

PERUBAHAN IKLIM di INDONESIA  
dan DAMPAKNYA pada HASIL PADI 1)

*(Climate Change in Indonesia and Its Impact on Rice Yield)*

Tim Pengkajian Dampak Perubahan Iklim 2)

ABSTRACT

The increasing use of fossil fuel to meet the ever growing demand for energy, enhances CO<sub>2</sub> accumulation in the atmosphere. It is estimated that after the year 2000, demand for energy will increase sharply, thus causing the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration by the year 2050 to be doubled that of the seventies. As a consequence, the so called "atmospheric window" will diminish in size, and radiative cooling of the surface retarded.

A warming of the globe will follow with subsequent dislocation of the atmospheric pressure system, ensued with a change of the global climate.

Such a climate change will have a powerful effect on the present socio economic structures. Therefore the public in general but above all the policy makers, should be informed about these impacts to enable them to take measures to compensate for to overcome the incurred losses and to minimize catastrophic damages.

This part of the study addresses the sign and magnitude of the climate change in Indonesia, and its impact on rice yield. The climate change was simulated with the BISS model, while for its impact on rice yield the Thompson (1969, 1970) model, duly adapted for rice in Indonesia, was used.

It was found that in the 2xCO<sub>2</sub> climate, temperature would increase by 1.0-1.4 % or an increase of the mean temperature of up to 4.2°. In addition monthly rainfall would increase by up to 50 %, although in some region during certain months an increase by 100 or even in excess of 200 % is possible. However a decrease in rainfall could occur mainly during the east monsoon north of the equator.

Rice yield would be affected either way. The January-June yield would decrease by 8 % on the average. On the other hand the July-December harvest could increase by the same ratio. On a yearly basis, the balance is on the negative side. This empirically derived conclusion warrants a check using a simulation model output.

Pengkajian ini bertujuan untuk mempelajari perubahan iklim yang "mungkin" terjadi akibat bertambahnya CO<sub>2</sub> dalam udara, serta dampak sosial-ekonomi dari perubahan tersebut.

Hasil kajian ini dapat dimanfaatkan oleh pembuat kebijakan sebagai informasi untuk menentukan langkah langkah yang perlu diambil untuk menghindari dampak yang tidak diinginkan dari climate change.

- 
- 1) Dimuat atas izin Ketua Lembaga Penelitian IPB
  - 2) M.Blantran de Rozari, Koesoebijono, J.S. Baharsjah, A. Bey, N.L.Sinukaban, D. Murdiyarto dan R. Hidayati

Oleh terbatasnya tempat, maka makalah ini hanya membatasi diri pada perubahan iklim di Indonesia dan dampaknya pada produksi padi.

Percobaan untuk mengubah iklim di bumi sulit pernah dilakukan sehingga pengetahuan tentang itu hanya didasarkan pada data laboratorium serta modeling.

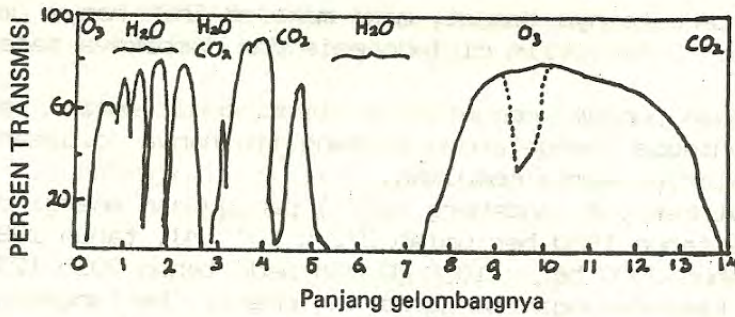
Menurut Ferry & Landsberg (1977) penggunaan energi di seluruh dunia pada tahun 1980 berjumlah  $272 \times 10^{12}$  MJ, tahun 1985  $329 \times 10^{12}$  MJ, tahun 2000  $567 \times 10^{12}$  MJ dan pada tahun 2025  $1238 \times 10^{12}$  MJ, jika kecenderungan menggunakan energi berlangsung seperti sekarang ini.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, dunia akan memanfaatkan 36.2 milyar ton batu bara, 6.8 milyar ton minyak dan 5.5 milyar ton gas pada tahun 2025. Namun jika kekurangan-kekurangan setempat tidak bisa dipenuhi oleh sumber energi yang tidak menghasilkan polusi, maka arang batu akan merupakan sumber energi utama yang mengisi kekurangan tersebut. Maka penggunaannya meningkat dari 36 milyar menjadi 85 milyar ton.

Menurut Ferry & Landberg (1977) pada tahun 2025 nanti  $\text{CO}_2$  yang masuk ke udara akan berjumlah 48.5 milyar ton bila kekurangan energi dipenuhi oleh sumber yang tidak menghasilkan polusi dan 97.2 milyar ton bila kekurangan tersebut diisi oleh arang batu. Sampai kini, jumlah yang dihasilkan teknologi masih kecil dibandingkan dengan pendauran  $\text{CO}_2$  alamiah. Maka jumlah  $\text{CO}_2$  yang bertahan di udara, dapat dianggap meningkat secara konstant, walaupun produksi  $\text{CO}_2$  teknologi terus meningkat (Keeling & Bacastow, 1977). Bahkan sampai tahun 2000 asumsi ini masih berlaku, sehingga pada waktu itu jumlah  $\text{CO}_2$  di udara akan berada antara 375-400 ppm.

Namun sesudah itu kadar  $\text{CO}_2$  udara akan meningkat tajam. Peningkatan drastis dari  $\text{CO}_2$  di udara ini disebabkan karena menurut perkiraan Keeling & Bacastow (1977) kemampuan lautan untuk menyerap  $\text{CO}_2$  kian berkurang. Misalnya pada kadar  $\text{CO}_2$  lima kali masa pra industri penyerapan adalah 73%, pada kadar 10 kali 81%, sedangkan pada kadar 15 kali penyerapan hanya 84 %. Penyerapan oleh biomas, walaupun bertambah per individu, tetapi karena luas hutan terus berkurang, maka dianggap tidak akan banyak membantu.

Selama ini pancaran gelombang dari bumi diserap secara selektif oleh pelbagai gas di udara (Gb. 1) sehingga bahang bumi sebagian lolos ke angkasa. Seperti terlihat pada Gb.1, atmosfer tidak menyerap panjang gelombang antara  $= 10.0 - 13.0 \mu$ . Dengan bertambahnya  $\text{CO}_2$  atmosfer, maka kisaran serapan pancaran bumi oleh  $\text{CO}_2$  ( $= 14 - 17 \mu$ ) akan meluas ke arah  $13 - 10 \mu$ . Ini berarti pancaran bumi makin terhalang dan pendinginan kembali bumi akan terhambat. Dengan kata lain, pemanasan akan berlangsung terus hari demi hari tanpa pendinginan kembali yang memadai.



Gambar 1. Persen transmisi dan serapan selektif oleh gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  serta  $\text{O}_3$

Percobaan awal tentang perubahan iklim lebih merupakan usaha untuk mengetahui akibat dari bahang produksi manusia oleh Washington (1972) dan Kutzbach (1974). Kajian ini menunjukkan bahwa pusat kegiatan manusia akan menghasilkan perubahan regional. Namun karena iklim bumi merupakan satu sistem, maka akibat perubahan tersebut akan berdampak global.

Percobaan pertama, tentang penggandaan efek rumah kaca dilakukan oleh Manabe & Wetherald (1975), menggunakan model 3 dimensi yang sangat maju namun mengabaikan penyimpanan bahang serta pemindahannya oleh lautan. Dengan geografi bumi yang sebenarnya, model tersebut dapat mensimulir dengan baik sirkulasi umum yang berlaku sekarang.

Dewasa ini ada lima model simulasi yang banyak dipergunakan yakni GFDL (General Flow Dynamics Laboratory), GISS (Goddard Institute for Space Studies), NCAR (National Centre for Atmospheric Research), OSU (Oregon State University) dan UK model. Dari kelima model ini model OSU menghasilkan pemanasan terkecil, yakni  $2.8^\circ$  rata rata dunia, dibandingkan dengan model GISS yang menghasilkan pemanasan hingga  $4.2^\circ$  rata rata bumi (Jenne, 1988).

Model model yang lebih ampuh ini menggunakan keadaan awal (boundary conditions) yang berlainan, namun karena model lebih diarahkan untuk mensimulasi keadaan kini dengan baik, maka perbedaan keadaan awal ini tidak memiliki arti signifikan.

Hubungan iklim dengan produksi tanaman sudah banyak dipelajari. Untuk padi hubungan tersebut dipelajari di Jepang sejak tahun 1940 (Hanyu *et al.* 1966), juga di India (Robertson, 1975) dan di Philipina (Yoshida & Parao, 1974). Di Indonesia sendiri baru ditemui dua penelitian tentang hubungan padi-cuaca. Yang pertama (Blantiran de Rozari & Nasir, 1979) menggunakan petak berukuran  $2 \times 3 \text{ m}^2$ , sehingga model tersebut tidak absah untuk pengkajian produksi suatu daerah. Yang kedua (Irawati, 1988) mempelajari produksi kawasan pantai utara Jawa Barat, meliputi kabupaten Bekasi, Karawang, Purwakarta, Subang dan Indramayu.

## METODE PENDEKATAN

Tentang model simulasi iklim, Jenne (1988) melaporkan sebagai berikut.

- GISS :
1. Menggunakan grid  $8^{\circ} \times 10^{\circ}$  yang mampu mengakomodir adanya daratan, air serta penutupan es di danau maupun laut. Untuk daratan dapat disimulasi penutupan oleh delapan tipe vegetasi, namun penutupan oleh es (glasier) dibiarkan konstan.
  2. Konstanta surya yang digunakan adalah  $1367 \text{ W m}^{-2}$  yang  $\pm$  setara dengan  $342 \text{ W m}^{-2}$  di permukaan bumi. Perubahan besaran ini dengan musim diperhitungkan oleh GISS.
  3. GISS mensimulir suhu permukaan dan suhu lapisan pertama, yang absah hingga ketinggian 30 meter, dalam derajat absolut. Di atas lautan, ini hanya berlaku sampai ketinggian 10 meter.
  4. Untuk lengas tanah digunakan dua lapisan. Lapisan pertama menyimpan 20 cm air pada hutan tropik, 3 cm untuk tanaman dan hutan lainnya serta 1 cm untuk gurun pasir. Pada lapisan kedua terdapat masing masing 30-45 cm untuk semua jenis hutan 20 cm untuk tanaman dan rumput serta 1 cm untuk gurun pasir.
  5. Pemindahan bahang oleh arus laut juga diperhatikan. Laut diasumsikan sedalam 30 meter.
  6. Konsentrasi awal dari  $\text{CO}_2$  adalah 315 ppm (1958) yang meningkat menjadi 342 ppm pada tahun 1983.
  7. Model ini menggunakan 9 lapisan atmosfer, dengan tekanan rata rata dipermukaan 984 mb.
  8. Model mensimulir siklus diurnal.

Dengan beberapa selisih numerik model GFDL menyamai GISS, kecuali dalam hal hal berikut:

1. Walau grid yang lebih kecil  $4.5^{\circ} \times 7.5^{\circ}$ , permukaan bumi diangkat agak ke atas. Bumi GFDL dengan demikian agak lebih datar dari yang sebenarnya.
2. GFDL tidak mensimulir siklus diurnal.

Model OSU, juga tidak membangkitkan siklus diurnal. Keuntungan model ini oleh kecilnya grid ( $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ ) menjadi tidak berarti karena berlainan dengan GISS serta GFDL, model ini hanya menggunakan 3 lapisan atmosfer.

Oleh karena itu untuk pengkajian ini digunakan model GISS. Pekerjaan ini dilakukan di Goddard dengan menggunakan Amdahl V-6. Untuk suatu bulan model dibutuhkan 2.5 jam CPU time, sehingga untuk satu dekade diperlukan 300 jam CPU time. Hasil yang disajikan di sini adalah yang dibangkitkan setelah dilakukan model spin up selama 25 tahun.

Berhubung belum tersedia model simulasi hasil padi, maka digunakan model empirik dari Irawati (1988) untuk melihat perubahan hasil yang akan dialami di kabupaten Bekasi, Karawang, Purwakarta, Subang dan Indramayu. Sesuai asalnya, (Thompson 1969,1970) model ini dimulai dengan menghilangkan pengaruh teknologi. Baru sesudah itu, keragaman yang tersisa diusahakan dijelaskan oleh keragaman cuaca atau iklim.

Oleh karena perubahan hanya diketahui tentang suhu dan hujan, maka lama penyinaran dalam model Irawati, diasumsikan konstan.

Tabel 1. Tingkat peningkatan suhu di pelbagai tempat di Indonesia dari bulan ke bulan, oleh menguatnya efek rumah kaca.

Daerah	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
<u>Sumatra</u>												
1. Polonia	.013	.013	.014	.014	.012	.011	.011	.013	.013	.013	.013	.012
2. Pk.Baru	.013	.013	.014	.014	.012	.011	.011	.012	.013	.013	.013	.013
3. Tabing	.013	.014	.014	.014	.012	.011	.012	.012	.013	.013	.013	.013
4. Jambi	.013	.013	.013	.014	.012	.011	.012	.012	.013	.014	.014	.013
5. Tlg.Betutu	.013	.013	.014	.014	.012	.011	.012	.012	.013	.014	.014	.014
6. Bengkulu	.014	.014	.014	.014	.013	.011	.012	.012	.013	.014	.014	.014
7. Tlk.Betung	.013	.013	.014	.014	.013	.012	.012	.012	.013	.013	.013	.013
<u>J a w a</u>												
1. Jakarta	.013	.013	.014	.013	.012	.012	.012	.012	.013	.013	.013	.013
2. Husein P.	.013	.013	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.013	.013	.013	.013
3. A. Sucipto	.013	.013	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.012	.013	.013	.013
4. Semarang	.013	.013	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.013	.013	.013	.013
5. P e r a k	.013	.013	.013	.013	.012	.012	.013	.012	.012	.012	.012	.012
<u>Kalimantan</u>												
1. Pontianak	.013	.012	.011	.012	.012	.011	.012	.012	.012	.013	.014	.014
2. Banjarmasin	.013	.013	.013	.012	.011	.011	.013	.012	.013	.013	.013	.013
3. Balikpapan	.013	.012	.012	.012	.011	.011	.013	.012	.012	.012	.013	.013
<u>Sulawesi</u>												
1. Mapanget	.011	.011	.011	.012	.011	.011	.012	.011	.012	.012	.012	.012
2. Kendari	.013	.013	.012	.011	.011	.010	.011	.013	.012	.012	.012	.012
3. Mandai	.013	.013	.012	.011	.010	.011	.013	.012	.012	.011	.012	.012
<u>Maluku + Irian</u>												
1. Ambon	.013	.012	.012	.012	.011	.011	.012	.011	.011	.012	.011	.011
<u>Nusa Tenggara</u>												
1. Denpasar	.013	.012	.013	.012	.012	.012	.013	.013	.012	.012	.012	.012
2. Rembiga	.013	.012	.012	.012	.012	.012	.013	.013	.011	.011	.012	.012
3. Kupang	.013	.013	.012	.012	.012	.013	.013	.012	.012	.011	.012	.012

Model digunakan dua kali, pertama dengan keadaan  $1x CO_2$  dan kedua dengan keadaan iklim  $2x CO_2$ . Untuk memperlihatkan dengan lebih jelas perubahan yang terjadi, maka diambil nisbah hasil pada  $2x CO_2$  terhadap hasil pada  $1x CO_2$ . Ini dilakukan baik untuk melihat perubahan di tiap kabupaten maupun untuk perubahan di seluruh kawasan itu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat perubahan iklim di Indonesia, digunakan data dasar dari 57 stasion pengamatan cuaca yang tersebar sebagai berikut.

Sumatera 13 buah, Jawa-Madura 17 buah, Kalimantan 6 buah  
Sulawesi 4 buah, Maluku + Irian 13 buah, Nusa Tenggara 4 buah

Simulasi dilakukan dengan konstanta surya rata rata  $1367 Wm^{-2}$  dan  $CO_2$  sebanyak 315 ppm yakni jumlah rata rata yang terukur pada tahun 1958. Model GISS diberlakukan pertama selama 25 tahun sebagai kontrol sebelum diberlakukan lagi 25 tahun sebagai transient run. Perbedaan rasio suhu pada akhir dan awal transient, ditunjukkan pada Tabel 2 untuk perubahan suhu. Untuk memudahkan maka hanya ditabulasi perubahan suhu di beberapa tempat.

Tabel 2. Suhu minimum dan suhu maksimum di Jatiwangi selama tahun kering (1972) dan tahun basah (1974) dalam keadaan  $1x CO_2$  dan  $2x CO_2$ .

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Dkt	Nop	Des	Thn.
<b>Minimum</b>													
<b><math>1x CO_2</math></b>													
1972	21.5	21.0	21.2	21.4	21.7	21.6	21.4	21.8	21.2	21.3	21.7	21.9	21.5
1974	21.1	21.3	21.0	21.6	21.4	21.7	21.6	21.5	21.2	21.3	21.7	21.6	21.3
<b><math>2x CO_2</math></b>													
1972	23.5	24.7	25.1	25.3	25.3	25.2	25.0	25.4	24.9	25.2	25.5	25.6	25.2
1974	24.9	25.0	24.9	25.5	25.0	25.3	25.2	25.1	24.9	25.2	25.5	25.3	25.2
<b>Maksimum</b>													
<b><math>1x CO_2</math></b>													
1972	31.3	31.9	31.1	32.4	32.6	33.0	33.3	35.1	35.6	37.1	35.7	33.4	33.5
1974	31.8	31.1	32.2	33.4	32.9	33.0	33.2	33.0	33.2	33.1	32.8	32.5	32.7
<b><math>2x CO_2</math></b>													
1972	35.2	35.8	35.2	36.4	36.4	36.7	37.1	38.9	39.5	41.2	39.7	37.3	37.5
1974	35.7	35.0	36.5	37.5	36.7	36.7	37.0	36.8	37.1	37.1	36.7	36.4	36.6

Dapat dilihat bahwa perubahan rata rata dari suhu se-nantiasa positif (bertambah) dengan besaran antara 1.0 - 1.4%. Angka ini memang kecil, namun secara absolut akan menambah suhu rata rata 4.2°C, jika suhu awal adalah 26.0 sehingga suhu pada iklim 2x CO<sub>2</sub> adalah 30.2°C.

Untuk memperoleh gambaran yang lebih konkret, Tabel 3 menyajikan suhu dasar (1x CO<sub>2</sub>) dan suhu GISS (2x CO<sub>2</sub>) minimum dan maksimum pada tahun kering (1972) dan pada tahun basah (1974) di Jatiwangi (6°45'LS, 106°16'BT) yang nantinya akan mengalami suhu maksimum tertinggi.

Kebanyakan tanaman kita yang memiliki suhu optimum ± 30°C akan mengalami kemunduran dalam proses produksi, karena lebih lama mengalami suhu di atas suhu optimum (5 jam atau lebih vs 3-4 jam sekarang). Suhu setinggi ini juga akan meningkatkan respirasi, dan karena umurnya semakin pendek, maka produktivitas secara menyeluruh akan sangat berkurang.

Namun pertanyaan yang lebih penting adalah, apakah benar akan terjadi perubahan sebesar ini? Dengan menggunakan model satu dimensi, GISS menentukan komponen dari kenaikan suhu rata rata bumi sebagai berikut:

- |  |       |
|--|-------|
| a. Perubahan suhu karena bertambahnya kadar CO <sub>2</sub> saja ..... | 1.2°C |
| b. Bertambahnya uap air 33% pada bagian atas atmosfer .....            | 1.6°C |
| c. Oleh pengurangan awan rendah dan bertambahnya awan tinggi .....     | 0.8°C |
| d. Oleh pengurangan albedo permukaan .....                             | 0.4°C |
|  | 4.0°C |

Sisanya 0.2°C disebabkan oleh bertambahnya gas lain di atmosfer terutama oleh metan. Model GISS juga memperhitungkan pemanasan laut yang bertambah sebesar 65% dalam 12 tahun dan dalam 24 tahun sebesar 85% dari perubahan suhu udara. Pemanasan laut inilah yang mengurangi albedo bumi, karena mencairnya es di lautan, dan bertambahnya uap di udara. Penambahan ini memperbesar penahanan pancaran bumi.

Karena pertambahan uap terutama terjadi di bagian atas atmosfer, maka awan bila terbentuk, dimulai pada aras yang lebih tinggi. Bertambahnya uap di udara tidak memudahkan pembentukan awan, karena selisih T-Td tidak mengecil, bahkan cenderung agak membesar. Maka pembentukan awan rendah agak tertahan sedangkan awan tinggi agak bertambah. Ini berarti masukan energi surya agak bertambah, sedangkan pelepasan bahang bumi berkurang.

Kenaikan suhu hingga tahun 2000 terjadi secara tidak terasa. Apalagi dengan adanya retrograsi surya selama dua tahun sejak akhir 1986, kenaikan tersebut makin tersembunyi

Tabel 3. Perubahan curah hujan di pelbagai tempat di Indonesia akibat menguatnya ERK.

Daerah	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
<b>Sumatra</b>												
1. Polonia	1.15	1.08	1.33	1.30	1.17	0.99	0.91	1.27	1.16	1.08	1.07	0.94
2. Pk. Baru	1.17	1.21	1.38	1.33	1.23	1.08	1.01	1.19	1.12	1.09	1.13	1.02
3. Tabin	1.15	1.17	1.31	1.36	1.28	1.09	1.06	1.13	1.14	1.12	1.19	1.08
4. Jambi	1.21	1.26	1.36	1.26	1.20	1.06	1.05	1.08	1.09	1.09	1.19	1.09
5. Tig. Betutu	1.23	1.23	1.28	1.22	1.17	1.03	1.07	1.01	1.08	1.11	1.24	1.15
<b>Jawa</b>												
1. Jakarta	1.17	1.13	1.24	1.13	1.10	1.07	1.10	1.09	1.08	1.27	1.24	1.13
2. Husein P.	1.15	1.11	1.26	1.11	1.07	1.08	1.11	1.13	1.08	1.33	1.22	1.11
3. A. Sucipto	1.13	1.11	1.33	1.08	1.01	1.07	1.14	1.17	1.08	1.47	1.23	1.09
4. Semarang	1.17	1.12	1.29	1.07	1.01	1.04	1.13	1.12	1.07	1.39	1.24	1.12
5. Perak	1.15	1.17	1.42	1.18	1.10	1.15	1.23	1.22	1.08	1.51	1.30	1.17
<b>Kalimantan</b>												
1. Pontianak	1.34	1.58	1.72	1.12	1.03	1.07	0.96	1.18	0.96	0.99	1.04	0.98
2. Banjarmasin	1.22	1.19	1.49	1.32	1.24	1.03	1.09	0.98	1.04	1.25	1.38	1.24
3. Blk. papan	1.18	1.28	1.53	1.35	1.22	1.03	1.01	1.08	1.05	1.25	1.29	1.21
<b>Sulawesi</b>												
1. Mapanget	1.40	1.51	1.28	1.33	0.98	0.76	0.75	1.10	1.03	1.18	1.32	1.36
2. Kendari	1.14	1.18	1.80	1.65	1.51	1.21	1.20	1.08	1.07	1.46	1.73	1.31
3. Mandai	1.13	1.20	1.81	1.59	1.46	1.27	1.28	1.18	1.08	1.56	1.50	1.32
<b>Maluku Irian</b>												
1. Ambon	1.23	1.27	1.59	1.55	1.42	1.16	1.20	1.12	1.03	1.38	2.23	1.32
<b>Nusa Tenggara</b>												
1. Denpasar	1.12	1.25	1.57	1.26	1.15	1.35	1.42	1.47	1.10	1.76	1.35	1.22
2. Kupang	0.99	1.23	2.68	2.22	1.76	2.35	2.00	1.87	1.18	1.26	1.32	1.36

Namun gerak retrograsi surya tidak meniadakan penambahan  $CO_2$  atmosfer dan hanya menyembunyikan efeknya. Berdasarkan apa yang baru dikemukakan, maka kenaikan suhu seperti yang diasumsikan GISS, harus dinilai realistis

Di atas dikatakan bahwa pembentukan awan rendah akan cenderung berkurang. Tetapi oleh makin banyaknya uap di udara, maka awan yang terbentuk akan lebih besar kandungan uapnya dari yang sekarang ada. Maka jumlah yang dapat dicurahkan akan bertambah seperti terlihat pada Tabel 4.

Secara umum Tabel 4 menunjukkan curah hujan di Indonesia bertambah dengan adanya penggandaan kadar  $CO_2$  di atmosfer. Namun pertambahan ini tidak sama dari satu ke lain tempat dan dari satu ke lain bulan. Bahkan di tempat tertentu, curah hujan berkurang.



Tabel 4. Rata rata curah hujan bulanan di Mapanget dan di Kupang pada iklim 1x CO<sub>2</sub> dan iklim 2x CO<sub>2</sub>.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
<u>Mapanget</u>												
1x CO <sub>2</sub>	448	382	284	282	250	229	184	159	190	201	293	376
2x CO <sub>2</sub>	626	575	363	376	245	174	138	175	196	237	386	512
<u>Kupang</u>												
1x CO <sub>2</sub>	331	338	166	75	14	14	17	2	5	45	115	222
2x CO <sub>2</sub>	328	414	445	167	25	33	34	4	6	102	151	301

Kebanyakan perubahan adalah positif, atau penambahan curah hujan bulanan hingga 50%. Tetapi ada tempat tempat yang mendapat penambahan 100% bahkan melebihi 200%. Yang terakhir ini hanya terjadi dalam bulan Maret di Saumlaki

Ada juga beberapa tempat yang mengalami pengurangan curah hujan. Tempat tempat yang terutama terletak di belahan bumi utara, bagian tengah Indonesia, mengalami pengurangan antara 3-25% dalam musim kemarau. Curah hujan di beberapa tempat berkurang sampai 10% dalam peralihan musim kemarau ke musim hujan. Di Merauke yang dalam dua bulan curah hujannya bertambah dengan lebih dari 200%, dalam bulan April curah hujannya berkurang dengan 32%.

Bertambahnya curah hujan dalam musim kemarau di bagian tenggara Indonesia ini agak dipertanyakan, karena dalam periode tersebut biasanya wilayah itu berada di bawah pengaruh tekanan tinggi Australia. Perlu diingat bahwa di situ juga terdapat sebuah rentetan tekanan tinggi (family of high pressure system). Sistem ini, dengan adanya pemanasan bumi akan bergeser ke selatan sehingga lebih banyak berada di atas lautan. Maka pertemuan aliran dari dua pusat tekanan tinggi akan menciptakan sebuah front intertropik yang menghasilkan banyak hujan. Salah satu dari pusat tekanan tersebut berada sepenuhnya di atas lautan, yang sudah lebih panas sedangkan udaranya sendiri juga sanggup menampung lebih banyak uap.

Secara umum dapat dikatakan curah hujan bertambah di Indonesia. Di bagian tenggara Indonesia perbedaan antara musim hujan dengan musim kemarau diperlemah, sementara di bagian tengah Indonesia di belahan bumi utara perbedaan itu diperkuat. Pelemahan atau penguatan perbedaan antar musim ini tidak senantiasa efektif, dilihat dari segi pertanian.

Di sekitar Mapanget (Manado) masa tanam tidak berkurang (Tabel 5). Sebaliknya di sekitar Kupang masa tanam bertambah dengan dua bulan, jika hujan/bulan > 100 mm dianggap mencukupi kebutuhan tanaman.

Tabel 5. Hasil padi pada iklim  $2\times CO_2$  relatif terhadap hasil pada iklim  $1\times CO_2$  untuk panen Januari-Juli

Tahun	Krawang-Bekasi	Purwakarta	Subang	Indramayu
1975	0.9215	0.8291	1.0023	1.0913
1976	1.0050	0.8544	1.0182	0.0998
1977	0.9678	1.0474	0.9926	0.9823
1978	1.0443	1.0525	0.9025	0.9311
1979	0.9664	0.8921	0.8872	1.0037
1980	1.0150	0.9910	0.8655	0.9621
1981	0.9779	0.9352	0.9271	1.0152
1982	0.9553	0.8243	0.9873	0.9216
1983	1.0026	0.8718	1.0245	1.0288
1984	1.0437	0.9555	0.9791	0.9255

Secara langsung maupun tidak perubahan pada iklim akan mempengaruhi pertumbuhan serta produksi tanaman. Membatasi diri pada pengaruh langsung, bertambahnya air di sekitar tanaman sampai suatu batas tertentu akan menguntungkan. Bertambahnya  $CO_2$  di udara juga akan memperbaiki lingkungan, sehingga mungkin dengan difusi molekuler saja, proses foto-sintesis sudah diperlancar, terutama untuk golongan  $C_3$ .

Sebaliknya peningkatan suhu udara akan memperbesar res-pirasi sehingga fotosintat netto berkurang. Jenis  $C_3$  dalam hal ini akan lebih terpengaruh dibanding  $C_4$ .

Akibat perubahan iklim untuk Indonesia, dipelajari dengan menggunakan model Thompson (1969, 1970) yang disesuaikan untuk produksi padi di Indonesia oleh Irawati (1988). Hasilnya disajikan pada Tabel 6 untuk panen Januari - Juni dan pada Tabel 7 untuk panen Juli - Desember. Untuk memudahkan perbandingan, hasil dinyatakan sebagai nisbah hasil pada iklim  $2\times CO_2$  terhadap hasil pada iklim  $1\times CO_2$ .

Untuk masa panen Januari-Juni, hasil lebih sering berkurang daripada meningkat. Tercatat sekurang kurang dalam 6 dari 10 hasil berkurang, walaupun pernah tidak sampai 1%. Pengurangan terbesar (17.5%) kembali terjadi juga di Purwakarta untuk tahun 1975. Sebaliknya peningkatan terbesar (5.3%), juga di Purwakarta, terjadi untuk tahun 1978.

Untuk masa panen Juli-Desember, tercatat keadaan imbang di Karawang-Bekasi dan Purwakarta, dan sering meningkat di kabupaten Subang dan Indramayu. Kabupaten Purwakarta kembali memperlihatkan peningkatan (+19%) maupun pengurangan (-8%) terbesar. Secara umum dapat dikatakan hasil panen Juli-Desember meningkat pada iklim  $2\times CO_2$ .

Tabel 6. Hasil padi pada iklim  $2x CO_2$  relatif terhadap hasil pada iklim  $1x CO_2$  untuk panen Juli-Desember

Tahun	Karawang-Bekasi	Purwakarta	Subang	Indramayu
1974	1.0444	0.9224	1.0019	1.0486
1975	1.0294	1.0332	1.1058	0.9489
1976	0.9726	0.9649	0.9631	0.9192
1977	1.1258	1.0134	1.1021	0.8899
1978	1.0854	1.0007	1.1404	1.1127
1979	-	-	-	-
1980	1.0436	0.9864	0.9952	1.1764
1981	0.9978	0.9392	1.0363	1.0641
1982	1.1808	0.8858	1.1290	1.0733
1983	0.9787	1.1903	1.0503	1.1127
1984	0.9880	1.0039	1.1038	0.9955

Oleh karena model hanya melibatkan suhu dan penyinaran, sedangkan penyinaran di sini dipertahankan konstan, maka Tabel 7 dan 8 mengimplikasikan bahwa suhu di sekitar soltis selatan telah melampaui sedangkan di sekitar soltis utara belum melampaui suhu optimum.

Seperti terlihat pada persamaan berikut, di Jepang suhu untuk padi belum mencapai optimum, sedangkan di Filipina suhu itu sudah dilampaui (Murata, 1978).

$$\text{Di Jepang : } Y = (6.52 - 0.1411 (T - 21.26)^2) D$$

$$\text{Di Philipina: } Y = S(278 - 7.07T) 0.86 \times 18.1 \times 10^{-5}$$

T = suhu rata rata

D = akumulasi penyinaran

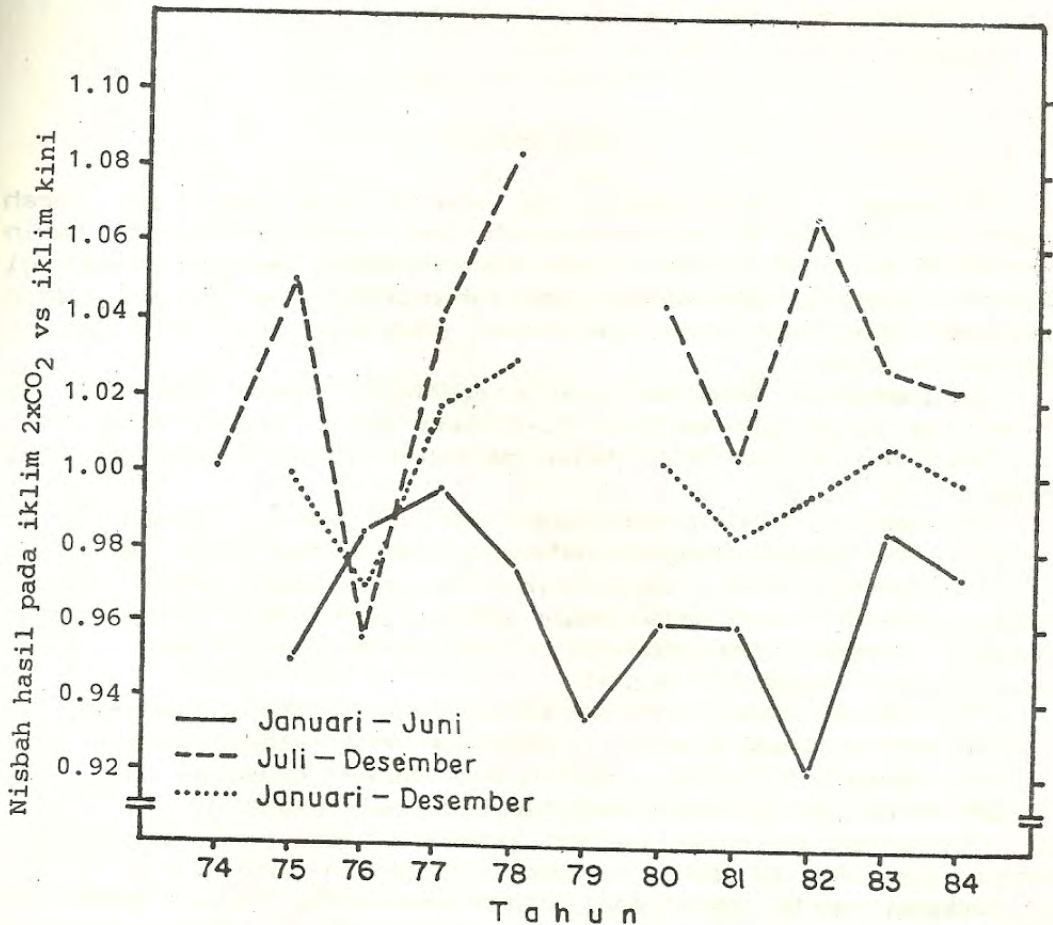
S = kerapatan limpahan pancaran

Maka tidaklah mengherankan bahwa Yoshida dkk. (1987) mendapatkan hasil padi pada iklim  $2x CO_2$  berembut di sekitar hasil pada iklim  $1x CO_2$ .

Untuk Indonesia, yang seperti halnya Philipina, terletak di daerah tropik, bertambahnya hasil dengan meningkatnya suhu diragukan. Ini telah ditunjukkan oleh Blantiran de Rozari dan Nasir (1979) yang mendapatkan suhu malam yang melebihi  $19^{\circ}C$  cenderung mengurangi hasil. Mengacu pada perubahan suhu bumi, Panturat dkk (1989) mendapatkan bahwa hasil padi ladang di Thailand pada iklim  $2x CO_2$  senantiasa berada di bawah hasil padi pada iklim  $1x CO_2$ . Maka hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 6 dan terlebih Tabel 7, harus diterima dengan lebih hati hati. Hal ini cukup beralasan, karena berlainan dengan model simulasi, model empirik tidak memperhitungkan proses baik fisiologis maupun biologis dari sesuatu tanaman. Oleh karena itu dalam kajian

tentang dampak perubahan iklim pada produksi padi, sebaiknya menggunakan model simulasi.

Pertanyaan menarik mengenai dampak perubahan iklim pada padi adalah dapatkah kedudukan Wilayah Pantura sebagai lumbung, dipertahankan pada keadaan iklim  $2\times CO_2$ . Gambar 2 memperlihatkan gabungan hasil relatif dari kelima kabupaten.



Gambar 2. Hasil relatif (nisbah hasil pada keadaan iklim yang telah berubah terhadap hasil yang dicapai saat ini), di kelima kabupaten Pantai Utara Jawa Barat secara bersama

Gambar ini menunjukkan bahwa kedudukan tersebut tidak bisa dipertahankan untuk masa panen Januari-Juni. Sebaliknya untuk panen Juli-Desember, kedudukan tersebut terlihat diperkuat.

Walaupun ada panen raya, panen di wilayah berlangsung terus menerus, sehingga persediaan senantiasa diperbarui. Oleh karena

itu maka dicoba menggabungkan hasil kedua masa panen. Gambar 2 juga memperlihatkan kedudukan jalur Pantura tidak dapat dipertahankan dalam keadaan iklim  $2x CO_2$ . Dalam 5 dari 9 tahun, produksi tidak bisa mencapai yang dihasilkan sekarang. Gambaran ini mungkin menunjukkan bahwa bagaimanapun juga, hasil padi pada keadaan iklim dengan ERK diperkuat tidak akan setinggi yang dicapai dewasa ini, walaupun hasil tersebut dapat melampaui yang diperoleh sekarang pada waktu-waktu tertentu.

## KESIMPULAN

Perubahan iklim yang meliputi kenaikan suhu udara dan curah hujan akan terjadi akibat menguatnya efek rumah kaca karena makin bertambahnya  $CO_2$  atmosfer. Dengan kecenderungan penggunaan energi seperti sekarang, maka diduga pada tahun 2050 kadar  $CO_2$  udara akan mencapai dua kali lipat dari kadar sekarang ini, yang adalah sebesar 315 ppm.

Di Indonesia kenaikan suhu di pelbagai tempat pada bulan-bulan tertentu bisa mencapai 1.4% yang berarti  $4.2^{\circ}C$  bila suhu sekarang adalah  $26.0^{\circ}C$ . Suhu maksimum dengan demikian bisa melampaui  $40^{\circ}C$ .

Di samping suhu, curah hujan juga bertambah. Dalam bulan-bulan tertentu di bagian tenggara Indonesia, penambahan bisa melampaui 100 dan bahkan 200%. Sebaliknya di belahan bumi utara bagian tengah, curah hujan dalam musim kemarau berkurang hingga 25%. Umumnya dengan bertambahnya curah hujan ini, masa tanam diperpanjang dengan  $\pm 2$  bulan.

Perubahan iklim, terutama kenaikan suhu udara, membawa dampak negatif pada produksi. Walaupun model yang digunakan adalah empirik, hasilnya menunjukkan bahwa produksi padi lebih sering lebih rendah dari yang dicapai dewasa ini.

Model yang digunakan memberi prediksi hasil yang bertentangan dengan apa yang diketahui tentang hubungan antara cuaca dengan pertumbuhan serta hasil padi. Oleh karena itu untuk pekerjaan serupa di masa yang datang, sebaiknya digunakan model simulasi, sehingga proses fisiologis maupun biologis dapat disesuaikan dengan keadaan lingkungan yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

Blantran de Rozari, M & A.A. Nasir (1979). Tanggapan padi sawah IR 5 terhadap Suhu dan Cahaya di Cikarawang. Pros. Simposium I Agrometeorologi, Bag. II HIMPI: 1-11.

Brooks, F.A. 1952. Atmospheric radiation and its reflection from the ground. Jour. Meteorology 9: 41-47.

- Hanyu, J., T. Uchijima & Sugawara, 1966. Studies on the agro-climatological method for expressing the paddy rice products. Bull. Tohoku Nat. Expt. Sta., 34:27-36.
- Irawati, R. 1988. Kaitan fluktuasi suhu dan lama penyinaran dengan fluktuasi produksi padi sawah. Thesis FMIPA-IPB 66 pp.
- Jenne, R. 1988. Data from climate models, the CO<sub>2</sub> warming Report to the ASEAN Working Group.
- Keeling, C.D. & R.B. Bacastrow, 1977. Impact of industrial gases on climate dalam Studies in geophysics: Energy and Climate. Nat. Acad.Sci. Washington, D.C: 72-95.
- Kutzbach, J.E. 1974. 1974. Possible impact of man's energy generation on climate. Rept. GARP study conference on the physical basis of climate and climate modelling.
- Manabe, S & R.T. Wetherald, 1975. The effects of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model. Journ. Atmospheric Sci. 32: 3-10.
- Murata, Y. 1975. Estimation an simulation of rice yield from climatic factors, Agric. Meteorology, 15: 117-131.
- Panturat, S. & A. Eddy. 1988. Some impacts on rice yield of changes in the variance of regional precipitation. Rept S.E. Asian Working group. UNEP: 41pp.
- Perry, H. & H.H. Landberg. 1977. Projected world energy consumption. dalam studies in geophysics: Energy and climate. Nat. Acad. Sci. Washington, DC : 35-50.
- Robertson, G.W. 1975. Rice and weather. Techn. Note 1944. WMO. No. 423: 40 pp.
- Thompson, L.M. 1969. Weather and technology in the production of corn in the U.S corn belt. Agron. Jour. 61: 453-466
- Thompson, L.M. 1970. Weather and technology in the production of soybeans in the Central United States. Agron. Journ. 62: 232-236
- Washington, W.M. 1972. Numerical climatic-change experiment. The effect of man's production of thermal energy. Jour. Appl. Meteorology 11: 768.

Yoshida, S & Parao, F.T. 1974. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. Symp. Climate and Rice. IRRI: 471-494.

Yoshino, M., T. Horie, H. Seino, H. Tsujii, T. Uchijima & Z.Uchijima, 1987. The effect of climatic variations on agriculture in Japan. dalam The impact of climatic variations on agriculture. Vol. I, M.L. Parry et al (eds). Reidel, Dordrecht, The Netherlands : 131pp.

*[The following text is extremely faint and largely illegible. It appears to be a list of references or a detailed bibliography, containing names, years, and titles of various publications related to climatology and agriculture.]*