

APLIKASI DAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI PREDIKSI CUACA DAN IKLIM DALAM PEMBANGUNAN PERTANIAN

Aris Pramudia dan Irsal Las

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat
Badan Litbang Pertanian

Abstrak

Pembangunan sistem produksi pangan nasional yang berhasil meraih swasembada beras pada tahun 1984 ternyata sangat rentan terhadap berbagai deraan, terutama deraan iklim dan organisme pengganggu. Salah satu indikasinya adalah krisis pangan tahun 1997 dan 1998 akibat anomali iklim El-Nino yang menyebabkan ribuan hektar tanaman padi dan tanaman pangan lainnya kekeringan dan puso. Bahkan El-Nino pada tahun tersebut juga mendera tanaman perkebunan dan buah-buahan, baik berupa kekeringan maupun kebakaran. Walaupun telah berulang kali terjadi, namun anomali iklim hampir tidak pernah dapat diantisipasi sebelumnya. Selain anomali iklim yang bersifat ekstrim, fluktuasi iklimpun, terutama curah hujan juga yang sering mendera sistem produksi pangan dan tanaman lainnya juga tidak terantisipasi dengan baik. Inti permasalahannya antara lain berkaitan dengan : (a) kemampuan serta akurasi prediksi iklim dan cuaca, (b) sistem dan apresiasi berbagai pihak terhadap informasi prediksi cuaca dan iklim, dan (c) sistem dan mekanisme perencanaan pertanian, terutama tanaman pangan. Dampak anomali iklim terhadap sistem produksi pertanian sangat tergantung pada : (a) tingkat pengaruh El-Nino atau La-Nina terhadap pola curah hujan, (b) sistem/status hidrologi dan agroeksistem lahan, serta (c) sistem usaha tani dan praktek pertanian. Analisis time series curah hujan di Jawa, Sumatera dan Bali menunjukkan bahwa secara spatial tidak seluruh wilayah yang curah hujannya secara signifikan dipengaruhi oleh anomali iklim. Namun kebanyakan wilayah sentra produksi pangan di Jawa, terutama Jawa Barat dan Jawa Timur serta Sumatera bagian selatan sangat rentan terhadap anomali iklim. Secara temporal pengaruh anomali iklim, terutama El-Nino sangat signifikan terhadap curah hujan pada musim kemarau, terutama MK-II. Anomali iklim tersebut hampir secara linier mempengaruhi pola ketersediaan air baik air irigasi maupun lengas tanah. Oleh sebab itu, anomali iklim secara langsung sangat menentukan luas areal tanam, produktivitas, potensi indeks pertanaman dan pola tanam tanaman semusim. Pada umumnya keempat komponen tersebut berkorelasi negatif dengan El-Nino. Jika direncanakan secara taktis, anomali iklim La-Nina sangat strategis dalam upaya peningkatan indeks pertanaman tanaman pangan, terutama padi. Oleh sebab itu akurasi dan sistem penyampaian informasi prediksi cuaca dan iklim sangat menentukan keberhasilan pembangunan pertanian, terutama pertanian pangan.

1. PENDAHULUAN

Pada hakikatnya pembangunan pertanian bertujuan untuk meningkatkan taraf hidup petani dan masyarakat konsumen, terwujudnya ketahanan pangan

nasional, dan mampu menunjang pembangunan sektor lain, terutama industri dan perdagangan. Oleh sebab itu, pembangunan pertanian dalam kurun waktu 5 tahun kedepan hanya dipilah atas dua program utama, yaitu

(1) program ketahanan pangan (PKP), dan (2) program pengembangan agribisnis (PPA).

Iklim/cuaca merupakan salah satu komponen ekologi utama yang menentukan produktivitas dan optimalisasi sumberdaya pada suatu sistem produksi pertanian. Namun sering dialami bahwa iklim/cuaca menjadi ancaman dan kendala produksi pertanian akibat kurang-selarasan antara sistem usaha pertanian (SUP) yang dikembangkan dengan karakteristik iklim/cuaca. Akhir-akhir ini ancaman terhadap swasembada pangan dan produksi pertanian lainnya oleh iklim/cuaca yang ekstrim akibat penyimpangan iklim juga makin sering terjadi.

Sebagai contoh, salah satu penyebab utama krisis pangan dan kerentanan swasembada beras adalah deraan kekeringan karena adanya penyimpangan (anomali) iklim, El-Nino. Sebaliknya, fenomena penyimpangan iklim *La-Nina* yang menyebabkan curah hujan cukup tinggi dan air tersedia, bahkan berlimpah selama musim kemarau memungkinkan untuk bertanam padi pada MK-II (MT-III). Oleh sebab itu, peluang pengembangan pola IP Padi 300 sebagai upaya "rescue" untuk mengatasi krisis pangan sangat potensial jika didukung oleh adanya penyimpangan iklim *La-Nina*.

Selain itu, penurunan produksi pertanian terutama beras pada tahun 1991, 1994 dan 1997, dan kerusakan-kerusakan akibat banjir diduga berkaitan erat dengan kejadian penyimpangan (anomali) iklim El-Nino atau *La-Nina*. Walaupun telah berulang kali terjadi, kejadian anomali iklim jarang terantisipasi dengan baik, sehingga selalu berdampak negatif bagi sistem produksi pertanian. Salah satu penyebab terlambatnya atau tidak optimalnya antisipasi adalah karena tidak diketahuinya keadaan iklim masa datang secara dini dan akurat. Oleh sebab itu pengembangan dan aplikasi berbagai teknik dan metode prediksi iklim

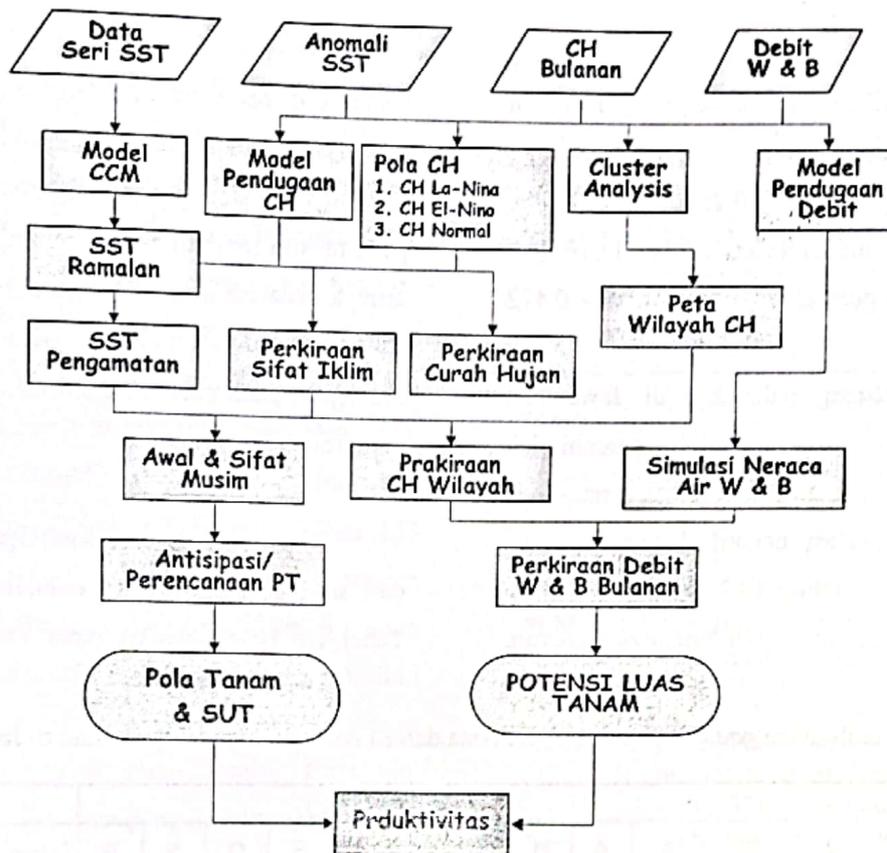
sangat penting bagi keberlanjutan pembangunan pertanian, terutama sistem produksi pangan. Selain itu, dan lebih penting diketahui adalah mengidentifikasi pengaruh atau keterkaitan antara kondisi curah hujan di Indonesia dengan indikator fluktuasi, penyimpangan dan perubahan iklim. Oleh sebab itu, pengembangan model-model prakiraan indikator fluktuasi, penyimpangan dan perubahan iklim untuk memprakirakan kondisi iklim terutama curah hujan di Indonesia sangat penting dalam mengurangi resiko iklim pada pertanian.

Tulisan ini mengemukakan peranan dan pemanfaatan prediksi cuaca dan iklim dalam sistem produksi pertanian, terutama pangan, serta membahas beberapa aplikasi dan pengembangan model pendugaan curah hujan berdasarkan hubungan keterkaitan antara curah hujan di Indonesia dengan indikator penyimpangan dan perubahan iklim global.

2. INFORMASI CUACA DAN IKLIM UNTUK PERTANIAN

Secara umum, peranan pendekatan dan informasi klimatologi dalam pembangunan pertanian antara lain berkaitan dengan 4 aspek/kegiatan, yaitu :

- a) pengembangan wilayah dan komoditas pertanian seperti kesesuaian lahan, perencanaan tata ruang, pewilayahan agroekologi dan komoditi, sistem informasi geografi (GIS), dan lain-lain
- b) perencanaan kegiatan operasional (budidaya) pertanian, seperti perencanaan pola tanam, pengairan, pemupukan, PHT, panen, dan lain-lain.
- c) peramalan dan analisis sistem pertanian, seperti daya dukung lahan, ramalan produksi, pendugaan potensi hasil dan produktivitas pertanian.
- d) pengelolaan dan konservasi tanah dan air.



Gambar 1. Diagram Alir Aplikasi Model Prediksi Iklim dalam Sistem Produksi Pertanian.

Dibandingkan dengan faktor produksi dan sumberdaya pertanian lainnya, pertimbangan terhadap sumberdaya iklim dalam pembangunan dan kegiatan pertanian masih terbatas. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

- a) kegalauan persepsi dan kurangnya apresiasi terhadap sumberdaya iklim
- b) sangat terbatasnya informasi iklim efektif dan aplikatif (berdayaguna) untuk bidang atau kegiatan pertanian.

Salah satu bentuk informasi iklim yang efektif dan aplikatif bagi pertanian adalah prediksi dan ramalan cuaca dan iklim.

Selain suhu dan radiasi surya, unsur agroklimat yang paling dominan pengaruhnya terhadap sistem produksi pertanian, adalah ketersediaan air, baik irigasi maupun air/kelembaban tanah (*soil moisture*). Oleh sebab itu dalam perencanaan (kegiatan) pertanian

pangan yang umumnya terdiri dari tanaman semusim, informasi prediksi iklim yang sangat dibutuhkan adalah prediksi awal musim, pola curah hujan dan perkiraan terhadap kemungkinan gejala anomali iklim. Ketiga jenis informasi tersebut berkaitan erat dengan jumlah dan pola ketersediaan air bagi tanaman. Pada Gambar 1 disajikan secara skematis keterkaitan teknik dan jenis informasi cuaca dan iklim dengan perencanaan sistem produksi pertanian.

3. DAMPAK PENYIMPANGAN IKLIM TERHADAP CURAH HUJAN

Dampak Spatial

Data historis selama periode 1951-1997 menunjukkan bahwa terdapat 16 kali kejadian tahun El-Nino dan 9 kali tahun *La-Nina*, selebihnya

dikategorikan sebagai tahun normal dengan curah hujan mendekati rata-rata (normal). Kisaran anomali SST pada tahun El-Nino adalah $0.289 - 1.543^{\circ}\text{C}$ dan pada tahun *La-Nina* adalah $(-0.02) - (-1.010)^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada tahun normal adalah $(-0.496) - 0.472^{\circ}\text{C}$.

Di sebagian besar wilayah di Jawa dan Sumatera, curah hujan wilayah sangat dipengaruhi oleh dinamika atau penyimpangan iklim global, namun ada sebagian lokasi berkorelasi negatif dengan kejadian tahun *La-Nina* maupun tahun El-Nino. Artinya pada tahun *La-Nina* justru jumlah curah hujannya menurun,

sedangkan pada tahun El-Nino justru curah hujan meningkat atau tidak dipengaruhi sama sekali. Pada umumnya curah hujan hanya berkorelasi positif hanya pada musim tertentu saja (umumnya musim kemarau), artinya pada tahun *La-Nina* curah hujannya meningkat atau menurun terutama pada musim kemarau sedangkan pada musim hujan relatif sama dengan rata-rata (Tabel 1).

Di Sumatera, nilai koefisien b_j dan koefisien r dari seluruh stasiun yang dianalisis dirangkum pada Tabel 1. Hasil analisis pada Tabel 2 menunjukkan

Tabel 1. Rata-rata curah hujan pada tahun normal, La Nina dan El Nino pada beberapa lokasi di Jawa dan Bali

No.	Stasiun	Tahun	Bulan												Jumlah			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tahun	MK I	MK II	MH
1	Bogor	N	487	406	434	417	393	240	396	311	306	427	463	386	4.667	1.446	1.508	1.714
		L-N	498	367	458	608	436	208	407	374	602	423	377	414	5.172	1.66	1.775	1.737
		E-N	578	334	308	517	364	149	102	74	185	301	387	424	3.724	1.132	947	1.644
2	Bandung	N	233	210	270	238	163	82	87	86	101	152	296	278	2.194	569	635	990
		L-N	245	255	224	263	261	189	72	76	205	253	218	285	2.546	735	852	959
		E-N	207	203	332	271	171	58	45	22	45	71	232	212	1.869	546	370	954
3	Gending, Semarang	N	340	227	233	172	93	82	51	70	134	139	214	334	2.089	398	558	1.133
		L-N	236	272	270	178	152	34	54	56	100	396	253	376	2.376	418	804	1.154
		E-N	301	233	238	171	50	41	33	17	32	122	225	279	1.741	296	395	1.051
4	Adisucipto	N	363	298	368	152	163	61	49	39	28	81	151	298	2.05	424	299	1.327
		L-N	388	271	406	168	143	90	72	44	61	238	229	262	2.421	472	572	1.377
		E-N	356	306	245	124	33	29	20	28	23	48	127	206	1.544	206	225	1.113
5	Malang	N	377	319	311	221	102	62	27	29	32	92	250	368	2.19	412	404	1.375
		L-N	368	321	286	201	133	153	66	58	47	166	322	416	2.535	553	593	1.39
		E-N	295	294	439	169	94	20	60	21	7	67	66	437	1.969	344	161	1.464
6	Wlingi, Kediri	N	364	309	329	271	157	112	41	23	59	153	332	386	2.535	580	567	1.388
		L-N	270	274	238	227	244	160	125	75	180	284	414	324	2.814	756	953	1.105
		E-N	339	300	306	196	105	33	86	17	13	60	210	307	1.971	419	300	1.252
7	Baturiti, Badung	N	545	398	369	271	171	167	87	108	124	236	365	357	3.197	695	833	1.669
		L-N	406	596	423	221	382	102	158	188	131	273	355	367	3.603	863	947	1.792
		E-N	450	407	369	258	128	51	57	30	24	134	231	376	2.514	494	419	1.601

bahwa pada musim kemarau, dari 306 stasiun hujan di Sumatera, 133 stasiun (43,5%) menunjukkan adanya hubungan yang nyata antara anomali SST pada zone NINO-3 dengan anomali curah hujan di Indonesia, dan 173 stasiun (56,5%) tidak berkorelasi nyata. Stasiun-stasiun yang memiliki model dengan nilai signifikansi yang tinggi umumnya terdapat di sebelah selatan garis khatulistiwa, antara lain di sebagian Propinsi Bengkulu, sebagian propinsi Jambi, sebagian besar Sumatera Selatan dan sebagian Propinsi Lampung. Dari 133 yang memiliki korelasi yang nyata, 127 stasiun (41,5%) memiliki hubungan yang negatif dan 6 stasiun lainnya (2,0%) positif. Stasiun-stasiun yang memiliki nilai koefisien b_1 negatif (nyata negatif) umumnya menyebar di sebagian Propinsi Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan dan Lampung. sedangkan yang memiliki nilai koefisien b_1 positif (nyata positif) antara lain di beberapa stasiun yang terdapat di Sumatera Utara, Sumatera Barat, dan Sumatera Selatan.

Pada musim penghujan, 46 stasiun (15,1%) menunjukkan adanya hubungan yang nyata antara anomali SST pada zone NINO-3 dengan anomali curah hujan di Indonesia, dan 260 stasiun (84,9%) tidak berkorelasi nyata. Stasiun-stasiun yang memiliki model dengan nilai signifikansi yang tinggi terdiri dari beberapa stasiun yang terdapat di Sumatera Barat, Jambi, Sumatera Selatan dan Lampung. Dari 46 stasiun yang memiliki korelasi yang nyata, 25 stasiun (8,2%) memiliki hubungan yang negatif dan 21 stasiun lainnya (6,9%) positif. Stasiun-stasiun yang nilai koefisien b_1 negatif (nyata negatif), antara lain menyebar di Propinsi Sumatera Utara, Propinsi Bengkulu, Propinsi Sumatera Selatan dan Propinsi Lampung. Sedangkan stasiun-stasiun yang memiliki model dengan nilai signifikansi yang tinggi dan nilai koefisien b_1 positif (nyata positif), terdapat di beberapa stasiun yang

menyebar di Sumatera Barat, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan dan Lampung.

Tabel 2. Jumlah dan sebaran nilai koefisien b_1 dan koefisien r dari 306 stasiun di Sumatera menurut jumlah stasiun pencatat hujan.

Musim	Nyata*)				Tidak Nyata
	$b_1 < 0$	$b_1 > 0$	kisaran b_1	kisaran r	
Musim Kemarau	127 (41,5)	6 (2,0)	-98,36 s/d -124,18	-0,813 s/d -0,152 & 0,212 s/d 0,609	173 (56,3)
Musim Penghujan	25 (8,2)	21 (6,9)	83,61 s/d 82,52	-0,657 s/d -0,138 & 0,215 s/d 0,596	260 (84,9)

*) Model dianggap nyata bila peluang untuk memperoleh nilai taraf nyata adalah $\leq 0,05$.

Tabel 3. Pola perubahan anomali curah hujan antar musim sebagai fungsi dari anomali SST dari 306 stasiun pencatat hujan di Sumatera.

Pola	Musim Kemarau	Musim Penghujan	Jumlah stasiun	Prosentase
K-1	Tidak nyata	Tidak nyata	151	49,3
K-2	Nyata negatif	Tidak nyata	105	34,3
K-3	Nyata negatif	Nyata negatif	15	4,9
K-4	Tidak nyata	Nyata positif	12	3,9
K-5	Tidak nyata	Nyata negatif	10	3,3

Tabel 3 menunjukkan lima kelompok besar hasil analisis keterkaitan antara anomali SST dengan anomali curah hujan di Sumatera. Hasil pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa penyimpangan curah hujan di sebagian besar stasiun-stasiun curah hujan yang terdapat di Sumatera tidak berkorelasi nyata dengan penyimpangan iklim baik pada musim kemarau maupun musim penghujan (Kelompok K-1, 49,3%). Kelompok ini umumnya terdapat di sebelah utara garis katulistiwa. Sebagian besar lagi berkorelasi negatif hanya pada musim kemarau dan tidak berkorelasi pada musim penghujan (Kelompok K-2, 34,3%). Kelompok ini umumnya terdapat di sebelah selatan garis katulistiwa. Sebagian kecil lainnya berkorelasi negatif baik pada musim kemarau maupun musim

penghujan (Kelompok K-3, 4,9%), tidak berkorelasi nyata pada musim kemarau dan berkorelasi negatif pada musim penghujan (Kelompok K-4, 3,9%), serta tidak berkorelasi nyata pada musim kemarau dan berkorelasi positif pada musim penghujan (Kelompok K-4, 3,3%). Ketiga kelompok terakhir ini terpecah-pecah di beberapa stasiun baik di sebelah utara maupun di sebelah selatan garis katulistiwa.

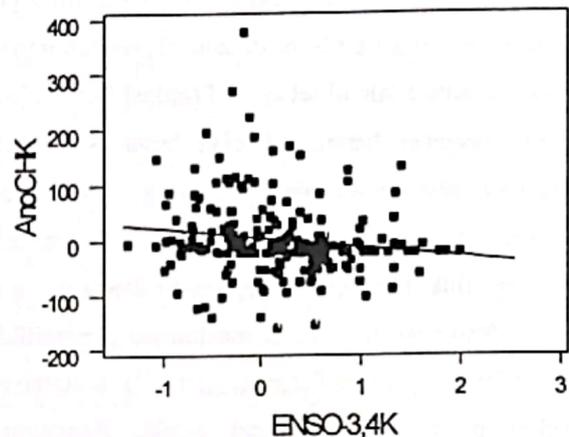
Dampak Temporal

Berdasarkan hasil analisis data ENSO dengan curah hujan menunjukkan bahwa pada musim hujan korelasi anomali suhu muka laut (SST) terhadap anomali curah hujan berada pada kisaran yang lebar atau tidak terkonsentrasi. Sedangkan pada musim kemarau korelasi tersebut berada pada kisaran yang lebih kecil atau lebih terkonsentrasi, terutama pada anomali SST positif. Contoh hasil plot data anomali curah hujan dan data suhu muka laut ENSO-3,4 disajikan pada Gambar 2.

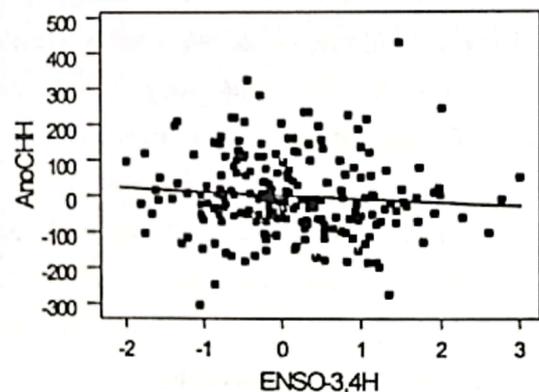
Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh kejadian penyimpangan iklim (anomali positif maupun negatif) terhadap keragaan curah hujan bulanan pada musim penghujan (MH, Oktober-Maret) tidak sekuat musim kemarau. Kejadian penyimpangan iklim dengan anomali negatif (*La-Nina*) pada ENSO-3,4 tidak nyata terhadap keragaan curah hujan bulanan pada musim penghujan. Sebaliknya pada musim kemarau, sebaran data korelasi tersebut lebih terkonsentrasi dan sebagian besar mempunyai korelasi yang nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh anomali SST, baik

El-Nino maupun La-Nina lebih besar pengaruhnya terhadap anomali curah hujan.

Garis Regresi AnoENSO-3,4K dengan AnoCHK



Garis Regresi AnoENSO-3,4H dengan AnoCHH



Gambar 1. Plot Anomali curah hujan dan anomali SST zona NINO-3 pada musim kemarau dan musim penghujan di stasiun Pehlandak (Malang).

Pada umumnya curah hujan pada MK II lebih tinggi dibandingkan MK I pada tahun *La-Nina*, kecuali di beberapa stasiun di Jawa Barat, Jawa Timur, dan Bali. Sebaliknya pada tahun El-Nino umumnya curah hujan lebih tinggi pada MK I kecuali pada beberapa

stasiun di Jawa Tengah dan DI Yogyakarta. Sedangkan pada tahun Normal polanya cukup bervariasi pada sebagian lebih tinggi pada MK I dan pada sebagian stasiun lainnya lebih tinggi pada MK II.

Hasil analisis data curah hujan sejak tahun 1950 mengindikasikan bahwa jumlah curah hujan di Jawa dan Bali pada tahun *La-Nina* berkisar 112 – 131% dibanding rata-ratanya (tahun normal). Sedangkan pada tahun El-Nino jumlahnya sekitar 79.3 – 86.2%. Pada tahun normal proporsi (distribusi) curah hujan selama MH, MK-I dan MK-II masing-masing 53,0; 22,7 dan 24,3% dari jumlah curah hujan tahunannya. Distribusi tersebut mengalami pergeseran secara nyata, yaitu 61,5; 21,7 dan 16,8% pada tahun El-Nino dan 44,0, 24,1 dan 31,9% (Tabel 2).

Tabel 2. Distrbusi curah hujan rata-rata masing-masing musim pada tahun Normal, *La-Nina* dan El-Nino di Jawa dan Bali

Sifat Tahun	MK-I mm (%)	MK-II mm (%)	MH Mm (%)	Tahunan mm (%)
Jawa-Bali				
Normal	589 (22,7/100)	630 (24,3/100)	1377 (53,0/100)	2596 (100/100)
<i>La-Nina</i>	723 (24,1/122,8)	958 (31,9/152,1)	1325 (44,0/962)	3006 (100/115,7)
El-Nino	465 (21,7/78,9)	359 (16,8/57,0)	1317 (61,5/95,6)	2124 (100/81,8)
Sumatera				
Normal	707 (27,5/100)	839 (32,7/100)	1023 (39,8/100)	2569 (100/100)
<i>La-Nina</i>	856 (27,4/121,2)	1041 (33,3/124,1)	1229 (39,3/120,1)	3126 (100/121,7)
El-Nino	653 (29,9/92,4)	752 (34,4/89,7)	782 (35,7/76,4)	2187 (100/85,1)

Keterangan: persentase pertama adalah proporsi terhadap curah hujan tahunan, dan persentase kedua adalah terhadap curah hujan normal pada musim yang sama

Kondisi yang mirip juga terlihat di Sumatera, dimana rata-rata curah hujan tahun pada tahun *La-Nina* sekitar 121.7% dibanding tahun normal dan, sedangkan pada tahun El-Nino hanya 85.1%. Jumlah curah hujan pada MH, MK-I dan MK-II pada tahun *La-Nina* masing-masing adalah 121.2%, 124,1%, dan 120,1%,

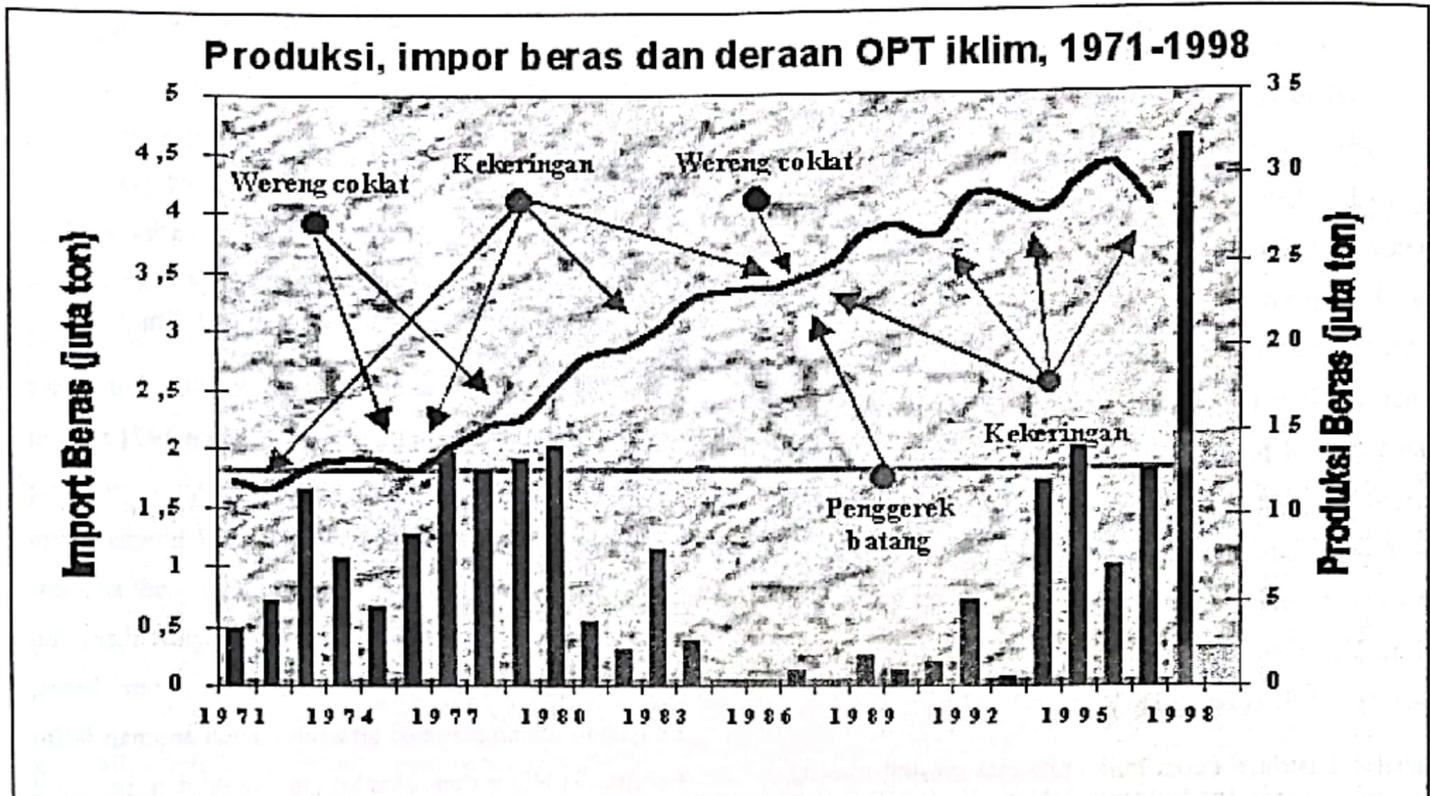
sedangkan pada tahun El-Nino masing-masing adalah 92,4%, 89,7% dan 76.4%.

4. DAMPAK PENYIMPANGAN IKLIM TERHADAP KETAHANAN PANGAN

Produksi Pangan dan Penyimpangan Iklim

Berdasarkan keragaan laju produksi dan impor beras mengindikasikan bahwa sejak tahun 1971 tingkat produksi beras nasional mengalami peningkatan yang cukup besar, terutama sejak tahun 1977 hingga tahun 1997. Namun pada tahun-tahun tertentu terjadi stagnasi atau pelandaian bahkan penurunan produksi dan biasanya diikuti dengan peningkatan impor beras. Penyebab utama stagnasi tersebut adalah anomali iklim berupa El-Nino dan eksplofitas hama dan penyakit (Gambar 2).

Data empiris sejak tahun 1900 menunjukkan bahwa dari 26 kejadian, frekuensi terbesar terjadinya *El-Nino* setiap 4 tahun (26,9%), disusul dua tahun (23,1%), lima dan tiga tahun (15,4 dan 11,5%). Jika analisis frekuensi tersebut digunakan sebagai prakiraan (awal), maka dapat diprediksi bahwa *El-Nino* mungkin akan terjadi pada tahun 2001/2002 atau 2000/2001. Pengalaman menunjukkan bahwa jika tidak diantisipasi dengan baik, pada setiap kejadian El-Nino, produksi beras nasional turun 3 – 7% atau setara dengan 1,5 – 3,5 juta ton beras. Untuk menjaga ketahanan pangan nasional, sejak tahun 1990, Indonesia selalu mengimpor beras minimal 1,5 ton/tahun. Dengan demikian, jika terjadi El-Nino maka untuk menjaga ketahanan pangan nasional diperlukan impor beras 3-5 juta ton.



Gambar 2. Laju pertumbuhan produksi dan impor beras nasional tahun 1971-1998.

Selain itu, dari 21 kejadian sejak tahun 1900 menunjukkan bahwa, 11 kejadian *La-Nina* (57.1%) adalah mengikuti *El-Nino*. Sedangkan berdasarkan frekuensi *El-Nino* yang diikuti oleh *La-Nina* mencapai 42% atau 11 kali dari 26 kejadian, seperti halnya pada tahun 1992, 1995 dan 1998. Namun demikian hasil analisis seperti ini bersifat sementara dan perlu dipertajam dan diverifikasi dengan teknik prediksi iklim yang lebih komprehensif berdasarkan SST dan model GCMs.

5. PREDIKSI IKLIM DAN POLA KETERSEDIAAN AIR

a. Korelasi Debit Waduk/Bendung dengan Curah Hujan

Pada umumnya korelasi debit waduk dengan curah hujan di stasiun-stasiun hujan terpilih cukup

tinggi ($>0.464 - 0.991$). Ini berarti bahwa stasiun curah hujan yang dipilih pada masing-masing wilayah tangkapan hujan waduk memberikan kontribusi terhadap ketersediaan air (debit). Sedangkan untuk bendung nilai korelasi tersebut sedikit lebih rendah ($>0.361 - 0.873$), namun sebanyak 67% stasiun hujan dapat digunakan untuk menduga debit bendung.

Korelasi antara debit waduk dengan curah hujan wilayah juga cukup tinggi, yaitu $0.664 - 0.848$ dan hanya waduk Darma di Jawa Barat dan Gajah Mungkur nilai korelasinya <0.50 . Sedangkan korelasi debit (inflow) bendung dengan curah hujan wilayah berkisar antara $0.201 - 0.824$. Terdapat sekitar 26 (29%) bendung dari 92 bendung yang dianalisis yang korelasi antara debit dan curah hujan tidak nyata. Pada Tabel 5 disajikan persamaan korelasi antara debit (inflow) dan curah hujan pada lag yang nyata di beberapa waduk dan bendung contoh.

Sekitar 44 waduk dan bendung mempunyai korelasi yang nyata pada lag 0, artinya kejadian hujan dapat digunakan untuk menduga debit waduk/bendung pada bulan yang sama. Sedangkan nyata pada lag 1 (bulan) sekitar 39%, lag 2 8% dan lagi 3 dan 4 masing-masing 5 dan 3%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sistem hidrologi di wilayah tangkapan hujan waduk-waduk utama dan bendung di Jawa sudah kurang baik.

Tabel 4. Persamaan regresi antara debit waduk dan curah hujan di beberapa waduk dan bendung contoh

Waduk/ Bendung	Kabupaten	Persamaan	Korelasi	Lag (bulan)
Jatiluhur	Purwakarta	$D = 1.38 + 0.0128Chwil$	0.681	0
Jamblang	Cirebon	$D = 1.81 + 0.0117Chwil$	0.574	1
Kedung Ombo	Semarang	$D = 2.28 + 0.319Chwil$	0.712	0
Temon	Wonogiri	$D = 0.246 + 0.008Chwil$	0.616	1
Selorejo	Malang	$D = 17.6 + 0.0405Chwil$	0.776	0
Menturus	Mojokerto	$D = 0.257 + 0.0049Chwil$	0.674	1
Palasari	Jemberana	$D = 156 + 3.25Chwil$	0.573	0
Panarukan	Buleleng	$D = 771 + .84Chwil$	0.562	1

b. Curah Hujan Wilayah dan Ketersediaan Air Irigasi

Dari prakiraan curah hujan wilayah untuk Propinsi Jawa Barat terlihat bahwa; curah hujan wilayah tahun La Nina tidak terlihat pengaruhnya pada bulan-bulan basah (MH). Seperti halnya di Kab. Bogor, curah hujan tahun La Nina lebih tinggi pada bulan-bulan Juli-Agustus dan September daripada tahun Normal ataupun tahun El Nino. Demikian juga dengan curah hujan pada bulan November, Desember dan Januari pada tahun El Nino, lebih besar dibanding tahun La Nina.

Waduk Sempor dan Wadaslintang relatif basah, sehingga pengaruh La Nina terhadap debit kurang terlihat jelas. La Nina terlihat ada pengaruhnya pada bulan Agustus sampai dengan Nopember. Pada bulan-bulan tersebut, nilai curah hujan tahun El Nino terlihat

lebih rendah dibanding tahun Normal maupun La Nina. Untuk waduk Gajahmungkur, pengaruh La Nina dan El Nino sudah terlihat mulai bulan Mei, yang terjadi sampai bulan November. Curah hujan wilayah pada bendung bervariasi, tetapi pada umumnya memiliki nilai yang rendah pada tahun El Nino pada bulan Juni-Oktober.

Berdasarkan prakiraan curah hujan wilayah, pola La Nina pada kedua waduk di Jawa Timur terlihat dari bulan Januari sampai Maret dan bulan Juni sampai Nopember. Sedangkan El Nino dari bulan Mei-Nopember. Pada ketujuh bendung pola Normal, La Nina dan El Nino terlihat. Pada musim hujan, pola tersebut tidak berlaku, tetapi pada musim kering/kemarau terlihat nyata polanya.

Pada umumnya, pola El Nino di wilayah tangkapan hujan beberapa bendung di Bali, terlihat mulai bulan Maret sampai Nopember. Demikian pula dengan pola curah hujan wilayah pada tahun La Nina. Pada bulan Desember, Januari dan Februari sebagai musim hujan, pola curah hujan wilayah tidak berbeda nyata antara tahun El Nino dan La Nina. Pada umumnya, pengaruh El Nino dan La-Nina terlihat jelas mulai bulan Maret sampai November.

Berdasarkan persamaan korelasi debit waduk dan bendung dengan curah hujan diperoleh debit dugaan masing-masing waduk dan bendung. Pada 6 disajikan debit dugaan rata-rata permusim di beberapa waduk dan bendung contoh pada masing-masing propinsi.

6. KETERSEDIAAN AIR DAN POTENSI LUAS AREAL TANAM DAN IP PADI

Potensi luas tanam masing-masing musim dihitung berdasarkan pendugaan debit potensial yang diduga melalui pola hujan di wilayah tangkapan hujan

masing-masing waduk dan bendung. Kemudian dijabarkan pada setiap kabupaten sesuai dengan luas sawah dan waduk atau bendung sumber air irigasi.

a. Potensi Luas Tanam MH dan MK-I

Pada musim hujan hampir seluruh sawah irigasi dapat diairi oleh waduk dan bendung, bahkan pada beberapa waduk dan bendung di Jawa kapasitas air irigasinya jauh lebih besar dibanding sawah yang ada. Berdasarkan ketersediaan air irigasi pada tahun *El-Nino* potensi luas tanam turun sekitar 3 – 12.1% dibanding normal, bahkan beberapa waduk dan bendung tidak terpengaruh sama sekali. Sedangkan pada tahun *La-Nina* potensi luas tanam pada MH meningkat 3,7 – 146%. Namun pada beberapa waduk dan bendung penurunan dan peningkatan potensi luas tanam mengalami penurunan dan peningkatan yang cukup tajam, seperti beberapa waduk di Indramayu yang mengalami perubahan sampai 25.6%, dan di Bali penurunannya pada tahun *El-Nino* mencapai 12.2%, tetapi peningkatan pada tahun *La-Nina* mencapai 52.7%.

Pada MK-II, perubahan potensi luas tanam di Jawa dan Bali akibat *El-Nino* dan *La-Nina* cukup beragam. Di Jalur Pantura Jawa Barat, terutama bagian Barat dan Timur perubahan potensi luas tanam menurun hingga 6.5 – 47.6% pada tahun *El-Nino* dan meningkat sekitar 2.3 – 16.2% pada tahun *La-Nina*. Sedangkan di Jawa Tengah debit waduk utama menurun 13.2 - 41.0% pada tahun *El-Nino* dibanding normal namun kapasitas irigasinya hanya turun sekitar 2 – 4%. Pada tahun *La-Nina* potensi luas tanam di Jawa Tengah rata-rata meningkat 2.7 - 10.4%. Di Jawa Timur debit waduk dan bendung turun 10-36% pada tahun *El-Nino*, namun potensi luas tanam hanya turun 3.1 - 19.3 %. Pada tahun *La-Nina* potensi luas tanam meningkat hingga 11.9 - 32.9%. Di Bali menurun rata-

rata 5.8% atau dengan kisaran 1.3 - 11.2% pada kondisi *El-Nino* dan meningkat sekitar 19.0% (6.6 - 24.1%) pada tahun *La-Nina* dibanding normal.

Tabel 6. Debit dugaan waduk dan bendung contoh pada 3 skenario iklim di beberapa musim tanam di Jawa dan Bali.

Bendung/Waduk	Tahun	Debit		
		M3/detik	M3/detik	M3/detik
Jawa Barat				
Jatiluhur	Normal	79.81	49.24	47.69
	La-Nina	85.71	55.78	61.83
	El-Nino	73.98	42.69	29.67
Jamblang	Normal	184.87	182.21	181.78
	La-Nina	184.74	182.40	182.55
	El-Nino	185.40	182.46	181.41
Jawa Tengah				
Kedungombo	Normal	77.96	27.28	30.20
	La-Nina	81.26	27.30	35.59
	El-Nino	73.79	28.13	17.30
Temon	Normal	2.69	1.03	0.99
	La-Nina	2.63	1.61	1.96
	El-Nino	2.79	1.56	0.62
Jawa Timur				
Selorejo	Normal	35.71	23.84	22.58
	La-Nina	37.40	25.29	25.57
	El-Nino	36.02	21.87	20.61
Menturus	Normal	1.69	0.74	0.71
	La-Nina	1.71	0.78	0.98
	El-Nino	1.76	0.60	0.47
Bali				
Palasari	Normal	0.76	0.36	0.48
	La-Nina	0.95	0.46	0.50
	El-Nino	0.78	0.35	0.45
Penarukan I	Normal	2.51	1.36	1.26
	La-Nina	3.25	1.69	1.63
	El-Nino	2.91	1.12	1.18

b. Potensi Pengembangan IP Padi 300

Potensi pengembangan pola IP Padi 300 identik dengan potensi luas tanam pada MK-II (MT-3), baik pada kondisi normal, *El-Nino* maupun *La-Nina*. Pada Tabel 7 disajikan potensi luas tanam padi sawah pada MK-II sebagai lahan potensial untuk pengembangan IP Padi 300 pada masing-masing propinsi. Sedangkan pada Tabel Lampiran 2 disajikan sekitar 35 kabupaten yang memiliki potensi luas tanam cukup besar di Jawa dan Bali.

Tabel 7. Luas sawah dan potensial pengembangan IP Padi 300 (MK-I) pada masing-masing propinsi

Propinsi/ Kabupaten	Luas Sawah Irigasi	Indeks Pertana- naman	IP Padi 300 1998	Potensi Luas Tanam MK-II		
				El-Nino	<i>La-Nina</i>	Normal
				ha	ha	ha
1. Jawa Barat (20 kabupaten)	906.246	191	30.478	196.088 (21,6%)	435.746 (48,1%)	304.023 (33,5%)
2. Jawa Tengah (29 kabupaten)	710.888	180	33.000	148.097 (20,1%)	279.595 (39,3%)	230.434 (32,4%)
3. D.I. Yogyakarta (4 kabupaten)	51.345	191	5.765	15.705 (30,6%)	23.835 (46,4%)	19.140 (37,8%)
IV. Jawa Timur (24 kabupaten)	849.511	163	45.848	208.861 (24,6%)	377.502 (44,4%)	268.574 (31,6%)
V. Bali (7 kabupaten)	74.999	186	6.081	18.675 (24,9%)	27.669 (36,9%)	22.287 (29,7%)
JUMLAH	2592.989	1.79	120.717	587.426	1144.346	843.458
(%)	100	-	4,7	22,7	44,1	32,5

Di Jawa Barat dengan potensi rata-rata sekitar 304.023 ha atau sekitar 33.5% dari seluruh sawah irigasi, baik teknis maupun sederhana dan tersebar di 20 kabupaten yang sumber air utamanya adalah 3 waduk utama dan lebih dari 68 bendung. Kabupaten yang paling luas potensinya adalah di Subang dan Karawang yang sumber airnya berasal dari waduk Jatiluhur. Potensi tersebut berkurang menjadi hanya sekitar 21.6% pada tahun El-Nino, sebaliknya meningkat menjadi 48.1% pada tahun *La-Nina*. Di Jawa Tengah terdapat sekitar 29 kabupaten yang potensial untuk pengembangan IP Padi 300 dengan luas 230.436 ha atau 32.4% dari luas sawah irigasi. Kabupaten yang paling potensial adalah Sragen, Pati dan Jepara. Potensi pengembangan IP Padi 300 meningkat menjadi 279.595 ha (39.4%) pada tahun *La-Nina* dan turun menjadi 148.097 ha (20.1%) pada tahun El-Nino.

Walaupun tidak terlalu luas, perubahan luas lahan sawah yang potensial untuk IP Padi 300 di D.I. Yogyakarta akibat penyimpangan iklim relatif kecil dibanding propinsi lain. Pada kondisi normal luas lahan potensial sekitar 19.140 ha (37.8%), sedangkan pada tahun El-Nino turun menjadi 15.705 ha (23.8%), dan pada tahun *La-Nina* naik menjadi 23.835 ha (46.5%). Hal tersebut mengindikasikan bahwa sistem dan potensi irigasi di D.I. Yogyakarta masih cukup baik dan tidak terlalu rentan terhadap penyimpangan iklim, terutama El-Nino. Berdasarkan data kekeringan tahun 1991, 1994 dan 1994, persentase sawah yang terkena kekeringan di D.I. Yogyakarta dan Jawa Tengah relatif lebih kecil dibanding propinsi lain, terutama Jawa Barat (Las, Fagi dan Syaefuddin, 1995, Badan Litbang Pertanian, 1997)

Di Jawa Timur teridentifikasi 24 kabupaten yang memiliki sawah potensial untuk pola IP Padi 300, dan 6 kabupaten diantaranya mempunyai potensi

>20.000 ha pada tahun normal. Kabupaten tersebut antara lain Malang, Jombang, Banyuwangi, Lamongan, Nganjuk dan Ngawi. Total lahan potensial untuk IP Padi 300 di tahun *La-Nina* 377.502 ha dan pada tahun El-Nino 208.861 ha (24.6%).

Luas lahan sawah potensial untuk IP Padi 300 di Bali rata-rata 22.287 ha (29.7%), sedangkan pada tahun El-Nino turun menjadi 18.675 ha (24.9%) dan naik menjadi 27.669 (36.9%) pada tahun *La-Nina*. Kabupaten yang paling potensial adalah Gianyar, Buleleng dan Badung dengan luas masing-masing 6.267, 5.119 dan 7.426 ha (Tabel 7 dan Tabel Lampiran 2).

Perhitungan potensi lahan potensial dilakukan secara kumulatif pada masing-masing waduk tanpa memperhitungkan jarak aliran irigasi dari waduk ke sawah. Oleh sebab itu, zona atau posisi hamparan terhadap jaringan irigasi perlu dipertimbangkan dalam menentukan lahan prioritas, terutama pada tahun El-Nino.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

Sejak tahun 1951 terdapat 16 kali kejadian tahun El-Nino dan 9 kali tahun *La-Nina* dengan curah hujan 79.3 – 86.2% dan 112 – 131% dibanding rata-rata atau tahun normal. Pada umumnya pengaruh El-Nino dan *La-Nina* sangat nyata terhadap distribusi dan pola curah hujan selama MK-I dan MK-II dibanding MH, yaitu dari 22.7 dan 24.3% menjadi 21.7 – 16.8% dan 24.1 – 31.9%.

Berdasarkan frekuensi kejadian sebelumnya, diduga bahwa tahun 2002/2003 atau 2001/2002 merupakan tahun terjadinya El-Nino dengan peluang 26.9 dan 23.1%. Peluang El-Nino tersebut akan diikuti oleh *La-Nina* adalah 42.3%. Diperkirakan bahwa curah hujan di Jawa dan Bali pada MK-I dan MK-II 1999

akan lebih tinggi sekitar 11-16% dibanding normal. Demikian juga pada MH 1999/2000 dan MK-I dan MK-II di sebagian besar wilayah tetap akan lebih basah dibanding normal. Namun demikian terdapat juga beberapa lokasi di Jawa Timur dan D.I. Yogyakarta yang curah hujan lebih rendah dari normal

Sebagian curah hujan dari stasiun terpilih wakil wilayah tangkapan hujan masing-masing waduk dan bendung berkorelasi tinggi dengan ketersediaan air irigasi yang digambarkan oleh debit waduk dan bendung, baik pada kondisi normal, maupun El-Nino dan *La-Nina*.

Pada tahun normal, hampir seluruh waduk dan bendung di Jawa dan Bali mampu mengairi seluruh sawah yang ada selama MH, tetapi pada tahun El-Nino kemampuan turun sekitar 3-12%. Kemampuan waduk untuk mengairi sawah pada MK-I agak beragam, tetapi jika terjadi El-Nino kemampuan sebagian besar waduk dan bendung turun secara tajam.

Potensi luas tanam padi pada MK-II sebagai lahan potensial pengembangan IP Padi 300 di Jawa dan Bali mencapai 843.58 ha. Potensi tersebut turun sekitar 30.1% pada tahun El-Nino dan sebaliknya naik sekitar 35.7% pada tahun *La-Nina* dengan luas 587.426 dan 1144.346 ha. Kabupaten paling potensial adalah Subang dan Karawang di Jawa Barat, Pati dan Sragen di Jawa Tengah, Sleman di D.I Yogyakarta, Lamongan dan Banyuwangi di Jawa Timur dan Gianyar di Bali.

Pendugaan penyimpangan iklim dan pola curah hujan tahun 1999 dan 2000 dapat dipedomani untuk perencanaan pertanian tahap dini, namun secara periodik ramalan tersebut perlu direvisi dan divalidasi. Potensi lahan untuk pengembangan pola IP Padi 300 hanya ditinjau dari segi ketersediaan air. Untuk memanfaatkan potensi tersebut secara praktek harus mempertimbangkan berbagai aspek lain secara holistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Allison, H., Davis, G.B., & Stuart, R., 1990. *Long-term analysis and prediction of rainfall using a geostatistical method*. R.C. Muchow & J.A. Bellamy (eds.). Climatic analysis in crop production: Models and management in the semi-arid and tropics and sub-tropics. Pp:36-37.
- Badan Litbang Pertanian, 1991. *Rumusan Seminar Nasional Prospek Pola IP Padi 300 dalam menanggulangi krisis pangan dan pengimpangan iklim*. Badan Litbang Pertanian.
- Boer, R., Irsal Las dan K.A. Notodiputro, 1998. *Analisis risiko iklim untuk produksi dan pengembangan kedelai di Flores, Nusa Tenggara Timur*. Laporan Proyek Riset Unggulan Terpadu IV (1996-1998). Bogor.
- Bruce, J.P. and R.H. Clark, 1966. *Introduction to Hydrometeorology*. Pergamon Press. Oxford.
- Chin, E. H. 1977, *Modelling daily precipitation occurrence process with Markov chain*. Water Resources Res. 13(6):949-956.
- CIRAD, 1995. *Module SARRAMET, Guide d'Utilization*. CIRAD-CA Unite de Recherche "Gestion de l'eau". Montpellier.
- Joseph, P.V., Eischeid, J.K., & Pyle, R.J., 1994. *Interannual variability of the onset of the Indian summer monsoon and its association with atmospheric features, El-Nino, and seas surface temperature anomalies*. Journal of Climate 7:81-105.
- Fagi, A.M, Irsal Las, S. Kartaatmadja, 1997. *Laporan peninjauan wilayah kekeringan di D.I. Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Badan Litbang Pertanian.
- Hatenrath, S., 1988. *Climate and circulation of the tropics*. D. Reidel Publ. Co. Netherlands. 455p.
- Horel, J., and J. Geisler, 1997. *Global Environmental Change, An Atmospheric Perspective*. John Wiley and Sons, Inc. Utah, USA. 152p.
- Hudoyo, S.A., 1981. *Perkiraan Keadaan Kering Mingguan di Beberapa Tempat di Jawa Tengah Berdasarkan Data Curah Hujan*. Fakultas Pasca Sarjana IPB.
- Kousky, V. E., 1988. *Evolution of the 1986-87 Pacific warm episode*. WCP Newsletter no.10. April 1988. Geneva. pp.10-13.
- Las, Irsal, A.M. Fagi, dan A. Syaefuddin, 1995. *Teknologi dan Pola Usahatani Tanaman Pangan untuk Menanggulangi Kemarau Panjang. Dalam : Prosiding Diskusi Panel "Antisipasi Kekeringan an Penanggulangan Jangka Panjang*. PERAGI – PERHIMPI.
- Las, I., et al., 1998. *Prospek pola IP Padi 300 dalam mengantisipasi anomali Iklim dan krisisn pangan. Seminar Nasional Prospek Pola IP Padi 300 dalam menanggulangi krisis pangan dan penyimpangan iklim*. Badan Litbang Pertanian.
- Oldeman, L. R. Irsal Las, and Muladi, 1980. *Agroclimatic map of Kalimantan, Bali, Nusatenggara, Maluku and Irian Jaya*. Contr. Centr. Res. Inst. Agric. No.56
- PERHIMPI, 1997. *Pola Musim Hujan 1997/1998, minimalisasi pengaruh kemarau panjang dan antisipasi berikutnya*. Bahan Press Release. Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia. Jakarta.
- Puslittanak, 1997. *Dukungan Penelitian Tanah dan Agroklimat dalam Antisipasi dan Penanggulangan Kekeringan. Rapat Teknis : Masalah Kekeringan*

1997. Badan Litbang Pertanian. Bogor, 10 Oktober 1997.
18. Rasool, S. I., 1984. *On dynamics of deserts and climate*. In: J. T. Houghton. *The Global Climate*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. pp.107-120.
19. Sandy, I M., 1987. *Iklim Regional Indonesia*. Jurusan Geografi FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta. 124hal.
20. Steel, R. G. D., and J. H. Torrie, 1989. *Prinsip dan Prosedur Statistika, Suatu Pendekatan Biometrik, Edisi kedua (Terj. oleh B. Sumantri)*. PT Gramedia. Jakarta. 748hal.
21. Tim Puslittanak, 1999. *Analisis Peluang Penyimpangan Iklim dan Ketersediaan Air pada Wilayah Pengembangan IP Padi 300*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat bekerjasama dengan Proyek Pembinaan Kelembagaan Penelitian dan Pengembangan Pertanian ARMP-II. Bogor. 155hal.
22. Tourre, Y.M., & White, W.B., 1997. *Evolution of the ENSO Signal over the Indo-Pacific Domain*. *Journal of Physical Oceanography* 27:683-696.
23. Villwock, A., & Latif, M., 1994. *Indian ocean response to ENSO*. *Proceedings International Conference on Monsoon Variability and Prediction, Vol. II, Ganeva, Switzerland, WMO*. 530-537.
24. Wiratmo, J., 1998. *Sudah benarkah pemahaman Anda tentang La Nina dan El Nino?* Penerbit ITB. Bandung. 30 hal.