



AGROKLIMATOLOGI DI ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Buku ini merupakan himpunan hasil penelitian di bidang cuaca-iklim dengan penekanan hanya pada interaksi cuaca-iklim dan pengelolaan tanaman, baik penelitian yang dilakukan oleh penulis sendiri maupun oleh peneliti lainnya seperti yang tercantum dalam daftar pustaka.

Buku ini dimaksudkan sebagai bahan ajar dalam kuliah Agroklimatologi pada program S1 bidang pertanian, seperti Program Studi Agronomi, Agroekoteknologi, Ilmu Tanah dan PS Agribisnis. Selain itu, buku ini juga dapat dipergunakan sebagai rujukan penelitian manajemen tanaman dari sudut pandang cuaca/iklim. Pengetahuan dasar seperti Matematika, Fisika dan Klimatologi Dasar, merupakan pengetahuan yang diperlukan untuk lebih memudahkan pemahaman isi buku ini.

Published by :



Office :
Jl. A. Yani, Sokajaya 59 Purwokerto
New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang
HP. 081 357 217 319 WA. 089 621 424 412
www.irdhcenter.com
email: buku.irdh@gmail.com



GUSTI RUSMAYADI

AGROKLIMATOLOGI DI ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

2019

AGROKLIMATOLOGI

DI ERA PERUBAHAN

IKLIM GLOBAL

GUSTI RUSMAYADI

**AGROKLIMATOLOGI DI ERA PERUBAHAN IKLIM
GLOBAL**

GUSTI RUSMAYADI

CV. IRDH

AGROKLIMATOLOGI DI ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Oleh : Gusti Rusmayadi
Perancang sampul : Rojagid Ariadi Mohammad
Penata Letak : Agung Wibowo
Penyunting : Cakti Indra Gunawan
Pracetak dan Produksi : Yohanes Handrianus Laka

Hak Cipta © 2019, pada penulis

Hak publikasi pada CV IRDH

Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan Pertama Juni 2019

Penerbit CV IRDH
Anggota IKAPI No. 159-JTE-2017
Office: Jl. Sokajaya No. 59, Purwokerto
New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang
HP 081 333 252 968 WA 089 621 424 412
www.irdhcenter.com
Email: buku.irdh@gmail.com

ISBN: 978-623-7343-02-8

i-xiiiint + 242 hlm, 25 cm x 17.6 cm

KATA PENGANTAR

Pemahaman dampak negatif dari iklim ekstrim itu mutlak diperlukan pengetahuan yang berlandaskan pemahaman tentang gejala atmosfer. Buku ini merupakan himpunan hasil penelitian di bidang cuaca-iklim dengan penekanan hanya pada interaksi cuaca-iklim dan pengelolaan tanaman, baik penelitian yang dilakukan oleh penulis sendiri maupun oleh peneliti lainnya seperti yang tercantum dalam daftar pustaka.

Buku ini dimaksudkan sebagai bahan ajar dalam kuliah Agroklimatologi pada program S1 bidang pertanian, seperti Program Studi Agronomi, Agroekoteknologi, Ilmu Tanah dan PS Agribisnis. Selain itu, buku ini juga dapat dipergunakan sebagai rujukan penelitian manajemen tanaman dari sudut pandang cuaca/iklim. Pengetahuan dasar seperti Matematika, Fisika dan Klimatologi Dasar, merupakan pengetahuan yang diperlukan untuk lebih memudahkan pemahaman isi buku ini.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada staf pengajar PS Klimatologi Terapan IPB, yang telah memberikan pengetahuannya berupa publikasi penelitian dan makalah. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada istri Ir. Umi Salawati, MSi dan anaku Gusti Mirsa Rossaliani, SE serta mantu Muhammad Hasmy Bahrain, SE., Ak juga cucuku Aqila Senaura Bahrain

Kritik dan saran dari sejawat dan para ahli dalam rangka perbaikan ke depan sangat diharapkan. Semoga buku ini bermanfaat.

Banjarbaru, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR GAMBAR	VII
DAFTAR TABEL.....	XI
BAB 1 SEKTOR PERTANIAN DAN TANTANGANNYA DALAM ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL	1
A. PENDAHULUAN	1
B. POTENSI SUMBERDAYA IKLIM	6
C. PERUBAHAN IKLIM GLOBAL	12
D. STRATEGI ANTISIPASI TERHADAP PERUBAHAN IKLIM	20
E. NILAI EKONOMI PRAKIRAAN IKLIM	33
BAB 2 AGROKLIMATOLOGI.....	39
A. PENDAHULUAN	40
B. PERAN AGROKLIMATOLOGI INDONESIA DI ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL	49
BAB 3 ATMOSFER DAN PERTANIAN.....	80
A. PENDAHULUAN	80

B.	B A H A N PENYUSUN ATMOSFER	82
C.	STRUKTUR LAPISAN ATMOSFER.....	86
D.	PERANAN ATMOSFER	96
E.	MEKANISME PEMBENTUKAN CUACA DAN IKLIM	99
F.	KERJASAMA INTERNASIONAL	100
G.	MANFAAT INFORMASI CUACA DAN IKLIM UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN 102	

**BAB 4 PENGENALAN ALAT METEOROLOGI DAN CARA PENGAMATAN,
PENGUKURAN DAN ANALISISNYA 106**

A.	PENDAHULUAN	106
B.	SIFAT ALAT METEOROLOGI	107
C.	JENIS ALAT METEOROLOGI.....	107
D.	KETELITIAN PADA PENGAMATAN DENGAN ALAT METEOROLOGI	109
E.	SATUAN PENGUKURAN METEOROLOGI	110
F.	TAMAN DAN TATA LETAK ALAT	111

**BAB 5 NERACA RADIASI TANAMAN DAN EFISIENSI PENGGUNAANNYA
..... 139**

A.	PENDAHULUAN	139
B.	SEBARAN SPEKTRUM RADIASI MATAHARI	140

C.	CIRI RADIASI MATAHARI	141
D.	TANGGAP TANAMAN TERHADAP RADIASI MATAHARI	146
E.	SIFAT OPTIK TANAMAN	149
F.	RADIASI BERSIH ATAU NETO	153
G.	PENYEBARAN RADIASI DI DALAM TAJUK TANAMAN	159
H.	EFISIENSI PENGGUNAAN RADIASI MATAHARI (RUE) DAN EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATHARI (EPR)	162
BAB 6 CURAH HUJAN, TEORI, PENGAMATAN DAN ANALISISNYA		174
A.	PENDAHULUAN	174
B.	PENDUGAAN DATA HILANG DAN PENGECEKAN DATA	177
C.	PENGECEKAN KUALITAS DATA IKLIM	177
D.	PENGUJIAN KEERATAN DATA ANTAR STASIUN KLIMATOLOGI.....	182
E.	PENGISIAN DATA KOSONG.....	184
F.	METODE KANTOR CUACA AMERIKA SERIKAT.....	187
G.	METODE PENDEKATAN CURAH HUJAN WILAYAH	190
H.	PANJANG PERIODE DATA	206
I.	METODE STATISTIK UNTUK MENGANALISIS DATA IKLIM.....	211
DAFTAR PUSTAKA		225

GLOSARIUM.....	231
INDEKS.....	235
TENTANG PENULIS	241

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Tipe hujan Monsoon, equatorial dan lokal yang merupakan ciri pola hujan di Indonesia (dimodifikasi dari Boerema, 1935) 10
- Gambar 2 Peluang kejadian El Niño dan La Niña selama periode 1950 – 2011. Keterangan: diolah kembali dari <http://ggweather.com/enso/oni.htm>, 2011. 14
- Gambar 3. Kencenderungan kenaikan suhu udara di beberapa stasiun meteorologi..... 15
- Gambar 4. Anomali wilayah curah hujan antara periode 1950-1979 dengan 2010-2039 pada bulan April-September (a) dan bulan Oktober-Maret (b). 18
- Gambar 5. Anomali suhu maksimal (a) dan suhu minimal (b) permukaan (2 m) pada musim hujan (Oktober-Maret) dan evaporasi (c) pada musim kemarau (April-September)..... 19
- Gambar 6. Produksi dan import beras saat terjadi kekeringan. 21
- Gambar 7. Kerangka kerja pewilayahan agroekologi tanaman pangan (Las, 1986)..... 31
- Gambar 8. Analisis aliran dana dalam suatu sistem usaha tani kapas di India berdasarkan berdasarkan respon petani terhadap ramalan iklim (dimodifikasi dari Meinke et al., 2003). 35
- Gambar 9. Skematis sumbangan berbagai disiplin ilmu dalam pemecahan masalah Agroklimatologi 43
- Gambar 10. Mintakat (zone) setiap pola hujan di Indonesia menurut Boerema (1941) 47
- Gambar 11. Mekanisme Pengendalian Produksi Pertanian oleh Cuaca dan Iklim 54
- Gambar 12. Simulasi biomassa (a) dan hasil biji jarak di Bogor-Jawa Barat yang ditanam tanggal 14 setiap bulan, dengan 3 skenario (skenario I, curah hujan berkurang 5% dan suhu naik 1°C, skenario II, curah hujan

berkurang 10% dan suhu naik 2°C dan skenario III, curah hujan berkurang 15% dan suhu naik 3°C dari kondisi sekarang.	66
Gambar 14. Ketinggian atmosfer dan massanya yang berada di bawahnya (Barry & Chorley, 1976).	87
Gambar 15. Lapisan atmosfer.	90
Gambar 16. Lapisan Tropopause	91
Gambar 17. Mekanisme penguraian O ₃ oleh CFC.	94
Gambar 18. Berkas radiasi (atas) dan atmosfer bumi (bawah). Penyerapan atmosfer terhadap berkas ultraviolet oleh O ₃ dan inframerah oleh H ₂ O (dimodifikasi dari Gates, 1962).	98
Gambar 19. Mekanisme pembentukan cuaca dan iklim.	100
Gambar 20. Wilayah pengamatan iklim di dunia oleh WMO.	101
Gambar 21. Jarak ideal antara taman alat dengan pohon atau bangunan	112
Gambar 22. Taman alat dan penempatan alat Meteorologi (WMO).	113
Gambar 23. Alat ukur lama penyinaran matahari tipe Campbel Stokes	114
Gambar 24. Alat ukur intensitas radiasi matahari bersensor thermo-pile pada solarimeter (Stasiun BMKG, 2018).	116
Gambar 25. Point solarimeter (Rusmayadi, et al., 2008) pada tanaman Jarak Pagar dan Tube solarimeter (Rusmayadi, et al., 1998) yang dipasang di hamparan padi (Rusmayadi, 1996).	118
Gambar 26. Alat penakar curah hujan tipe observatorium (Obs).	120
Gambar 27. Penakar hujan otomatis jenis Hellman.	121
Gambar 28. Penakar hujan dengan prinsip jungkitan.	122
Gambar 29. Panci klas A, yang otomatis sebelah kiri atas dan yang manual kanan bawah (Stasiun BMKG, 2018).	123

Gambar 30. Lysimeter drum Dastane, Vamadevan & Saraf (1966)	124
Gambar 31. Lysimeter A dan B yang diisi dengan padi lokal Siam Unus (Adriani, et al., 2007).	125
Gambar 32. Pengukuran evapotranspirasi dengan menggunakan metode nisbah Bowen dan neraca energi (Adriani, et al., 2007)	128
Gambar 33. Termohigrograf	131
Gambar 34. Skala suhu dari empat macam termometer.....	132
Gambar 35. Termometer pengukur suhu tanah	132
Gambar 36. Termometer bola basah dan bola kering di dalam Stevenson Screen	133
Gambar 37. Wind vane.....	135
Gambar 38. Anemometer mangkok	136
Gambar 39. Gambaran ideal hubungan antara reflektivitas, transmisivitas, dan absorpsivitas pada daun hijau	152
Gambar 40. Diagram pertukaran energi gelombang panjang dan gelombang pendek antara dua sisi daun dengan lingkungan.....	155
Gambar 41. Hubungan indeks luas daun dengan fraksi radiasi yang dicegat tajuk tanaman, sesuai persamaan $f = 1 - e^{-kL/D}$	161
Gambar 42. Diagram hipotetik efisiensi penggunaan radiasi matahari.....	165
Gambar 43. Hubungan antara LAI dan hasil herbase (Brougham, 1956)	166
Gambar 44. Efisiensi penggunaan radiasi matahari (RUE) pada perlakuan irigasi, IRN0 (atas) dan IRN4 (bawah) (Rusmayadi et al., 1998).	168
Gambar 45. Efisiensi penggunaan radiasi matahari (RUE) pada perlakuan tadah hujan, THN0 (atas) dan THN4 (bawah) (Rusmayadi et al., 1996).....	169
Gambar 46. Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) Jarak Pagar (<i>Jatropha curcas</i> L.) pada lahan tadah hujan, (Rusmayadi, 2007)	170

Gambar 47. Diagram alir strategi pendekatan agroklimat dalam sistem usahatani.....	175
Gambar 48. Kurva Massa Ganda Teladan 9.1.....	181
Gambar 49. Posisi Pos Hujan X dan Pos Hujan Indeks A, B, C dan D	188
Gambar 50. Curah hujan Wilayah menurut metode A) Aritmatik, B) Poligon Thiessen dan C) Isohiet	192
Gambar 51. Model Spherical	202
Gambar 52. Model eksponensial.....	203
Gambar 53. Models Gaussian	203
Gambar 54. Pola suatu unsur iklim dengan panjang periode a - e tahun	206
Gambar 55. Sebaran periode data pengamatan dengan periode ideal.	208

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Proyeksi permintaan dan suplai komoditas tanaman pangan dan ternak	8
Tabel 2. Keluaran yang diharapkan dan minimum data yang dibutuhkan untuk hirarki tingkat pemetaan.	30
Tabel 3. Pewilayahan sumberdaya iklim, tanah dan tanaman di Indonesia ...	32
Tabel 4. Perbandingan antara sapi Bos Taurus dengan Bos indicus	59
Tabel 5. Kegiatan penurunan emisi dan penyerapan karbon.....	71
Tabel 6. Adaptasi terhadap Dampak Perubahan Iklim (KLH, 2009)	74
Tabel 7. Kegiatan Sektorial Penurunan GRK (KLH, 2009).....	75
Tabel 8. Susunan normal udara kering atmosfer.....	83
Tabel 9. Susunan tiga macam gas utama pada berbagai kandungan uap	85
Tabel 10. Perubahan tekanan udara terhadap ketinggian dinyatakan dengan persentase tekanan udara normal pada permukaan laut.....	88
Tabel 11. Penyerapan radiasi matahari oleh oksigen	97
Tabel 12. Penyerapan radiasi gelombang panjang oleh gas atmosfer	99
Tabel 13. Satuan pengukuran Meteorologi yang dibakukan	110
Tabel 14. Kelembapan nisbi (%) berdasarkan suhu bola basah (T_{BB}) dan suhu bola kering (T_{BK}).	134
Tabel 15. Pengklasifikasian radiasi matahari menurut panjang gelombang.	140
Tabel 16. Istilah dalam pengukuran radiasi (Jones, 1992).	146

Tabel 17. Beberapa penyetaraan satuan yang berhubungan dengan energi (Wang & Ray, 1984).	147
Tabel 18. Pengaruh berkas radiasi terhadap pertumbuhan tanaman	149
Tabel 19. Beberapa nilai (r , %) dan (α , %) daun, tetumbuhan dan permukaan lain untuk radiasi gelombang pendek (Jones, 1992).....	153
Tabel 20. Perbandingan neraca energi bersih, Wm^{-2} $\{(Q_n = \text{Total } (Q_{\text{diserap}} - Q_{\text{diteruskan}})\}$ untuk pekarangan dan daun tunggal horizontal di atas pekarangan untuk berbagai kondisi cuaca. Asumsi nilai koefisien untuk gelombang pendek adalah: $\alpha_s(\text{permukaan}) = 0,77$; $\alpha_s(\text{daun}) = 0,5$; $\rho_s(\text{permukaan}) = 0,23$. Nilai $\epsilon = 1$ (Jones, 1992).....	156
Tabel 21. Perhitungan luas daun dan ILD secara gravimetrik	164
Tabel 22. Data teladan 6.1.....	182
Tabel 23. Pasangan data curah hujan antara stasiun A dan B (1956-1964) untuk uji Ranking Kendall.....	183
Tabel 24. Perhitungan Metode Poligon Thiessen.....	195
Tabel 25. Perhitungan menurut Metode Isohiet	195
Tabel 26. Kerapatan Minimum yang Direkomendasikan WMO	198
Tabel 27. Periode Data di Stasiun Rantau.....	208
Tabel 28. Perhitungan pengamatan data bulan Januari	210
Tabel 29. Curah hujan bulan Januari di penakar hujan Martapura periode pengamatan 1931-1960, 1961-1970 dan 1971-1978 untuk keperluan perhitungan keragaman data.....	213
Tabel 30. Hasil analisis frekuensi kumulatif	218
Tabel 31. Perhitungan peluang periode kering selama satu dekade; Wilayah Tatakan, Kabupaten Tapin-Kalimantan Selatan, Lintang $2^{\circ}53'LS$, $72^{\circ}05BT$, pada minggu 1 – 10, tahun 1989.	220

BAB 1

SEKTOR PERTANIAN DAN TANTANGANNYA DALAM ERA PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

A. Pendahuluan

Pertengahan tahun 1997 krisis ekonomi yang melanda Indonesia dan pada tahun 2001 terjadi puncaknya serta sampai sekarang. Hal tersebut dengan mudah dilihat dari nilai tukar rupiah terhadap dollar tidak pernah lagi berada di bawah Rp. 10.000,00. Kemudian, sektor pertanian menjadi bagian penting karena kerentanan, ketangguhan dan kepentingan ketahanan pangan yang merupakan satu satunya sector yang dapat bertahan. Pelandaian produksi padi nasional sejak awal tahun 1992 menyebabkan Indonesia, yang menurut Departemen Pertanian Amerika Serikat (*United States Department of Agriculture*, disingkat USDA) tergolong sebagai negara pengimpor beras terbesar di dunia bersama dengan Nigeria (Kompas, 2002). Sebelumnya, Indonesia diprediksi baru mengimpor beras dalam jumlah terbesar di dunia pada tahun 2005, sebagai akibat pertambahan jumlah penduduk yang diproyeksikan mencapai 250 juta dengan laju pertumbuhan 1.8% (Republika, 2002). Sekarang Indonesia masuk dalam daftar 10 negara pengimpor beras terbesar di dunia (Dkatadata.co.id) yang menempatkan Indonesia di peringkat 6 negara pengimpor beras terbesar dunia dengan volume 1,3 juta ton. Setiap tahun pemerintah Indonesia terpaksa mendatangkan beras dari luar negeri untuk mencukupi kebutuhan domestik.

Ketangguhan sektor pertanian terhadap badai krisis ekonomi telah teruji dan merupakan sektor harapan bagi petani, terutama petani tanaman tahunan, seperti petani minyak sawit, karet, lada, kopi, kakao, kelapa dan lain-lain. Bahkan, isu kelangkaan energi terutama BBM yang berakibat pada peningkatan harga minyak mencapai lebih dari \$100,00 per barrel, menunjukkan sektor pertanian kembali menjadi alternatif bagi penyediaan bahan baku bioenergi seperti tanaman jarak dan sawit untuk biodiesel, sagu dan singkong untuk bioetanol. Dua sudut pandang berbeda tersebut menjadikan sektor pertanian terus menjadi perhatian pemerintah atau para pengambil kebijakan baik di tingkat pusat maupun provinsi sampai kabupaten. Hal ini menunjukkan sektor pertanian sangat terkait erat dengan sosial ekonomi, geo-politik, keamanan, dan ketahanan pangan (*food security*), serta menjadi tumpuan sebagian besar masyarakat Indonesia, terutama secara langsung di pedesaan dan di perkotaan secara tidak langsung.

Di era globalisasi, tantangan terhadap sektor pertanian semakin bertambah berat, tidak hanya akibat hubungan diplomatik dan agenda kesepahaman antar negara tetapi juga akibat faktor internal petani itu sendiri. Kesepakatan AFTA 2004 antar negara Asia Tenggara, APEC 2010 antar negara Asia Pasific dan pemberlakuan Perdagangan Bebas (*Trade Liberalization*) 2020 antar masyarakat dunia, maka Indonesia sebagai negara agraris dan salah satu produsen padi terbesar di Asia Tenggara harus membuka pasar berasnya. Tiga kesepakatan dagang tersebut menyebabkan harga beras dari negara lain telah memenuhi pangsa pasar di tanah air dengan harga lebih murah, kualitas lebih baik dan lebih disukai oleh masyarakat dibanding dengan beras lokal.

Masyarakat dunia di era persaingan bebas menuntut kualitas, kuantitas dan kontinuitas produksi pertanian. Hasil pertanian harus memiliki daya saing komparatif dan kompetitif. Hal tersebut telah tertuang dalam Perjanjian Tarif Umum Perdagangan (*General Agreement on Tariffs and Trade* atau GATT) sejak tahun 1948 yang terus mengalami perbaikan mulai Putaran Ancey tahun 1949 sampai Putaran Uruguay tahun 1986-1994. Inti dari pertemuan tersebut agar komoditas pertanian Indonesia dapat bersaing di pasar bebas, sedikitnya ada 3 hal yang harus dilakukan, yaitu 1) sistem pertanian yang baik (GAP), 2) sistem pengemasan yang baik (GMP), dan 3) sistem kontrol terhadap resiko (HACCP).

Selain hal tersebut, tenaga kerja generasi muda di sektor pertanian padi sawah menurun, yang disebabkan penyerapan oleh sektor industri dengan tingkat kepastian pendapatan yang lebih tinggi, tidak ada jaminan harga gabah terutama saat panen raya, kebijakan impor yang tidak berpihak kepada petani kecil dan yang terakhir penghapusan subsidi secara bertahap pada bidang pertanian telah membuat sebagian besar petani menanam padi hanya untuk memenuhi kebutuhan makan keluarga. Hal di atas diperparah oleh alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan non pertanian mulai kawasan perumahan sampai dengan kawasan industri.

Tekanan sektor ekonomi dan politik tersebut semakin bertambah berat, ketika para pemerhati dan peneliti bidang meteorologi dan klimatologi menemukan bukti bahwa perubahan iklim global telah terjadi sebagai akibat dari pemanasan global akibat peningkatan gas rumah kaca (GRK), seperti CO₂, N₂O, NH₄, CFC, dll. Oleh karena itu,

dinamika atmosfer menjadi sangat sukar diprediksi dan dapat menimbulkan peningkatan kejadian-kejadian iklim ekstrim dan frekuensinya di permukaan bumi serta menimbulkan ketidakaturan musim dalam skala ruang dan waktu, seperti badai tropis, kemarau panjang, kekeringan, banjir, dan tanah longsor. Kejadian-kejadian iklim ekstrim tersebut langsung maupun tidak sangat berpengaruh terhadap produktivitas pertanian. Juga yang tidak kalah dahsyatnya adalah tekanan internasional terhadap produksi pertanian Indonesia seperti padi, sawit dan yang lainnya sebagai penyumbang emisi ke atmosfer.

Kekeringan tahun 1994 dan 1997 merupakan peristiwa terburuk dibandingkan dengan kekeringan beberapa tahun terakhir. Di pulau Jawa pada tahun 1994 sekitar 68% areal pertanian mengalami kekeringan dari total kekeringan secara nasional, lebih tinggi dibandingkan peristiwa kekeringan rata-rata selama 5 tahun (62,0%) dan lebih tinggi dibandingkan dengan peristiwa kekeringan pada tahun 1991 (67,8%). Secara Nasional luas areal yang mengalami kekeringan sejak 1989 hingga 1994 menunjukkan peningkatan dari 11.697 sampai 469.177 ha. Pada tahun 1994, dampak kekeringan terhadap sektor pertanian mengakibatkan penurunan produksi beras. Periode 1997-1999 Indonesia kembali menjadi negara pengimpor beras terbesar di kawasan Asia. Menurut FAO rata-rata impor beras Indonesia pada periode tersebut meningkat 2.5 juta ton dibandingkan dengan periode 1987-1989. Sebaliknya, di negara-negara Asia lainnya seperti Vietnam, India, China, dan Thailand, rata-rata ekspor beras pada periode 1997-1999 dibandingkan dengan periode 1987-1989 meningkat masing-masing 3.5; 2.9; 1.7; dan 1.0 juta ton. Demikian pula dengan curah hujan yang

meningkat pada akhir tahun 2001 sampai akhir 2005, dan 2010 yang baru lalu telah menyebabkan banjir serta mengakibatkan areal persawahan di beberapa sentra produksi padi di Sumatra Utara, Jawa Barat, dan Jawa Timur. Prediksi kekeringan yang ditandai oleh kedatangan El-Nino berujung pada ketidakpastian, kapan, di mana, dan besarnya. Apabila tekanan ekonomi dan iklim tersebut tidak disiasati dengan cermat, maka suatu saat Indonesia akan menjadi negara pengimpor beras terbesar di dunia secara terus menerus, terlebih lagi apabila pertumbuhan penduduk tidak terkendali. Jika pertumbuhan penduduk tetap sebesar 1,35% per tahun, maka pada tahun 2004 penyediaan stok beras nasional mencapai 31 juta ton (BPS, 2000). Secara ekstrim dikatakan suatu saat Indonesia sebagai suatu Negara menjadi kabur akibat peran memenuhi pangsa pasar di tingkat Asia saja dengan produk pertanian, khususnya beras tidak dapat diwujudkan, walaupun Indonesia adalah negara penghasil beras terbesar ke-tiga setelah China dan India dengan total produksi sebesar 70,8 ton. Data FAO menunjukkan bahwa Indonesia sejak periode 1967-1969 sampai 1997-1999, bahkan sampai sekarang di tahun 2019 termasuk salah satu negara yang tidak pernah mengekspor berasnya untuk kawasan Asia, walaupun produksi beras kita menempati 36% (1997-1999) pangsa regional Asia Tenggara. Apabila demikian, pertanyaan yang timbul adalah dapatkah Indonesia menciptakan pertanian yang prospektif, jika kondisi ekonomi, politik, iklim ekstrim tidak mendukung, karena tidak menentu dan sulit diprediksi menjadi kemustahilan? Kajian buku ini difokuskan pada peran bidang iklim dan implikasinya terutama yang berkaitan dengan analisis agroklimatologi sebagai bagian penting langkah antisipatif dan terangkum pada tujuan utama, yaitu memahami arti penting dan peruntukan analisis iklim dan

pewilayahan agroklimat bagi perencanaan usaha tani yang prospektif di era persaingan bebas. Tujuan tersebut dapat tercapai dengan menempatkan kontribusi iklim secara proposional, yaitu:

- 1) Memaksimalkan penggunaan radiasi matahari dengan meningkatkan efisiensi penggunaannya.
- 2) Mempertimbangkan iklim sebagai sumber daya bukan sebagai pembatas, sehingga sesuai dengan peruntukannya.
- 3) Memperbaharui cara pengkoleksian data berupa pengukuran secara otomatis, pengiriman dan kemudahan pengaksesan data, dan
- 4) Menggunakan secara cerdas data yang sudah terkoleksi dalam menyokong kegiatan bisnis berdasarkan kajian ilmiah.

Pengguna diharapkan dapat menganalisis interaksi iklim ekstrim dengan sektor pertanian merupakan kompetensi yang harus dicapai. Sementara itu, kompetensinya adalah agar pengguna mampu menguraikan 1) potensi sumberdaya iklim, 2) ketidakpastian dan penyimpangan iklim, dan 3) strategi antisipasi.

B. Potensi Sumberdaya Iklim

Indonesia mempunyai jumlah penduduk yang besar ke-tiga di dunia, posisi geografis dan karakteristik iklim yang dimiliki dan juga negara tetangga se Asia Tenggara, maka terlihat bahwa sumberdaya atau kekayaan potensial merupakan pendukung bagi sektor pertanian untuk berkembang lebih tangguh dan berdaya saing tinggi. Jumlah penduduk Indonesia sampai akhir 2011 mencapai 204 juta jiwa, dengan laju

pertumbuhan penduduk rata-rata 1.35% (BPS, 2011). Jumlah penduduk yang sangat besar tersebut merupakan pangsa pasar *tradisional* yang sangat potensial untuk berbagai produk pertanian dan industri. Akan tetapi, sampai saat ini pemenuhan permintaan pasar dalam negeri, berbagai produk pertanian yang dihasilkan belum mencukupi. Untuk memenuhi permintaan di tahun 2003 terhadap beras terdapat senjang sekitar 4.54 juta ton, kedelai 0.28 juta ton, jagung 0.80 juta ton, kentang 12.8 ribu ton, daging ayam broiler 11.5 ribu ton, dan daging sapi 50.8 ribu ton. Kesenjangan tersebut bertambah besar pada tahun 2010 (Tabel 1) (Nyak *et al.*, 2001; Yonny *et al.*, (1999). Selisih antara penawaran dan permintaan tersebut merupakan peluang yang sangat besar. Apalagi jika kita menggabungkannya dengan permintaan di tingkat regional dan dunia. Keterlambatan mengantisipasi permintaan pasar domestik tersebut, menjadi pemicu beberapa negara produsen utama komoditi tersebut di atas mengalihkan pusat pertumbuhannya ke Indonesia. Dengan perkataan lain, peranan sektor pertanian di masa datang akan bertambah besar dalam memenuhi kecukupan pangan sebagai kebutuhan pangan pokok, baik kualitas maupun kuantitas sejalan dengan pertumbuhan penduduk.

Penelitian Crosson (1992) menunjukkan permintaan terhadap sereal sampai 2030 akan berlipat dua, sekitar 90% permintaan tersebut terdapat di negara-negara berkembang terutama di Asia (Batie, 1994). Komposisi peningkatan permintaan terhadap sereal akibat perubahan pola makan dari beras dan gandum ke jagung, barley, sorghum, dan buah-buahan juga dipicu oleh peningkatan pendapatan per kapita dan pertumbuhan jumlah penduduk.

Tabel 1. Proyeksi permintaan dan suplai komoditas tanaman pangan dan ternak

Komoditas	Permintaan		Suplai		Kesenjangan	
	2003	2010	2003	2010	2003	2010
Beras (juta ton)	35.01	37.31	30.47	30.99	-4.54	-6.32
Kedele (juta ton)	1.56	1.65	1.27	1.28	-0.28	-0.37
Jagung (juta ton)	9.65	10.35	8.85	8.98	-0.80	-1.37
Kentang (x 1000 ton)	1033.42	1114.05	1020.61	2006.43	-12.81	892.38
Dg. Ayam broiler (x 1000 ton)	205.87	220.76	194.36	188.52	-11.50	-32.26
Dg. Sapi (x 1000 ton)	253.33	267.74	202.56	200.58	-50.76	-166.16

Untuk mengantisipasi persaingan bebas pada era globalisasi, Departemen Pertanian telah melakukan perubahan paradigma strategi yang menekankan pada pertanian berbasis agribisnis sampai dimunculkan kebijakan pemerintah tentang Revitalisasi Pertanian, Perikanan, dan Kehutanan 2005-2025. Hal tersebut mengharuskan sisi kuantitas, kualitas dan kontinuitas hasil harus diperhatikan.

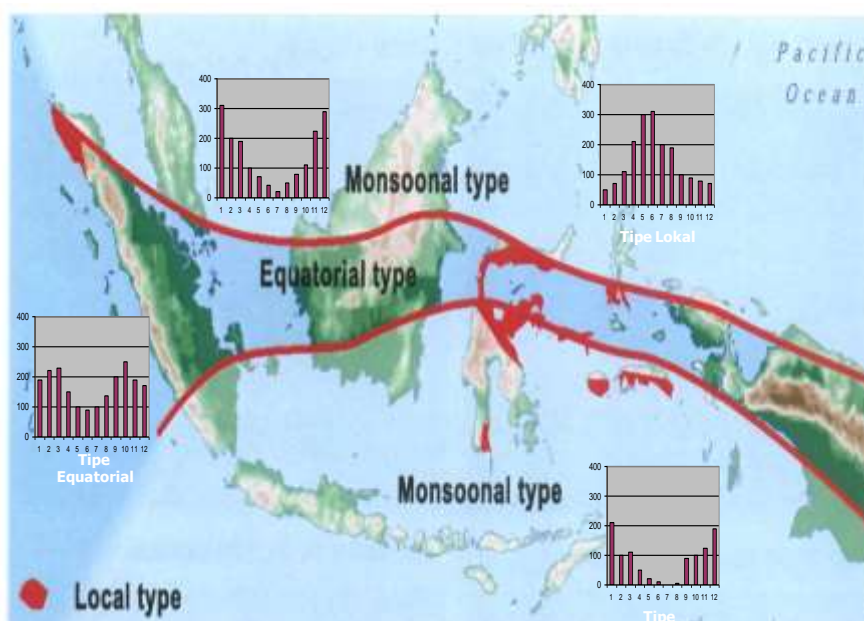
1. Pola Hujan di Indonesia

Wilayah yang terletak di garis equatorial, serta terletak diantara dua benua dan samudra, secara alamiah sektor pertanian dapat memenuhi dua syarat utama sistem pertanian agribisnis terakhir di atas. Wilayah tropis seperti Indonesia, memiliki karakteristik iklim hangat sepanjang tahun, keragaman yang besar curah hujan antar wilayah. Selain curah hujan yang bervariasi, wilayah ini merupakan lintasan matahari dengan radiasi dan lama penyinaran berkisar antara 3-10.5 jam dengan intensitas radiasi

matahari antara 235-535 kal/cm²/hari, yang bersifat unik atau eratik yang tidak dimiliki oleh negara lain. Radiasi matahari sebagai sumber energi fotosintesis, yang menerpa permukaan bumi, kanopi hutan tropis, dedaunan, dan menembus kedalaman lautan yang tersedia dan mencukupi kebutuhan tanaman sepanjang hari sangat berperan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan, produksi dan kualitas biomass tanaman semusim, tanaman tahunan, tanaman hortikultura dan pakan ternak, plankton, rumput laut, dan flora laut lainnya baik sebagai sumber energi maupun sumber makanan bagi ikan dan makhluk hidup lainnya di perairan laut dangkal maupun dalam.

Kemudian, perpaduan antara suhu yang hangat dan energi radiasi matahari mampu merubah air yang ada di kolom air di darat dan di lautan, sehingga menyebabkan atmosfer jenuh uap air dan awan hujan. Selanjutnya, bersamaan dengan perubahan posisi bumi terhadap matahari (bidang ekliptika) dari Utara ke Selatan belahan bumi, menyebabkan siklus meridional yang mampu menggerakkan massa air (sel *Hadley*) ke belahan bumi beraltitude lebih tinggi (*Utara equator*) yang dipengaruhi oleh zone depresi di belahan bumi Utara di satu sisi, dan zone antisislon di belahan bumi Selatan di sisi yang lain. Puncak siklus zonal massa air tersebut terjadi pada bulan Juli dan Agustus. Fenomena ini banyak diduga berperan terhadap pola hujan antar musim dan juga menyebabkan perbedaan waktu musim hujan di beberapa tempat di Indonesia (Gambar 1). Pola curah hujan di Indonesia secara umum terbagi menjadi 3 pola utama, yaitu (1) pola Monsoon yang sangat dipengaruhi oleh pergerakan angin Monsoon Barat dengan curah hujan berlimpah dan Monsoon Timur dengan jumlah curah hujan sangat

sedikit. Curah hujan pola Monsoon ini umumnya berbentuk seperti huruf U dan wilayah yang mempunyai curah hujan jenis Monsoon ini sangat luas terdapat di Indonesia, (2) pola equatorial yang sangat dipengaruhi oleh lintasan matahari di wilayah equator. Distribusi curah hujan bulanan mempunyai dua maksimum. Jumlah curah hujan maksimum terjadi setelah ekinoks (panjang siang dan malam 12 jam) pada bulan Maret dan September.



Gambar 1. Tipe hujan Monsoon, equatorial dan lokal yang merupakan ciri pola hujan di Indonesia (dimodifikasi dari Boerema, 1935)

Pengaruh Monsoon di wilayah ekuator kurang tegas dibandingkan pengaruh insolasi pada waktu ekinoks. Pontianak, Padang dan Solok merupakan contoh tempat yang mempunyai curah hujan tipe ini, dan (3) pola lokal dipengaruhi oleh sifat lokal. Distribusi curah hujannya kebalikan dari jenis Monsoon sehingga berbentuk huruf A. Wilayah

yang mempunyai jenis lokal sangat sedikit, misalnya Ambon. Oleh karena wilayah pola curah hujan jenis Monsoon ini sangat luas di Indonesia, maka kondisi ini menjadi pertimbangan melaksanakan penelitian di wilayah dengan curah hujan bertipe ini. Perbedaan pola hujan menyebabkan keragaman genetik semakin besar dan untuk mendukung pengembangan pertanian di Indonesia, teknologi yang relatif tersedia adalah pengolahan hasil (*off farm*), sedang yang berkaitan dengan bahan tanaman seperti klon/varietas unggul dan budidaya (*on farm*) masih memerlukan penelitian yang lebih intensif.

Kondisi ini memberi pembenaran terhadap kontinuitas hasil pertanian, yang sangat terkait erat dengan waktu tanam dan ketersediaan air untuk tanaman semusim dan tahunan, serta siklus air hangat lautan (*Indonesian Through Flow*) yang terkait erat dengan migrasi massa plankton dan biota laut lainnya. Semakin bertambah tinggi posisi latitude dari garis equator seperti Aceh, Thailand, Indo Cina, dan Filipina terjadi musim hujan yang mana pada bulan-bulan di wilayah latitude lebih rendah seperti Jawa, Lampung, dan Nusa Tenggara mengalami musim kemarau. Perbedaan kuantitas curah hujan khususnya dan iklim umumnya antar wilayah Indonesia bagian Barat, Tengah, dan Timur, mempengaruhi keanekaragaman hayati antar wilayah bersangkutan. Pada wilayah beriklim basah seperti Sumatera, Jawa, dan Kalimantan banyak ditemukan tanaman keras, seperti durian, duku, rambutan, mangga, jati, sonokeling, tembesu, meranti, keruing, ulin, galam dll yang berfungsi sebagai vegetasi penutup lahan, selain persawahan dan rawa. Sebaliknya, pada wilayah beriklim kering seperti di Nusa Tenggara banyak didominasi oleh savana dan stepa, dengan kayu cendananya.

Penjelasan di atas memberikan gambaran pada kita bahwa sumberdaya iklim baik pada skala makro, meso maupun mikro menjadi faktor yang menentukan sektor pertanian.

C. Perubahan Iklim Global

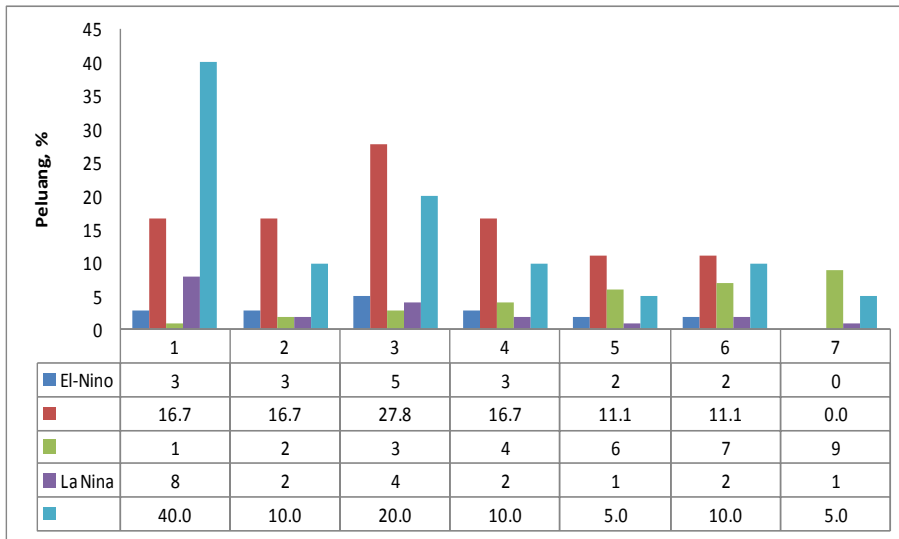
Memasuki akhir abad XX, para ahli meteorologi bertambah yakin bahwa akibat pemanasan global akan menyebabkan perubahan-perubahan terhadap evolusi iklim dan cuaca di atmosfer bumi. Hal ini disadari ketika memprediksi kejadian iklim dan faktor penyebabnya sampai terjadi penyimpangan dan perubahan iklim global semakin rumit. Sebagai contoh, perkembangan teori penyebab El-Nino, sebagai salah satu fenomena alam utama yang sangat mempengaruhi orientasi budidaya pertanian di Indonesia. Hal ini diawali oleh hipotesis Bjerknes (1969), yang pertama kali mengidentifikasi sistem *couplage (coupling system)* interaksi antara dinamika sistem laut (ocean) dan dinamika sistem atmosfer (atmosphere) di Pacific equatorial sebagai sumber variabilitas *El-Nino Oscillation Australe*. Teori yang menjelaskan El-Nino terus berkembang, dengan penjelasan yang semakin spesifik dan kompleks. Tiga diantara teori tersebut adalah hipotesis Wyrтки (1975a;1975b) dan Schopf & Suarez (1988) serta Battisti *et al.* (1988). Berdasarkan ketiga teori tersebut berkembang menjadi beberapa teori yang menjelaskan peristiwa El-Nino berdasarkan interaksi lokal antara laut dan atmosfer. Dua diantaranya adalah teori *revisit of put back of Oscillation* yang dikembangkan oleh Weisberg & Wang (1997) dan teori *Coupling Instability* yang didasarkan pada teori ocean-atmosphere *Shallow Water* dari Gill (1980).

Kemudian, peristiwa El-Nino tahun 1982-1983 telah memberikan inspirasi yang berharga bahwa aktifitas massa air panas tidak selalu didahului oleh suatu periode tiupan angin yang kuat dan peningkatan tinggi muka laut di bagian Barat Pasifik, serta tidak juga disebabkan oleh peningkatan suhu permukaan laut di bagian Timur Pasifik yang disebabkan oleh angin Passat yang melemah. Berdasarkan beberapa teori dan penyimpangan-penyimpangan tersebut oleh Planto (2001) fenomena El-Nino diyakini disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

(1) proses angin passat (*alize*) yang melemah di zone Pacific equatorial, (2) proses peningkatan suhu permukaan laut Pasifik bagian Timur dan Tengah, (3) pergerakan zone konveksi ke arah Timur dari Pacific Barat, (4) penurunan kemirigan ke arah Timur-Barat dari lautan Pacific, (5) inversi arus permukaan laut kelapisan yang lebih dalam, (6) peristiwa reduksi dari *upwelling* Pacific Timur, dan (7) perpindahan thermocline.

Berdasarkan hasil analisis peluang kejadian El-Nino dan La-Nina dari tahun 1950 sampai 2011 menunjukkan, El-Nino dengan intensitas 1, 2, 3, dan 4 tahun sekali memiliki frekuensi kejadian tertinggi masing-masing 3, 3, 5, dan 3 kali dengan peluang sekitar 16,7% sampai 27,8%. Sedangkan La-Nina dengan intensitas 1 tahun sekali dengan frekuensi tertinggi 8 kali dengan peluang 40,0% (

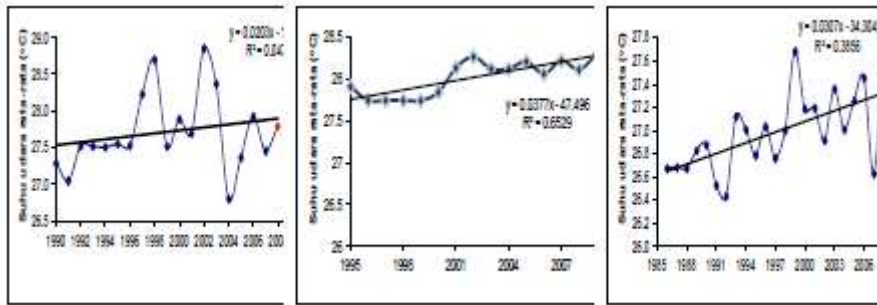
Gambar 2). Kejadian La-Niña yang berdampingan dengan El-Niño sebanyak 15 kali dan umumnya El-Niño mendahului La-Niña sekitar 44%. Berdasarkan perhitungan tersebut para ahli meteorologi di Indonesia telah memprakirakan pada tahun kapan akan terjadi El-Nino.



Gambar 2 Peluang kejadian El Niño dan La Niña selama periode 1950 – 2011. Keterangan: diolah kembali dari <http://ggweather.com/enso/oni.htm>, 2011.

1. Pemanasan Global

Kekhawatiran para ahli meteorologi dan klimatologi sejak tahun 1980-an akan terjadi pemanasan global telah menjadi kenyataan, seperti yang terlihat pada beberapa hasil penelitian yang berkaitan langsung dengan perubahan atau penyimpangan iklim lokal dan global. Berdasarkan pengamatan terhadap beberapa stasiun iklim yang ada di beberapa sentra produksi pertanian menunjukkan peningkatan suhu udara. Peningkatan suhu akibat efek rumah kaca sangat jelas terlihat, misal di stasiun BMKG Banjarbaru, SMPK Sei Tabuk Banjarmasin dan BMKG Kotabaru Kalimantan Selatan (Gambar 3). Peningkatan suhu udara ini berakibat pada peningkatan respirasi tanaman yang berujung pada pengurangan hasil fotosintesis.



Gambar 3. Kencenderungan kenaikan suhu udara di beberapa stasiun meteorologi.

Hasil penelitian Winarno & Soerawidjaja (1999) terhadap perubahan kandungan emisi gas rumah kaca di Indonesia menunjukkan bahwa sampai dengan tahun 1990 Indonesia masih merupakan negara yang negatif dalam neraca emisi CO₂, artinya kemampuan penyerapan CO₂ (686 Tg/tahun) di Indonesia masih lebih besar dari emisi yang dihasilkan (497 Tg/tahun). Kandungan CO₂ tersebut disumbangkan oleh sektor kehutanan 339 Tg/tahun (68%), 141 Tg/tahun (28%) dihasilkan dari pembakaran energi fosil, dan 17 Tg/tahun (3%) dari proses industri. Berdasarkan analisis metode *System Dynamics* dengan skenario strategi konservasi, dalam bentuk penghematan energi, sampai dengan tahun 2020 emisi gas rumah kaca diproyeksikan sekitar 890 Tg/tahun. Peningkatan kandungan CO₂ dan efek rumah kaca diduga telah memicu perubahan suhu udara beberapa lokasi di Indonesia, seperti terlihat pada periode pengamatan antara 1990-2010 dan 1986-2009 di atas. Secara global aktivitas tersebut telah menyebabkan perubahan beberapa komponen biofisik lingkungan seperti, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca CO₂, CH₄, N₂O di trofoser masing-masing sebesar 30%, 145%, 15% sejak awal revolusi industri, peningkatan kandungan aerosol, dll. Para ahli meteorologi mempercayai bahwa, perubahan komposisi

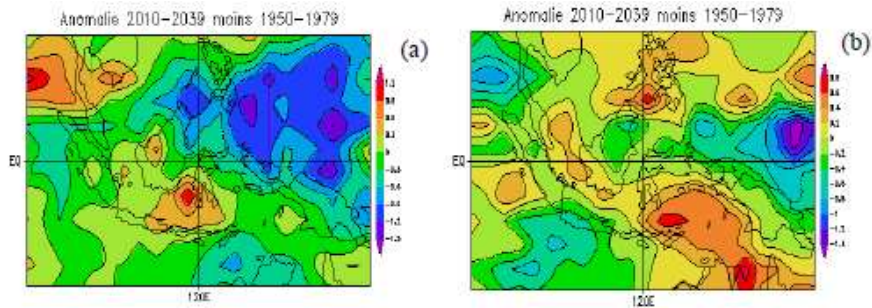
senyawa kimia di lapisan tropofer tersebut, sebagai pemicu utama (*driving force*) pemanasan global (*global warming*) dan perubahan iklim global (*global climate change*). Beberapa hasil simulasi lembaga-lembaga pemerhati perubahan iklim global, seperti GIEC (Group International for Evolution of Climate) dengan model GCM (General Circulation Model), lembaga penelitian meteorologi Inggris dengan UKMO, Amerika Serikat dengan model NCAR, dan lain-lain, mengidentifikasi bahwa akan terjadi kenaikan suhu global 1.0-4.5°C. Hasil prediksi di atas dilandasi oleh skenario laju peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer menjadi dua kali lipat sampai akhir abad 21.

Hasil penelitian Centre National de la Recherche Météorologie (CNRM, 2001) dengan menggunakan model coupling atmosfer-lautan-kutub ARPEGE (*Action de la Recherche Petite Echelle Grande Echelle*) dengan skenario peningkatan gas CO₂ berevolusi menurut waktu menunjukkan, akibat perubahan iklim global menyebabkan peningkatan curah hujan 1.5% untuk setiap peningkatan suhu permukaan bumi. Di Senegal (Afrika Barat) curah hujan meningkat 50-100% pada periode 2010-2039 (Haris, 2001). Di satu sisi, sampai 2039 bumi akan memiliki banyak sumber air tawar dan akan *memperbaiki* wilayah-wilayah yang rawan kekeringan. Namun di sisi yang lain, hal itu akan menimbulkan pada masalah baru. Analogi paleoclimatologis (Sombroek, 1997) menjelaskan bahwa peningkatan intensitas curah hujan sangat berkaitan dengan kuantitas dan kualitas sumber daya alam dan penurunan ketersediaan air, terutama yang berkaitan dengan peningkatan erosi, *run off*, degradasi tanah, frekuensi banjir dan kekeringan. Hal ini sejalan dengan pendapat Yonny *et al.* (1999) yang menyatakan bahwa, akibat

yang paling penting dari perubahan iklim bukanlah pada pemanasan secara gradual, namun justru pada kemunculan peristiwa ekstrim seperti kemarau panjang, hujan badai, banjir, atau tanah longsor dengan frekuensi dan magnitudo bertambah besar.

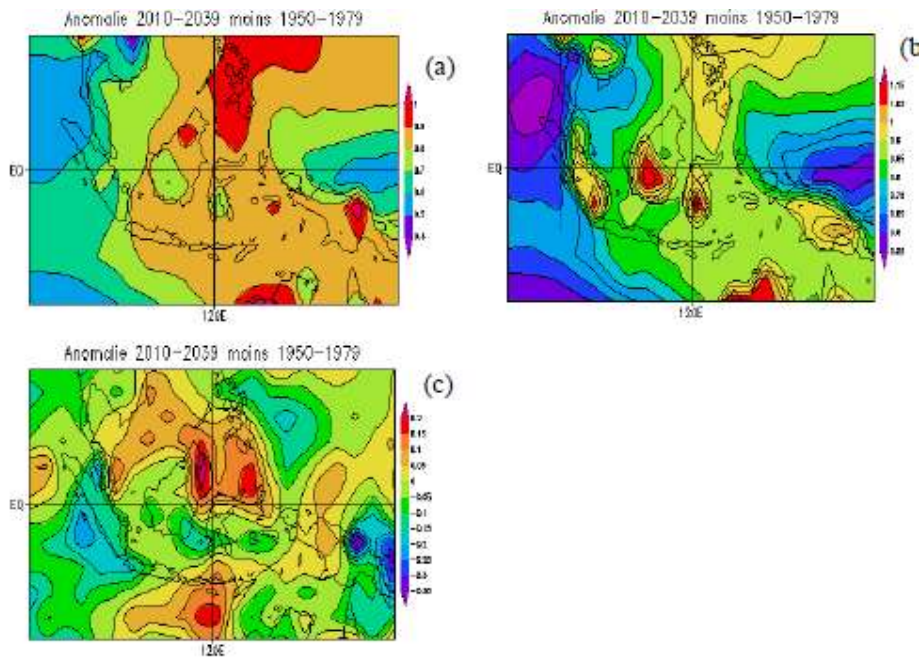
2. Anomali Iklim di Indonesia

Kasus Indonesia berdasarkan posisi anomali zona hujan yang mengelilingi seluruh kepulauan Indonesia dan membandingkan hasil simulasi pada musim hujan (Oktober-Maret) antara periode 1950-1979 dan 2010-2039 diperkirakan akan terjadi peningkatan peluang jumlah curah hujan yang lebih tinggi di wilayah Indonesia. Musim hujan akan sedikit lebih panjang dari biasanya, yaitu diindikasikan oleh jumlah curah hujan yang jatuh pada musim kemarau (April-September) lebih besar dari periode sebelumnya (Gambar 4). Selain itu, Gambar 4.b menunjukkan, wilayah Indonesia diapit oleh anomali positif zonasi hujan 0.2-0.9 mm yang terjadi di sekitar samudera Pasifik dan samudera Indonesia (Haris, 2001). Demikian juga halnya di sepanjang selat Karimata, laut Banda sampai laut Arafura. Prakiraan ini sejalan dengan hasil simulasi CNRM menyatakan bahwa sampai akhir abad 21 akan terjadi peningkatan jumlah curah hujan di Asia Tenggara (CNRM, 2001).



Gambar 4. Anomali wilayah curah hujan antara periode 1950-1979 dengan 2010-2039 pada bulan April-September (a) dan bulan Oktober-Maret (b).

Para peneliti Meteorologi di CNRM meyakini bahwa peningkatan kuantitas curah hujan sebagai dampak dari peningkatan suhu udara, yang akan memicu percepatan kehilangan air dalam bentuk evaporasi. Gambar 5 menunjukkan kesamaan lokasi anomali antara peningkatan curah hujan dengan peningkatan suhu maksimum, suhu minimum serta evaporasi pada musim hujan di atas wilayah Indonesia. Peningkatan kandungan uap air di udara tersebut eksponensial dengan peningkatan suhu. Kandungan uap air ini akan meningkatkan efek rumah kaca dan pemanasan kembali permukaan bumi, kemudian membentuk kandungan uap air dalam jumlah besar di udara berupa awan hujan cumulonimbus. Evaporasi sendiri tidak mengalami titik limit karena 70% dari bumi terdiri dari lautan. Oleh karena itu, secara global ditemukan bahwa curah hujan meningkat 1.5% dari nilai rata-rata global per derajat pemanasan permukaan bumi dan diefektifkan oleh monsoon.



Gambar 5. Anomali suhu maksimal (a) dan suhu minimal (b) permukaan (2 m) pada musim hujan (Oktober-Maret) dan evaporasi (c) pada musim kemarau (April-September).

Langkah antisipatif terhadap perubahan iklim dan dampaknya, kemampuan analisis terhadap parameter iklim pada berbagai skala pengamatan harus ditingkatkan, terutama yang berkaitan dengan kemampuan melakukan prakiraan iklim. Di masa yang akan datang, peningkatan kemampuan melakukan prakiraan curah hujan secara akurat dapat dilakukan sebagai tujuan dan program utama jangka menengah dan panjang, sehingga besar air yang tercurah serta ketersediannya dan disimpan oleh tanah untuk jangka waktu tertentu dapat dihitung. Dengan demikian, waktu tanam yang tepat dapat diprediksi, menyiapkan teknologi pengolahan tanah, konservasi tanah dan air, jenis varietas yang mampu mengkonsumsi bahang secara optimal manakala terjadi peningkatan keawanan, hujan, dan tahan terhadap penyakit dalam

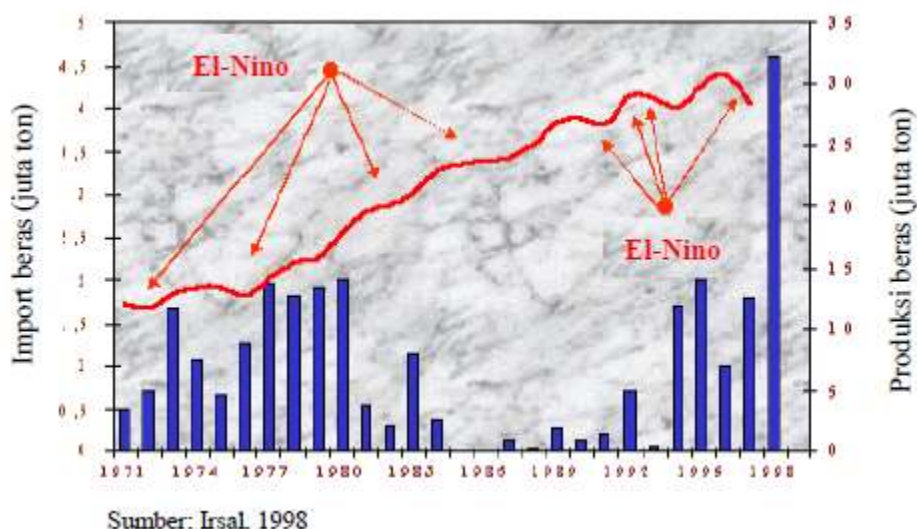
mengantisipasi perubahan iklim ekstrim, serta dapat memberikan informasi atau peringatan dini pada masyarakat tani tentang kekeringan dan banjir. Jika karakteristik atau dinamika curah hujan di suatu tempat di masa datang tidak diketahui, maka analisis yang dilakukan hanya bersifat evaluasi semata. Apalagi, permintaan terhadap prakiraan iklim dan cuaca yang akurat terus meningkat dan paling ditunggu oleh pengguna.

D. Strategi Antisipasi Terhadap Perubahan Iklim

Upaya meningkatkan produksi pertanian dengan kebijakan sampai ke tingkat swasembada telah sangat intensif dilakukan oleh berbagai institusi yang berkepentingan. Akan tetapi, upaya tersebut belum juga menghasilkan produksi optimal yang diharapkan. Berbagai teknologi pengolahan telah diupayakan untuk menghasilkan produksi optimal yang diharapkan. Contoh, teknologi pengolahan tanah mulai TOT sampai sangat intensif, teknologi perbenihan untuk benih bervigor bernas, berumur genjah, tahan terhadap penyakit serta kekeringan, teknologi pengelolaan sumberdaya air lahan kering, dan teknologi lainnya sudah lama diterapkan dengan hasil yang sangat memuaskan. Akan tetapi semua itu ternyata belum cukup digunakan untuk menekan resiko pertanian manakala peristiwa iklim ekstrim seperti kekeringan panjang dan banjir.

Hal tersebut dapat terlihat dari penurunan produksi beberapa komoditas pertanian saat El-Nino terjadi. Contoh, penurunan produksi hablur tebu pada tahun 1998 sekitar 500 ribu ton di Jawa dan sekitar 250 ribu ton di luar Jawa. Dampak kekeringan ini diperparah dengan curah

hujan tinggi pada awal tahun 1998. Kendala alami tersebut dimasa datang, dengan karakteristik sangat eratik, dinamik serta sulit diduga, akan bertambah akibat peningkatan intensitas dan frekuensinya. Selain itu, penyimpangan iklim El Nino dan La Nina ini lebih berdampak besar pada siklus iklim tahunan di Indonesia dibanding dengan negara-negara lain di Asia Tenggara maupun Asia. Ini berarti, ada periode-periode penurunan curah hujan, pergeseran musim dan penurunan produksi padi nasional dalam jumlah besar dan sangat nyata. Sementara itu, negara-negara tetangga memperoleh untung alami akibat ketidakhadiran El-Nino di negara tersebut. Gambar 6 menunjukkan fluktuasi produksi beras dan impor saat terjadi kekeringan.



Gambar 6. Produksi dan import beras saat terjadi kekeringan.

Selama ini orientasi pengembangan pertanian lebih terfokus pada pendekatan agronomi, tanah, pupuk, dan benih untuk meningkatkan produksi pertanian. Sementara itu, faktor iklim terlanjur dianggap

sebagai *suratan takdir* yang sudah tidak perlu lagi dicarikan penyelesaiannya. Kemudian, apresiasi terhadap pengelolaan dan analisis iklim hanya terpusat pada lembaga-lembaga yang terkait khususnya seperti yang ada di BMG, Kimpraswil, Badan Litbang Pertanian, Perikanan, BPTP, Kehutanan, LAPAN, BPPT, Perguruan Tinggi (FMIPA, Faperta, dan Fateta), dan Himpunan profesi (PERHIMPI dan PERAGI). Sedangkan pada institusi, yang berfungsi sebagai pengambil kebijakan langsung di wilayah pada euforia otonomi wilayah ini masih perlu ditingkatkan.

1. Antisipasi terhadap iklim ekstrim

Oleh karena itu, usaha-usaha antisipasi menghadapi *ketidakpastian* iklim di masa datang perlu dipersiapkan sedini mungkin. Ada 2 (dua) strategi yang harus dilakukan yaitu melakukan adaptasi dan mitigasi. Keinginan para peneliti dan pemerhati agar pemerintah perduli (kebijakan, alokasi dana, dan investasi sumberdaya manusia) terhadap sumberdaya iklim mulai menunjukkan hasil, walaupun perhatian itu datang setelah terjadi berbagai kerusakan lingkungan, pelandaian produksi, dan tak kalah penting isu pemanasan global oleh negara-negara maju (Eropa, Amerika, dan Kanada) dan KTT bumi terbentuk.

Secara institusional lembaga penelitian, analisis iklim secara intensif telah dimulai pada tahun 1970-an oleh Badan Litbang Pertanian dengan melibatkan Oldeman, tenaga ahli Belanda. Sejak saat itu, pengamatan dan penelitian terhadap faktor iklim untuk skala mikro dan menganalisisnya untuk kebutuhan tanaman dilakukan secara simultan dan intensif. Pada skala makro, peta agroklimat seluruh Indonesia

disusun untuk tanaman pangan dan mengelompokan zona agroklimat berdasarkan jumlah bulan basah ($CH > 200$ mm) dan bulan kering ($CH < 100$ mm) (Oldeman, 1975), (Oldeman & Darmijati, 1977), (Oldeman, Las & Muladi, 1980). Pada saat yang hampir bersamaan BMG mengeluarkan atlas isohiet bulanan seluruh Indonesia skala 1: 3.000.000 (BMG, 1973a dan b). Sementara itu, peran penting iklim bagi pertanian telah menarik beberapa perguruan tinggi seperti Institut Pertanian Bogor yang sejak tahun 1990-an telah mendirikan program studi Meteorologi dan Geofisika, Institut Teknologi Bandung dengan program studi Meteorologi, Universitas Indonesia, dan perguruan tinggi lainnya melebarkan organisasi untuk mengkaji dinamika iklim dan cuaca. Di Badan Litbang Pertanian perhatian terhadap pengelolaan iklim terus berlanjut dengan membentuk Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat dengan Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, keberadaan organisasi profesi (PERHIMPI dan PERAGI), dll. Demikian pula dengan program-program penelitian dan aksi yang telah dan akan dilaksanakan.

Karya-karya tersebut telah memberikan perangsang dan membuka wawasan bahwa iklim harus dianalisis dan diantisipasi untuk memberikan manfaat bagi kesejahteraan manusia. Berdasarkan tingkat teknologi yang digunakan, maka analisis iklim dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

(1) analisis iklim berdasarkan tanda-tanda alam (*indigenous knowledge*), seperti Pranata Mangsa di Jawa, yang sudah dikenal sejak jaman kerajaan Mataram, Polantara di Sulawesi Selatan dan Bintang

Karantika di Kalimantan Selatan.(2) analisis numerik, yang dilakukan berdasarkan pendekatan matematis untuk meniru proses sebenarnya di alam. Analisis numerik dapat dilakukan mulai dari analisis statistik frekuensi, probabilitas, regresi, sampai dengan menggunakan model coupling atmosfer-lautan-kutub dan model dinamik lainnya (ARPEGE Climat, ALADIN, UKMO, GCM, NCAR, GISS, SIMMETEO, GFDL, DSSAT, SISTIM PAKAR, dll), dan(3) analisis citra, yang dilakukan dengan menggunakan teknologi satelit dan radar.

Teknologi penangkap gelombang panjang infra merah ini memungkinkan untuk mengamati dan menentukan siklon tropis, pergerakan ITCZ, perubahan suhu muka laut, pancaran energi panas bumi, kandungan uap air, pembentukan awan, dll. Berdasarkan pada kemampuan melakukan analisis iklim baik dalam skala makro maupun mikro, dapat menghasilkan produk antara yang dapat digunakan untuk mendukung pertanian prospektif dan berdaya saing tinggi, antara lain melalui:

- 1) pengetahuan tentang pergeseran musim,
- 2) prediksi/peramalan curah hujan untuk periode pendek (harian) maupun panjang (mingguan, dekade atau bulanan),
- 3) pembangkitan data (generate data) yang hilang
- 4) peluang deret hari kering (dry spell), indeks kecukupan air tanaman dan kehilangan hasil per fase tumbuh,
- 5) analisis neraca air tanaman untuk menentukan waktu tanam yang tepat serta periode surplus dan defisit air pada berbagai fase tumbuh,

- 6) jadwal pemberian air irigasi per fase tumbuh tanaman yang efektif dan efisien,
- 7) penggabungan antara model klimatologi dengan model simulasi tanaman yang dinamis, dapat menghasilkan prediksi produksi tanaman pada berbagai skenario kejadian iklim dan tanggal tanam, seperti antara model GISS dengan DSSAT (Istiqlal, 1993) dan Sherari untuk tanaman padi, kelapa sawit, kentang (Handoko, 1994), model Jarak Pagar (Rusmayadi, 2009) dan lain-lain.
- 8) percepatan evaluasi untuk memperbaiki teknologi spesifik lokasi yang telah dipraktekkan melalui identifikasi parameter-parameter input model seperti parameter tanah, tanaman, dan iklim.

Untuk mengantisipasi peluang kejadian iklim spesifik lokasi maka seluruh tahapan (1) sampai dengan (8) dapat dilakukan pada kondisi El-Nino, normal, dan La-Nina atau dapat dilakukan dengan menggunakan analisis probabilitas dari runtun waktu (time series) kejadian iklim untuk skenario peluang kejadian iklim 20%, 50% dan 80%. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi sebagai balai baru pun telah berpartisipasi aktif untuk melakukan desiminasi beberapa teknik analisis iklim dalam bentuk model-model numerik sederhana (*user friendly*), yang dapat digunakan untuk mengkuantifikasi pergeseran musim (masa tanam), peluang kejadian iklim di masa datang 6 bulan ke depan, waktu tanam yang tepat, indeks kecukupan air tanaman (ratio ETR/ETM), tingkat kehilangan hasil (rendemen), dan kebutuhan air irigasi per satuan luas areal pada setiap fase tumbuh tanaman. Model yang digunakan antara

lain, Model WARM, ARPEGE dan SARRA. FAO (2000-2006) juga telah membuat model simulasi Cropwat, Aquacrop untuk berbagai tanaman dengan masukan parameter iklim, tanah dan tanaman.

2. Strategi pertanian mengantisipasi iklim ekstrim

Untuk menciptakan suatu sistem usahatani yang prospektif, tidak hanya bertumpu pada strategi skenario iklim, yaitu iklim dan dilakukan secara tabular. Kenyataan menunjukkan suatu sistem usahatani sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor biofisik lahan. Penelitian sumberdaya lahan yang sejak lama dilakukan, lebih menekankan pada aspek tanah dengan sedikit mengikutkan informasi iklim. Demikian juga sebaliknya inventarisasi sumberdaya iklim masih kurang dikaitkan dengan aspek tanahnya (Istiqlal, 1993). Patut diduga kondisi ini menyebabkan inventarisasi wilayah potensial untuk tanaman tertentu tidak berjalan dan menjadikan produksi pertanian masih jauh di bawah potensi sumberdaya (genetik dan fisik) yang dimiliki oleh wilayah kajian.

Pewilayahan agroklimat yang telah dilakukan oleh Oldeman dan kawan-kawan serta BMG telah memberikan inspirasi dan menjadi acuan awal bagi kita untuk berinovasi. Tantangan besar dan sangat berat yang dihadapi pada era kesejagatan ini, maka sudah saatnya kita merubah cara-cara pendekatan partial ke pendekatan yang lebih komprehensif. Dengan demikian, pendekatan yang kita lakukan dapat lebih mewakili keanekaragaman ekosistem yang kita miliki dan tidak mengabaikan interaksi-interaksi yang sangat erat di antara komponen-komponen produksi tersebut. Untuk memberikan pertimbangan secara cepat dan akurat bagi penentu dan pembuat kebijakan, perencana, pengusaha

agribisnis, maupun pelaksana pembangunan pertanian lainnya, informasi sumberdaya lahan yang menyangkut iklim, tanah, dan tanaman perlu ditingkatkan dayaguna dan pemanfaatannya. Agar informasi zonasi/wilayah kesesuaian agroklimat tersebut dapat diketahui dengan cepat, maka mewujudkannya dalam bentuk peta (spasial) menjadi lebih bijaksana. Pada akhirnya untuk menghasilkan, menguji, dan mengadopsi suatu paket teknologi pertanian, yang biasanya membutuhkan dana, tenaga, dan waktu yang lebih besar, serta berjalan lambat, diharapkan menjadi lebih efektif dan efisien utamanya untuk penciptaan dan pemilihan teknologi alternatif suatu sistem usahatani minimum resiko dan berkelanjutan. Beberapa hasil pewilayahan yang terkait dengan sumberdaya tanah, iklim, dan hidrologi dengan berbagai justifikasinya telah disusun oleh berbagai lembaga penelitian di bawah Departemen Pertanian, Kehutanan, Perguruan Tinggi, Swasta, dll dengan tujuannya masing-masing.

Badan Litbang Pertanian melakukan penelitian pewilayahan sumberdaya iklim di mulai sejak tahun 1940 an berdasarkan curah hujan, sebagai indikator utama dan dominan dengan membagi 153 zona pola curah hujan menurut Boerema (1941) dengan kisaran 500-7000 mm/tahun dan 0-700 mm/bulan, serta 14-17 tipe agroklimat menurut Oldeman (1975). Kemudian, berbagai pewilayahan berkembang yang disusun melalui pendekatan neraca air, kebutuhan tanaman (*crop requirement*), kesesuaian lahan yang berkesinambungan (*suistanable agriculture*) baik tanah, iklim, maupun ekonomi, dll. Beberapa peta pewilayahan yang telah dihasilkan antara lain peta wilayah agroklimat terbaharui, peta pewilayahan Indeks Penanaman padi, wilayah rawan

kekeringan, sumber pertumbuhan produksi untuk padi dan kedele, peta agroekologi utama tanaman pangan, dan zone agroekologi alternatif komoditas. Teknik penyusunan peta tersebut dilakukan dengan menggunakan fasilitas, peta dasar sumberdaya lahan dan iklim manual, remote sensing, dan GIS. Untuk skala yang sangat besar dengan bantuan fasilitas GrADS (Grid Analysis and Display System) yang dipadukan dengan keluaran model ARPEGE Climat, dapat dihasilkan zonasi wilayah curah hujan, evaporasi, suhu, dll seperti terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 di atas. Tingkat pemetaan wilayah agroklimat sangat tergantung pada kerapatan stasiun iklim/curah hujan. Semakin rapat stasiun maka pewilayahan yang akan dibuat menjadi lebih rinci, misal pewilayahan agroekologi/komoditas pada tapak di tingkat detail dengan skala 1: 25.000. Umumnya, pada setiap kecamatan terdapat satu stasiun penakar curah hujan dan diletakkan di dekat kantor kecamatan. Ini berarti, untuk melakukan pewilayahan tingkat detail satu kecamatan hanya diwakili oleh satu penakar hujan, dan tidak memiliki informasi unsur iklim lainnya seperti intensitas dan lama penyinaran radiasi matahari, suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, dan evaporasi. Pada satu wilayah kecamatan bahkan desa dapat ditemukan lebih dari satu stasiun penakar hujan, bilamana di sekitar lokasi terdapat lembaga penelitian seperti BPTP, INPTP, IP2TP, stasiun BMKG dan Kimpraswil, namun ini sangat jarang terjadi. Informasi parameter iklim selain curah hujan dibangkitkan berdasarkan informasi unsur iklim yang tersedia dan informasi geografi lainnya dengan menggunakan teknik analisis pewilayahan agroklimat berdasarkan informasi dari stasiun sekitar lokasi seperti interpolasi

metode poligon Thiessen, Trend, Kriging, atau Interpolation (program aplikasi SURFER 6, INDRISI 3.2, Mapinfo, Arcinfo, dll).

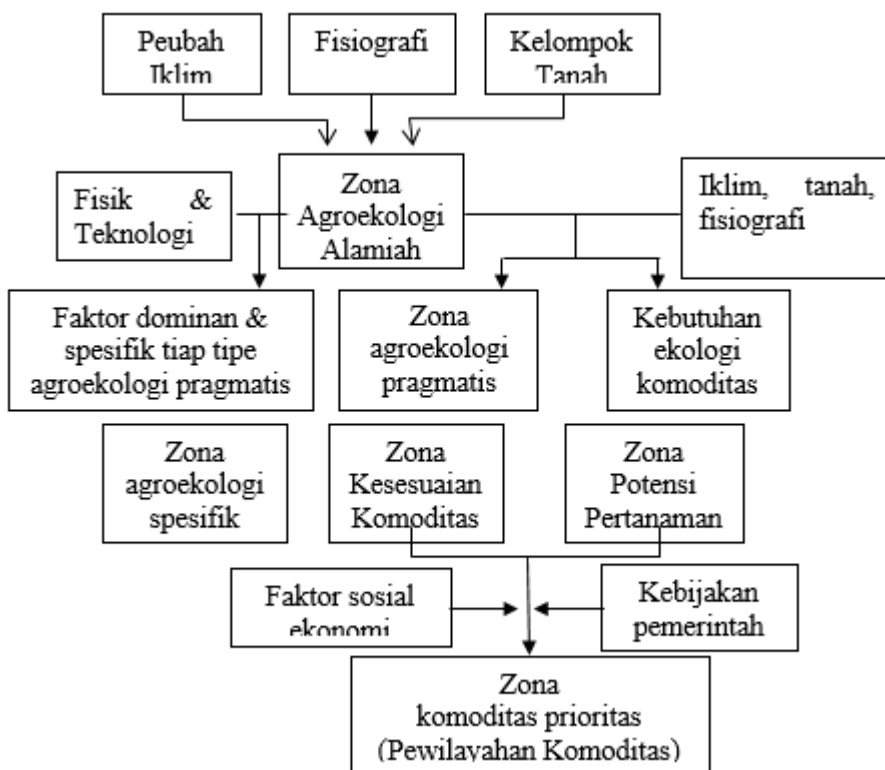
Dukungan pada perencanaan suatu sistem usahatani prospektif harus memperhitungkan faktor pengelolaan tanah, tanaman, pendugaan hasil, alternatif komoditas, dan pengelolaan serta faktor ekonomi, dengan kebutuhan data dan stasiun iklim yang semakin rinci dan rapat. Dengan demikian, teknologi yang akan diterapkan padanya menjadi lebih akurat karena sudah memperhitungkan seluruh faktor fisik dan genetik (tanah, iklim, dan tanaman) serta ekonomi. Istiqlal (1993) menyebutkan untuk kebutuhan pewilayahan zone agroekologi telah mengelompokkan kebutuhan minimum data yang dibutuhkan berdasarkan keluaran dan tingkat pemetaan seperti tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Keluaran yang diharapkan dan minimum data yang dibutuhkan untuk hirarki tingkat pemetaan.

Luaran	Data masukan		Tingkat pemetaan	Skala	Satuan terkecil (ha)
	Tanah	Iklim			
Sistem pertanian alternatif komoditas	Lereng Tekstur pH Draenase Elevasi	Rejim kelembapan Rejim suhu	Tinjau/ Eksplorasi	1:250.000 1:1.000.000	250- 4000
Pengelolaan tanah Pengelolaan tanaman	-sda – Mineral Hara tanaman C-Organik KTK Al Sulfat masam	Mingguan Hujan Suhu maks & min Radiasi Lama penyinaran	Semi detail Tinjau mendalam	1:50.000 1:100.000	10-40
Pendugaan hasil Analisis ekonomi Alternatif komoditas & pengelolaan	-sda-	Hujan harian Suhu maks & min Radiasi, Lama penyinaran	Detail	1:10.000 1:25.000	0.5-2.5

Keterangan: untuk analisis ekonomi/kelayakan diperlukan data tambahan mengenai harga-harga masukan, hasil, dan tenaga beserta investasi lainnya.

Selanjutnya Irsal *et al.* (1991) menyatakan tipe agroekologi merupakan pencerminan sifat fisik wilayah dalam kaitannya dengan tanaman, seperti sifat topografis, tanah, ketersediaan air, dan iklim. Faktor-faktor tersebut mempunyai parameter yang cukup banyak dan masing-masing tanaman membutuhkan syarat ekologi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan pentahapan pewilayahan seperti disajikan pada diagram alir Gambar 7.



Gambar 7. Kerangka kerja pewilayahan agroekologi tanaman pangan (Las, 1986)

Penyusunan peta pewilayahan agroekologi alamiah dan pragmatis sebagai pewilayahan agroekologi utama tanaman, merupakan langkah awal dari pewilayahan tipo-agroekologi yang didasarkan kepada faktor yang paling umum dan bersifat makro (global), lebih stabil atau permanen dengan skala peta yang lebih kecil. Peta pewilayahan tersebut merupakan peta dasar dalam pewilayahan agroekologi berikutnya, seperti lokasi spesifik dan pewilayahan komoditas dan usahatani tiap-tiap wilayah.

Tabel 3. Pewilayahan sumberdaya iklim, tanah dan tanaman di Indonesia

Jenis pewilayah	Data masukan	Metode pendekatan	Skala	Provinsi
Telah dihasilkan				
Zona agroklimat terbaru	Curah hujan bulanan	Analisis gerombol dan delinease	1:1.000.000	Sumatera
Wilayah rawan kekeringan	Curah hujan bulanan	Analisis gerombol dan delinease (digitasi) Indeks Palmer Peluang deret hari kering Pola tanam wilayah rawan kekeringan	1:500.000	Sumbar, Sumsel, Lampung, Jabar, Jateng, Kaltim, Sultra dan Sulsel
IP padi 300	Curah hujan bulanan	Analisis gerombol dan delinease (digitasi)	1:500.000	Jawa, Bali dan NTB
Sumber pertumbuhan produksi padi & kedele	Curah hujan bulanan Jenis tanah Elevasi Masa pertumbuhan	Delineasi Matrikulasi kebutuhan tanaman dan kedele	1:250.000	Seluruh Indonesia
Agroekologi utama tanaman pangan	Curah hujan bulanan Jenis tanah Elevasi Masa pertumbuhan	Delineasi Matrikulasi kebutuhan tanaman pangan	1:250.000	Seluruh Indonesia
Zona agroekologi pewilayahan komoditas	Curah hujan bulanan Lereng Tekstur pH Draenase Elevasi Rejim kelembapan Rejim suhu	Delineasi Matrikulasi kebutuhan tanaman pangan	1:250.000	Seluruh Indonesia kecuali Papua
Isohiet bulanan	Curah hujan bulanan	Analisis gerombol dan delinease (digitasi)	1:100.000	Seluruh Indonesia

Tabulasi hasil penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan pewilayahan sumberdaya iklim. Pemetaan disusun berdasarkan tujuan pembuatan peta yang disesuaikan dengan skala dan masukan datanya (Tabel 3). Selain langkah adaptasi juga perlu dilakukan antisipasi mitigasi, misal merakit tanaman yang respon terhadap peningkatan suhu udara, peningkatan CO₂, mempunyai toleransi yang besar terhadap kegeraman. Kemajuan teknis dan institusional yang penting pada sisi tanggapan antisipasi mitigasi.

Hal itu akan mencakup usaha memperlambat laju perubahan iklim pada saat degradasi sumberdaya iklim yang berguna dapat dibatasi. Pengurangan emisi gas rumah kaca merupakan strategi nyata namun sulit untuk diterapkan karena biaya tinggi untuk ukuran ekonomi nasional.

Strategi pengurangan lain juga tersedia untuk meningkatkan produktivitas arus sumberdaya iklim di masa depan. Penanaman hutan untuk mengurangi CO₂ dalam rangka melawan pemanasan global, menghasilkan kayu bakar dengan membuat penggunaan yang bijak atas keberadaan sumberdaya iklim yang potensial untuk menghasilkan biomassa.

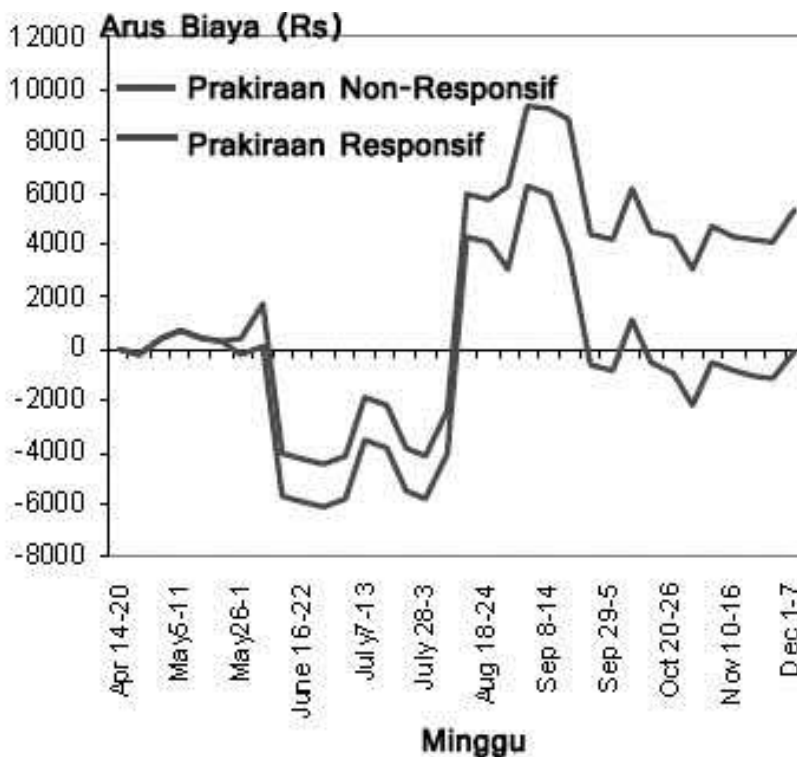
E. Nilai Ekonomi Prakiraan Iklim

Di Indonesia, unsur iklim hujan sangat beragam baik menurut waktu maupun tempat. Secara umum keragaman hujan di Indonesia dipengaruhi oleh banyak faktor seperti fenomena ENSO, aktifitas moonson, golongan lokal dan siklon tropis. Hal ini disebabkan Indonesia berada di kawasan khatulistiwa dan masuk ke dalam pengaruh kawasan laut pasifik. Posisi ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah pertemuan sirkulasi meridional (Hadley) dan sirkulasi zonal (Walker). Posisi matahari yang berpindah dari 23.5 LS ke 23.5 sepanjang tahun, menyebabkan aktifitas moonson ikut berperan. Bentuk topografi yang sangat beragam pada beberapa wilayah tertentu, juga menyebabkan sistem golongan lokal cukup dominan. Semua aktifitas dan sistem ini berlangsung secara bersamaan sepanjang tahun. Peranan dan pengaruh sistem atau aktifitas tersebut terhadap keragaman hujan berbeda-beda baik menurut waktu maupun tempat.

Fenomena ENSO (El-Nino Southern Oscillation) sangat erat kaitannya dengan kejadian iklim ekstrim. Pengamatan sejak 1950 sampai 2011 menunjukkan bahwa dari 14 kali kejadian kemarau panjang, sekitar 10 kali terjadi pada tahun-tahun El-Nino. Kejadian kekeringan yang kurang dapat diantisipasi telah menimbulkan banyak kerugian pada berbagai sektor. Kejadian kekeringan tahun 1982/83 yang berasosiasi dengan ENSO misalnya telah menimbulkan kerugian yang sangat besar tidak hanya di Indonesia tetapi juga di tingkat global. Di tingkat global kerugian melebihi tujuh milyar dollar dan di Indonesia mencapai 0.4 milyar dollar. Kemudian kejadian kekeringan tahun 1997/98 menimbulkan kerugian sekitar 375 juta dollar dengan proporsi 73% dari kerugian ini berasal dari sektor kehutanan dan 24% dari sektor pertanian dan sisanya dari sektor lainnya seperti perhubungan. Apabila kejadian iklim ekstrim ini dapat diprediksi kejadiannya lebih awal, maka kerugian yang ditimbulkan akan dapat ditekan.

Hasil survey yang dilakukan di beberapa kabupaten di Jawa menunjukkan bahwa penyebab kemampuan rendah untuk mengantisipasi kejadian iklim ekstrim selain karena tingkat kemampuan peramalan yang masih belum baik juga tingkat adopsi pengguna akhir (misalnya petani) terhadap hasil ramalan masih sangat rendah. Oleh karena itu upaya untuk meningkatkan ketepatan ramalan dan tingkat penerimaan (adopsi) pengguna terhadap hasil prakiraan iklim perlu dilakukan. Cara yang dinilai paling tepat ialah melakukan optimasi penggunaan lahan, yaitu mengalokasikan lahan yang tersedia untuk beberapa jenis komoditas yang luasnya ditentukan berdasarkan pada ramalan (Messina *et al.*, 1999; Hammer *et al.*, 2001). Sebagai contoh,

hasil studi di India menunjukkan bahwa petani yang responsive terhadap hasil prakiraan iklim, yaitu dengan cara menurunkan luas tanam kapas sebesar 80% dari luas penanaman biasanya dan mengantinya dengan komoditi lainnya setelah menerima informasi prakiraan musim pada bulan May, mendapatkan aliran dana positif sedangkan yang tidak responsive memiliki aliran dana yang negative (Gambar 8). Di Indonesia adopsi petani terhadap hasil prakiraan iklim masih sangat rendah sehingga petani pada wilayah-wilayah yang rentan terhadap kejadian iklim ekstrim semakin sulit keluar dari kesulitan ekonomi.



Gambar 8. Analisis aliran dana dalam suatu sistem usaha tani kapas di India berdasarkan berdasarkan respon petani terhadap ramalan iklim (dimodifikasi dari Meinke et al., 2003).

Rangkuman

Sumberdaya iklim seperti sumberdaya alam lain dapat menjadi langka dalam arti penyebaran energy dan massa yang diharapkan tidak terjadi. Fluktuasi normal dari iklim yang menimbulkan musim kering yang lama, badai tropis dan bahaya iklim ekstrim lainnya. Kesenjangan antara permintaan dan penawaran produk pertanian dalam negeri merupakan peluang yang harus diantisipasi, terutama yang berkaitan dengan penurunan produksi akibat resiko iklim. Analisis terhadap sumberdaya iklim sebagai strategi pertama perlu terus dilakukan baik secara makro maupun mikro terutama untuk mengantisipasi perubahan iklim global, persaingan bebas, peningkatan mutu, kualitas, dan kontinuitas produk. Pada masa datang kita akan menghadapi anomali positif curah hujan dan apakah ini berarti kehadiran El-Nino akan bertambah intensitasnya dengan magnitude yang kian besar? Analisis iklim tabular perlu didukung oleh analisis spasial (strategi antisipasi kedua) dalam bentuk pewilayahan sumberdaya tanah, iklim, dan tanaman agar penerapan teknologi spesifik lokasi (agroekologi) menjadi lebih komprehensif. Analisis iklim dan pewilayahan agroklimat dengan masukan data tanah, iklim, tanaman, dan sosek harus disesuaikan dengan keluaran yang akan di capai untuk lebih menghemat dana, tenaga, dan waktu.

Beberapa hasil penelitian mengindikasikan bahwa peningkatan suhu permukaan bumi akan meningkatkan pembentukan uap air dan awan hujan. Demikian pula akibat polusi partikel debu dan zat kimia lainnya. Oleh karena itu, intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi akan mengalami penurunan. Jadi, perlu reorientasi penelitian, yang membandingkan kembali produksi biomassa (biological yield) dan hasil (economic yield) dan kemampuan menyimpan panas (heat unit) antara komoditas berumur pendek dengan berumur dalam. Untuk mengantisipasi permintaan terhadap model peramalan iklim yang akurat oleh pengguna/stake holders/beneficiare yang akhir-akhir ini terus meningkat serta untuk mengantisipasi perubahan iklim global perlu menyusun program aksi

penelitian bersama dalam membuat dan memparameterisasi beberapa kejadian iklim dan model prakiraan iklim khusus untuk wilayah tropis sebagai program utama jangka menengah dan panjang secara bersama/lintas institusi dan disiplin ilmu. Tanpa mengetahui karakteristik atau dinamika curah hujan di suatu wilayah di masa datang, maka analisis yang kita lakukan hanya bersifat evaluasi atau kajian saja. Di Indonesia adopsi petani terhadap hasil prakiraan iklim masih sangat rendah sehingga petani pada wilayah-wilayah yang rentan terhadap kejadian iklim ekstrim semakin sulit keluar dari kesulitan ekonomi

Latihan

-
1. Uraikan peran radiasi matahari terhadap peningkatan produksi pertanian tanaman pangan!
 2. Apakah pandangan iklim sebagai sumberdaya merupakan suatu keniscayaan? Jelaskan pendapat saudara!
 3. Salah satu gas rumah kaca yang berperan terhadap pemanasan global adalah CO₂. Pada sisi yang lain gas tersebut juga berperan sebagai komponen dalam fotosintesis. Bagaimana saudara dapat menjelaskan hal yang demikian?
 4. Uraikanlah roadmap kajian iklim di Indonesia dan jelaskan bagaimana hasil kajian tersebut berperan dalam bidang pertanian?
 5. Menurut saudara apakah gatra prakiraan iklim sangat relevan sebagai langkah antisipasi terhadap perubahan iklim global?

Petunjuk Penyelesaian Latihan

1. Gunakan persamaan fotosintesis untuk menguraikan soal-an tersebut.
-

-
2. Ada 4 peranan iklim yang mempunyai kontribusi terhadap pertanian, salah satunya adalah iklim sebagai sumberdaya, bukan konstrain.
 3. Komponen fotosintesis tidak hanya CO₂ tetapi juga ada komponen lainnya, yaitu ketersediaan H₂O dan radiasi matahari.
 4. Langkah antisipasi berupa adaptasi dan mitigasi, misal merakit tanaman yang respon terhadap peningkatan suhu udara, peningkatan CO₂, mempunyai toleransi yang besar terhadap kegaraman
 5. Gatra peramalan dimaksudkan sebagai tingkan adaptasi, misal penentuan waktu tanam.
-

BAB 2

AGROKLIMATOLOGI

Agroklimatologi menjadi menarik untuk dikaji lebih jauh setelah goncangan iklim yang ekstrim telah membuat petani sukar menjadwalkan waktu tanam, kepastian panen menjadi sesuatu yang mulai langka. Jadi, Agroklimatologi yang menawarkan tentang cara-cara memecahkan permasalahan iklim dalam pertanian menjadi salah satu pilihan yang patut dipertimbangkan.

Pada bagian ini diakhir perkuliahan diharapkan pengguna dapat menguraikan tentang ruang lingkup Agroklimatologi baik sejarahnya maupun peran Agroklimatologi pada masa yang akan datang dan manfaat Agroklimatologi serta interaksi iklim dan komponen pertanian sehingga kompetensi dari bagian ini adalah agar pengguna dapat membandingkan tentang: (1) dua zaman perkembangan Agroklimatologi, (2) menguraikan peran ke depan Agroklimatologi Indonesia, dan (3) menganalisis interaksi iklim dan komponen pertanian, seperti tanah, tanaman, ternak, hama dan penyakit, dan manusia. Sementara itu, sasaran yang harus dicapai adalah agar pengguna dapat menempatkan Agroklimatologi sebagai salah satu bidang kajian yang dapat memberikan sumbangan dalam memperjelas mengenai hubungan iklim, lahan, dan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrewartha, HG, & Birch, LC. 1974. The distribution and abundance of animal. Sixth Impression. The Univ. of Chichago Press, London, 782p.
- Adriani, D. E., Noor, M. H., Mursyid, A., & Rusmayadi, G. (2007). Pengukuran evapotranspirasi padi lokal dengan metode pengukuran langsung dan tidak langsung. *Agroscentiae*, 20-26.
- Angus JF, Nix, AA, Russell, JS & Kruizinga, J.E. 1980. Water use, growth and yield of wheat in a subtropical environment. *Aust. J.Agric. Res.* 31:873-886.
- Broekmans, AFM. 1957. Growth, flowering and yield the oil palm in Nigeria. *J.W. Afric. Inst. For Oil Palm Res II.* (7). 187-220.
- Bueche, FJ. 1984. Fisika. Ed. 8. (Edisi Bahasa Indonesia). Darmawan, B. (pen.). Pen. Erlangga, Jakarta.
- Batie S. 1994. *Water Ressources, Agriculture, and the Environement*, in Environement and Agriculture, Rethinking Development Issues for the 21st Century, Proceedings of Symposium in honor of Robert D. Havener, May 5 and 6, 1993, Winrock International, Marrilton, Arkansan, Winrock International Institute for AgriculturalDevelopment, pp. 68-115.
- Battisti DS. 1988, *The dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere/ocean model*, *J. Atmos. Sci.*, 45; pp. 2889-2919.
- Bjerknes J, *Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific*, *Mon. Weather Rev.*, 97 (1969), pp.163-172.
- BMG. 1973a. *Rainfall Atlas of Indonesia (Meteorological Note No. 9). Vol. I. Java and Madura (1931-1960)*, Departement of Communications Meteorological and Geophysical Institute, Jantop TNI AD.
- BMG. 1973b. *Rainfall Atlas of Indonesia (Meteorological Note No. 9). Vol. II. Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, and Irian Jaya (1911-1940)*, Departement of Communications Meteorological and Geophysical Institute, Jantop TNI AD.
- Balai Meteorologi dan Geofika Wilayah III. 1984. Alat-alat Meteorologi. BMG. Denpasar. 107 hal.
- BPS. 2001 *Statistik Indonesia. Statistical Year Book Of Indonesia 2000*, Biro Pusat Statistik.
- Barry, RG & Chorley, RJ. 1976. *Atmosfer, Weather and Climate*. 3rd ed. ELBS. Sussex.

- Boerema, J. 1941. Rainfall type of Indonesia. Koninklyk Manetisch en Meteorologisch Observatorium, Verhandelingen. No. 34. 105p.
- Br, S. H. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Campbell. 1977. Introduction to Environment Biophysic. Longman. England. 159hal.
- Chang, Jen-Hu. 1968. Climate and Agriculture. Aldine Publ. Co. Chichago. 304 hal.
- Chang Jen-Hu. 1974. Climate and Agriculture. Aldine Publ. Co. Chichago; 304 hal.
- Charles-Edward DA, Doley D & Riminton GM. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Sydney; 235 hal.
- CNRM. 2001. *Les scénarios climatiques au CNRM*, Website Centre Nationale de la Recherches Meteorologie Meteo France.
- Conrad, V & Pollak LW. 1950. Methods in Climatology. 2th ed. Harvard Univ. Press. Cambridge; 459p.
- Crosson, P. 1992. *Sustainable agriculture*, Resources 106, pp.143–156.
- Firor, J. 1995. Perubahan Atmosfer; Sebuah Tantangan Global. Terj. Pen. Rosda Jayaputra. Jakarta; 150 hal.
- Fontanel, J Chantefort. 1978. Bioclimats Du Monde Indonesian (Bioclimates of the Indonesia Archipelago). Institut Francais de Pondichery, Inde. 102p.
- Fox, T. 1978. Unique Electronic Weather Projects. Howard W. Sams & Co., Inc. Indiana. 136p.
- Gates, DM. 1962. Energy exchange in the Biosphere. New York. Harper and Row.
- Glasklar compact. 2000. Our Earth. CD.
- Gill A. 1980. *Some simple solutions for heat-induced tropical circulation*, Quant.J.Roy.Meteor.Soc.,106; pp. 447-462.
- Hall DO & Rao KK. 1977. Photosynthesis. 2th ed. Edward Arnold Pub. Ltd. London.
- Hammer GL, Hansen JW, Phillips JG, Mjelde JW, Hill H, Love A & Potgieter A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agricultural System* 70:515-553.
- Haan, CT. 1977. Statistical Methods in Hydrology. The Iowa State Univ. Press. Iowa. 378p.
- Haris S. 2001. *Effet du changement climatique sur le rendement de l'arachide(arachis hypogaea l.) dans le cas du sénégal, afrique d'ouest. Réalisée avec le Modèle ARPEGE Climat Version 3.0 et SARRA Habille*, Rapport du Stage de recherche en formation du

- Mastère Spécialise Météorologie Tropicale, Ecole Nationale de la Météorologie Toulouse-France; 129 pages.
- Haris S, Royer, JF., Tyteca, S & Rascole, A. 2002, *Anomali Curah Hujan Periode 2010-2039 di Indonesia; Disimulasikan dengan Model ARPEGE Climat versi 3.0. Bogor*. Tidak dipublikasi; 21 hal.
- Handoko. 1996. *Klimatologi Dasar; Landasan Pemahaman Proses Fisika Atmosfer dan Unsur-Unsur Iklim*. Pustaka Jaya. Jakarta; 192 hal.
- Istiqlal A. 1993. *Sumberdaya Iklim dalam Evaluasi Sumberdaya Lahan*, Prosiding Seminar Pengelolaan Tata Air dan Pemanfaatannya dalam Satu Kesatuan Toposekuen, Cilacap, 7 - 8 Oktober 1993; hal 51-72.
- Jones HG. 1992. *Plant and Microclimate, a quantitative approach to environmental plant physiology*. 2th. Cambridge University Press. Cambridge. 428p.
- Kagan, R. I. (1972). *Planing the spatial Distribution of Hydrometeorology Stations to Meet An Error Criterion; Case Book on Hydrological Network DDesign Practise*. Rome: WMO.
- Katadata.co.id, 2016. *Indonesia Masuk Daftar 10 Importir Beras Terbesar Dunia*. (diakses tgl 30 Mei 2019)
- KLH-Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2009. *Bahan Ajar Pelatihan Penilaian Amdal Dampak Iklim dan Atmosfer*.
- Las I, A. Karim M, Hidayat, A, A. Syarifuddin K & Ibrahim, M. 1991. *Peta Agroekologi Utama Tanaman Pangan Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Litbang Pertanian (1991), 24 hal.
- Las I, A. Karim M, Hidayat, A, A. Syarifuddin K & Ibrahim, M. 1991. *Peta Agroekologi Utama Tanaman Pangan Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Litbang Pertanian (1991), 24 hal.
- Linsley, R. K., & J.L.H., P. (1958). *Hydrology For Engineers*. New York: McGraw-Hill.
- Lommen, P.W., C.R. Schwintzer, C.S. Yocum, and D.M. Gates (1971). *A model describing photosynthesis in terms of gas diffusion and enzymes kinetics, Plarta (Berl) 98: 195 – 220*.
- Made, v. J. (1987). *Analysis of Some Criterion for Design and Operation of Surface Vater Gaunging Networks*. The Netherlands: TU Delft.
- Meinke H, & Team. 2003. *Applying Climate Information to Enhance the Resilience of Farming System Exposed to Climatic Risk in South and Southeast Asia*. Progress Report submitted to APN 2002-09.

- Messina CD, Hansen JW & Hall AJ. 1999. Land allocation conditioned on el-nino-southern oscillation phases in the pampas of Argentina. *Agricultural System* 60:197-212.
- Monteith, JL. & Unsworth, MH. 1990. *Environmental Physics*. 2th Ed. Edward Arnold. London; 291p.
- Murdiyarto, D. 2004. Petunjuk Lapangan Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut, Proyek CFFPI, WI-IP dan Wildlife Habitat Canada, Bogor.
- Niewolt, S. 1974. The agricultural rainfall index (a mimeograph). MARDI, Agrometeorological unit, Malaysia. 15p.
- Nyak I, Budi W, I Ketut K, M. Nainy AK, & Sri HS. 2001. *Analisis Penawaran dan Permintaan Komoditas Peternakan Unggulan*, Laporan Hasil Penelitian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian, Badan Litbang Pertanian; hal VI-2 - VI-5.
- Oldeman LR. 1975. *Agroclimate map of java*, Contr. Centr. Res. Inst. of. Agric., Bogor (Indonesia).
- Oldeman LR., Darwis SN., & Las, I. 1975. *Agroclimate map of Sumatera, Kalimantan, Maluku, and Irian Jaya*, Contr. Centr. Res. Inst. of. Agric., Bogor (Indonesia),17.
- Oldeman LR. & Darmiyati S. 1977. *Agroclimate map of Sulawesi*, Oldeman, L.R. & D. Syarifuddin. 1977. An Agro-climatic map of Sulawesi. CCRIA. 17:22p. (with map).
- Oldeman, Las I & Muladi. 1980. The agroclimatic maps of Kalimantan, Maluku, Irian Jaya and Bali, West and East Nusa Tenggara. CCRIA. 60:32p. (with map).scale 1 : 2.500.000, Centr. Res. Inst. of. Agric., Bogor (Indonesia).
- Oldeman & Frere, 1989. Study of Agroclimatology in the Humid Tropic of The South East Asia. FAO. Rome. 152p.
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. R. Soc. A 194 : 220.
- Planto J. 2001. *Couplage Météorology : l'Interaction Ocean-Atmosphere*, Centre Nationale de la Recherche Météorology-METEO France.
- Rosenberg, NJ, Blaid, BL, & Verma, SB. 1983. *Microclimate, The Biological Environment*. 2th eds. John Wiley & Son. Canada. 495p.
- Rusmayadi, G., Handoko, Suharsono, H., & Las, I. (1998). Hubungan Ketersediaan Air dan Status Nitrogen Tanaman dengan Efisiensi

- Penggunaan Radiasi Surya sebagai Dasar Model Simulasi Tanaman Padi. *Kalimantan Agricultura*, 5(2), 82-90.
- Rusmayadi, Gusti [et al.] Efisiensi Penggunaan Radiasi Surya Dan Sebagai Dasar Dalam Model Jarak Pagar [Journal] // J. Agromet. - 2008. - pp. 108-117.
- Rusmayadi, Gusti. 2013.** Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L.*) Dan Upaya Mitigasi Perubahan Iklim [Conference] // Menuju Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan Yang Berkelanjutan. - Banjarbaru : Prosiding Seminar Nasional PSDAL;. pp. 1-8.
- Rusmayadi Gusti** Panjang Periode Minimum Dalam Analisis Data Iklim [Journal] // *Agroscentiae*. - 2013. - pp. 91-97.
- Rusmayadi, G. 1996. Hubungan Ketersediaan Air dan Status Nitrogen Tanaman dengan Efisiensi Penggunaan Radiasi Surya sebagai Dasar Model Simulasi Tanaman Padi. Laporan Tesis. IPB. Bogor: 146p.
- Rusmayadi G. 2007. Estimasi efisiensi penggunaan radiasi jarak pagar (*Jatropha curcas l.*) untuk parameter pemodelan tanaman. 15:165-169. ISSN 0852 – 5426.
- Rusmayadi, G. 2009. Pemodelan Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*). Laporan Disertasi. IPB. Bogor: 168 hal.
- Rusmayadi, G. (2013). Panjang Periode Minimum Dalam Analisis Data Iklim. *Agroscentiae*, 91-97.
- San Pietro A. (ed.). 1980. Biochemical and Photosynthetic Aspects of Energy Production. Academic Press, New York.
- Schopf PS. & Suarez MJ. (1988). *Vacillations in a Coupled Ocean-Atmosphere Model*, J. Atmos. Sci. 45;pp. 549-566.
- Shaw, RH. 1970. Lecture note; Iowa State Univ. Ames, Iowa.
- Sombroek, WG. 1997. et René Gommès, *L'énigme: Changement de Climat-Agriculture. In Changements du Climat et Production Agricole; Effets Directs et Indirects du Changement des Processus Hydrologique, Pédologiques et Physiologiques des Végétaux*, FAO; pp. 4-17.
- Squire GR. 1990. The Physiology of Tropical crop production. C.A.B. Internation. Wallingford.
- Taylor, S.E. (1975) Optimal leaf form. Perspectives in Biophysical Ecology (D.M. Gates and R.B. Schmerl, eds). New York : Springer – Verlag.
- Taylor, S.E. and O.J. Sexton (1975). Some implications of leaf tearing in Musaceae. *Ecology* 53 : 143 – 149.

- Trewartha, GT & Horn, Lyle H. 1995. Pengantar Iklim. Eds. V. Terjemahan. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 825p.
- van Bavel, C.H.M. (1975). A behavioral equation for leaf carbon dioxide assimilation and a test of its validity. *Photosynthetica* 9 : 165 – 176.
- Wallace, JM & Hobbs, PV. 1977. Atmospheric Science, an Introduction Survey. Academic Press. London; 467p.
- Wang, Jen-Yu. 1963. Agricultural Meteorology. Pacemaker Press.
- Wang JW & Ray RK. 1984. Agricultural and Its Environment: Prediction and Control. Kendall/Hunt Publ. Co. Iowa.
- Weisberg, RH & Wang C. 1997. *Slow variability in the equatorial west-central pasific in relation to enso*. *J.Climate*, 10; pp. 1998-2017.
- Wilks, DS. 1995. Statistical Methods in Atmospheric Sciences. Academic Press. California. 467p.
- Winarno, OT, & Soerawidjaja, TH. 1999. *Pengurangan emisi gas rumahkaca sektor energi di indonesia: Ulasan Hasil-Hasil Srudi Asian Leasy-Cost Greenhouse Gas Abatement Strategy Project*, *Jurnal Agromet*, Vol. XIII, 2-1998 (1999), hal.1-13.
- Wyrtki, K. (1975a) *El-nino the dynamic response of the equatorial pasific ocean to atmospheric forcing*, *J.Phys.Oceanogr.*,5; pp. 572-584.
- Wyrtki, K. (1975b) *The Response of Sea Surface Topography on the 1976 El-Nino*, *J.Phys.Oceanogr.*,9; pp. 1223-1231.
- Yates D. 1991. The Energy Budget Concept. Dalam Kapita Seleкта dalam Agroklimatologi. Bey, A. (ed.). Ditjen Dikti Depdikbud. Jakarta; p. 184-204.
- Yocum, C.S. and P.W. Lommen (1975). Mesophyll resistances. Perspectives in Biophysical Ecology (D.M. Gates and R.B. Schmerl, eds). New York : Springer – Verlag.
- Yonny K, Boer R, Pawitan H, Yusmin, & Las I. 1999. *Pendekatan Iptek dalam Mengantisipasi Penyimpangan Iklim. Prosiding Diskusi Panel Strategi Antisipatif Menghadapi Gejala Alam La-Nina dan El-Nino untuk Pembangunan Pertanian*, Bogor, 1 Desember 1998. PERHIMPI, FMIPA-IPB, Puslittanak, dan ICSEA BIOTROP Bogor; hal 43-58.
- Yousef, MK. 1985. Thermoneutral Zone. in Stress Physiology in Livestock. Vol. I: Basic Principilis (eds.: M.K. Yousef). CRC. Press Inc. Boca Raton, Florida.

GLOSARIUM

Atenuasi ialah pengurangan intensitas dari sinar X yang melewati suatu bahan ,yangdapat disebabkan karena penyerapan foton atau penghamburan foton dari sinar X tersebut. Atenuasi dapat terjadi pada berkas sinar X *monochromatic* dan *polychromatic*. Dalam keadaan normal, definisi policromatic ialah berkas sinar X yang berada di antara sepertiga dan setengah dari energi puncak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari bahan minyak nabati, atau biodiesel adalah bahan bakar untuk mesin diesel yang berasal dari bahan minyak nabati setelah melewati proses kimia. Biasanya sumber bahan minyak nabati tersebut berasal dari minyak kelapa, minyak biji jarak, minyak sawit dan lain-lain. Biodiesel adalah bahan bakar yang bisa mengurangi kerusakan pada lingkungan maknanya bahan bakar ini sangat ramah terhadap lingkungan.

Bioetanol adalah etanol (alkohol) yang didapatkan secara khusus dari fermentasi pati tanaman. Meskipun etanol dapat diekstraksi sebagai produk sampingan dari reaksi kimia dengan etilena dan produk minyak bumi lainnya, sumber-sumber pembuat etanol ini tidak dianggap terbarukan, dan oleh karena itu sebagian besar etanol tak bisa dianggap sebagai bioetanol. Secara kimiawi, bioetanol identik dengan etanol, yang ditunjukkan dengan formula C_2H_6O atau C_2H_5OH .

Biosfer secara arti kata terbentuk dari dua kata yaitu bio yang berarti hidup dan sphere yang memiliki arti lapisan. Jadi, bila digabungkan biosfer adalah lapisan dimana tempat makhluk hidup itu tumbuh atau menjadi habitat bagi makhluk hidup baik manusia, flora dan fauna serta mikroorganisme lainnya

El Niño–Osilasi Selatan (bahasa Inggris: *El Niño–Southern Oscillation*, ENSO) adalah variasi angin dan suhu permukaan

laut di wilayah tropis belahan timur Samudra Pasifik yang ireguler dan berkala. ENSO berpengaruh terhadap cuaca di sebagian besar wilayah tropis dan subtropis Bumi. Periode panasnya disebut sebagai *El Niño* sementara periode dinginnya disebut *La Niña*. "Osilasi Selatan" (bahasa Inggris: *Southern Oscillation*) merupakan fenomena atmosfer yang menyertai perubahan suhu permukaan air laut. Tekanan udara permukaan yang tinggi dan rendah masing-masing menyertai *El Niño* dan *La Niña*. Periode *El Niño* dan *La Niña* masing-masing berlangsung selama beberapa bulan untuk beberapa tahun dengan intensitas yang bervariasi.

Fotokimia. Reaksi fotokimia adalah reaksi kimia yang disebabkan oleh cahaya atau radiasi ultraviolet. Foton yang masuk diserap oleh molekul pereaksi menghasilkan molekul tereksitasi atau molekul radikal bebas, yang selanjutnya bereaksi lagi.

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas-gas di atmosfer yang dapat menimbulkan perubahan dalam kesetimbangan radiasi sehingga mempengaruhi suhu atmosfer bumi. Gas-gas tersebut dinamakan gas rumah kaca (GRK) karena kemampuannya dalam menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang panjang yang bersifat panas seperti yang dilakukan oleh kaca, sehingga menimbulkan efek pemanasan yang disebut efek rumah kaca (ERK).

Gatra penyesuaian Penyesuaian dengan keadaan cuaca dan iklim didiskripsi dengan baik dan usaha bercocok tanam disesuaikan dengan keadaan iklim suatu wilayah.

Gatra peramalan Peramalan meliputi peramalan cuaca berjangka pendek, menengah, atau panjang. Merupakan salah satu usaha untuk mengurangi resiko kegagalan usaha pertanian.

Gatra modifikasi Modifikasi terhadap adanya anasir iklim yang kurang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Berbagai hal bisa dilaksanakan

dalam hal modifikasi ini, misalnya dengan pemberian naungan, pembuatan hujan buatan, pemulsaan, pengolahan tanah, dan sebagainya.

Gatra substitusi Substitusi bertujuan untuk mengganti anasir-anasir cuaca/iklim yang pada saat diperlukan tidak ada atau tidak mencukupi di suatu wilayah. Misalnya dengan irigasi akan dapat menolong apabila hujan tidak datang atau tidak mencukupi.

Fotoperodisme adalah respon tumbuhan terhadap lamanya penyinaran (panjang pendeknya hari) yang dapat merangsang pembungaan. Istilah fotoperodismedigunakan untuk fenomena dimana fase perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh lama penyinaran yang diterima oleh tumbuhan tersebut.

Klorofil (dari bahasa Inggris, *chlorophyll*) atau zat hijau daun (terjemah langsung dari bahasa Belanda, *bladgroen*) adalah pigmen yang dimiliki oleh berbagai organisme dan menjadi salah satu molekul berperan utama dalam fotosintesis. Klorofil memberi warna hijau pada daun tumbuhan hijau dan alga hijau, tetapi juga dimiliki oleh berbagai alga lain, dan beberapa kelompok bakteri fotosintetik. Molekul klorofil menyerap cahaya merah, biru, dan ungu, serta memantulkan cahaya hijau dan sedikit kuning, sehingga mata manusia memvisualisasikan sebagai warna hijau. Pada tumbuhan darat dan alga hijau, klorofil dihasilkan dan terisolasi pada plastida yang disebut kloroplas.

Meteorologi sinoptik. Sinoptik adalah istilah padanan dari bahasa Inggris "synoptic". Kata synoptic berasal dari bahasa Yunani "syn" yang berarti "sama atau bersama" dan "optic" berarti "tampak atau terlihat". Meteorologi sinoptik mempelajari cuaca yang sedang berlangsung terus-menerus.

Paralaks; kesalahan paralaks (en:*parallax error*), yaitu sebuah kesalahan pendekatan paraksial yang dilakukan pada pergeseran sudut pandang.

Skenario iklim. Penyusunan skenario iklim ditujukan untuk melihat perubahan kondisi iklim di suatu wilayah, pada waktu tertentu di masa depan, dibandingkan dengan kondisi baseline. Rentang waktu untuk membandingkan kedua kondisi tersebut adalah sekitar 30 (tiga puluh) tahun. Misalnya informasi tentang proyeksi perubahan curah hujan dan suhu udara pada skala waktu tertentu (tahunan, bulanan, atau harian) dan ketinggian muka laut.

Smog adalah kombinasi dari smoke (asap) dan fog (kabut). Pertama kalinya istilah “smog” dikemukakan pada tahun 1950 oleh Dr. Henry Antoine Des Voeux dalam karya ilmiahnya yang berjudul “Fog and Smoke”, dalam pertemuan di Public Health Congress Smog terdiri atas oksida-oksida nitrogen dan ozon dalam kadar tinggi. Keberadaan smog ditandai dengan terbentuknya kabut tipis berwarna coklat kemerahan. Smog berasal dari pembakaran bahan bakar dalam industri dan kendaraan bermotor. Atau arti dari smog adalah istilah gabungan dari smoke (Asap) dan Fog (kabut), yakni kabut yang mengandung zat-zat pencemar udara. Smog terdiri atas karbon monoksida (CO₂) atau terdiri dari campuran nitrogen (N) yang bisa merangsang leher dan hidung, sehingga bisa menimbulkan penyakit pernapasan.

INDEKS

A

acclimate soil type, 72

adaptasi, 39, 49, 55, 80, 81, 83, 85, 87, 90,
91, 94, 257

adveksi, 143, 173

Aerosol, 101, 102

AFTA, 19

Agroklimatologi, 56, 59, 60, 64, 65, 66, 67,
68, 70, 78, 79, 93, 94

aklimatisasi, 69, 70

anemograf, 123

Anemometer, 13, 128, 150, 151

antisipasi, 23, 39, 49, 53, 54, 55, 95

APEC, 19

ARPEGE, 33, 41, 43, 45, 241

atmos, 96

Atmosfer, 6, 96, 98, 103, 112, 240, 241

B

barograf, 123

barometer, 123

baur, 159

BBN, 81

Bio-Energi, 81

BMKG, 31, 45, 66

Bowen, 13, 140, 141, 143, 144, 172, 187

buffer, 112

C

Campbell Stokes, 128, 129, 130

captured and storage, 84

CDM, 87, 88, 89

Celcius, 146, 152

CFC, 11, 20, 96, 110

CFC11, 110

chilling injury, 78

climate soil type, 72

continue, 121

COP, 87

coupling system, 29

critical temperature, 75

Cultuur-stelsel, 61

D

DALR, 107, 109

discontinue, 121

driving force, 33

DSSAT, 41, 42

E

Efisiensi pemanfaatan radiasi, 7, 177, 185

efisiensi penggunaan radiasi, 82

ekinoks, 27

ekliptika, 26

El-Nino, 22, 29, 30, 37, 42, 51, 53, 82, 244

Emisi, 84

emitansi, 160

energy balance, 141

energy budget method, 141

evaporasi, 9, 35, 36, 45, 108, 121, 137,
138, 139

evapotranspirasi, 13, 75, 138, 139, 143,
173, 239

F

Fahrenheit, 146, 152

FAO, 21, 43, 242, 243

filter, 105, 112

foton, 156, 157, 158, 161, 163, 246

fotoperiodik, 163, 164

fotosintesis, 26, 32, 54, 55, 67, 74, 81,
164, 172, 180, 181, 186, 248

G

GAP, 20

gas utama

gas utama, 98

gas utama, gas penyerta, 15, 101

GATT, 20

GCM, 33, 41

GIEC, 33

GIS, 45, 208

GISS, 41, 42

GMP, 20

GrADS, 45

green energy, 81

GRK, 20, 83, 84, 86, 87, 88, 92, 94, 247

Growth climatic chamber, 82

H

HACCP, 20

Hadley, 26, 50, 79

heat, 53, 71, 156, 162, 172, 240

I

ILD, 16, 174, 175, 176, 177, 179, 186, 187

incoming energy, 141

indigenous knowledge, 40

introduksi, 79

inversi suhu, 102, 104

IPCC, 82

Isohiet, 49, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 236, 238

isothermal, 105

ITCZ, 41

K

Kantor Cuaca Nasional Amerika Serikat, 199, 236

karbon rosot, 97

kelembapan nisbi, 101, 149

ketahan pangan, 19

Konstanta matahari, 159

kontribusi iklim, 23

konvex, 129

Kriging, 46, 210, 214

kurva massa ganda, 193, 194, 195, 236

L

La-Niña, 30

lapse rate, 105

lysimeter, 139, 152

lysimeter draenase, 139

lysimeter timbang, 139

M

mean, 205, 214, 225

Mesosfer, 105, 110

Meteorologi pertanian, 59

Meteorologi Sinoptik, 123, 127

Metode Ranking Kendall, 197

missing record, 198

mitigasi, 39, 49, 55, 83, 85, 88, 94

Model eskponensial, 216

Model Gaussian, 217

Model spherical, 216

modifikasi, 57, 58, 78, 118, 247

N

National Communication, 80, 81

NCAR, 33, 41

Nilai frekuensi kumulatif, 230

non recording, 122

O

Observatorium, 133, 240

observer, 122

Oldeman, 242

Ombrograph, 133

Ombrometer, 133, 152

outgoing, energy expenditure, 141

ozonosfer, 108

P

panci klas A, 137

PAR, 67, 74, 160, 168, 175, 180

parallax, 124, 249

pemanasan global, 20, 29, 31, 33, 39, 50,
54, 80, 98, 173

penyesuaian, 57, 65, 68, 75, 118, 247

penyulihan, 57, 58, 118

peramalan, 41, 51, 53, 55, 57, 58, 62, 64,
118, 188, 190, 236, 247

Perbandingan normal, 199, 236

piche, 137, 152

pigmen, 163, 164, 165, 166, 167, 248

pola equatorial, 27

pola lokal, 28

pola Monsoon, 26

Poligon Thiessen, 205, 206, 209, 236

psycrometer, 137

Q

quanta, 156

R

radiasi, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 23, 26,
45, 53, 54, 55, 67, 74, 75, 78, 81, 98,
102, 106, 108, 109, 111, 112, 113, 114,
119, 121, 124, 125, 128, 129, 130, 131,

132, 145, 151, 153, 154, 155, 156, 158,
159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166,
167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175,
176, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185,
186, 187, 243, 247

Radiasi bersih, 154, 169, 171, 186

radiasi infra merah, 156

radiasi langsung, 74, 159

radiasi ultra violet, 108, 156

Rantai Markove, 233

Reamur, 146

recording, 122

Rerata aritmatik, 199, 205, 236

respirasi, 32, 67, 74, 118, 163, 181

Reynoso, 62

rumah kaca, 20, 31, 32, 35, 50, 54, 69, 78,
80, 82, 247

S

SALR, 107, 109

Semivariogram, 215

simpangan baku, 225, 226, 228, 237

Solarimeter, 128, 130, 151

spectral tampak, 156

Spektrum radiasi matahari, 155

sphaira, 96

Stratosfer, 105, 108

suhu letal, 170

T

termohigrograf, 123, 145

Termosfer, 105, 111

thermo-pile, 12, 130, 131

THI, 76

transpirasi, 74, 75, 100, 138, 154

troposfer, 106, 107, 108, 109, 112, 113

U

Uap air, 100

udara kering

gas penyerta, 98

UKMO, 33, 41

UNFCCC, 80, 86, 88, 89

USDA, 18

V

Validasi, 219

W

Walker, 50

weathering, 67, 71

WMO, 12, 16, 116, 117, 128, 212, 241

TENTANG PENULIS



Gusti Rusmayadi staf pengajar pada Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis alumnus Fakultas Pertanian UNLAM tahun 1988 (Ir. Sarjana Pertanian), Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 1996 (M.Si., Agroklimatologi, AGK) dan IPB tahun 2009 (doktor bidang

Klimatologi Terapan, AGK).

Matakuliah yang diampu adalah Agroklimatologi di Fakultas Pertanian ULM, Klimatologi Dasar di PS Agronomi, Mikroklimatologi, Analisis Statistik dan Strategi dan Antisipasi Agronomi terhadap Lingkungan Ekstrim pada PS Agronomi di S2 Agronomi ULM, Perubahan Iklim Global pada S2 PSDAL ULM.

Penulis telah melakukan riset dengan cakupan modeling tanaman dan perubahan iklim seperti Crop modeling on growth and development of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L) (SEAMEO BIOTROP tahun 2007, The use of Comfort Index for assessing the suitability of endemic orchids (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume Forma Pelaihari) in South Kalimantan (Integrated-Collaborative Research Grant IMHERE UGM Project 2010), The Application of Comfort Index for growth and development of endemic orchids (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume Forma Pelaihari) in green-house covered with insect proof net (Integrated-Collaborative Research Grant IMHERE UGM Project 2011),

Pendugaan produksi biji Teratai (*Nhymphaea pubescens* Will) di perairan rawa lebak Kalimantan Selatan dengan pendekatan metode Wageningen dan melalui pedagang pengumpul biji Teratai, (Unggulan PT tahun 2012), Kajian Aspek Kesehatan Lingkungan Kerbau Rawa di Desa Bajayau Tengah, Kecamatan Daha Barat, Hulu Sungai Selatan (HSS). Selain itu bersama staf pengajar lainnya sejak tahun 2014 s/d 2016 telah melakukan kajian tentang padi lokal agar berumur lebih genjah sebagai adaptasi terhadap perubahan iklim, yaitu Perakitan Padi Unggul Berkarak-teristik Umur Pendek-Sedang, Pera, Ramping, Dan BerdayaHasil Lebih Tinggi Berbasis Mutasi Varietas Lokal Pasang Surut Kalimantan Selatan.

Selain itu, penulis juga aktif dalam penyusunan beberapa dokumen lingkungan seperti AMDAL dan dokumen Rencana Aksi Wilayah (RAD) Penurunan Gas Rumah Kaca Provinsi Kalimantan Selatan.

Beberapa buku yang telah dihasilkan seperti Budidaya Tanaman Tahunan, Klimatologi Dasar, Pertanian Dalam Bayang-Bayang Iklim Ekstrim (2012), Iklim Mikro; Teori, Pengamatan dan Analisis (2013), Manajemen Air Pertanian (2017), Pemodelan Tanaman sebagai Perangkat Pemahaman Proses, prediksi, dan keperluan Manajemen (2018) dan Mikroklimatologi di Era Perubahan Iklim Global (2019).

Penulis juga aktif sebagai pengelola dan fasilitator di Lembaga Peningkatan Pengembangan Pembelajaran ULM (LP3 ULM) sejak tahun 2015 sampai dengan sekarang. Kemudian, sejak tahun 2019 s/d 2021 menjadi Asesor Lembaga Sertifikasi Penulis-BNSP.