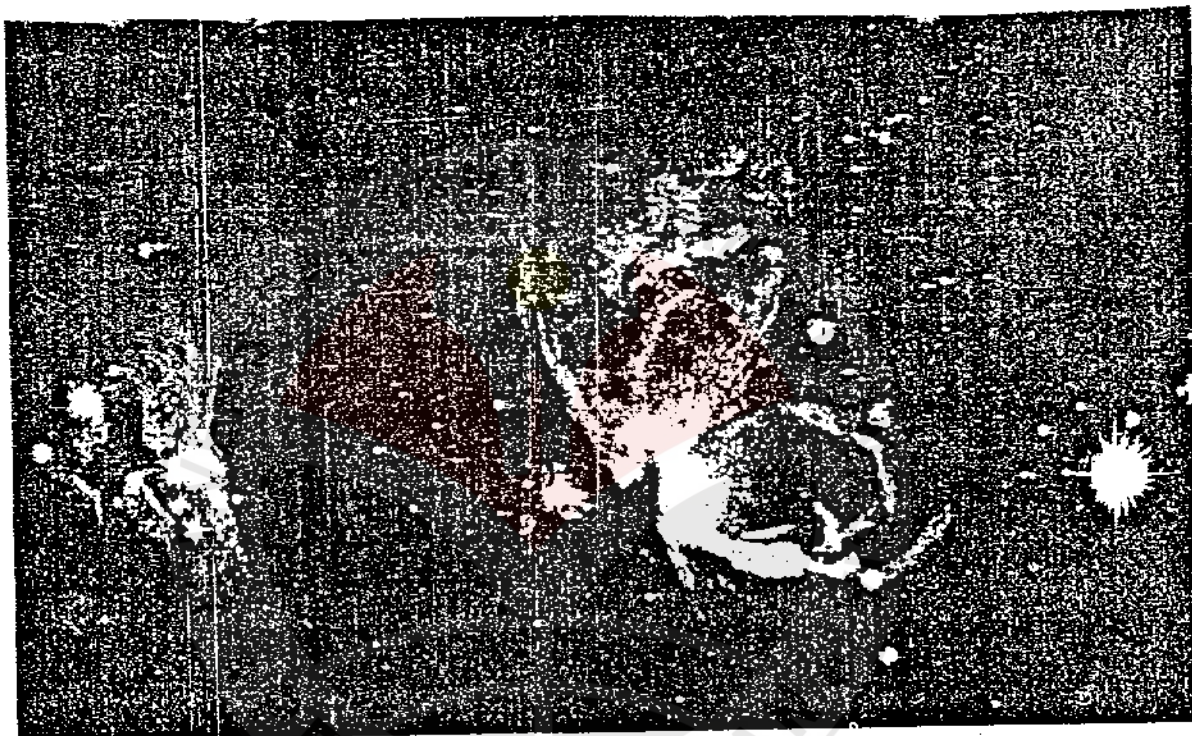


BAB-III
ENERGI MATAHARI

III-1. Pengantar. Ruang antara bintang - bintang , tidak-lah kosong . Dibeberapa tempat kerapatan materi antar bintang cukup besar , hingga materi tersebut tampak sebagai kabut antar bintang yang dinamakan Nebula . Contoh, nebula Orion . Gambar III - 1.



Gambar III -1. Nebula Orion . Proses pembentukan bintang masih berlangsung

Bintang - bintang atau matahari - matahari berasal dari kabut antar bintang yang mengelompok yang kemudian mengerut . Pengerutan ini terjadi karena gaya gravitasi antara partikel - partikel gas tersebut . peristiwa ini di -

sebut kondensasi materi antar bintang .

Ditaksir pada awal kondensasi ini massa kabut gas sekitar 1000 x massa matahari . Kondensasi ini akan terpecah menjadi kondensasi yang lebih kecil . Fragmen atau pecahan ini akan pecah pula akan menjadi lebih kecil lagi yang kemudian mengerut menjadi bintang atau matahari . Peristiwa ini disebut " fragmentasi "

Dalam sebuah dongeng Yunani diceriterakan bahwa Prometheus mencuri api dari matahari dan memberikannya kepada manusia , karena ia merasa kasihan kepada manusia atas kesengsaraannya di bumi . Akibatnya ia dihukum oleh dewa Zeus .

Barangkali Prometheus tak perlu mencari api dari matahari kalau ia tahu bahwa matahari sebenarnya telah mengirim api atau energi radiasi secara berlimpah-limpah langsung ke bumi selama bermilyar tahun. Tabungan matahari di bumi antara lain berbentuk : minyak , batubara , kayu , juga berbagai makanan dan buah - buahan .

Berbeda dengan planet dan bulan , yang dapat kita lihat karena memantulkan cahaya matahari , sedangkan bintang - bintang atau matahari - matahari memancarkan cahaya sendiri . Energi matahari yang dipancarkan sangat besar , menurut ukuran manusia . Luminositas matahari = $3,9 \times 10^{26}$ watt . Energi matahari yang dipancarkan seti-

ap detik sama dengan energi yang dibangkitkan oleh semua pembangkit energi buatan manusia selama beberapa juta tahun . Beberapa bintang bahkan memancarkan energi jauh lebih hebat dari matahari .

Sudah berapa lamakah matahari bersinar ? Ahli Geologi menemukan adanya fosil - fosil yang merupakan sisa kehidupan berasal dari zaman 3,4 milyar tahun yang lalu. Jadi pada masa itu sudah ada kehidupan di bumi , walaupun bentuknya masih sangat sederhana , yaitu berupa ganggang (algae). Ini merupakan bukti bahwa 3,4 milyar tahun yang lalu matahari telah ada dan menyinari bumi dengan keadaan yang tak berbeda dengan keadaan yang sekarang . Jika tidak , tak mungkin kehidupan berlangsung di bumi . Jadi kita dapat menarik kesimpulan bahwa paling sedikit umur matahari 3,4 milyar tahun. Jika selama ini luminositas matahari tetap , maka matahari telah memancarkan energi selama 3,4 milyar tahun sebesar 4×10^{43} joule

Pada sekitar tahun 1920 timbul gagasan atau dugaan bahwa pembangkit energi dalam bintang atau matahari berasal dari perubahan massa menjadi energi berdasarkan rumus Einstein , yaitu $E = m c^2$.

Pada tahun 1927 Eddington mengemukakan bahwa energi akan dibebaskan bila empat inti hidrogen bereaksi menjadi satu inti helium dengan dengan reaksi sebagai berikut :

4 inti hidrogen ----- 1 inti helium + energi

Dengan mengambil massa standard atom $O = 16$, maka massa 4 inti hidrogen = $4 \times 1,00813 = 4,03252$, jadi massa satu inti helium seharusnya sama, yakni $4,03252$, tetapi kenyataannya massa satu inti helium adalah $4,00386$. Kita lihat adanya massa yang hilang sebesar $4,03252 - 4,00386 = 0,02866$ amu dan massa inilah yang menjadi energi.

Karena $1,00813$ amu ekuivalen dengan $1,672 \times 10^{-27}$ kg, maka massa yang hilang dalam reaksi tersebut adalah $4,7535 \times 10^{-29}$ kg. Dengan rumus Einstein dapat dihitung energi yang dibebaskan dalam setiap reaksi yakni sebesar $4,27 \times 10^{-2}$ joule. Sedangkan luminositas matahari = $3,9 \times 10^{26}$ watt. Dapat kita hitung dengan menggunakan rumus Einstein bahwa jumlah massa matahari yang hilang dan berubah menjadi energi adalah $4,3 \times 10^9$ kg/detik atau empat juta ton kilogram setiap detik. Berapa massa matahari yang hilang setiap tahun? Dan berapa massanya yang hilang selama umur matahari, yaitu 5 milyar tahun? Bilangan yang diperoleh tentu besar sekali, tetapi bagi matahari massa yang hilang tersebut masih kecil sekali. Selama 5 milyar tahun matahari telah kehilangan massa sebanyak $6,5 \times 10^{26}$ kg yang berubah menjadi energi dan ini hanya 0,03 % dari seluruh massa matahari.

Hidrogen adalah unsur yang paling sederhana dalam

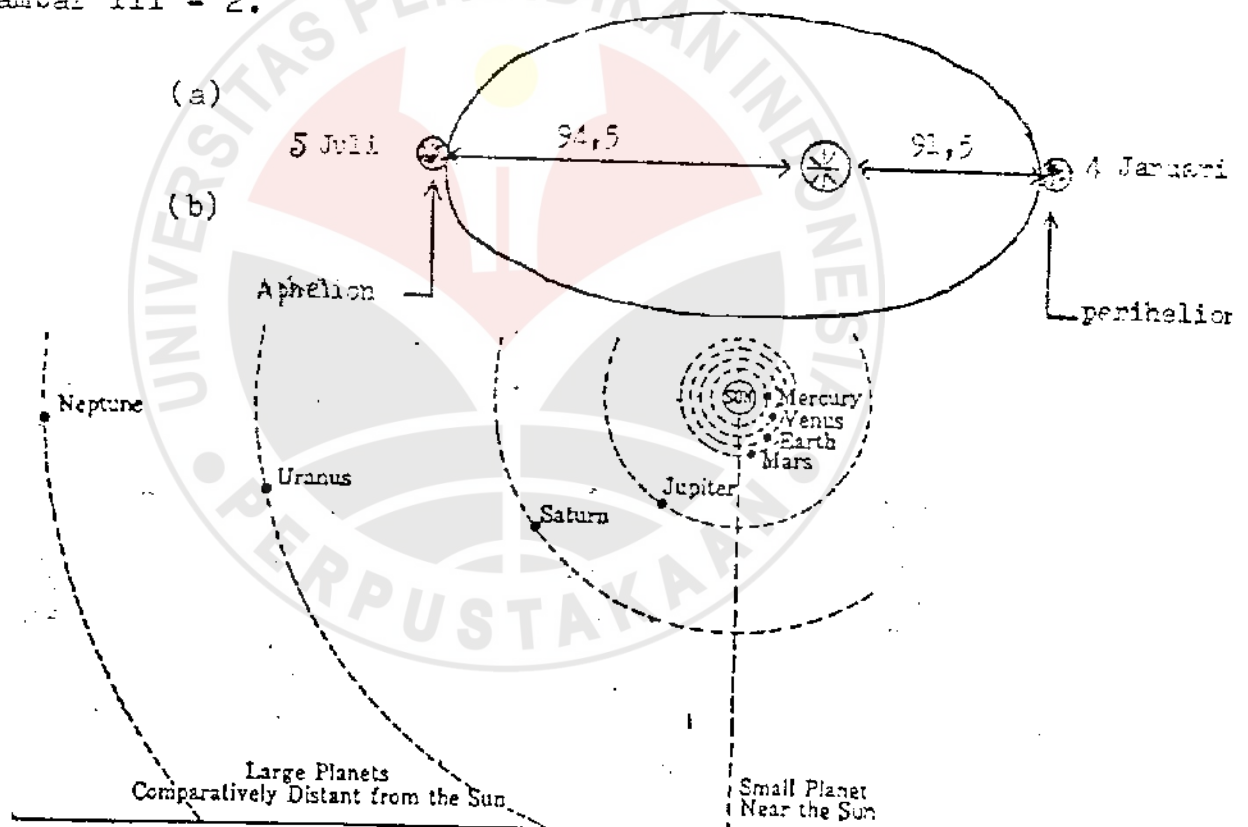
ini karena hanya terdiri atas satu inti yang disebut proton dan 1 elektron . Karena itu hidrogen merupakan unsur yang terbanyak terdapat di alam . Materi bintang atau matahari sebagian terbesar terdiri dari hidrogen dan hidrogen inilah yang merupakan bahan utama dalam pembakaran di matahari . Sungguh merupakan bahan bakar yang melimpah .

Reaksi inti yang mengubah hidrogen menjadi helium berlangsung dibagian matahari yang suhunya paling tinggi jadi pada mulanya reaksi terjadi dipusat matahari . Tentu saja , lambat laun banyaknya hidrogen dipusat matahari makin berkurang , sedangkan heliumnya makin bertambah . Pada suatu saat inti helium yang terkumpul dipusat matahari akan bereaksi untuk membentuk karbon . Akibatnya helium makin berkurang dan karbon makin bertambah . Selanjutnya inti - inti karbon akan bereaksi membentuk inti - inti yang lebih berat lagi , seperti oksigen dan neon . Demikian seterusnya , hingga akhirnya membentuk inti - inti berat seperti besi dan nikel dan ini terjadi pada suhu yang amat tinggi , hingga semua unsur dalam bentuk gas . Jadi dapat kita bayangkan bahwa pusat matahari merupakan dapur yang memasak unsur ringan menjadi unsur berat .

Bumi berevolusi mengelilingi matahari pada jarak

rata - rata $149,6 \times 10^6$ km = 150×10^6 km atau 93 juta mil dengan orbit berbentuk elip . Jarak bumi - matahari terdekat disebut "perihelion", yang terjadi pada tanggal 4 Januari , dimana jarak bumi - matahari = 91,5 juta mil. Sedangkan jarak bumi - matahari yang terjauh disebut "aphelion" yang terjadi pada tanggal 5 Juli, dimana jaraknya = 94,5 juta mil .

Orbit bumi mengelilingi matahari berbentuk elip dengan eksentrisitas (e) yang kecil , yaitu sama dengan 0,017 yang berarti bahwa orbit bumi berbentuk lingkaran. Gambar III - 2.



Gambar III-2. (a).Perihelion dan aphelion

(b). Matahari dengan planit-planitnya

Radiasi matahari yang berbentuk gelombang elektromagnetik adalah penting dalam proses pertukaran energi di dalam atmosfer. Radiasi gelombang elektromagnetik ini menjalar dengan kecepatan 3×10^8 m/detik. Distribusi radiasi gelombang elektromagnetik yang diemisikan matahari hampir sama dengan radiasi benda hitam yang suhunya 6000°K .

Energi matahari diradiasikan uniform kesegala arah dan sebagian besar energi tersebut hilang kedalam alam semesta yang sangat luas dan hanya sebagian kecil saja dari radiasi matahari yang dapat diterima bumi. Dari jumlah radiasi yang datang ini (insolasi), sebagian dikembalikan keruang angkasa (albedo) yang terdiri dari :

- * 6 % yang dihamburkan oleh atmosfer (oleh molekul - molekul debu)
- * 27 % yang dipantulkan oleh awan - awan
- * 2 % yang dipantulkan oleh permukaan bumi

Jadi jumlah albedonya = 35 %

Jumlah energi yang diserap atmosfer (oleh uap air dan gas permanen) adalah 14 % . Jumlah energi yang diserap bumi adalah 51 % yang terdiri dari :

- 34 % berupa sinar atau cahaya langsung
- 17 % berupa radiasi difus dari atmosfer

Radiasi yang diserap bumi, digunakan untuk memanasi bumi sendiri dan untuk memanasi atmosfer dari bawah.

Karena temperatur rata-rata tahunan bumi secara ke-

keseluruhan adalah konstan , artinya bumi tidak bertambah panas atau menjadi lebih dingin maka 65 % dari radiasi yang diserap yaitu 14 % oleh atmosfer dan 51 % oleh bumi , harus dipancarkan lagi keruang angkasa dalam bentuk radiasi gelombang panjang . Bumi menyerap 51 % radiasi matahari yang datang dan dikembalikan lagi dalam bentuk sebagai berikut :

17 % adalah radiasi langsung dari bumi keangkasa dan tidak memanasi atmosfer

6 % diserap atmosfer dan digunakan untuk memanasi atmosfer

9 % untuk turbulensi dan konveksi yang diterima atmosfer

19 % kondensasi dari uap air , dimana panas laten kondensasi dilepaskan dan diterima atmosfer

Radiasi yang dipancarkan keruang angkasa adalah 65 % yang terdiri dari 48% dipancarkan oleh atmosfer dan 17 % oleh radiasi bumi langsung .

Energi matahari merupakan sumber energi yang mempengaruhi gerak atmosfer , macam - macam proses dalam atmosfer dan dan dalam lapisan permukaan bumi , Energi matahari erat sekali dengan kehidupan , seperti foto sintesa , siklus nitrogen dan siklus oksigen dan lain - lain . Dapat dikatakan bahwa radiasi matahari merupakan sumber kehidupan . Pembentukan makanan , buah - buahan dan lain-la-

in menunjukkan betapa besar peranan energi matahari .
Menurut Gerson , matahari merupakan sumber energi yang terbesar yang datang dari angkasa .

III-2. Tujuan Instruksional Umum. Dengan mempelajari bahasan Energi Matahari ini Anda diharapkan akan mempunyai pandangan yang lebih luas dalam bidang IPA , melalui pemahaman konsep - konsep , prinsip - prinsip atau teori - teori tentang munculnya energi radiasi matahari , bagaimana radiasi matahari mempengaruhi atmosfer dan bumi . Bagaimana radiasi matahari mempengaruhi tumbuh - tumbuhan (foto sintesa) dan kehidupan pada umumnya . Bagaimana radiasi matahari mempengaruhi lautan serta beberapa hasil penelitian tentang energi matahari dan penggunaannya dalam teknologi .

III-3. Tujuan Instruksional Khusus . Kemampuan yang diharapkan dapat dicapai, antara lain sebagai berikut :

- (1). Dapat menjelaskan bahan utama pembentuk benda - benda langit
- (2). Dapat mengenal adanya gaya gravitasi dalam semesta
- (3). Dapat menyebutkan sebab terjadinya kabut gas dalam semesta
- (4). Dapat menjelaskan terjadinya reaksi p - p (reaksi proton - proton) di Matahari
- (5). Dapat menjelaskan reaksi inti karbon - nitro-

gen yang terjadi di Matahari

- (6). Dapat membedakan antara reaksi fusi dengan reaksi fisi
- (7). Dapat menjelaskan , karena pengerutan kabut gas bisa menimbulkan energi panas
- (8). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan fragmentasi
- (9). Dapat menjelaskan tentang peristiwa kondensasi
- (10).Dapat menjelaskan lahirnya matahari
- (11).Dapat menjelaskan peristiwa pembakaran di matahari
- (12).Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan benda hitam
- (13).Dapat menjelaskan tentang perbedaan pembiasan radiasi gelombang pendek dengan radiasi gelombang panjang
- (14).Dapat menjelaskan tentang : distribusi energi radiasi
- (15).Dapat menjelaskan teori foton dari Planck
- (16).Dapat menjelaskan bahwa benda hitam memancarkan energi sebagai fungsi panjang gelombang dan suhu
- (17).Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan udara

- (18). Dapat menyebutkan apa yang dimaksud dengan gas permanen atau stabil
- (19). Dapat menjelaskan tentang udara kering atau udara murni
- (20). Dapat menyebutkan pentingnya O_2
- (21). Dapat menyebutkan sumber CO_2
- (22). Dapat menjelaskan gas yang berpengaruh pada iklim dan cuaca
- (23). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan debu atmosfer
- (24). Dapat menyebutkan lapisan - lapisan atmosfer berdasarkan suhu
- (25). Dapat menyebutkan lapisan - lapisan atmosfer berdasarkan komposisinya
- (26). Dapat menjelaskan lapisan - lapisan atmosfer berdasarkan sifat - sifat radio elektrik
- (27). Dapat menjelaskan tentang perihelion dan aphelion matahari terhadap bumi
- (28). Dapat menjelaskan pentingnya radiasi matahari dalam pertukaran energi di atmosfer
- (29). Dapat menjelaskan bahwa matahari dapat dianggap sebagai benda hitam yang memancarkan energi
- (30). Dapat menjelaskan tentang radiasi matahari sebagai sumber energi gerak atmosfer
- (31). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan

konstanta matahari atau konstanta solar

- (32). Dapat menjelaskan tentang apa yang dimaksud dengan insolasi
- (33). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan albedo
- (34). Dapat menyebutkan besarnya radiasi matahari yang diserap oleh atmosfer
- (35). Dapat menyebutkan besarnya energi matahari yang diserap bumi
- (36). Dapat menyebutkan besarnya radiasi matahari yang diserap oleh atmosfer
- (37). Dapat menyebutkan perincian dan besarnya energi yang dipancarkan kembali oleh bumi
- (38). Dapat menjelaskan energi radiasi matahari yang dipancarkan kembali ke ruang angkasa
- (39). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan asimilasi
- (40). Dapat membedakan asimilasi -C yang berdasarkan sumbernya
- (41). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan fotosintesis
- (42). Dapat menjelaskan apa yang dimaksud dengan kemosintesis
- (43). Dapat menjelaskan terbentuknya karbohidrat
- (44). Dapat menjelaskan jumlah energi yang diperlukan untuk pembentukan 1 gram gula dan peranan klorofil

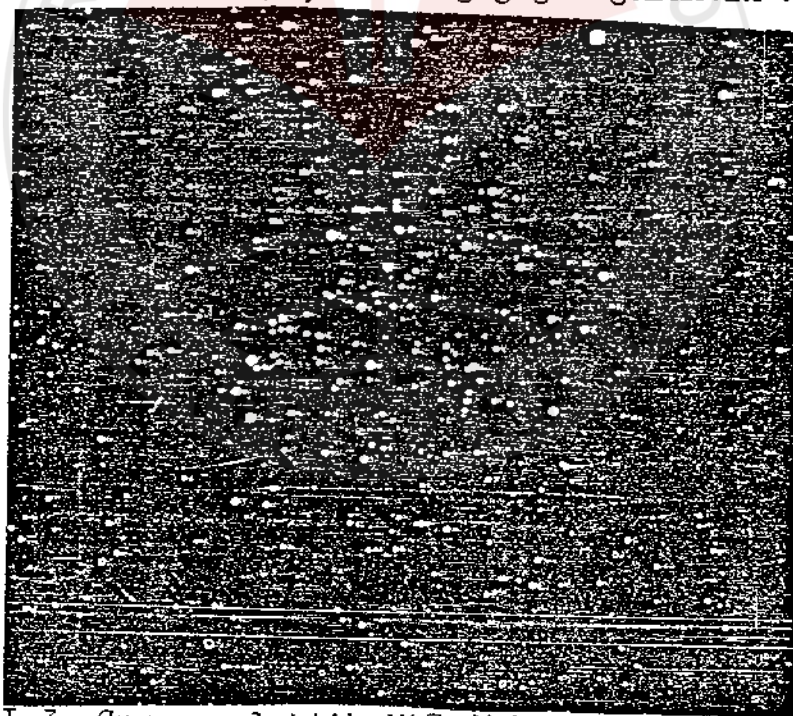
- (45). Dapat menyebutkan dan menjelaskan jumlah produksi gula oleh daun
- (46). Dapat menjelaskan tentang respirasi
- (47). Dapat menjelaskan tentang pengubahan energi radiasi matahari menjadi energi mekanis
- (48). Dapat menjelaskan bahwa makhluk hidup memperoleh tenaga dari matahari
- (49). Dapat menjelaskan tentang siklus - C
- (50). Dapat menjelaskan tentang siklus air
- (51). Dapat menjelaskan proses terjadinya siklus Ca
- (52). Dapat menjelaskan proses terjadinya siklus-N
- (53). Dapat menjelaskan bahwa radiasi matahari mempengaruhi suhu atmosfer
- (54). Dapat menjelaskan tentang curah hujan
- (55). Dapat menjelaskan hujan konveksi
- (56). Dapat menjelaskan terjadinya hujan orografik
- (57). Dapat menjelaskan pengukuran durasi matahari
- (58). Dapat menjelaskan hamburan yang dilakukan oleh atmosfer
- (59). Dapat menjelaskan penyerapan energi matahari oleh atmosfer
- (60). Dapat menjelaskan tentang apa yang dimaksud dengan radiasi difus

- (61). Dapat menjelaskan sifat - sifat optis air laut
- (62). Dapat menjelaskan radiasi matahari terbesar yang diterima air laut
- (63). Dapat menjelaskan tentang panas yang dile - paskan permukaan air laut
- (64). Dapat menjelaskan tentang suhu air laut
- (65). Dapat menjelaskan tentang prinsip - prinsip respon tubuh manusia terhadap suhu
- (66). Dapat menjelaskan akibat radiasi langsung dari matahari pada tubuh
- (67). Dapat menjelaskan kesetimbangan panas tubuh
- (68). Dapat menjelaskan tentang panas metabolisme
- (69). Dapat menjelaskan hubungan radiasi matahari dan penerimaan panas tubuh
- (70). Dapat menjelaskan tentang panas konveksi
- (71). Dapat menjelaskan tentang penerimaan panas tubuh melalui konduksi (P_+)
- (72). Dapat menjelaskan tentang prinsip kerja ka - mar pengering sederhana dengan energi surya
- (73). Dapat menjelaskan pembuatan sel surya sili - kon dan penggunaannya sebagai sumber energi listrik dengan daya rendah
- (74). Dapat menjelaskan pertimbangan dalam pemilih - an sel surya silikon sebagai sumber listrik.

- (75). Dapat menjelaskan prospek penggunaan sel surya silikon
- (76). Dapat menjelaskan tentang penyimpanan energi matahari dengan susunan batu kerikil

III-4. Materi. Gas H_2 merupakan bahan utama pembentuk benda - benda langit dan merupakan unsur kimia yang paling sederhana serta yang terdapat di alam semesta dalam jumlah yang sangat besar .

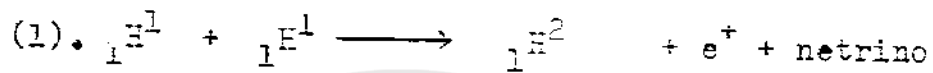
Gaya gravitasi. Adanya konsep umum tentang suatu gaya yang bekerja di alam semesta yang bersifat universal ini, sehingga tercipta kesetimbangan antar benda & benda di alam semesta . Gaya ini dikenal sebagai gaya gravitasi. Perhatikan Gambar III-3 , tentang gugus galaktik M 67.



Gambar III-3. Gugus galaktik M67, didalamnya terkandung ratusan bintang yang agak lepas ikatannya.

Kabut gas . Karena adanya gaya gravitasi maka gas dapat mengumpul yang kita kenal sebagai kabut gas (kabut gas hidrogen).

Reaksi proton - proton (p - p) . Karena pengerutan kabut gas , maka suhu gas akan makin tinggi , maka terutama di-pusat Matahari terjadi reaksi proton - proton , terutama untuk Matahari yang mempunyai massa relatif kecil , Reak-sinya akan berbentuk sebagai berikut :



Matahari . Sedangkan matahari adalah suatu bola gas yang pijar yang ternyata tidak bulat betul . Matahari mempu - nyai semacam ekuator dan kutub karena gerak rotasinya . Garis tengah ekuator tersebut = 864.000 mil , sedangkan garis tengah antar kutubnya 43 mil lebih pendek .

Jarak matahari kebumi adalah 93.000.000 mil . Jarak ini digunakan sebagai satuan astronomi . Satu satuan as - tronomi (Astronomical Unit = AU = 93 juta mil = 148 ju - ta km) . Dibandingkan dengan bumi diameter matahari kira - kira 100 kali diameter bumi . Gaya tarik matahari kira - kira 30 kali gaya tarik bumi .

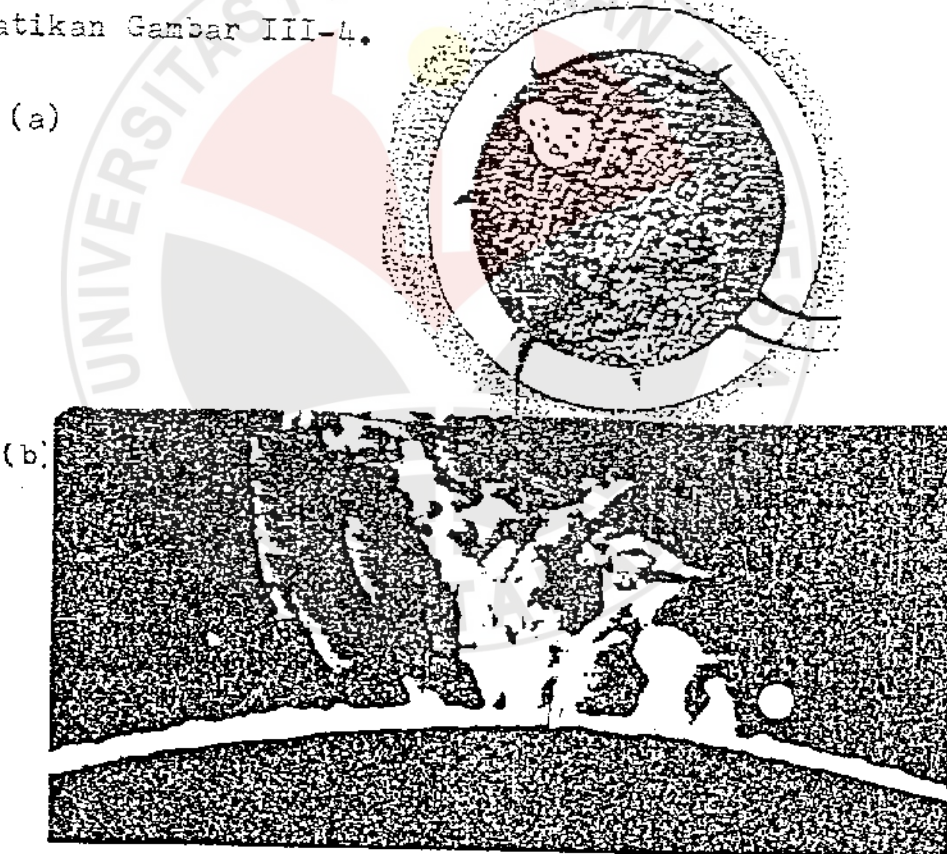
Bagaimana dengan suhu di matahari ? Menurut perhitungan para ahli , dengan menganggap matahari sama dengan benda hitam sempurna yang dipanaskan , maka diperkirakan suhu permukaan matahari sekitar 6000°C ; jenis batuan atau logam apapun yang kita kenal di bumi akan hancur atau lebur pada suhu setinggi itu . Suhu tertinggi di matahari terletak dipusatnya yang diperkirakan tidak kurang dari 25 juta $^{\circ}\text{C}$. Pada permukaannya ada bercak hitam Dengan adanya bercak hitam ini , orang bisa menghitung kecepatan rotasi matahari , yakni 27 hari . Namun makin dekat ke kutubnya , ternyata makin lambat . Didekat kutub matahari kecepatan rotasinya sama dengan 34 hari . Lapisan bola matahari bagian dalam disebut fotosfer yang tebalnya kira - kira 220 mil . Dari lapisan ini terdapat semburan api yang berasal dari suatu ledakan . Semburannya dapat mencapai ketinggian 140.000 mil . Lapisan luar dari fotosfer yang disebut chromosfer , berwarna kemerahan dan berasal dari hidrogen yang pijar . Lapisan ini mempunyai lidah - lidah api yang menjilat keluar . Tebal chromosfer kira - kira 9.000 mil . Lapisan lebih luar dari chromosfer adah "korona" . Korona berupa sinar kemilau yang tebalnya kadang - kadang melebihi garis tengah matahari itu sendiri . Korona nampak jelas waktu gerhana matahari .

Matahari ini sangat penting bagi kehidupan di bumi,

karena ,antara lain :

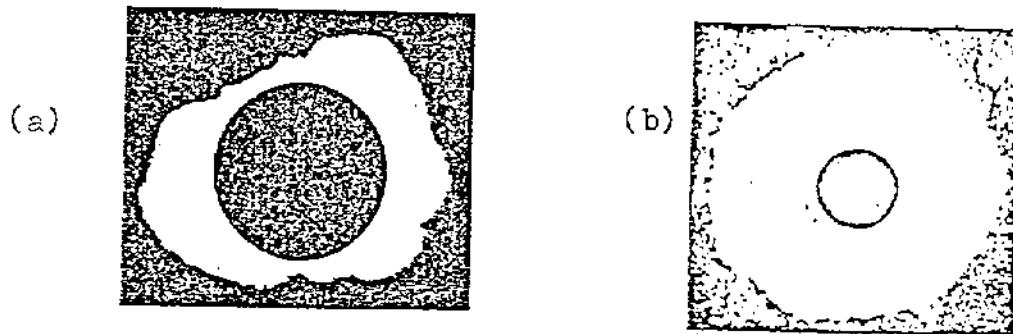
- (1). Merupakan sumber sinar dan sumber energi utama bagi bumi . Minyak bumi dan batu bara juga berasal dari energi matahari
- (2). Matahari mengontrol stabilitas peredaran bumi yang berarti mengontrol terjadinya siang dan malam , bulan , tahun serta juga mengontrol peredaran planet lain
- (3). Matahari adalah bintang yang terdekat , maka dengan mempelajari matahari , maka secara tak langsung dapat memahami bintang - bintang lain.

Perhatikan Gambar III-4.



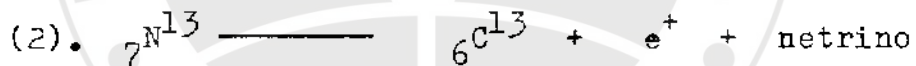
Gambar III-4. (a). Matahari dengan bagian-bagiannya
(b). Ledakan matahari

Gambar III-5, tentang korona .



Gambar III-5. Korona : (a). Saat kurang aktif
(b). Saat aktif

Reaksi inti karbon - nitrogen . Untuk massa matahari yang relatif besar (lebih besar dari $2,5 \times M_{\odot}$), maka reaksi inti yang terjadi adalah siklus karbon - nitrogen, yang reaksinya sebagai berikut :



Reaksi fusi dan reaksi fisi. Bila reaksi inti yang terjadi , inti ringan bergabung dan menjadi inti yang lebih berat , maka reaksi inti tersebut dinamakan "reaksi fusi" .

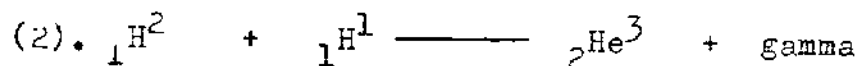
Sedangkan sebaliknya bila reaksi inti , inti atom berat pecah menjadi inti - inti atom yang lebih ringan , disebut "reaksi fisi".

Pengerutan kabut gas dan Panas. Karena pengerutan suatu kabut gas , maka tekanan gas ini akan bertambah , karena itu suhu akan naik . Dengan demikian timbul energi panas.

Fragmentasi . Kabut gas yang menggumpal atau mengerut dapat terpecah - pecah menjadi gumpalan yang lebih kecil, peristiwa ini yang disebut sebagai fragmentasi .

Lahirnya Matahari . Suatu pecahan kabut gas (fragmen) mengerut terus , akibatnya akan timbul panas , sehingga memungkinkan terjadinya reaksi inti dimana dilepaskan energi panas atau energi foton .

Pembakaran H₂ di Matahari . Karena proses pengkerutan ini suhu dipusat matahari (bintang) menjadi sangat tinggi (bisa mencapai 2×10^7 °K) , sehingga terjadi reaksi inti dimana H₂ berubah menjadi Helium , dengan reaksi sebagai berikut :

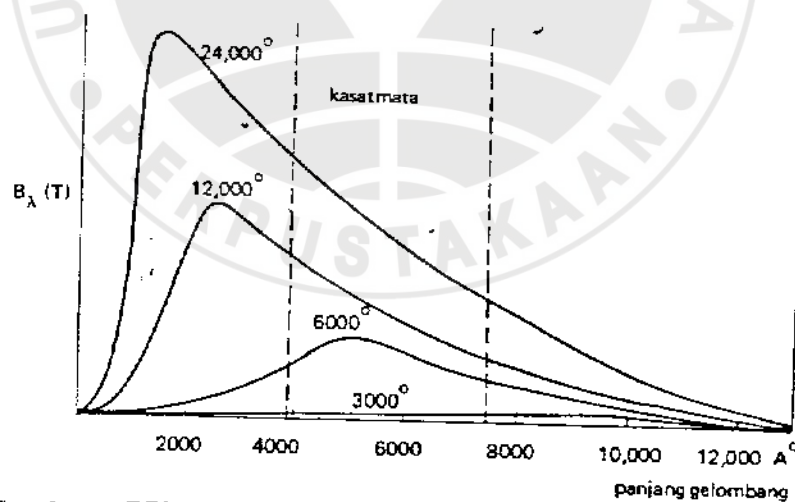


Pada akhir abad ke-19 teori radiasi atau pancaran energi mulai dikembangkan oleh ahli - ahli fisika .

Benda hitam. Benda hitam adalah benda yang menyerap semua energi (menyerap semua panjang gelombang) dan memancarkan energi hampir seluruh panjang gelombang , bila dipanaskan .

Pembiasan radiasi gelombang pendek dan Pembiasan radiasi gelombang panjang . Makin pendek panjang gelombang suatu radiasi gelombang elektromagnetik , akan makin kuat dibiaskan oleh suatu medium (medium yang kedua ini harus lebih rapat dengan medium yang pertama) .

Distribusi radiasi energi. Ternyata bahwa radiasi energi tidak didistribusikan secara merata pada seluruh panjang gelombang . Radiasi energi sebagai fungsi panjang gelombang berbeda - beda tergantung pada suhunya . Pada suhu yang rendah energi yang dipancarkan maksimum adalah pada daerah panjang gelombang yang panjang , demikian pula sebaliknya . Gambar III - 5.



Gambar III - 5 . Distribusi radiasi energi

Teori foton Planck. Pada awal abad 19 Max Planck (Jerman) mengajukan suatu teori tentang radiasi yang menyatakan bahwa radiasi merupakan pancaran paket - paket energi yang disebut " foton " (quanta) . Energi tiap foton ini = hf , dimana h = tetapan Planck ; f = frekuensi foton .

Berdasarkan teorinya Planck , dapat diturunkan bahwa energi yang dipancarkan benda hitam tiap m^2 tiap detik untuk panjang gelombang antara λ dan $\lambda + d\lambda$ adalah :

$$E(\lambda, T) d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda T} - 1}$$

E = energi radiasi ; h = tetapan Planck = $6,625 \times 10^{-27}$ erg.s

k = tetapan Boltzman = $1,380 \times 10^{-16}$ erg K^{-1}

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa = $2,998 \times 10^{10}$ cm s^{-1}

T = suhu Kelvin ; λ = panjang gelombang .

Udara . Gas pembentuk atmosfer disebut "udara " yang terdiri dari unsur - unsur dan senyawa kimia .

Gas permanen atau gas stabil seperti : Nitrogen , oksigen , hidrogen , helium dan gas - gas yang terdapat dalam jumlah jarang seperti argon , neon , krypton dan xenon , serta campuran dari gas - gas ini disebut " udara-kering" . Udara kering atau murni di Alam tidak pernah ada atau jarang kita jumpai disebabkan :

(1). Adanya uap air diudara yang jumlahnya berubah - ubah

(2). Selalu ada pengotoran udara

Oksigen . Oksigen penting bagi kehidupan , yaitu untuk mengubah makanan menjadi energi hidup . Oksigen dapat bergabung dengan unsur - unsur kimia lain disamping itu diperlukan untuk pembakaran .

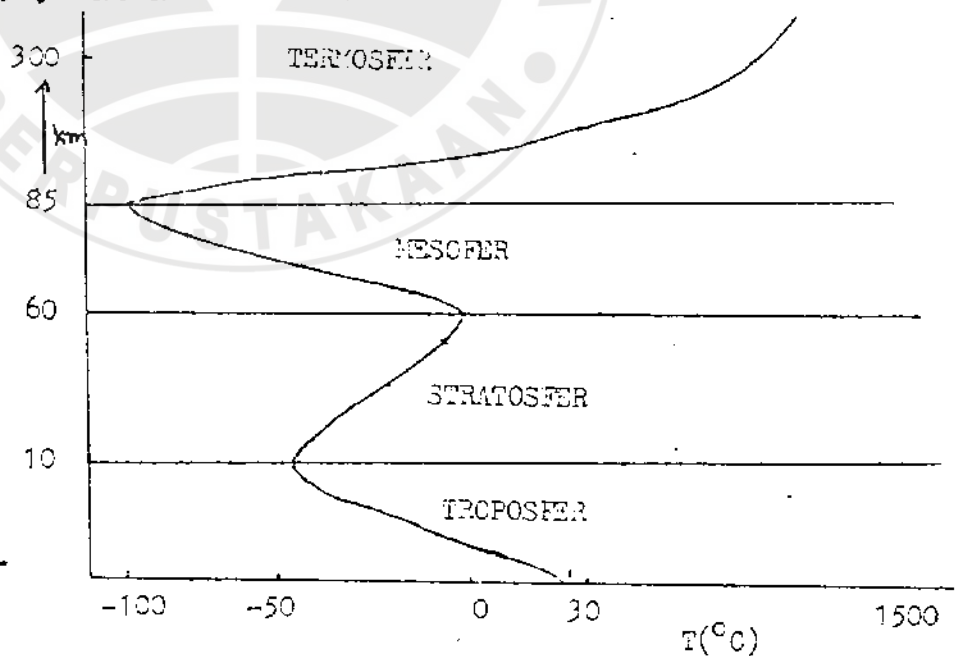
Karbon dioksida (CO_2) . CO_2 ini dihasilkan dari pernafasan hewan . Gas CO_2 diperlukan terutama oleh tumbuh - tumbuhan , disamping itu CO_2 merupakan suatu persenyawaan yang berasal dari udara terdiri dari dua bagian oksigen dan satu bagian dari C (karbon) . Karbon dioksida ini menyerap radiasi gelombang panjang yang datang dari bumi .

Uap air . Uap air adalah faktor yang penting dalam cuaca maupun iklim karena dapat berubah wujud (berubah fasa), bisa menjadi cair maupun padat . Disamping CO_2 , uap air sebagai senyawa kimia ada dalam jumlah besar diudara . Uap air ini dihasilkan dari penguapan air laut , danau maupun kolam dan juga dari transpirasi tanaman .

Ketiga wujud air diatmosfer mempunyai efek membatasi radiasi energi matahari (radiasi gelombang elektromagnetik) yaitu dengan mengabsorpsi , memantulkan dan menghamburkan panjang gelombang tertentu dari spektrum radiasi matahari .

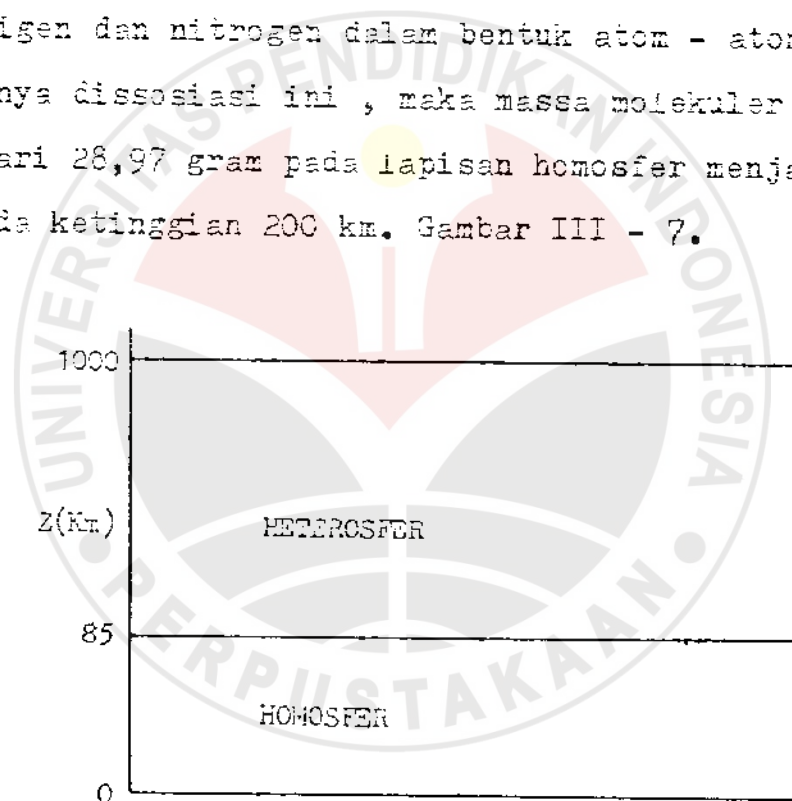
Debu . Debu merupakan suatu istilah untuk benda - benda kecil yang hampir selalu ada dan mengotori udara . Debu ini bukan suatu gas . Partikel - partikel debu demikian kecilnya , hingga kadang - kadang sulit dilihat dengan mata telanjang , melainkan harus dilihat dengan menggunakan mikroskop . Banyaknya debu di atmosfer tergantung sifat daerahnya , misalnya daerah industri akan berbeda dengan daerah pertanian . Debu dapat menyerap , memantulkan maupun menghamburkan radiasi matahari .

Lapisan - lapisan Atmosfer berdasarkan suhu . Jika lapisan - lapisan atmosfer dibagi berdasarkan suhu , maka kita akan kenal lapisan - lapisan troposfer , stratosfer dan termosfer . Lapisan troposfer dan stratosfer dipisahkan oleh lapisan tropopause . Sedangkan lapisan stratosfer dan mesosfer dibatasi oleh lapisan stratopause dan lapisan mesosfer dengan lapisan termosfer dibatasi oleh lapisan mesopause . Gambar III - 6 .



Gambar III-6.
Lapisan Atmosfer berdasarkan suhu

Pembagian lapisan-lapisan Atmosfer berdasarkan komposisinya . Nama lapisan - lapisan udara berdasarkan komposisinya terdiri dari lapisan homosfer dan heterosfer . Lapisan homosfer mempunyai ketebalan 85 km , dihitung dari permukaan bumi, dimana oksigen dan nitrogen berbentuk molekul . Pada lapisan ini udara cukup konstan dengan massa molekul = 28,97 gram . Lapisan heterosfer terletak diatas lapisan homosfer sampai ketinggian 1000 km. Pada lapisan ini ditandai dengan adanya dissosiasi molekul oksigen dan nitrogen dalam bentuk atom - atom . Akibat adanya dissosiasi ini , maka massa molekul udara turun dari 28,97 gram pada lapisan homosfer menjadi 15,79 gram pada ketinggian 200 km. Gambar III - 7.



Gambar III - 7. Pembagian lapisan - lapisan Atmosfer berdasarkan komposisinya .

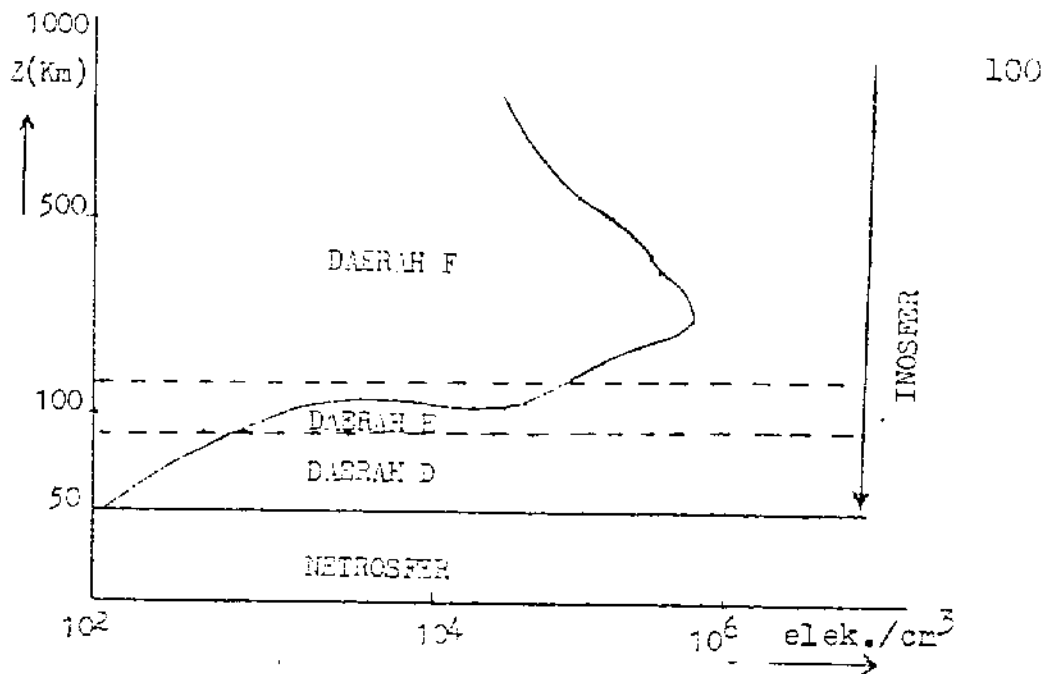
Pembagian lapisan - lapisan Atmosfer berdasarkan sifat-sifat radio listriknya . Nama - nama lapisan - lapisan Atmosfer berdasarkan sifat-sifat radio listriknya adalah lapisan Netrosfer dan Ionosfer . Lapisan ionosfer terletak antara ketinggian 50 km sampai ketinggian rumbai - rumbai bumi (sekitar 1000 km) .Lapisan ini terdiri dari lapisan - lapisan yang mempunyai kerapatan elektron yang berubah - rubah dan terhadap gelombang radio listrik memberikan efek yang berbeda - beda pula. Lapisan Ionosfer ini masih dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu :

- (1). Daerah - D : kerapatan elektronnya berkisar dari 10^3 sampai 10^4 elektron/cm³
- (2). Daerah - E : kerapatan elektronnya dari 10^3 sampai 10^5 elektron / cm³ dan memantulkan gelombang hektometrik
- (3). Daerah - F : kerapatan elektronnya mencapai 2×10^6 elektron / cm³ dan memantulkan gelombang metrik

Perhatikan Gambar III-8.

Matahari sebagai benda hitam yang memancarkan energi .

Walaupun bintang atau matahari bukan memancar (radiator) sempurna , tetapi pancaran energinya dapat dijelaskan dengan teori radiasi benda hitam . Spektrum matahari sama dengan spektrum benda hitam pada suhu 6000° C.



Gambar III - 6. Pembagian lapisan-lapisan Atmosfer berdasarkan sifat radio elektriknya.

Dalam hal ini benda hitam didefinisikan sebagai benda yang memancarkan radiasi energi dengan jumlah yang maksimum pada suhu tertentu, dalam semua panjang gelombang. Jumlah radiasi total yang dipancarkan oleh matahari mendekati suhu benda hitam untuk $T = 5770^{\circ}\text{K}$.

Konstanta Solar. Radiasi energi matahari yang pada atmosfer bagian atas pada jarak rata-rata bumi - matahari disebut "konstanta solar". Konstanta solar juga didefinisikan sebagai radiasi matahari yang jatuh pada satuan luas dari permukaan normal terhadap garis penghubung matahari - bumi persatuan waktu.

Insolasi. Radiasi matahari yang diterima pada permukaan bumi tiap satuan waktu persatuan luas disebut "insolasi" atau kadang - kadang disebut juga dengan radiasi

global , yakni radiasi langsung dari matahari , karena ada radiasi tak langsung yang disebabkan hamburan oleh partikel-partikel debu atau molekul - molekul gas yang ada di atmosfer . Insolasi berubah karena variasi ketinggian .

Albedo bumi . Diperkirakan bahwa 35 % dari radiasi matahari yang diterima pada batas atas atmosfer dikembalikan keruang angkasa dalam bentuk gelombang pendek oleh hamburan dan pemantulan awan , partikel-partikel debu , molekul - molekul udara dan permukaan bumi . Cahaya dalam bentuk gelombang pendek ini yang kembali keruang angkasa disebut "albedo" . Jadi albedo bumi ini meliputi :

- * 2 % dipantulkan dari permukaan bumi
- * 6 % dipantulkan atau dihamburkan oleh atmosfer
- * 27 % dipantulkan oleh awan

Banyaknya radiasi matahari yang diterima oleh atmosfer sebesar 65 % , yang diserap oleh atmosfer itu sendiri sebanyak 14 % , sedangkan yang diserap oleh permukaan bumi sebanyak 51 % .

Kita tahu bahwa bumi menyerap radiasi matahari sebesar 51 % . Karena suhu rata - rata tahunan bumi secara keseluruhan adalah konstan , yang artinya bahwa bumi tidak menjadi lebih panas atau menjadi lebih dingin , maka berarti bumi memancarkan kembali energi (radiasi) sebesar 65 % yang merupakan gelombang panjang . Sedangkan

Sedangkan yang 35 % yakni yang dipantulkan atau dihamburkan oleh atmosfer berbentuk gelombang pendek .

Sebanyak 14 % dari radiasi matahari yang datang kebumi akan diserap oleh atmosfer yang kebanyakan atau sebagian besar dilakukan oleh uap air , sebagian oleh awan , oleh debu dan oleh gas - gas permanen .

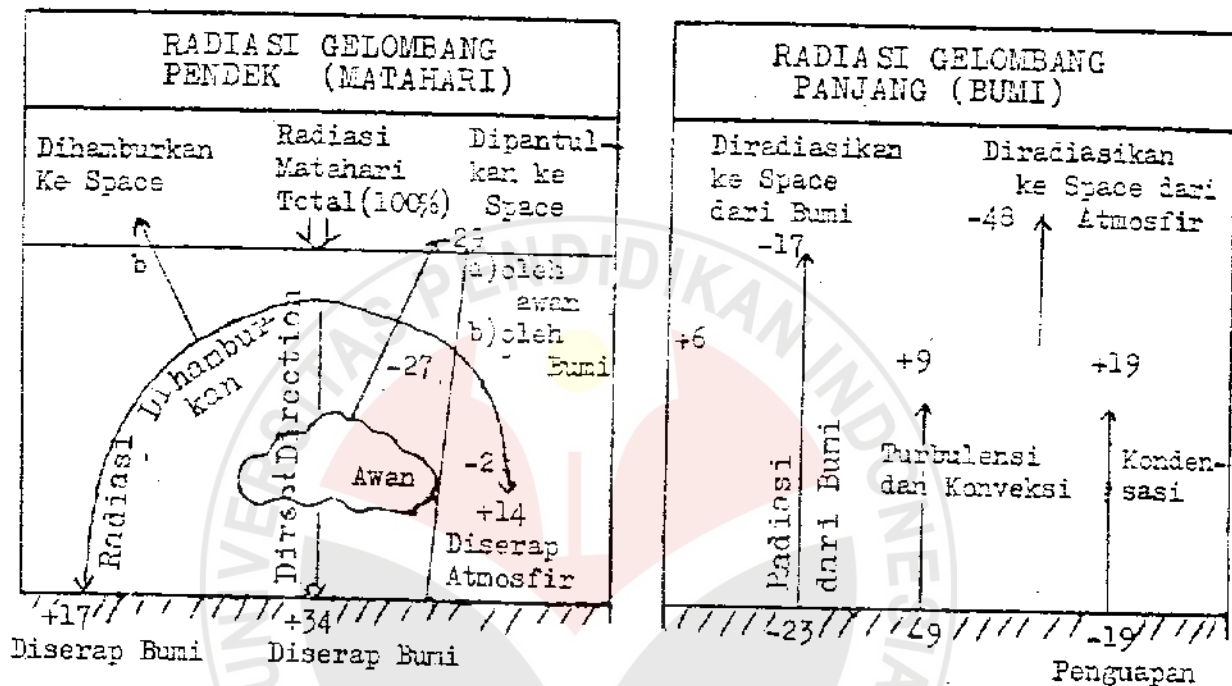
Seperti sudah disebutkan diatas bahwa suhu rata-rata tahunan bumi secara keseluruhan adalah tetap , maka berarti bahwa bumi bersama atmosfernya memancarkan kembali radiasi keruang angkasa sebanyak 65 % juga , yang ternyata dalam bentuk gelombang panjang . Bumi (tanpa atmosfer) juga akan memancarkan kembali radiasi dengan perincian sebagai berikut :

- * 17 % hilang keruang angkasa tanpa memanasi atmosfer
- * 6 % radiasi bumi yang diserap atmosfer dan disebut " radiasi efektif "
- * 9 % yang diterima atmosfer melalui pancaran yang dibawa oleh arus turbulen dan konveksi

Dari 65 % radiasi matahari yang diterima bumi bersama atmosfernya , yang 14 % diserap oleh atmosfer , sedangkan yang diserap oleh bumi sebesar 51 % . Atmosfer sendiri (dimalam hari) memancarkan radiasi dalam bentuk gelombang panjang sebesar :

$$14 \% + 6 \% + 9 \% + 19 \% = 48 \% , \text{ sedangkan dari}$$

permukaan bumi dipancarkan radiasi langsung keruang angkasa sebesar 17 % . Jadi jumlah total radiasi dari bumi bersama atmosfernya = 48 % + 17 % = 65 % . Gambar III-9.



Gambar III - 9. Radiasi Matahari yang sampai ke bumi dan pemancarannya kembali oleh bumi

Asimilasi . Tumbuh - tumbuhan mempunyai kemampuan untuk menyerap zat - zat yang diperlukan dari lingkungannya , yang selanjutnya dibentuk menjadi suatu persenyawaan yang sesuai dengan kebutuhannya . Keadaan , kemampuan atau pro-

ses macam ini disebut " asimilasi " .

Dalam peristiwa asimilasi ini zat-zat yang bersifat anorganik dengan tenaga yang berpotensi rendah ,diubah menjadi senyawa organik yang mempunyai tenaga berpotensial tinggi . Sehingga asimilasi mempunyai sebagai pengubahan zat-zat anorganik menjadi zat-zat organik yang berarti terjadi penimbunan energi . Kemampuan ini merupakan ciri sel tumbuh - tumbuhan . Dan dalam proses ini diperlukan energi lain seperti diperlukannya sinar matahari . Walaupun demikian biasanya yang dimaksud dengan asimilasi adalah asimilasi - C .

Berdasarkan sumber energinya asimilasi-C pada tumbuhan dapat dibedakan dalam hal :

- a. Fotosintesis , yaitu suatu asimilasi yang menggunakan cahaya (matahari) sebagai sumbernya
- b. Kimosintesis , yaitu asimilasi yang menggunakan energi yang berasal dari reaksi - reaksi kimia .

Fotosintesis hanya dapat dilakukan oleh tumbuhan yang mempunyai khloropil dan menggunakan cahaya sebagai sumber energi . Pada peristiwa fotosintesis ini CO_2 dari udara dan H_2O yang berasal dari dalam tanah bereaksi dan diubah menjadi karbohidrat . Dalam peristiwa ini dihasilkan (dikeluarkan) O_2 .

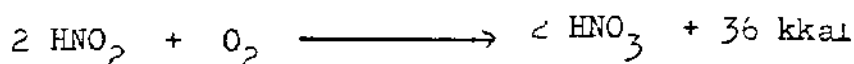
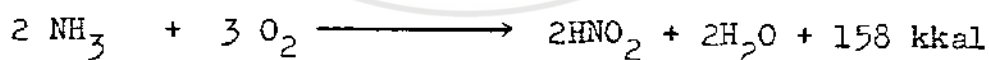
Ada tiga percobaan tentang fotosintesis ini , yak-

ni :

- (1). Percobaan Engelman
- (2). Percobaan jodium menurut Sach
- (3). Percobaan Ingenhousz

Kimosisintesis . Kimosisintesis adalah asimilasi yang menggunakan energi yang berasal dari reaksi - reaksi kimia. Tidak semua tumbuhan yang dapat melakukan asimilasi - C mempunyai khloropil dan menggunakan cahaya sebagai sumber energi . Beberapa bakteri yang tidak mempunyai khloropil , tetapi dapat mengadakan asimilasi - C dengan menggunakan energi yang berasal dari reaksi -reaksi kimia , misalnya bakteri-bakteri belirang beggiatoa , thiotrik dan lain - lain.

Bakteri - bakteri mengoksidkan senyawa tertentu dan energi yang timbul digunakan untuk asimilasi-C . Asimilasi seperti ini disebut " kemosintesis" dan bakteri yang mempunyai kemampuan seperti ini disebut "hemo otokraf" . Bakteri nitrit dan bakteri nitrat misalnya mengoksidkan berturut - turut gas amoniak dan asam nitrit menurut persamaan berikut :

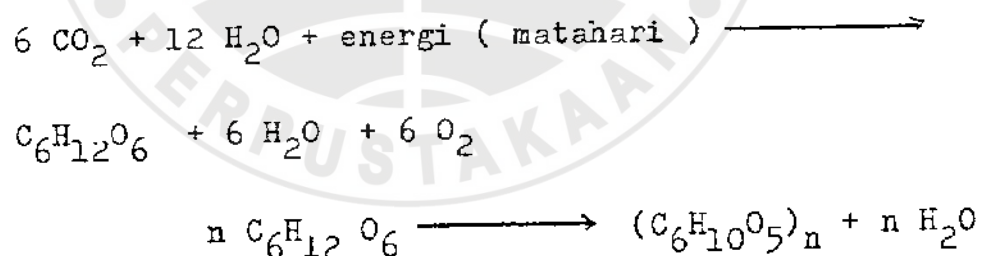


Tidak semua energi hasil oksidasi dapat dimanfaatkan un-

tuk asimilasi , dengan demikian dapat dipahami , bahwa bakteri nitrit memerlukan sejumlah grol NH_3 untuk pembentukan 1 grol $\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6$ dan bakteri nitrat memerlukan sejumlah grol HNO_2 yang lebih banyak untuk keperluan yang sama .

Karbohidrat . Dari segi kimianya ada perbedaan pendapat bagi para ahli , namun demikian mereka sependapat bahwa pembentukan karbohidrat itu selalu melalui pembentukan gula lebih dahulu . Gula perlu diubah menjadi tepung , karena penimbunan gula akan menyebabkan tingginya kadar cairan sel , dengan demikian akan menaikkan nilai osmosenya , hal ini akan mengganggu pengangkutan air dari sel ke sel. Oleh karena itu gula yang bersifat osmosis aktif, dijadikan amilum yang osmosis inaktif (non aktif).

Pembentukan gula sampai dengan zat tepung pada peristiwa fotosintesis dapat digambarkan dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Berdasarkan hukum kekekalan energi , jumlah energi yang diperlukan untuk pembentukan 1 grol gula , sama de -

ngan jumlah energi yang dikeluarkan dalam perubahan atau penguraian 1 grol gula tersebut . Ternyata besarnya energi ini sama dengan 675 kkal .

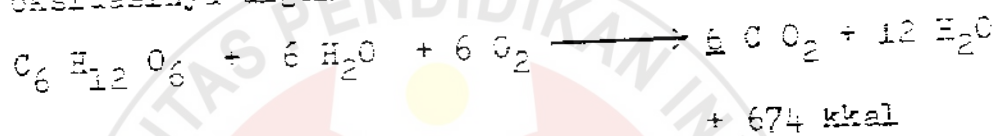
Tentang peranan khloropil , diduga bahwa khloro - pil berfungsi sebagai penghantar tenaga atau sensibilator. Energi matahari diterima khloropil , kemudian diteruskan untuk suatu proses pembuatan atau pembentukan gula tersebut .

Menurut hasil percobaan setiap luas 1 m^2 daun untuk setiap jam dapat menyerap 200 kkal panas dan sementara itu dalam daun tadi dapat terbentuk antara 1 - 2 gr gula . Dari angka - angka ini dapat dihitung bahwa dari energi matahari yang jatuh pada daun hanya sekitar 2 % yang digunakan untuk fotosintesis . Sebagian energi radiasi yang diterima digunakan untuk keperluan yang lain, seperti misalnya untuk penguapan dan sebagian lagi dipancarkan atau dipantulkan lagi oleh daun .

Respirasi . Walaupun tidak nampak oleh mata kita , tapi tumbuhanpun melakukan pekerjaan - pekerjaan yang memerlukan energi . Seperti pada hewan energi yang dibutuhkan itu hasil dari oksidasi senyawa - senyawa yang terdapat dalam tubuh tumbuhan , terutama karbohidrat dan lemak . Untuk keperluan ini harus ada O_2 dari udara . Ini berarti suatu pernafasan. Tumbuhan juga mengalami proses seperti ini.

Pada peristiwa fotosintesis telah kita ketahui bah-

wa oleh tumbuhan yang berhijau daun , energi matahari ditimbun sebagai energi potensial dalam senyawa - senyawa organik . Pada pernafasan , senyawa organik atau energi tersebut dibebaskan kembali . Jadi asimilasi merupakan proses yang membangun (energi) yang disebut juga sebagai " anabolisma" . Sedangkan pernafasan atau respirasi merupakan proses yang berlawanan dengan asimilasi, jadi disini terjadi pembongkaran energi . Pembongkaran energi ini disebut juga sebagai disimilasi atau katabolisma . Untuk pernafasan yang menggunakan glukosa ($C_6 H_{12} O_6$) , maka oksidasinya digambarkan sebagai berikut :



Disini pernapasan menimbulkan CO_2 , air dan energi .

Energi radiasi matahari diubah menjadi energi mekanis.

Seperti diketahui bahwa matahari memancarkan radiasi energi . Kemudian energi radiasi ini oleh produser (tumbuhan) melalui fotosintesis diubah menjadi energi panas dan energi kimia (gula) . Selanjutnya oleh konsumen energi kimia tersebut (gula , tepung dan lain - lain) diubah menjadi energi panas dan energi mekanis .

Mahluk hidup memperoleh tenaga dari matahari. Mahluk - mahluk hidup memperoleh tenaga dari matahari , sedangkan bahan - bahan yang diperlukan diperolehnya dari dalam tanah , udara dan dari air . Berbeda dengan tenaga , bahan-

bahan atau elemen - elemen ini mengadakan sirkulasi yakni bergerak dari lingkungannya , masuk kedalam suatu sistem hidup (mahluk hidup) dan keluar lagi .

Siklus-C . Siklus - C ini kita dapati dalam bentuk persenyawaan CO_2 yang terdapat dalam udara bebas dan sebagian yang larut dalam air . Dengan proses fotosintesis ini CO_2 akan menjadi persenyawaan - persenyawaan yang banyak jenisnya dan menjadi bagian dari mahluk hidup . Dan persenyawaan - persenyawaan ini yang disebut senyawa organik . Persenyawaan organik ini yang mengalir dari produsen ke konsumen . Bila produsen atau konsumen menggunakan tenaga dalam bentuk persenyawaan organik ini , maka CO_2 ini akan dikeluarkan lagi dan masuk kedalam udara bebas atau kedalam air , tergantung dimana mahluk hidup itu tinggal . Selama tenaga yang akan digunakan ini masih terikat , maka berarti zat-zat organik tersebut masih ada .

Kita tahu bahwa baik konsumen maupun produsen dapat mengeluarkan sampah atau sisa - sisa yang masih mengandung C . Demikian juga jika mereka mati , bangkai atau sisa-sisanya akan merupakan timbunan -C . Pengurai akan membebaskan C yang terikat dari persenyawaan C tersebut . Pembusukan atau penguraian ini dapat berlangsung sangat lambat , yang bisa mencapai jutaan tahun . Seperti minyak bumi , batu bara dan sebagainya dimana -C terikat .

Siklus Air . Seperti kita maklumi bahwa kehidupan tak

mungkin tanpa air (H_2O) . Air turun dari atmosfer biasanya dalam bentuk hujan atau salju , dapat jatuh langsung ke laut , dapat juga jatuh ke tanah yang kemudian akan sampai ke danau , kesungai atau melalui saluran-saluran air dalam tanah , akhirnya ke laut , dimana sebagian melalui proses penguapan dan dapat kembali ke atmosfer . Makhluk - makhluk di darat mengambil air selama perjalanan air tersebut , misalnya dengan jalan meminumnya atau menghisapnya dengan menggunakan akar dari dalam tanah .

Dalam makhluk hidup sebagian air ini dapat terlibat dalam proses kimia . Jadi bahan-bahan organik akan lepas kembali dan sebagian lagi air ini akan ikut dalam proses kehidupan . Jadi air terlibat baik dalam pembentukan struktur tubuh makhluk - makhluk hidup maupun dalam proses kehidupan . Selanjutnya baik hewan maupun tumbuhan darat , mengeluarkan air atau uap air ke atmosfer . Pada tumbuhan terutama melalui daun - daunnya , sedangkan pada hewan termasuk manusia melalui penguapan atau pernapasan . Penguapannya melalui kulit . Air (kotoran) , juga air seni keluar melalui salurannya . Kemudian terjadi penguapan dan masuk ke dalam atmosfer dan nantinya dapat turun sebagai hujan dan kembali lagi ke atmosfer . Demikianlah siklus air terjadi .

Siklus - Ca . Kalau O , CH dan N dalam siklusnya kebanyakan

an melalui atmosfer , disamping sebagian ada juga melalui air , tanah atau batu - batuan . Sebagai contoh dikemukakan dalam siklus Ca. Persenyawaan Ca ini merupakan persenyawaan yang sangat umum , terdapat dalam batubatuan dan beberapa persenyawaan terdapat dalam air . Makhluk - makhluk hidup biasanya menyerapnya dalam larutan air ini .

Tumbuhan darat memperoleh persenyawaan ini (persenyawaan Ca) dari dalam tanah (air tanah) , Dari tumbuhan - tumbuhan ini persenyawaan Ca dapat kekonsumen primair , terus kekonsumen sekundair dan seterusnya . Dan suatu ketika dapat dikembalikan kedalam tanah atau air oleh pengurai . Banyak makhluk hidup menguraikan persenyawaan dalam pembentukan rangkanya atau kulitnya yang tidak dapat diuraikan oleh pengurai . Sehingga sisa-sisa rangka atau kulit ini akan tetap utuh terkumpul , misalnya didasar-dasar laut , danau atau kolam . Setelah beratus-ratus tahun tertimbun , termampatkan sehingga dapat terbentuk kerak bumi menjadi batuan yang dapat muncul dipermukaan bumi . Melalui proses - proses fisik dan kimia dapat larut dalam air , untuk memulai lagi siklusnya dengan kembali ke laut.

Siklus-N. Nitrogen ini merupakan bagian terbesar dalam susunan gas-gas diudara . Ada sebanyak 78 % . Namun demikian gas N_2 tidak bisa secara langsung digunakan dalam

kehidupan . Persenyawaan N ini terdapat pada semua mahluk - mahluk hidup dan merupakan bahan yang sangat penting , karena merupakan bahan utama protein . Sedangkan kita tahu bahwa protein ini merupakan bagian utama dari tubuh mahluk hidup . Sehingga N ini benar-benar dibutuhkan oleh mahluk hidup . Dari mana N ini kita peroleh ? Terutama dari persenyawaan - persenyawaan yang kita makan , terutama protein . Kalau kita jelusuri ternyata sumbernya dari tumbuh - tumbuhan . Dan dari mana tumbuh - tumbuhan memperoleh N ? N diperoleh dari dalam tanah atau dari dalam air , dimana mereka tumbuh . Dan bagaimana sampai N ini berada dalam tanah ? Semua mahluk hidup mengandung N dan banyak mikroorganisme tanah dapat menguraikan protein sehingga diperoleh tenaga yang digunakan untuk kepentingan hidupnya dan ditinggalkan sisa - sisanya yang merupakan persenyawaan yang lebih sederhana , seperti gas amoniak (NH_3) . Gas ini larut dalam air dan dalam air tanah gas ini bereaksi dengan ion H dan membentuk ion amonium (NH_4^+) . Dalam bentuk NH_4^+ inilah dapat diserap oleh akar tumbuh-tumbuhan yang kemudian dibentuk protein kembali . Ini merupakan suatu siklus yang pendek . Disamping itu terjadi proses yang lain . Didalam tanah terdapat dua kelompok bakteri yang disebut bakteri - bakteri " nirifikasi " . Kelompok pertama mengubah NH_4^+ menjadi nitrit (NO_2^-) . Sedangkan kelompok yang kedua lang-

sung mengubahnya menjadi nitrat (NO_3^-) . Sehingga tumbuh-tumbuhan boleh dikatakan tidak pernah mendapatkan ion nitrit , karena itu sumber utama unsur N adalah ion nitrat. Dan dari nitrat ini dibentuklah protein. Inilah siklus yang kedua .

Radiasi matahari dan suhu atmosfer. Kita tahu bahwa suhu udara merupakan elemen iklim yang sangat penting . Suhu berubah terhadap tempat dan waktu , dimana matahari sangat berperan . Karena itu setiap hari suhu maksimum biasanya terjadi setelah tengah hari yaitu sekitar jam 14.00 , sedangkan suhu minimumnya terjadi sekitar jam 06.00 pagi atau sekitar matahari terbit . Suhu rata-rata harian didefinisikan sebagai rata-rata dari hasil observasi (pengamatan) selama 24 jam , dimana tiap jam dicatat . Di Indonesia suhu rata - rata dapat dihitung dengan rumus :

$$T = \frac{2 T_7 + T_{13} + T_{18}}{4}$$

untuk :

T = suhu harian rata-rata

T_7 , T_{13} , T_{18} = suhu-suhu pengamatan pada
jam : 7.00 ; 13.00 dan pada
jam 18.00

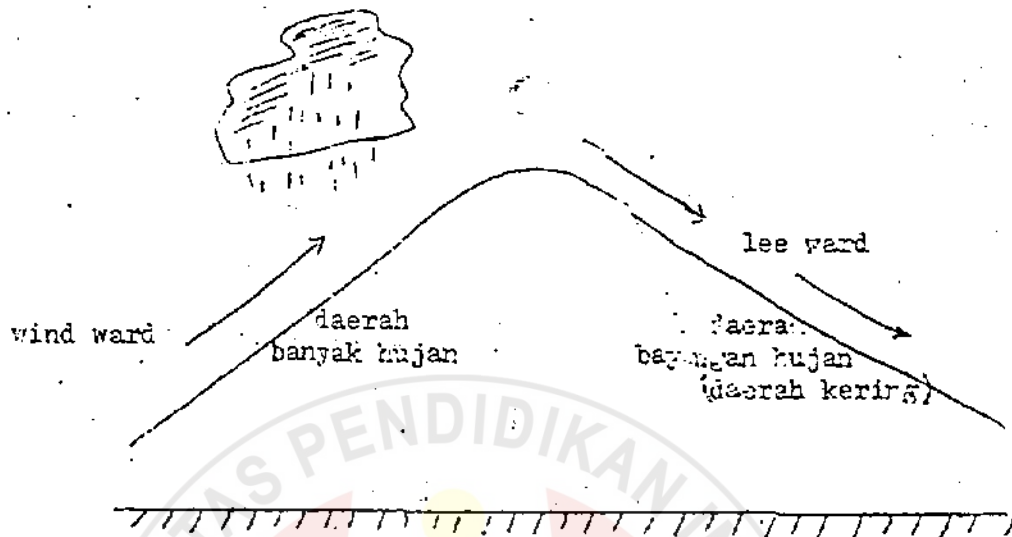
Curah hujan. Curah hujan dan suhu merupakan elemen cuaca dan iklim yang sangat penting bagi kehidupan di bumi .

Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau millimeter , dimana 1 inci = 25,4 mm . Didaerah tropis antara lain karena pengaruh radiasi matahari dan letaknya , maka curah hujan akan lebih lebat daripada didaerah yang lintangnya lebih tinggi . Garis yang menghubungkan titik - titik curah hujan yang sama selama periode tertentu disebut "isohyet".

Hujan konveksi . Akibat pemanasan oleh radiasi matahari maka udara dekat permukaan akan naik keatas (memuai) yang kemudian akan mengembun . Suatu gerakan udara lembab yang arahnya vertikal keatas dan didinginkan dengan cepat akan menghasilkan hujan deras (heavy showers) . Dalam keadaan yang seperti ini awan yang terjadi disebut "awan cumulonimbus" (cb) yang mencakup daerah kecil . Sedangkan hujan yang terjadi tidak berlangsung lama , walaupun biasanya hujannya deras . Hujan ini bagi tumbuh - tumbuhan tidak efektif , karena sebagian air hujan akan hilang dalam bentuk arus permukaan . Hujan jenis ini disebut juga sebagai hujan "konveksi".

Hujan Orografik . Jika gerakan udara melalui daerah pegunungan atau bukit - bukit yang tinggi maka udara terpaksa naik keatas dan akan terjadi kondensasi dan bila bukit - bukit - nya tinggi , maka akan terjadi awan diatas lereng , juga diatas angin . Hujan yang terjadi disebut " hujan orografik" Sedangkan pada lereng dibawah angin (leeward side) .

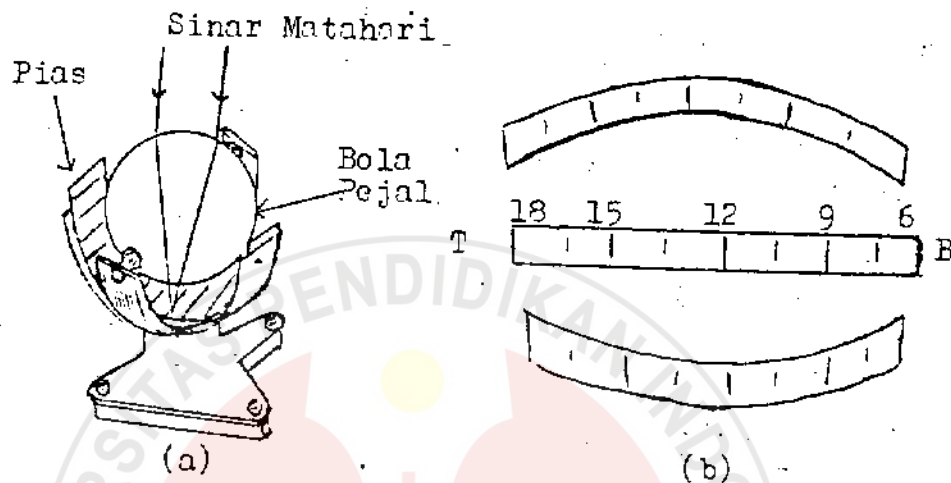
Udara yang turun akan mengalami pemanasan dengan sifat kering . Daerah dibawah , dimana udara turun disebut daerah bayangan hujan . Gambar III-10.



Gambar III-10. Hujan Orografik dan daerah bayangan hujan

Durasi Matahari . Durasi sinar matahari diukur dengan Campbell Stokes yang terdiri dari bola gelas pijal yang bertindak sebagai lensa untuk memusatkan sinar matahari yang datang . Pias (chart) akan terbakar , bila radiasi minimum tercapai (kira-kira $0,2$ sampai $0,4 \text{ kcal cm}^{-2} \text{ menit}^{-1}$) . Jika matahari tertutup awan , maka pias tak akan terbakar, disamping itu dengan adanya pohon - pohon yang tinggi , maka sulitlah untuk mengukur durasi matahari , selama 12 jam (dari matahari terbit sampai terbenam) . Karena itu di Indonesia durasi sinar matahari diukur selama 8 jam , yaitu dari jam 8.00 sampai jam 16.00 . Durasi sinar ma -

tahari biasanya dinyatakan dalam persen (%). Maksimum 100 %, dengan demikian untuk durasi 100 % misalnya, ini berarti bahwa matahari menyinari suatu daerah pengukuran selama 8 jam, dimana tidak ada awan yang menghalanginya. Gambar III-11.



Gambar III-11. Alat pengukur Durasi penyinaran Matahari (CampbellStokes).

(a). Bola gelas pejal

(b). Pias : atas : jika matahari berada dilintang utara
 tengah : jika matahari diatas daerah Ekuator
 bawah : jika Matahari berada dilintang selatan

T=timur ; B = barat

Radiasi Mtahari dan Hamburan oleh Atmosfer . Matahari me-

rupakan sumber energi utama di bumi yang menimbulkan gerak udara dan arus laut . Jarak rata-rata bumi-matahari = $1,5 \times 10^8$ km atau $9,3 \times 10^7$ mil . Diameter matahari = $1,4 \times 10^6$ km , sedangkan suhu permukaannya yang nampak = 5600° C . Energi matahari yang jatuh pada bagian atas pada jarak rata-rata bumi-matahari disebut tetapan matahari , seperti sudah diutarakan diatas , ternyata besarnya $2 \text{ kcal cm}^{-2} \text{ menit}^{-1}$. Energi radiasi matahari akan menembus atmosfer , kecuali yang diserap , dihamburkan dan dipantulkan . Sebagian energi yang diterima permukaan bumi juga hilang karena pemantulan terutama oleh permukaan salju dan air .

Panas yang diterima permukaan bumi , kemudian dipancarkan kembali dalam bentuk radiasi gelombang panjang yang digunakan untuk memanasi atmosfer bagian bawah . Jika cahaya atau radiasi matahari melalui medium transparan yang mengandung partikel-partikel kecil atau molekul - molekul , maka sebagian radiasi akan disimpangkan kesegala arah . Gejala macam ini disebut " hamburan" . Hamburan terjadi bila diameter partikel lebih kecil daripada panjang gelombang radiasi . Jadi proses hamburan ini selektif . Hanya gelombang pendek saja yang banyak dihamburkan . Seperti halnya langit nampak biru . Gelombang birulah yang banyak dihamburkan oleh udara . Tetapi bila

atmosfernya banyak mengandung asap , maka langit nampak kemerah - merahan . Jika partikel - partikel yang ada dalam atmosfer diameternya lebih panjang dari pada panjang gelombang cahaya (radiasi) yang datang , maka efek yang terjadi adalah pemantulan difus yang non selektif . Jadi efeknya sama untuk semua panjang gelombang . Misalnya pemantulan yang dilakukan awan , sehingga nampak putih bersih , karena semua panjang gelombang dipantulkan . Demikian juga kita lihat matahari nampak putih bersih bila kita lihat melalui kabut (tetes - tetes air) . Perlu diingat bahwa hamburan dan pemantulan radiasi ini termasuk gelombang elektromagnet (gelombang pendek) .

Penyerapan energi radiasi matahari oleh atmosfer. Pemantulan energi radiasi matahari masih termasuk radiasi gelombang pendek , karena itu tidak diserap oleh atmosfer . kebanyakan gas-gas yang berada di atmosfer transparan terhadap radiasi matahari . Sebagian radiasi matahari yang dihamburkan dan dipantulkan didalam atmosfer dapat mencapai permukaan bumi dalam bentuk radiasi difus .

Radiasi difus . Sebagian radiasi matahari yang dihamburkan dan dipantulkan didalam atmosfer dapat mencapai permukaan bumi dalam bentuk radiasi difus . Hal ini yang menyebabkan tidak adanya gelap mutlak (absolute darkness) dalam rumah atau dalam ruangan , bila matahari tertutup awan

Sifat - sifat optis air laut. Air laut seperti halnya ke-

banyak zat cair lainnya, dapat mentransmisikan radiasi elektromagnetik secara selektif. Air cukup transparan untuk cahaya tampak (visible light), tetapi kabur terhadap cahaya di luar "band" cahaya tampak.

Radiasi matahari dan air laut. Energi matahari yang terbesar yang diterima air laut, terletak pada daerah tampak yakni dari daerah warna merah sampai warna violet. Cahaya-cahaya di daerah infra merah dan ultra violet energinya yang diterima air laut sangat sedikit. Pada kedalaman 10 m hampir seluruh cahaya infra merah telah diabsorpsi atau diserap oleh air laut, sehingga kurva spektrum radiasi matahari akan turun. Sedangkan pada kedalaman 100 m yang tinggal hanya cahaya dengan warna biru-hijau yang paling banyak ditransmisikan oleh air laut. Energi total yang tinggal pada kedalaman 100 m tersebut adalah kira-kira hanya 1% dari energi matahari yang datang pada permukaan air laut. Energi yang satu persen ini, kira-kira merupakan limit batas, dimana tumbuh-tumbuhan masih bisa hidup (untuk tumbuhan yang mempunyai hijau daun). Untuk kedalaman dibawah 100 m, terlalu gelap bagi tanam-tanaman yang mempunyai hijau daun agar bisa hidup. Suatu zone atau daerah dalam laut, dimana energi matahari masih cukup besar agar suatu tumbuhan berhijau daun masih dapat hidup, disebut "photic zone". Misalnya tadi sudah disebutkan yakni daerah pada kedalaman 100 m.

Panas yang dilepaskan permukaan air laut . Sebagian dari radiasi matahari sebelum mencapai permukaan bumi akan diserap dan dihamburkan oleh atmosfer . Radiasi yang tiba dipermukaan air laut (I_0) terdiri dari radiasi yang langsung datang dari matahari (I_s) dan radiasi yang datang karena hamburan yang biasanya dikenal sebagai "sky radiation" (radiasi langit) , jadi perumusannya adalah :

$$I_0 = I_s + I_r$$

$$I_r = \text{sky radiation}$$

Sebagian dari radiasi yang mencapai permukaan air laut (I_0) akan dipantulkan kembali oleh permukaan air laut , sebagian ada yang diserap dan sebagian lagi diteruskan kebagian lain atau diteruskan kebagian yang lebih dalam lagi . Panas yang diteruskan ini akan digunakan untuk mempertahankan proses - proses fisika , kimia dan biologi didalam air laut . Laut yang menjadi panas karena radiasi matahari ini , akan memancarkan kembali gelombang panas ke atmosfer . Panas yang dilepaskan kembali ini dikenal sebagai radiasi - kembali atau back radiation yang besarnya ditentukan dengan rumus Stevan - Boltzman sebagai berikut :

$$I_b = \sigma T^4$$

dimana , T = suhu Kelvin ; $\sigma = 5,735 \times 10^{-5} \text{ erg dt}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$

σ = tetapan Stevan - Boltzman

Sedangkan panjang gelombang yang dipantulkan ditentukan dengan hukum Wien :

$$\lambda_m = \frac{k}{T}$$

dimana ,

$$k = 2800 \mu^{\circ}\text{K}$$

$$T = \text{suhu Kelvin } (^{\circ}\text{K})$$

Suhu dilautan merupakan resultante dari banyak faktor .

Secara simbolis kesetimbangan panas dilautan dapat digambarkan sebagai berikut :

$$I_t = I_o - I_p - I_k - I_e - I_a + I_c + I_b + I_f + I_r$$

dimana ,

I_t = radiasi total yang diterima lautan

I_p = radiasi yang dipantulkan

I_o = radiasi yang tiba atau datang dilautan

I_k = panas yang hilang keatmosfer akibat hantaran langsung

I_e = panas yang hilang akibat penguapan

I_a = panas yang hilang karena arus , pencampuran dan turbulensi

I_c = panas yang dihasilkan akibat reaksi kimia dan proses biologis

I_b = panas yang datang dari pusat bumi

I_f = panas yang timbul akibat gesekan

I_r = panas yang timbul akibat radioaktif

Keempat komponen yang pertama pada perumusan diatas adalah faktor yang utama dalam menentukan suhu air laut .

Suhu air laut . Suhu air laut berubah - rubah terhadap ruang dan waktu . Penyebaran atau transport panas dilaut terutama disebabkan oleh gerakan - gerakan air seperti arus dan turbulensi . Untuk air yang tenang dan homogen dan terjadi pemanasan oleh matahari , maka distribusinya atau suhunya akan turun secara eksponensial , bila kita masuk ke dalam laut , sesuai dengan kedalamannya. Untuk ini diberikan rumusnya sebagai berikut :

$$T(z) = T_0 e^{-kz}$$

dimana ,

T = suhu Kelvin

z = kedalaman

k = konstanta

Untuk permukaan air yang tidak homogen dan teraduk , distribusi suhu vertikal kebawah akan berbeda . Disini ada lapisan mixed layer . Lapisan mixed layer adalah lapisan yang mempunyai suhu sama akibat teraduk . Sedangkan lapisan thermocline adalah lapisan dimana terjadi perubahan suhu yang menyolok . Misalnya lapisan sampai kedalaman 100 m . Dibawah lapisan ini adalah " deep - water " . Di-

mana airnya sudah dingin dengan suhu yang konstan dan homogen .

Prinsip - prinsip respon tubuh manusia terhadap suhu. Pada tahun 1958 mengemukakan tentang respon - respon tubuh manusia terhadap suhu sebagai berikut :

(1). Terhadap dingin ,

- a. Pengaturan panas dengan penguncupan pembuluh - pembuluh darah pada kulit , pelembaran tubuh untuk mengurangi luas permukaannya yang terbuka , peningkatan kerja otot , menggigil dan ada kecendrungan untuk menambah kegiatan
- b. Bisa terjadi kerusakan - kerusakan yang diakibatkan oleh penambahan volume urine , bahaya akan kekurangan persediaan darah pada kulit , jaringan tangan dan kaki serta bagian - bagian permukaan lain , bisa terjadi radang kedinginan serta peningkatan rasa lapar
- c. Karena suhu yang rendah (dingin) dapat mengganggu kesetimbangan dalam tubuh , antara lain penurunan suhu tubuh , mengantuk, penghentian untuk sementara denyutan jantung dan pernafasan

(2). Terhadap panas (suhu tinggi) ;

- a. Pembuluh - pembuluh darah dikulit membesar

dapat mengubah darah menjadi lebih encer , permukaan tubuh menjadi makin luas dan pengurangan kerja otot atau menjadi malas , berkeringat dan cenderung mengurangi kegiatan

- b. Panas yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan jaringan akibat pengurangan volume urine , haus , dapat terjadi dehidrasi , dapat mengalami kesulitan dalam mengatur persediaan darah di otak yang mengakibatkan pusing , muak kelelahan , kesukaran dalam memelihara keseimbangan garam - garam yang ada dalam tubuh , dapat menyebabkan kekejangan dan kurang nafsu makan
- c. Dapat mengganggu kesetimbangan tubuh antara lain disebabkan : peningkatan suhu tubuh , pusat regulasi panas tidak seimbang , kegagalan regulasi saraf yang dapat mengakibatkan penghentian tarikan nafas

Keadaan - keadaan dalam tubuh manusia dan organisme tingkat tinggi lainnya harus memiliki syarat - syarat tertentu supaya organ - organnya dapat berfungsi secara efisien demi kelangsungan hidupnya . Pada umumnya toleransi tubuh terhadap suhu relatif rendah .

Radiasi langsung Matahari terhadap tubuh . Radiasi matahari khususnya gelombang ultra violet dengan panjang ge-

lombang lebih kecil dari 0,3 mikron , akan menyebabkan kulit kecoklatan , sangat panas dan bila pemanasannya berlangsung lama dapat menyebabkan timbulnya kanker kulit . Perlu ditambahkan disini bahwa radiasi gelombang pendek ini (yang mempunyai energi besar) dapat menyebabkan penyakit pada jaringan saraf dan katarak (pengkapuran retina mata) . Tetapi walaupun demikian , masih ada untungnya , misalnya dengan gelombang pendek ini dapat mengembangkan persenyawaan - persenyawaan anti penyakit Inggris dan mematikan beberapa jenis penyakit (bakteri dan kuman) . Radiasi dengan panjang gelombang 0,32 - 0,65 mikron dapat menyebabkan terbakarnya kulit . Oleh sebab itu dalam cuaca yang mendung , atau bila menggunakan kaca mata , terasa mata sakit . Manusia sesungguhnya mempunyai cukup toleransi terhadap suhu , tetapi bila terlalu ekstrem , baik terlalu panas atau terlalu dingin dan ditambah lagi dengan elemen - elemen yang lain , misalnya angin atau kelembaban udara dapat berakibat buruk bagi tubuh . Bagaimanapun dibawah kondisi yang sangat dingin dapat menyebabkan radang dingin yang sangat hebat , selain itu bila paru - paru menghisap udara yang sangat dingin dapat menyebabkan ketegangan jantung . Disamping itu suhu yang sangat tinggi dapat menyebabkan kelumpuhan otak . Kelembaban yang tinggi juga mengakibatkan kelesuan, biang keringat serta gegabah . Dalam kondisi semacam ini-pun manusia harus melanjutkan kehidupannya . Ini suatu

tantangan bagi sains dan teknologi .

Keseimbangan Panas Tubuh . Karena manusia memerlukan pemeliharaan suhu tubuh agar tetap konstan , terutama bagian dalam , maka diperlukan kondisi yang sempurna atau mantap , sedemikian hingga jumlah panas yang diterima tubuh harus sama dengan jumlah panas yang hilang . Hal ini dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$\text{Panas metabolisme (M)} + \text{Radiasi (R}_+) + \text{Konveksi (C}_+) + \text{Konduksi (P}_+) = \text{Radiasi (R}_-) + \text{(Konveksi C-)} + \text{Konduksi (E-)} + \text{Penguapan (E)} .$$

Selanjutnya digambarkan keadaan sebagai berikut : misalnya suhu udara sekitar = 10°C , maka kehilangan panas secara radiasi dan konveksi kira - kira 9 kali kehilangan panas secara penguapan . Pada suhu 21°C kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi menjadi 4 kali lebih besar dari pada melalui penguapan , sedangkan pada suhu di atas 30°C , kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi kira- kira sama dengan jumlah panas yang hilang melalui penguapan . Suhu tubuh rata - rata $37^{\circ}\text{C} - 38^{\circ}\text{C}$ dan bersifat efisien pada suhu $36^{\circ}\text{C} - 39^{\circ}\text{C}$, masih dalam keadaan sadar pada suhu antar $32^{\circ}\text{C} - 41^{\circ}\text{C}$ dan dalam keadaan ekstrem pada suhu $16 - 44^{\circ}\text{C}$. Pola pertukaran energi (panas) pada manusia adalah sangat komplek . Banyak aspek yang berperan dalam hal ini . Masalahnya menjadi lebih menarik bila dilibatkan pula pakaiannya .

Panas Metabolisme . Secara normal manusia dalam keadaan istirahat menghasilkan energi atau panas sebesar 50 $\text{kkal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ atau 1 Met = $0,08 \text{ ly}\cdot\text{m} \text{ nit}^{-1}$. Untuk berdiri diperlukan energi 1,5 met. Duduk sambil belajar atau mengendarai mobil kira-kira sama dengan 1,6 met . Berdiri sambil bekerja ringan diperlukan energi sebesar 2,0 met . Berjalan dengan kecepatan 4 km/jam atau bekerja sedang dibutuhkan kalori 3,0 met . Berjalan dengan kecepatan 5,5 km/jam atau bekerja agak keras diperlukan energi sebesar 4,0 met . Bila berjalan dengan kecepatan 5,5 km/jam dengan membawa beban 20 kg atau bekerja berat diperlukan tenaga 6,0 met. Kalau bekerja berat seperti memanjat pohon atau berolah raga diperlukan energi sebesar 10 met . Kecepatan metabolisme dasar sekitar 0,8 - 1,0 met , adalah cukup untuk meningkatkan atau menaikkan suhu tubuh sebesar $1^{\circ}\text{C}/\text{jam}$, bila panas tidak dihamburkan dengan berbagai cara .

Makanan merupakan sumber energi utama , 80 % digunakan untuk tumbuh , perbaikan tubuh dan untuk menghasilkan panas . Dan ternyata hanyalah 20 % yang digunakan untuk kegiatan sehari - hari . Panas yang hilang melalui penguapan dari pernafasan paru-paru adalah kira-kira 25 % Jadi panas yang diterima sebenarnya hanyalah 0,75 kali panas metabolisme .

Radiasi Matahari dan penerimaan panas tubuh . Penerimaan panas matahari harus dibedakan antara yang diterima langsung dan yang diterima melalui radiasi difus. Disamping itu penerimaan panas ini juga ditentukan oleh tinggi matahari (α)

Panas konveksi . Penerimaan panas secara konveksi hanya terjadi bila temperatur udara (T_a) lebih tinggi dari temperatur kulit (T_s) dan dipengaruhi pula oleh kecepatan angin (V).

Penerimaan panas tubuh melalui konduksi (P₊) . Terjadinya panas konduksi , bila tubuh bersentuhan secara fisik dengan permukaan yang lebih panas . Umumnya hanya merupakan bagian kecil dari keseluruhan panas tubuh tetapi dapat menyebabkan akibat fisiologis atau kejiwaan yang besar, misalnya jari terbakar , atau berjalan diatas permukaan yang panas . Terjadinya konduksi panas bila tubuh bersentuhan secara fisik dengan permukaan yang lebih panas seperti sudah disebutkan diatas .

Prinsip kerja kamar pengering sederhana dengan energi Surya . Untuk memperoleh gabah yang baik dan tahan disimpan lama , padi yang sudah dipanen harus dikeringkan sampai batas kadar air tertentu . Banyak cara dan alat untuk mencapai kekeringan tertentu , diantaranya dengan dihamparkan dibawah sinar matahari dilapangan terbuka (cara tradisional) atau digantungkan pada tiang gan-

tungan atau jemuran untuk padi yang bertangkai . Bagi gabah yang sudah dilepas dari tangkai umumnya dihamparkan diatas tikar (sejenis tikar) dengan ketebakan sekitar 0,01 - 0,02 m . Cara yang lebih baik adalah dengan dihamparkan diatas lantai beton . Cara ini banyak dipakai ditempat - tempat penggilingan . Pengeringan - pengeringan dengan cara tersebut cukup merepotkan , terutama dimusim hujan . Cara lain adalah dengan meniupkan udara panas atau hangat pada hamparan atau tumpukan gabah . Pemanasan udara dilakukan dengan cara melewatkan atau melalukan udara pada tungku atau sejenisnya atau seperti penadah energi surya . Pengembangan cara pemanasan udara dengan radiasi matahari telah banyak dikembangkan antara lain oleh :

- (1). Hall (1980)
- (2). Harahap dan Mustajab (1978)

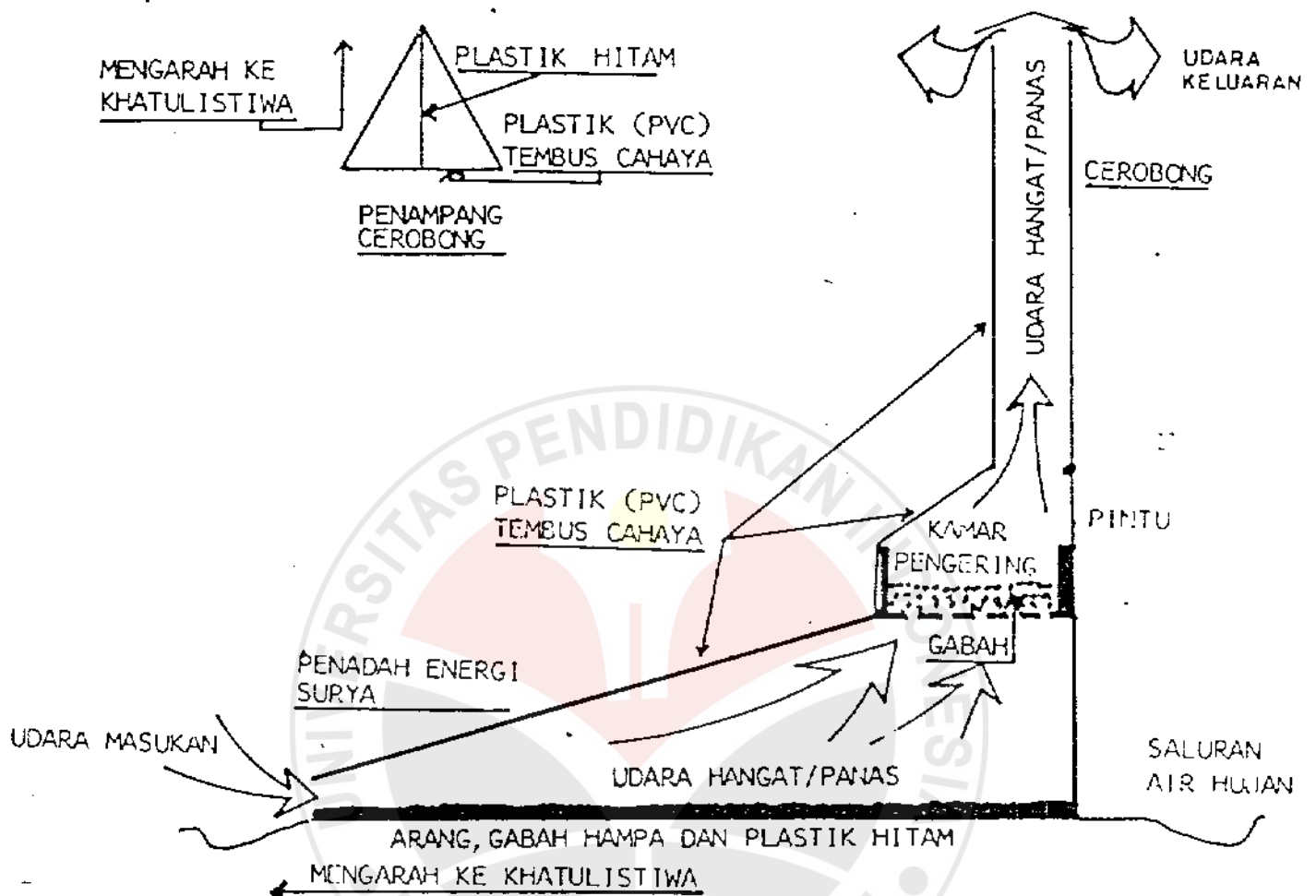
Mereka ini mengembangkan pengering dengan penadah plat logam hitam , sedangkan Exell dan Korusako (1978) dan Bounthomjinda menggunakan arang gabah hanya sebagai penadah radiasi matahari dengan penutup plastik (PVC) yang tembus cahaya . Hal ini lebih sederhana daripada yang disebutkan lebih dahulu .

Ide Dasar . Ide dasar dari kamar pengering dengan energi surya (KPES) ini adalah memanfaatkan atau mengambil panas dari radiasi matahari untuk pengeringan suatu bahan

dengan penadah surya . Dengan kata lain kamar pengering dengan energi surya merupakan alat perangkat teknologi sederhana yang memanfaatkan panas radiasi matahari secara lebih efektif untuk mengeringkan suatu bahan . Konsep dasar dalam pembuatan KPES adalah pada ukuran hamparan (luas dan kedalaman) gabah . Dari sini ditentukan luas penadah dan ketinggian cerobong yang cukup untuk memperoleh sejumlah udara hangat / panas mengalir secara konveksi alamiah , menembus hamparan gabah tersebut . Konsep dasar ini bertitik tolak dari faktor - faktor atau parameter - parameter yang mempengaruhi pengeringan yang akan dijelaskan secara singkat berikut. Disamping itu perhatikan sket gambar pengering , gambar III - 12. Cara bekerja kamar pengering dengan energi surya ini adalah sebagai berikut : kenaikan suhu udara dalam penadah surya disebabkan oleh radiasi matahari yang berbentuk gelombang pendek dan menembus bahan tembus cahaya (plastik PVC) yang kemudian mengenai bahan hitam (arang gabah dan plastik hitam) dan dipancarkan kembali dalam bentuk gelombang panjang , sehingga udara dalam penadah menjadi hangat atau panas . Udara yang panas atau hangat ini akan menembus hamparan gabah secara difusi yaitu bertitik tolak pada prinsip - prinsip kekekalan energi dan massa .

Cerobong yang disekat dengan plastik hitam dapat

membantu menaikkan suhu udara sehingga menambah kecepatan udara lembab meninggalkan hamparan gabah .



Gambar III-12. Kamar pengering menggunakan energi surya dan sket penampang cerobong .

Sel Surya Silikon. Energi matahari sejak dahulu sudah diketahui tersedia dengan bebas . Namun demikian cara mengumpulkan jenis ini dan mengkonversikannya dalam bentuk energi yang dapat dinikmati masih merupakan sesuatu yang

mahal . Dengan makin ditingkatkan penelitian dan pengembangan dalam bidang energi surya dimana - mana , diseluruh dunia , termasuk juga di Indonesia , diharapkan dalam waktu relatif singkat akan ikut dipecahkan masalah energi pengganti baik dalam skala kecil maupun besar .

Telah kita ketahui bersama bahwa cadangan minyak bumi dan gas alam sangat mengkhawatirkan pada abad kedua puluh ini . Bahkan dengan tingkat konsumsi dunia seperti sekarang ini , cadangan minyak bumi yang telah diketahuinya akan mencukupi dalam jangka waktu 25 tahun saja . (Debney dan Knight , 1978). Teknologi nuklear jelas merupakan salah satu alternatif dan mempunyai keuntungan ditinjau dari segi ekonomi , tetapi perlu diingat tentang bahayanya terhadap lingkungannya dan masih ada bahaya-bahaya yang lain seperti sampah - sampah nuklirnya , bahkan bagi negara yang sudah maju sekalipun seperti Amerika Serikat , teknologi seperti ini masih mempunyai banyak persoalan . Sementara itu para ilmuwan mulai tertarik pada energi matahari , angin dan gelombang air laut sebagai salah satu alternatif . Ketiga jenis sumber energi non konvensional ini adalah bersih dan tidak mengurangi sumber energi yang ada dan juga tidak menimbulkan polusi .

Dalam hal ini akan dibahas dan dibatasi tentang matahari sebagai sumber tenaga listrik dengan menggunakan solar sel atau sel surya . Sel surya dapat dikonver-

sikan secara langsung dengan mengubah energi surya menjadi tenaga listrik berdasarkan azas " efek fotovolttaik".

Penggunaan sel surya untuk menyelidiki diluar angkasa pertama kali dilaksanakan pada peluncuran satelit Vanguard - I yang diluncurkan pada tahun 1958. Untuk pesawat ruang angkasa , sel surya tersebut merupakan satu-satunya sumber daya , dan realibilitas dan perbandingan antara daya dan berat (power to weight ratio) merupakan kriteria yang paling penting .

Satelit yang disuplai dengan sel surya silikon dapat berfungsi dengan baik selama 8 tahun , sebelum terjadi kerusakan karena radiasi sinar kosmik pada sel surya tersebut .

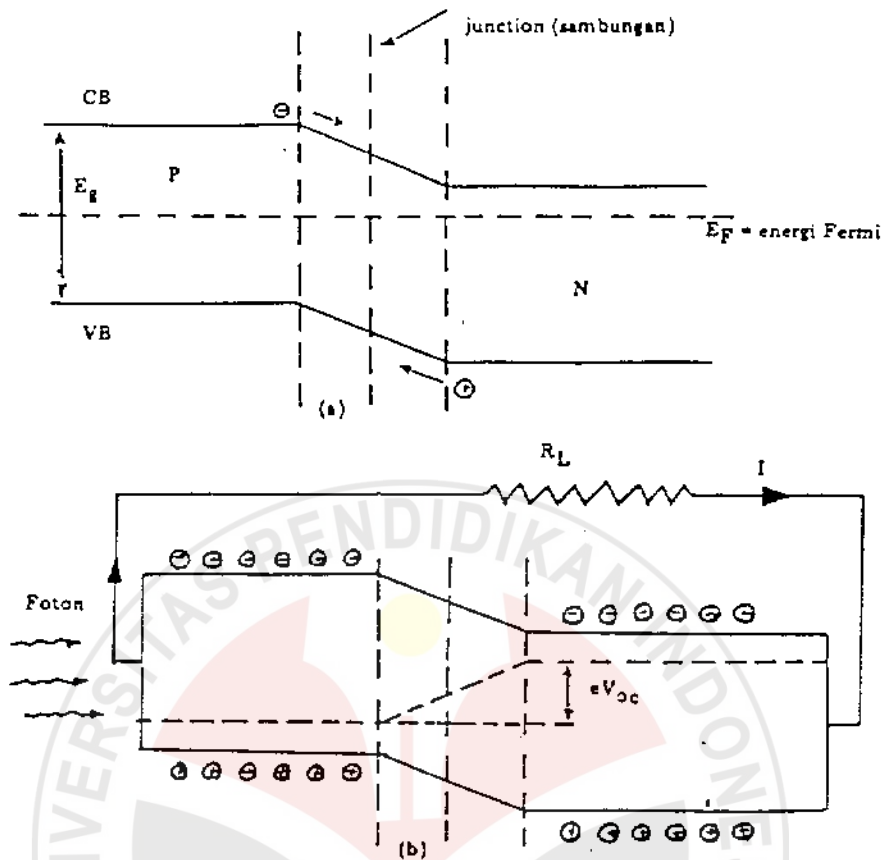
Di bumi sel surya sangat dibatasi oleh radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi pada suatu tempat dan efesiensi konversi selnya sendiri . Oleh karena itu untuk memungkinkan sel surya dapat digunakan secara besar-besaran harganya harus dapat bersaing dengan jenis energi lain . Namun demikian untuk penggunaan tertentu dapat dibuktikan bahwa sel surya cukup murah (Hirano,1977) , disamping itu keuntungan lain dibandingkan dengan sumber daya lain (Fan ,1978).

Sejalan dengan perkembangan teknologi , penelitian sel surya silikon dalam beberapa tahun terakhir ini digalakkan sebagai unsur pengganti energi konvensional .

Kegiatan penelitian di Indonesia dalam bidang sel-surya silikon, pada umumnya terbatas hanya pada aplikasinya. Tidak ada penelitian yang mengarah pada bagaimana memproses ataupun menciptakan sel surya tersebut. Hal ini tidak mengherankan karena langkanya sarana, faktor lain termasuk transfer of technology dari negara-negara maju merupakan problem yang sulit, yang memerlukan ketekunan sendiri untuk mengatasinya. Dalam tulisan ini akan dicoba untuk menjelaskan proses pembuatan sel surya secara singkat.

Sel Surya Silikon, pada umumnya dapat dikatakan sebagai alat (device) yang dapat mengkonversikan radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Hal ini dimungkinkan dengan menggunakan sambungan p-n bahan semi konduktor silikon yang mempunyai sifat dapat menyerap foton yang energinya lebih besar dari energi band yang memungkinkan elektron dari pita valensi (valence band) bereksitasi ke pita konduksi. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar III - 13. Suatu p - n homo junction dengan cara bekerjanya.

Apabila sambungan p - n seperti pada gambar, dimana disinari bagian p-nya, untuk foton dengan energi lebih besar dari lebar pita energi (energy band) E_g akan sanggup mengeksitasikan elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan pasangan elektron dan hole akan terjadi. Pada ba -



Gambar III-13. Ilustrasi p - n junction sel surya .

- (a). Sel surya dalam keadaan kesetimbangan termis
- (b). Sel surya dalam keadaan diiluminasi dan menghantarkan arus melalui beban luar R_L

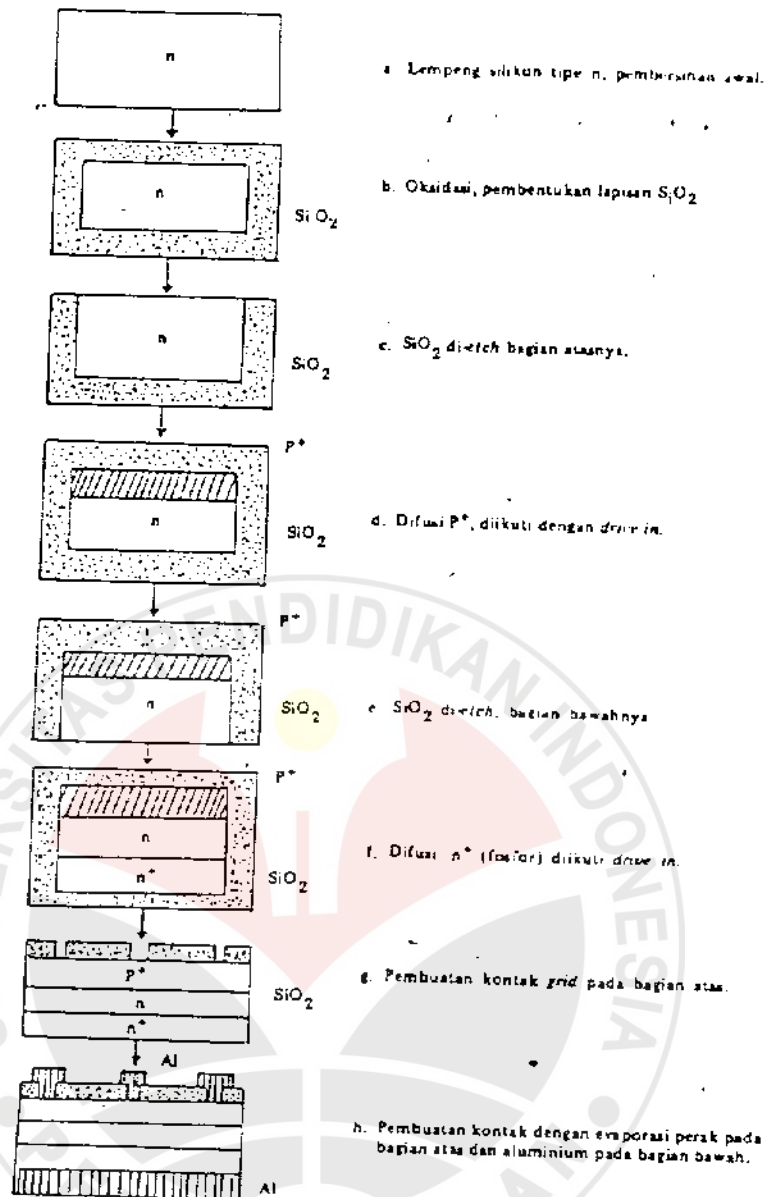
gian - p , elektron yang merupakan minority - carrier bergerak ke arah sambungan dan apabila elektron-elektron mencapai sambungan (junction) medan listrik yang kuat yang ada pada depletion layer ini akan menyapu (mempercepat) elektron - elektron ini ke arah bagian - ndan sebaliknya hole menuju ke-p . Peristiwa ini diikuti dengan hantaran elektron - elektron melalui rangkaian - luar yang menjaga kenetralan muatan dan dengan cara inilah arus listrik (photo current) ditimbulkan .

Pembuatan Sel Surya Silikon . Proses pembuatan sel surya silikon yang akan diuraikan disini menggunakan teknik difusi planar pada silikon . Teknik difusi planar dipilih berdasarkan sarana dan program lanjutan dari laboratorium

Kemampuan silikon dioksida sebagai pelindung (masker) terhadap difusi merupakan salah satu alasan mengapa teknologi planar pada dasarnya merupakan tiga proses yang kontinu , oksidasi silikon yang akan bertindak sebagai masker terhadap difusi nanti , pembukaan bagian permukaan yang akan didifusi dan ketiga proses difusi yang penyelesaian deviceny diikuti dengan metalisasi untuk kontakannya .

Proses fabrikasinya secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut . Gambar III-14.

Pertimbangan dalam pemilihan sel surya silikon sebagai sumber listrik . Sebelum memperkenalkan sumber energi baru dalam kehidupan , ada beberapa batasan yang perlu kita per-



Gambar.III-14 . Proses pembuatan sel surya silikon.

hatikan sebagai berikut :

- (1). Secara teknis harus dapat dipertanggung jawabkan kemungkinannya (fisibel)
- (2). Dapat bersaing secara ekonomis dengan sumber

daya konvensional yang telah ada

- (3). Tidak menimbulkan akibat sampingan yang mengganggu keseimbangan lingkungan kehidupan sehingga dapat diterima oleh masyarakat .

Untuk batasan yang terakhir (3) , sel surya silikon dapat diterima , karena kecuali matahari merupakan sumber energi yang tidak habis terpakai (renewable) , juga konversi daya dari tenaga surya ketenaga listrik tidak menimbulkan akibat sampingan . Tapi hal ini harus diperhitungkan , jika penggunaan sel surya silikon menyangkut daya tinggi yang dipasang dipermukaan bumi . Untuk produksi listrik dengan daya tinggi telah dirintis pembuatannya , yakni sel surya yang dipasang diruang angkasa atau pada Satellite Solar Power Station (Collins , 1979) .

Dalam pemakaiannya saat ini sel surya silikon monokristal lebih unggul dari pada sel surya silikon tapi yang polikristal dan amorphases , karena mempunyai keandalan efisiensi yang lebih tinggi walaupun ongkos pembuatannya lebih mahal. Dibandingkan dengan Gallium Arsenida (Ga As) yang mempunyai efisiensi lebih tinggi , maka sel surya silikon monokristal lebih menguntungkan dalam hal kesediaan bahan dan ongkos pembuatannya . Sedangkan untuk sel surya yang lain seperti misalnya Cu_2S dan CdS , maka sel surya silikon lebih unggul baik dalam efisiensi , ketersediaan bahan maupun ongkos pembuatannya .

Prospek Penggunaan Sel surya Silikon. Bumi kita menerima energi matahari rata - rata 173×10^{17} watt , yang kira-kira sama dengan 20.000 x konsumsi energi dunia . Energi yang diterima ini ternyata tidak menaikkan suhu dunia , karena suhu bumi relatif stabil . Hal ini tidak lain karena energi yang diterima tersebut sebagian besar dipancarkan kembali dengan perincian sebagai berikut :

- (1). 30 % energi yang diterima atmosfer dipancarkan kembali
- (2). 47 % ditukar menjadi panas dan dipancarkan sepanjang malam
- (3). 23 % digunakan untuk penguapan air

Ternyata hanya sebagian kecil saja yang digunakan untuk keperluan - keperluan lain , seperti misalnya 0,2 % untuk pergerakan angin , gelombang air laut dan lain - lain. Sedangkan yang 0,25 % digunakan untuk fotosintesa oleh tumbuh - tumbuhan.

Untuk dapat memanfaatkan energi surya yang tersedia cuma - cuma ini , dapat diklasifikasikan dalam dua cara penggunaan , yaitu :

- (1). Konversi fototermal , yaitu penggunaan energi surya dengan cara pemasangan cairan kerja yang selanjutnya mensuplai tenaga dalam bermacam - macam bentuk
- (2). Konversi foto voltaik , yaitu pertukaran langsung energi surya menjadi energi listrik.

Dalam hal ini sel surya silikon merupakan konversi fotovoltaik.

Pemanfaatan energi surya dengan cara konversi fotovoltaik (penggunaan energi surya) akan sangat tergantung pada keadaan penyinaran (cuaca , uap air , awan dan sebagainya) dan pada sel surya itu sendiri . Dalam keadaan penyinaran normal 1 kW/m^2 (penyinaran standard), maka efisiensi konversi sel surya yang sekarang baru diperoleh berkisar antara 10 - 12 % . Untuk memperoleh daya yang besar diperlukan jumlah sel surya yang cukup banyak . Hal ini sangat erat hubungannya dengan prospek penggunaan sel surya dalam kaitannya dengan harga sel surya . Sampai saat ini harga sel surya masih cukup mahal . Faktor inilah yang membatasi penggunaan sel surya dalam skala daya yang kecil . Menurut International Conference on Future Energy Concepts (30 Januari s/d Februari 1979) maka kemungkinan pembuatan sel surya (Wolfe , 1979) adalah sebagai berikut :

Kemungkinan penggunaan sel surya di Indonesia dalam bidang telekomunikasi mempunyai prospek yang cukup baik . Pada pemasangan relay untuk peralatan telekomunikasi di daerah terpencil dan relay TV digunung yang sulit dijangkau , kiranya cukup beralasan bila digunakan sel surya sebagai sumber daya . Apalagi bila kemungkinannya penyediaan daya melalui tenaga air dan angin di daerah terse-

but tidak memungkinkan . Kemungkinan penggunaan tenaga surya secara besar - besaran untuk memenuhi kebutuhan energi dunia , telah direncanakan oleh Department of Energy (DOE) dan NASA dengan penempatan panel sel surya sebesar 6 x 5 km diruang angkasa . Kemudian energi yang dihasilkan dikirim ke bumi melalui sistem gelombang mikro dengan diameter antena pemancar sebesar 1 km dan luas antena penerima di bumi sebesar 100 km² . Menurut perkiraan daya yang akan dihasilkan di Bumi adalah sebesar 5 GW . Walaupun konsep ini sudah difikirkan lama , tetapi masih ada efek yang harus dipertimbangkan terhadap keselamatan manusia . Konsep inilah yang dinamakan " Solar Power Satellite " .

Kesimpulan : Perkembangan sel surya silikon di Indonesia sampai saat ini baru dalam taraf percobaan penggunaannya, misalnya yang sedang dilakukan oleh BPPT untuk penelitian " Solar Village " di Picon dan PJKA untuk komunikasi. Di Lembaga Elektronika Nasional LIPI telah dilakukan penyelidikan proses pembuatan sel surya dengan silikon-wafer yang diimport dari luar negeri .

Walaupun peranan sel surya silikon di Indonesia sebagai sumber energi listrik masih belum dapat menyaingi sumber energi listrik lain , seperti : batubara dan air yang tersedia di Indonesia , akan tetapi kita tidak boleh lalai mengingat peranan energi surya dimasa mendatang .