

Pengembangan Dan Validasi Model Iklim

Bambang Siswanto, Zadrach L Dupe, Yanto Sugianto, Yunus S

Abstrak

Telah dilakukan simulasi dan analisis pola curah hujan di Jawa, Sumatera Barat, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, dan Kalimantan Barat dengan menggunakan model area terbatas dengan resolusi 7.5 x 7.5 km. Kinerja model iklim dikaji dengan cara membandingkan keluaran hasil model dengan data pengamatan langsung (in-situ). Variabel curah hujan menjadi prioritas utama dalam penelitian ini. Model-model statistik ANVIS dan Filter Kalman dikaji juga kinerjanya untuk melihat kemampuan model-model statistik dalam memprediksi curah hujan.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah masalah lingkungan telah menjadi pusat perhatian. Dampak fenomena ENSO yang menyebabkan kekeringan dan memicu terjadi kebakaran hutan, serta fenomena La-Nina yang menyebabkan meningkatnya curah hujan yang menimbulkan banjir di beberapa daerah di Indonesia.

Riset pengetahuan cuaca dan iklim termasuk aplikasinya, memberikan wawasan ilmiah mendalam tentang isu-isu terpenting dan pilihan-pilihan kebijaksanaan pembangunan yang berkelanjutan yang dihadapi Indonesia dan masyarakat dunia secara keseluruhan. Riset tersebut harus diorganisasikan dalam suatu kerangka kerja yang bersifat fleksibel dan multidisiplin untuk mengkoordinasikan aktivitas-aktivitas ilmiah terkait dalam suatu program kerja.

Mencari metoda terbaik dalam prediksi iklim adalah salah satu kegiatan yang akhir-akhir ini giat dilakukan oleh para peneliti atmosfer/iklim. Bagaimana tidak, berbagai pihak menuntut diberikannya informasi prediksi iklim yang lebih cepat dan akurat. Bahkan beberapa pihak lain menuntut tersedianya prediksi kondisi atmosfer dengan rentang waktu harian/jam-an dalam skala ruang yang lebih kecil. Kebutuhan ini mendorong berkembangnya metoda-metoda prediksi cuaca/iklim baik berbasis metoda statistik maupun metoda dinamik.

Berlandaskan riset, prakiraan musiman dan ramalan anomali curah hujan dapat dilakukan untuk kala waktu beberapa bulan bahkan hingga 1 tahun kedepan. Tingkat kesalahan prakiraan bergantung pada persistensi bulanan dan variasi lokal serta kesahihan

suatu model. Tanpa terkecuali, perbaikan diharapkan berkesinambungan. Namun pengembangan dasar pengetahuan sistem iklim kadang kala lamban dan dapat mengakibatkan kesalahan tindak penanggulangan bencana akibat munculnya kondisi iklim ekstrim. Kesalahan itu dapat terjadi di tingkat pengambil kebijakan, peneliti dan masyarakat.

Mengingat bahwa masalah aplikasi klimatik sektoral umumnya berkaitan dengan kawasan berukuran beberapa kilometer saja, maka upaya mensimulasikan dan memprediksi iklim kawasan tersebut membutuhkan model-model iklim dengan resolusi spasial yang tinggi.

Variabilitas dan perubahan iklim dapat mempengaruhi produksi pangan, ketersediaan air suatu wilayah, lingkungan dan kesehatan manusia. Dalam penelitian ini yang ingin dibuktikan adalah apakah model iklim, model penyebaran polusi udara dan model tanaman sudah sesuai dan dapat diaplikasikan secara langsung untuk wilayah Indonesia ? Dengan demikian harus dilakukan analisis mengenai : Seberapa jauh penyimpangan model-model tersebut dibandingkan dengan hasil observasi, Apakah sudah layak model-model tersebut dijadikan dasar untuk kebijakan pembangunan yang berwawasan lingkungan.

Output dan manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah :

- Model iklim yang sudah teruji pada daerah penelitian, sehingga dapat dijadikan sebagai alat untuk digunakan dalam pendugaan kondisi iklim yang akan datang;
- Melengkapi bahan-bahan dasar kebijakan dalam program perencanaan baik yang berkaitan dengan ketahanan pangan, industri, transportasi, tata ruang, ketersediaan air, lingkungan maupun kesehatan lingkungan.

Berdasarkan data periode panjang, anomali iklim cenderung meningkat intensitas, frekuensi, durasi dan wilayah yang terkena dampaknya. Anomali iklim (El-Nino dan La-Nina) membawa dampak berupa kerusakan dan kerugian pada berbagai bidang. Pada bidang pertanian, anomali iklim menyebabkan penurunan produksi pangan yang cukup signifikan akibat lahan-lahan produktif yang mengalami banjir dan kekeringan. Dampak kekeringan diperkirakan akan terus beruntun dan berulang di waktu mendatang dengan intensitas dan frekuensi yang makin meningkat. Indikatornya sangat jelas, karena sampai saat ini hampir belum ada upaya signifikan untuk meningkatkan kemampuan daerah aliran sungai (DAS) dalam menyediakan kemampuan air. Penyebab lain adalah budaya masyarakat yang cenderung merusak hutan dan menutup lahan secara permanen dengan

beton di daerah tangkapan air, adanya pergeseran musim dan akibat sulitnya mengubah budidaya petani.

Dampak anomali iklim yang demikian luas serta sulitnya melakukan antisipasi dini, menuntut penanganan secara terencana. Agar kegiatan analisis iklim tidak hanya bersifat evaluasi saja, maka hal utama yang perlu ditingkatkan akurasi dan determinasinya adalah teknik prakiraan curah hujan. Meskipun pekerjaan ini tergolong sangat sulit, namun langkah awal yang telah dilakukan adalah analisis regresi terbobot antara curah hujan dengan suhu muka laut. Hasil penelitian menunjukkan prakiraan curah hujan memiliki akurasi yang cukup baik pada musim kemarau dan akurasi yang lebih baik pada pola hujan monsunal dibanding pola hujan ekuatorial dan lokal, dan belum mampu memprediksi pada kondisi hujan eksepsional (ekstrim), serta pada daerah yang memiliki keragaman yang tinggi dalam musim (*inter-seasonal*). Pada tahun 2003 pengembangan prakiraan iklim dilakukan dengan Teknik Kalman Filter yang dapat memilih prakiraan dengan fitting yang terbaik dan dapat melakukan updating prakiraan segera (*online forecasting*) dengan data aktual.

Selanjutnya untuk menyusun langkah antisipasi dan mendeseminasikan hasil prakiraan iklim, Departemen Pertanian membentuk Kelompok Kerja Antisipasi Anomali Iklim yang melibatkan berbagai instansi terkait seperti Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Institut Teknologi Bandung (ITB), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) baik yang ada di Jakarta maupun Bandung, dan Institut Pertanian Bogor (IPB) dan instansi terkait eselon I Departemen Pertanian yang diketuai Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kelompok ini melaksanakan pertemuan periodik untuk memantau perkembangan dan prakiraan iklim global, menentukan awal musim hujan dan kemarau, serta usulan teknologi antisipasinya. Hasil prakiraan tersebut kemudian disebarluaskan kepada berbagai instansi terkait untuk segera ditindaklanjuti.

Busuioc dkk. (2001) menyebutkan berbagai masalah yang muncul dalam proses validasi model iklim. Salah satu kesulitan yang dihadapi dalam proses validasi adalah perbedaan antara skala ruang dalam kotak grid LAM dengan pengukuran dari berbagai titik-titik pengamatan.

Dalam laporan penelitian ini, validasi LAM dilakukan untuk variabel curah daerah Sumatera Barat, Kalimantan Barat, Beberapa daerah di Pulau Jawa, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pendekatan

Anomali iklim cenderung meningkat intensitas, frekuensi, durasi dan wilayah yang terkena dampaknya memerlukan langkah-langkah antisipasi, agar dampak tersebut dapat diminimalkan, melalui : 1) penyesuaian dan 2) modifikasi input untuk menekan resiko. Dalam penelitian ini lebih ditekankan pada penyesuaian terhadap perilaku anomali iklim dengan meningkatkan kemampuan analisis model mensimulasi perilaku iklim dengan kinerja yang lebih baik. Untuk itu ada dua hal yang diperlukan untuk penyelesaian persoalan tersebut, yaitu analisis prakiraan curah hujan menggunakan model dinamis dan model statistic.

2.2. Metodologi

2.2.1. Simulasi Iklim Berbasis Metoda Dinamis

Pengembangan model-model meteorologi dengan teknik *multiple nesting* yang melibatkan model sirkulasi global dan model area terbatas (*limited area model*) untuk memperoleh model meteorologi skala meso dan skala lokal dengan resolusi tinggi dan memadai untuk digunakan sebagai model meteorologi untuk penyebaran polusi udara. Validasi model dilakukan dengan membandingkan luaran model dengan hasil observasi yang diperoleh pada sejumlah titik uji. Hasil perbandingan ini digunakan sebagai pemandu dalam memperbaiki model.

Model Global, divalidasi dengan data Regional, keluarannya : Model Iklim/Meteo Regional; Model regional divalidasi dengan data Indonesia, keluarannya : Model Iklim/Meteo Indonesia; Model Indonesia, divalidasi dengan data Indonesia Bagian Barat, keluarannya : Model Iklim/Meteo Indonesia Bagian Barat, Model Indonesia Bagian Barat di validasi dengan data Sumatera, keluarannya : Model Iklim/Meteo Sumatera.

- * **Set up "Model Global"**
 - Resolusi Ruang : 3.2 O x 5.6
 - Input Data Topografi : National Geographic Data Center (NGDC)
 - Input Data SST : IRI
- * **Set up "Model Regional"**
 - Resolusi Ruang : 125 km x 125 km
 - Input Data Topografi : National Geographic Data Center (NGDC)
 - Input Data SST : IRI
- * **Set up "Model Nasional"**
 - Resolusi Ruang : 50 km x 50 km

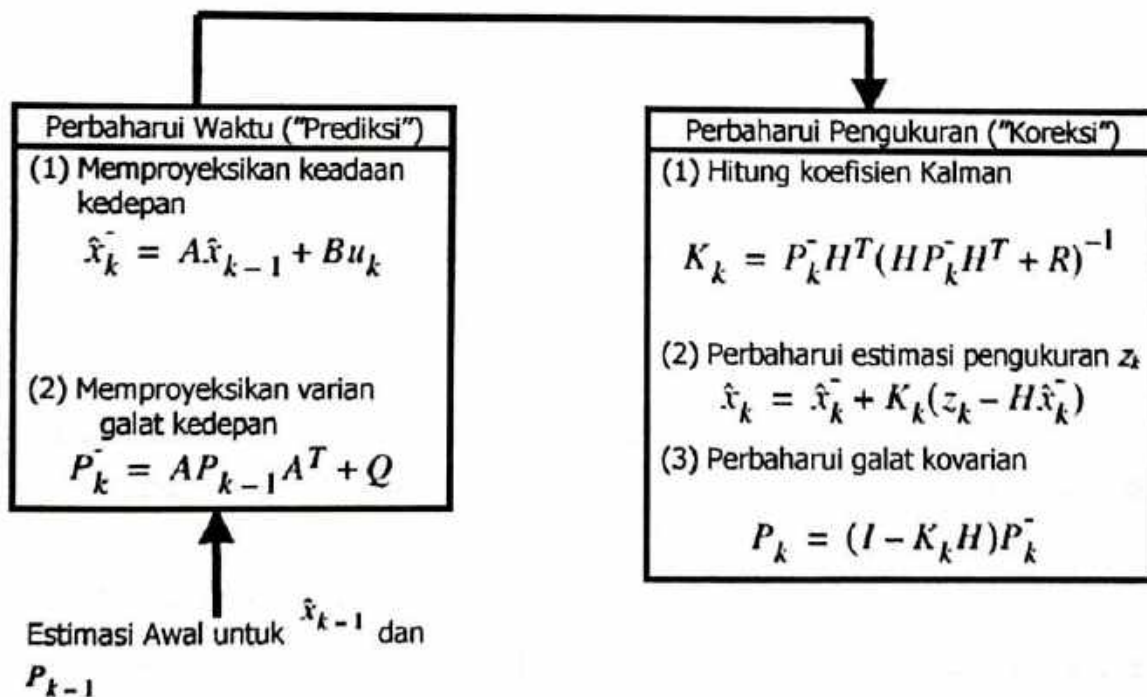
Input Data Topografi	:	National Geographic Data Center (NGDC)
Input Data SST	:	IRI
* Set up "Model Lokal"		
Resolusi Ruang	:	7.5 km x 7.5 km
Input Data Topografi	:	National Geographic Data Center (NGDC)
Input Data SST	:	IRI

2.2.2. Simulasi dan Prediksi Iklim Berbasis Metoda Statistik

2.2.2.1. Analisis Prakiraan Curah Hujan Menggunakan Teknik Kalman Filter

Penelitian dilaksanakan di stasiun iklim lingkup Badan Litbang Pertanian di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi Tenggara dan Nusa Tenggara Timur yang diharapkan lebih mudah mendapatkan data *real time*..

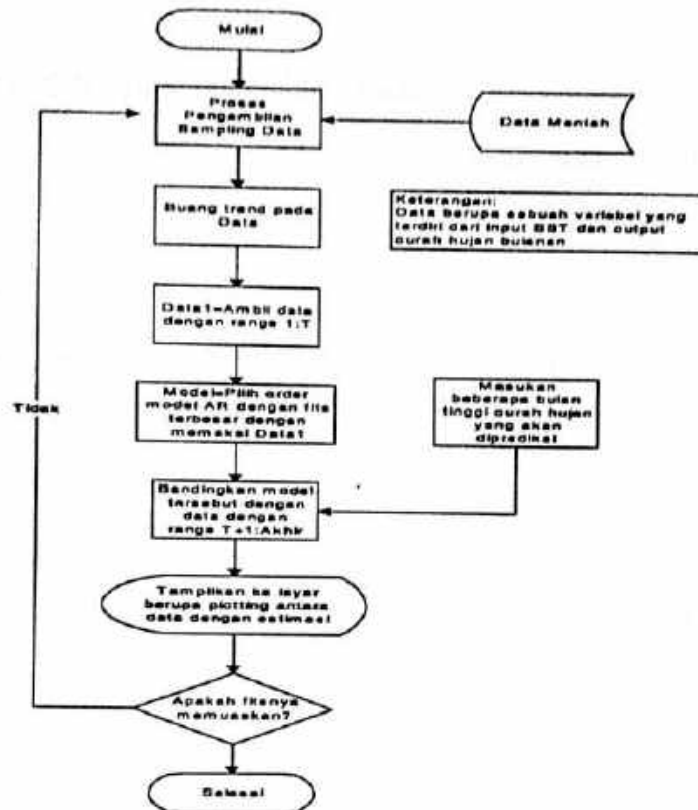
Kalman filter mengembangkan model prakiraan statistik autoregressive menggunakan teknik recursive dalam mengintegrasikan data pengamatan terbaru ke dalam model untuk meng-update prediksi sebelumnya dan melanjutkan prediksi selanjutnya, sesuai dengan hukum Markov (Brookner, 1998). Tahapan analisis Kalman Filter disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan analisis Kalman filter

Dari gambar diatas dapat diketahui, Persamaan prediksi waktu menghitung estimasi keadaan dan estimasi covarians ke depan dari waktu k-1 ke langkah k. Tahap pertama di

persamaan update pengukuran adalah menghitung Kalman gain, K_k , langkah selanjutnya mengukur proses untuk mendapatkan z_k , dan kemudian menghasilkan sebuah estimasi posteriori dengan menggabungkan pengukuran di persamaan galat kovarian dan persamaan koefisien Kalman. Langkah terakhir adalah mendapatkan sebuah persamaan estimasi posteriori error covarians. Setelah itu kembali ke persamaan estimasi keadaan dan seterusnya.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pendugaan Hujan dengan Kalman Filter

2.2.2.1. Analisis Prakiraan Curah Hujan Menggunakan Teknik ANVIS

Sebelum ANFIS dibahas ada beberapa pengertian yang perlu diklarifikasi lebih dahulu, yaitu:

2.2.2.1.1. Himpunan Samar

Berbeda dengan himpunan klasik yang memiliki batas yang tajam dan secara tegas membedakan antara 'anggota' dan 'bukan anggota' himpunan, maka himpunan samar tidak memiliki batas yang tajam dan memberi kemungkinan adanya transisi dari 'anggota' ke 'bukan anggota' secara gradual yang dinyatakan dalam bentuk 'fungsi keanggotaan' (FK).

Jika X adalah kumpulan obyek x , maka himpunan samar A dalam X didefinisikan sebagai himpunan pasangan:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

dimana $\mu_A(x)$ disebut sebagai fungsi keanggotaan untuk himpunan samar A . FK berfungsi untuk memetakan setiap elemen dari X pada suatu tingkat keanggotaan antara 0 dan 1, dengan demikian keunikan suatu himpunan samar ditentukan oleh FK.

2.2.2.1.2. Nomenklatur yang digunakan dalam FK

Support himpunan samar adalah himpunan semua titik x dalam X sedemikian sehingga $\mu_A(x) > 0$:

$$\text{Support}(A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\}$$

Sedangkan *core* himpunan samar A adalah himpunan semua titik x dalam X sedemikian sehingga $\mu_A(x) = 1$:

$$\text{core}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 1\}$$

Suatu himpunan samar disebut *normal* apabila *core* bukan himpunan kosong, itu berarti kita akan selalu menemukan satu titik $x \in X$ sedemikian sehingga $\mu_A(x) = 1$.

Crossover point suatu himpunan samar A adalah titik $x \in X$ pada mana $\mu_A(x) = 0.5$:

$$\text{Crossover}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 0.5\}$$

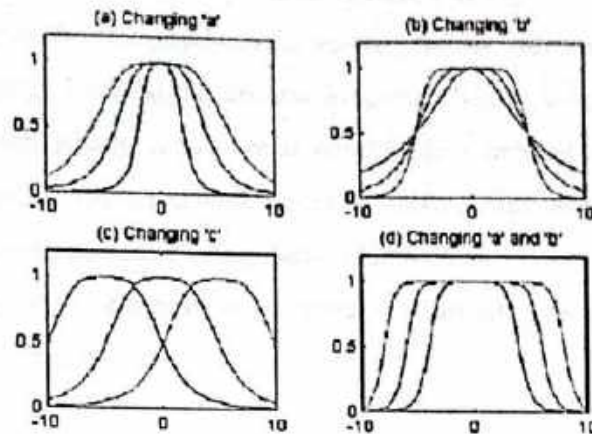
2.2.2.1.3. FUNGSI KEANGGOTAAN (FK)

Seperti yang telah dikemukakan diatas bahwa FK memetakan tingkat keanggotaan setiap elemen suatu himpunan, maka perlu diekspresikan dalam bentuk matematik. Dalam tesis ini hanya akan dikemukakan 2 bentuk FK yaitu 'generalized bell' dan 'sigmoidal'.

2.2.2.1.4. FK GENERALIZED BELL

FK generalized bell ditentukan oleh 3 parameter, yaitu $\{a, b, c\}$ dengan bentuk:

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + |((x - c)/a)^{2b}|}$$



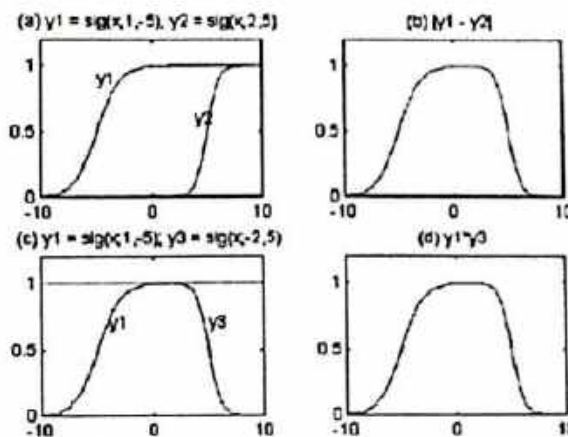
Gambar 3. Efek perubahan parameter pada FK bell (a) perubahan parameter a ; (b) perubahan parameter b ; (c) perubahan parameter c , dan (d) perubahan parameter a dan b secara simultan, tetapi dengan mempertahankan perbandingan antara tetap konstan.

2.2.2.1.5. FK SIGMOIDAL

FK sigmoidal didefinisikan oleh:

$$\text{Sig}(x;a,c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x-c)]}$$

dimana a adal pengontrol kemiringan pada titik crossover $x = c$.



Gambar 4. (a) Dua fungsi sigmoidal y_1 dan y_2 ; (b) FK tertutup diperoleh dari $|y_1 - y_2|$; (c) dua fungsi sigmoidal y_1 dan y_3 ; (d) FK tertutup diperoleh dari $y_1 * y_3$.

Dalam laporan ini, penulis menggunakan FK 'psigmf' yang merupakan FK sigmoidal tertutup model (d), dengan $x = [0:0.2:10]$, parameter (1) = [2 3] dan parameter (2) = [-5 8].

2.2.2.1.6. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive network mengindikasikan suatu struktur network yang terdiri atas sejumlah simpul yang dihubungkan secara langsung. Setiap simpul merepresentasikan suatu unit proses, dan jalinan antar simpul menjabarkan hubungan kasual antar simpul serta arah aliran sinyal. Seluruh simpul adalah adaptive, yaitu sifat input-output simpul ditentukan oleh sejumlah parameter yang dapat dimodifikasi. Aturan dasar 'latihan' adalah metode 'steepest descent', dimana vektor gradien diturunkan secara berurutan dengan menggunakan 'aturan rantai'.

2.2.2.1.7. Fuzzy Inference Systems (FIS)

Fuzzy inference systems adalah proses pemetaan input yang diketahui ke output dengan menggunakan logika samar. Dalam proses pemetaan dilibatkan FK, operator logika samar, dan aturan 'jika-maka'. Dibawah ini diberikan operator logika samar dan contoh aturan 'jika-maka' yang digunakan dalam proses pemetaan.

A	B	min(A,B)	A	B	max(A,B)	A	1-A
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		
AND			OR			NOT	

Contoh Operasi Logika Samar

Himpunan samar dan fuzzy operator merupakan subyek dan kata kerja dari logika samar, tetapi untuk memanfaatkannya perlu ditambahkan pernyataan kondisional 'jika-maka'.

Bentuk pernyataan kondisional fuzzy tunggal adalah:

Jika x adalah A maka y adalah B

Dimana A dan B adalah nilai linguistik yang didefinisikan oleh himpunan samar pada X dan Y . Bagian ' x adalah A ' pada aturan 'jika-maka' disebut 'antecedent', sementara bagian ' y adalah B ', disebut 'consequent'

Model fuzzy Sugeno merupakan model untuk mengembangkan pendekatan sistematis guna membuat aturan fuzzy dari himpunan data 'input-output' yang diketahui. Tipe aturan fuzzy dalam model fuzzy Sugeno mempunyai bentuk:

Jika x adalah A dan y adalah B maka $z = f(x,y)$

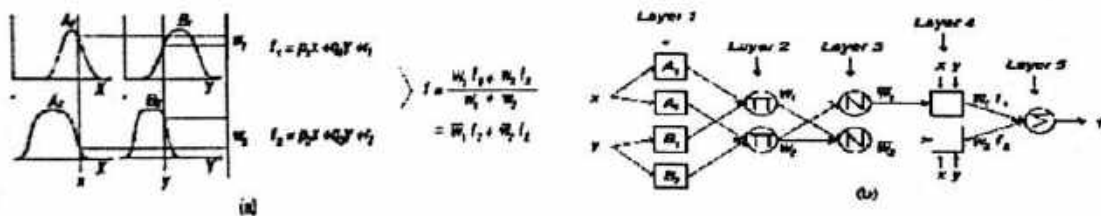
dimana A dan B himpunan fuzzy dalam antecedent dan $z = f(x,y)$ adalah fungsi dalam consequent. Pada umumnya $f(x,y)$ adalah polinomial variabel x dan y , tetapi dapat juga sembarang fungsi selama fungsi tersebut dapat menggambarkan luaran dari model dalam daerah fuzzy yang dispesifikasi oleh antecedent. Jika $f(x,y)$ adalah polinomial tingkat pertama, maka hasil fuzzy inference sistem disebut 'model fuzzy Sugeno tingkat pertama'.

2.2.2.1.8. ANFIS

ANFIS tidak lain adalah penggunaan FIS dengan memanfaatkan algoritma backpropagation yang didasarkan pada koleksi data 'input-output' untuk mengaturnya. Cara ini memungkinkan sistem fuzzy untuk 'belajar'. ANFIS hanya dapat digunakan untuk sistem Sugeno dengan pembatasan:

- tipe sistem Sugeno tingkat pertama
- output tunggal diturunkan oleh defuzzifikasi pembobotan rata-rata
- satu pembobotan untuk setiap aturan

Gambar 4. memberikan contoh arsitektur model fuzzy Sugeno dengan 2 aturan¹⁸⁾



Gambar 4. (a) Model fuzzy Sugeno tingkat pertama dua input dengan dua aturan; (b) bentuk arsitektur ANFIS untuk model yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai negara yang terletak di daerah tropis dengan memiliki suhu panas sepanjang tahun, keragaman iklim antar tahun terlihat jelas pada pola dan jumlah hujan yang tidak selalu tetap. Secara nisbi, sebagai negara kepulauan yang terletak di khalistiwa, diantara dua benua dan dua samudra, Indonesia sebenarnya memiliki banyak sumber uap air yang menjadi awan pembawa hujan. Akibat suhu yang selalu panas, atmosfer kita selalu kaya uap air yang secara konveksi selalu bergerak keatas dalam bentuk awan yang akhirnya membentuk hujan. Sayangnya karena kurangnya pemahaman tentang perilaku iklim dan tanggapan yang masih pasif-reaktif serta kurang antisipatif, mengakibatkan kerugian masih terus berulang dan malah semakin membesar.

Pola hujan didaerah tropis sangat dipengaruhi oleh pergerakan angin yang ditentukan oleh posisi bumi terhadap matahari. Wilayah disekitar khatulistiwa yang dipengaruhi oleh konvergensi antar tropis memiliki hujan yang tinggi dengan dua puncak musim hujan. Sedangkan semakin menjauh dari khalistiwa semakin jelas pola hujan musiman yang disebut monsun, dimana pada wilayah dengan pertanian intensif sering terjadi kekurangan air pada musim kemarau. Karena sebagian besar pertanian tanaman semusim terletak diwilayah yang dipengaruhi pola hujan monsun, pengaturan waktu dan pola tanam sangat mempengaruhi keberhasilan usaha pertanian.

Selain beragam antar musim, pola dan jumlah hujan juga beragam antar tahun. Akhir-akhir ini semakin akrab ditelinga kita istilah El Niño dan La Niña, dimana terjadi kekurangan atau kelebihan air yang menyebabkan kekeringan dan banjir. Kini semakin dipahami, fenomena ini merupakan fenomena global yang dikendalikan oleh arus laut di Samudra Pasifik (UCAR, 1994). Selain keragaman musiman curah hujan di daerah tropis juga beragam di dalam musim yang juga disebut Madden-Julian Oscillation (MJO). MJO dicirikan oleh pergeseran kearah timur dari peningkatan atau penurunan curah hujan untuk wilayah yang luas terjadi diatas Samudera Hindia sampai Samudera Pasifik. Perubahan curah hujan karena MJO terjadi dalam 30 sampai 60 hari dan terjadi hanya pada tahun-tahun El Niño atau La Niña yang lemah. Pada bulan Januari dan Desember 2001 terdapat hari-hari kering sekitar 10 hari di Jawa Barat yang diperkirakan disebabkan oleh MJO.

Kedua metoda, baik metoda ANFIS maupun Filter Kalman mempunyai kemampuan (potensi) untuk memprediksi iklim. Parameter iklim yang telah diuji coba diprediksi dengan dua metoda ini adalah suhu dan curah hujan.

Tinjauan pustaka menyebutkan bahwa prediksi kekeringan dengan menggunakan ANFIS menunjukkan bahwa kekeringan di Indonesia dapat disebabkan oleh EL Nino dengan intensitas yang kuat, sementara El Nino dengan intensitas rendahpun dapat menyebabkan kekeringan. Hal ini terjadi karena ada faktor lain yang menunjang kekeringan tersebut selain pengaruh El Nino. Pustaka lain menyebutkan bahwa Jaringan Saraf Tiruan (JST) lebih sesuai diterapkan pada prediksi hujan bulanan lokasi pengamatan berupa titik, sedangkan Kaidah Samar lebih cocok untuk prediksi area. Prediksi anomali SST Nino 3.5 memberikan nilai koefisien korelasi sebesar 0.506 sampai 0.812 dengan menggunakan 30 epoch. Sementara untuk Nino 3.4 diperoleh koefisien korelasi 0.96 – 0.98 dengan menggunakan 2 – 3 fungsi anggota. Metoda Wavelet selain menghasilkan prediksi elemen-elemen iklim juga memberikan informasi periodisitas berbagai proses di atmosfer, misalnya dengan data pembelajaran 10 tahun (1988 – 1998) diperoleh periodisitas curah hujan Jakarta 2-7 tahun, sementara curah hujan Bandung didominasi oleh osilasi tahunan. Untuk daerah lain seperti Manokwari, Menado, Ampenan, Amahai, Medan, Biak dan Jayapura curah hujannya mempunyai osilasi tahunan, osilasi setengah tahunan dan osilasi lima tahunan.

Berikut adalah hasil interpretasi hasil luaran running model prediksi curah hujan metoda ANFIS dan Filter Kalman.

4. Interpretasi dan Analisis

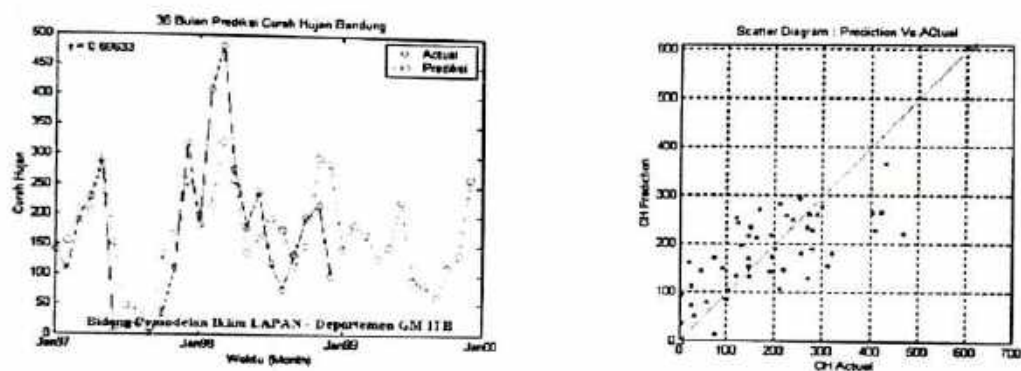
4.1. Interpretasi dan Analisis Prediksi ANFIS

Hasil prediksi Curah hujan menggunakan metoda Artificial Intelegence (ANFIS) dapat dilihat pada gambar 5 sampai dengan gambar 24.

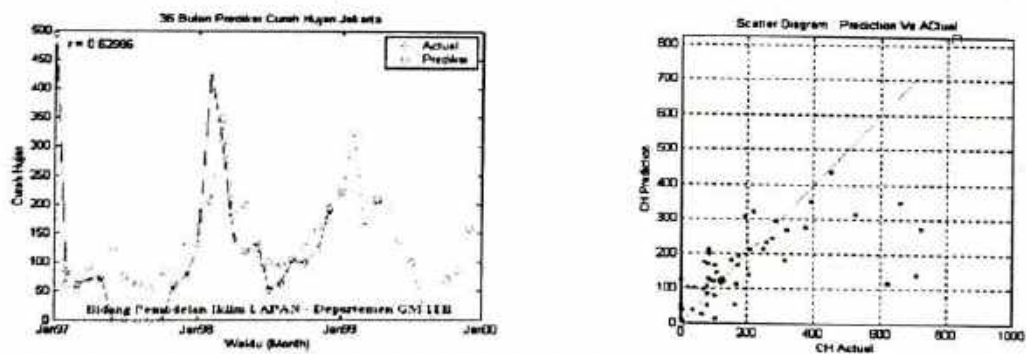
Prediksi curah hujan untuk Bandung menunjukkan nilai korelasi sebesar 0.69633. Pola curah hujan prediksi nampak mengikuti pola curah hujan pengamatan. Scatter diagram nenunjukkan hasil yang masih tersebar sekitar garis keseimbangan. Untuk wilayah Jakarta nilai korelasi curah hujan prediksi dan curah hujan pengamatan lebih kecil dibanding dengan di Bandung (yaitu 0.62986). Sementara itu untuk Denpasar koefisien korelasi sedikit lebih besar dibandingkan untuk Bandung. Namun untuk Gorontalo nilai koefisien korelasi tersebut sangat rendah (0.33886). Kesesuaian yang cukup tinggi terlihat untuk Kota Makassar dan Maros (Sulawesi selatan) dengan koefisien korelasi di atas 0.8. Pada scatter diagram nampak distribusi nilai yang berada disekitar garis setimbang. Untuk Pontianak,

Padang, Balikpapan koefisien korelasinya kurang dari 0.5, sementara Medan korelasinya 0.54919.

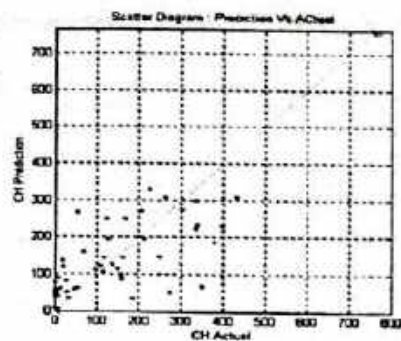
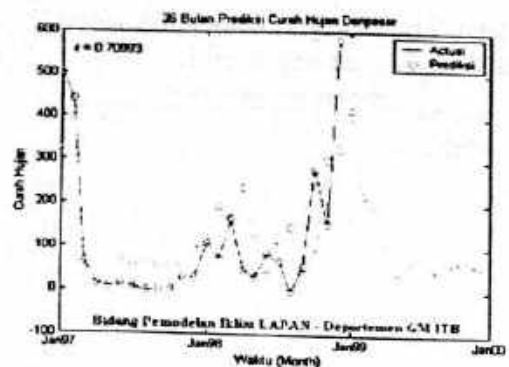
Secara garis besar kesesuaian tinggi antara curah hujan prediksi dan curah hujan pengamatan dapat dibagi menjadi tiga kategori, yang pertama kesesuaian yang relatif tinggi diperoleh untuk wilayah Makassar dan Maros. Yang kedua, kesesuaian yang cukup diperoleh untuk daerah Bandung, Denpasar dan Jakarta. Sementara untuk daerah Gorontalo, Medan, Padang, Pontianak, Balik Papan hasil prediksi dan data pengamatan kurang sesuai. Interaksi proses-proses yang terjadi di daratan dan di lautan nampaknya menghasilkan proses pembentukan awan dan hujan yang tidak sederhana, sehingga prediksi curah hujan untuk wilayah-wilayah ini memerlukan parameter pendukung yang lain.



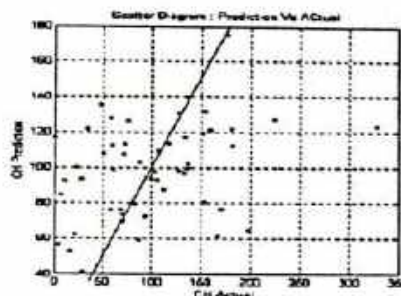
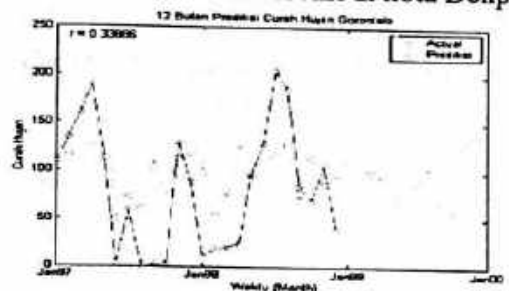
Gambar 5. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Bandung



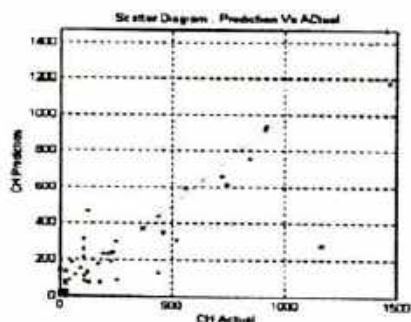
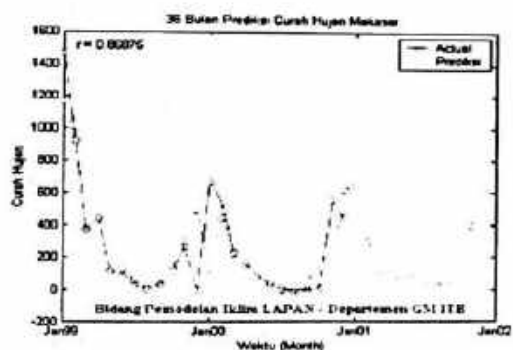
Gambar 6. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Jakarta



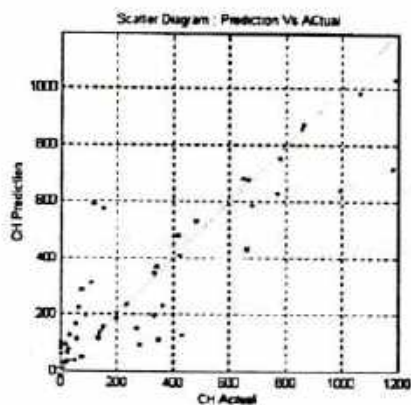
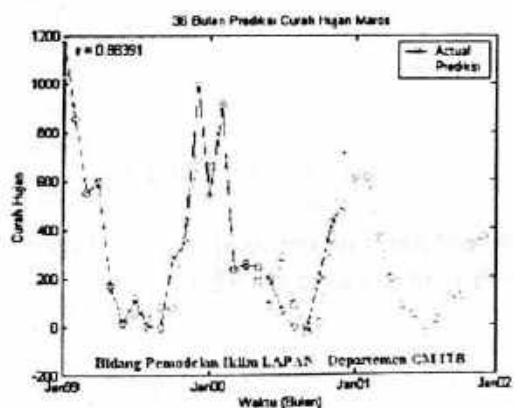
Gambar 7. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Denpasar



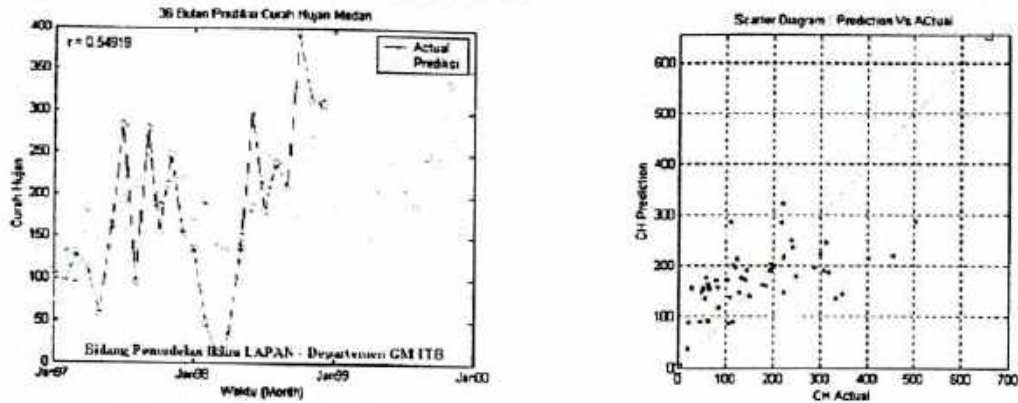
Gambar 8. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Gorontalo



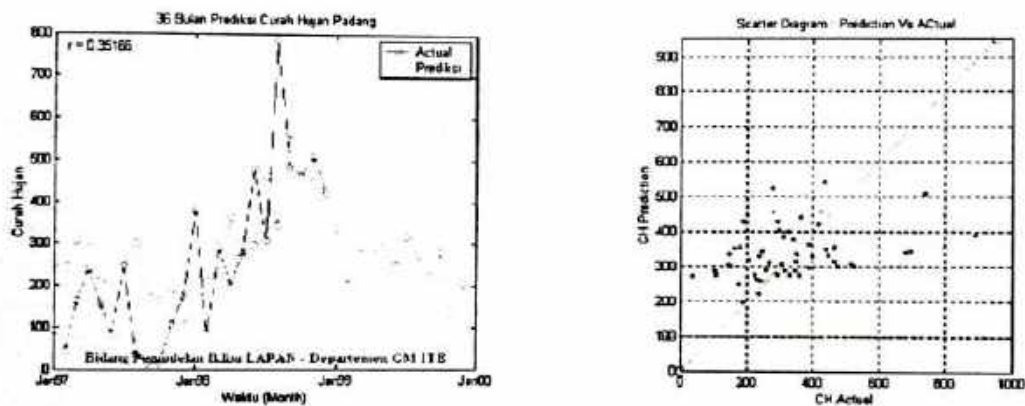
Gambar 9. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Makassar



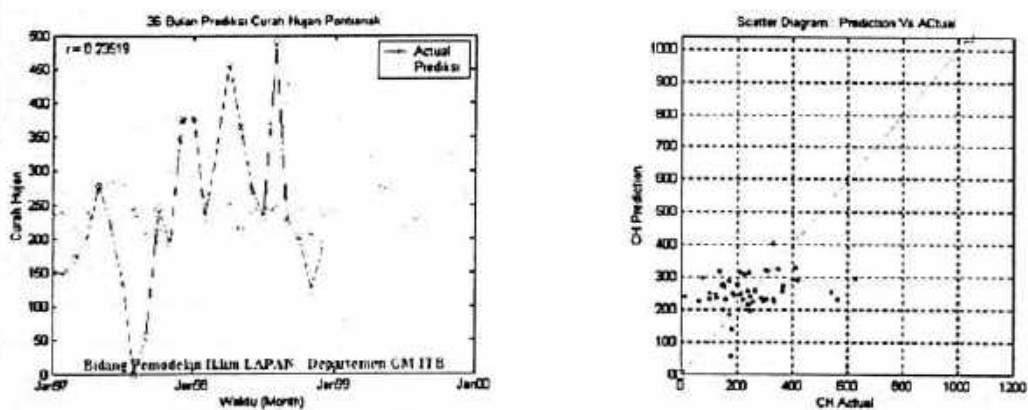
Gambar 10. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Maros



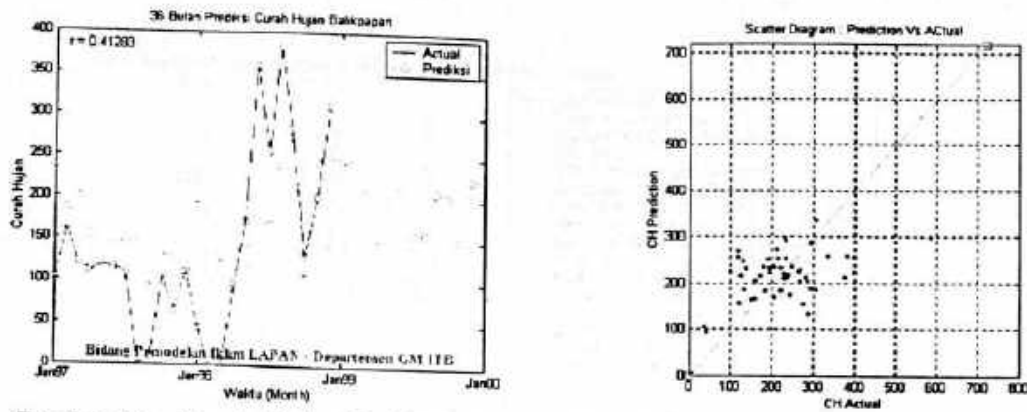
Gambar 11. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Medan



Gambar 12. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Padang



Gambar 13. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Pontianak



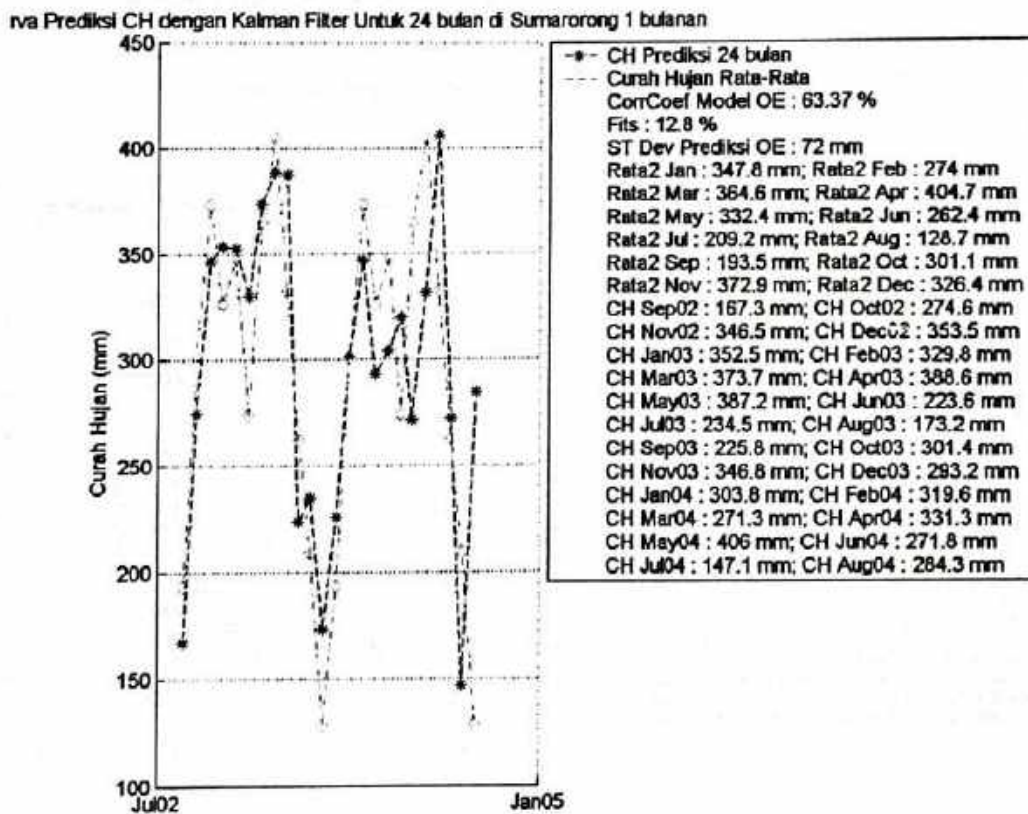
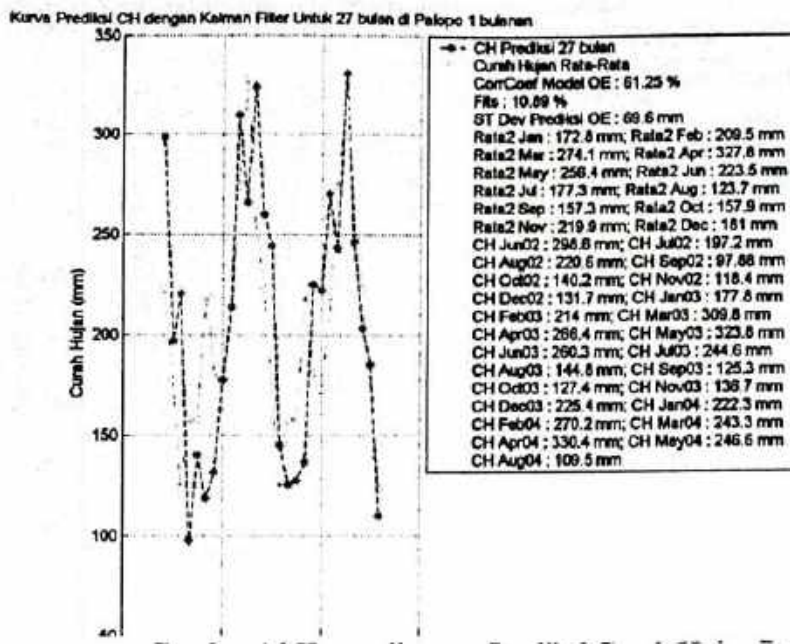
Gambar 14. Curah Hujan Hasil Prediksi dan Observasi serta sebaran nilai prediksi dari nilai observasi di kota Balikpapan

4.2. Interpretasi dan Analisis Prediksi FILTER KALMAN

Propinsi	Daerah	Korelasi Koefisien	Fits / RMS	Standard Deviasi	Probabilitas
Sulawesi Selatan	Mamuju				
	Palopo	61.25 %	10.89 %	69.60 mm	
	Sumarorong	63.37 %	12.80 %	72.00 mm	
Lampung	Pringsewu	77.85 %	20.27 %	72.86 mm	
Pantura	Bondang	80.95 %	23.55 %	122.50 mm	
	Indramayu	73.96 %	25.23 %	60.64 mm	
	Loh Bener	77.26 %	29.98 %	53.30 mm	
Jawa Timur	Ngawi	77.47 %	31.72 %	79.25 mm	
Jawa Tengah	Wonosobo	80.28 %	31.69 %	127.00 mm	
	Karangploso	89.53 %	27.49 %	100.10 mm	
Sumatera Utara	Ketahun				

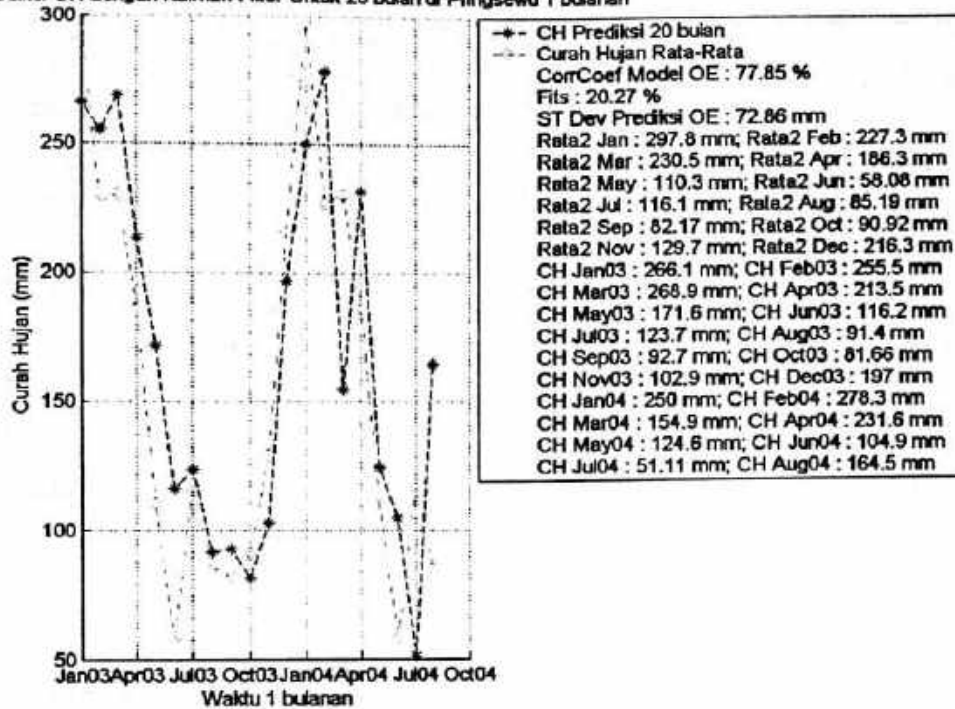
Propinsi	Daerah	Prediksi Feb 04	Prediksi Ma	Prediksi April 04
Sulawesi Selatan	Mamuju			
	Palopo	270.20 mm	243.30 mm	330.40 mm
	Sumarorong	319.60 mm	271.30 mm	331.30 mm
Lampung	Pringsewu	278.30 mm	154.90 mm	231.60 mm
Pantura	Bondang	316.30 mm	248.90 mm	185.80 mm
	Indramayu	149.40 mm	170.00 mm	196.70 mm
	Loh Bener	165.10 mm	163.10 mm	48.05 mm
Jawa Timur	Ngawi	257.10 mm	152.40 mm	156.00 mm
Jawa Tengah	Wonosobo	394.80 mm	394.40 mm	360.10 mm
	Karangploso	274.30 mm	224.60 mm	177.00 mm
Sumatera Utara	Ketahun			

Gambar 15 Korelasi dan prediksi curah hujan berbasis filter Kalman



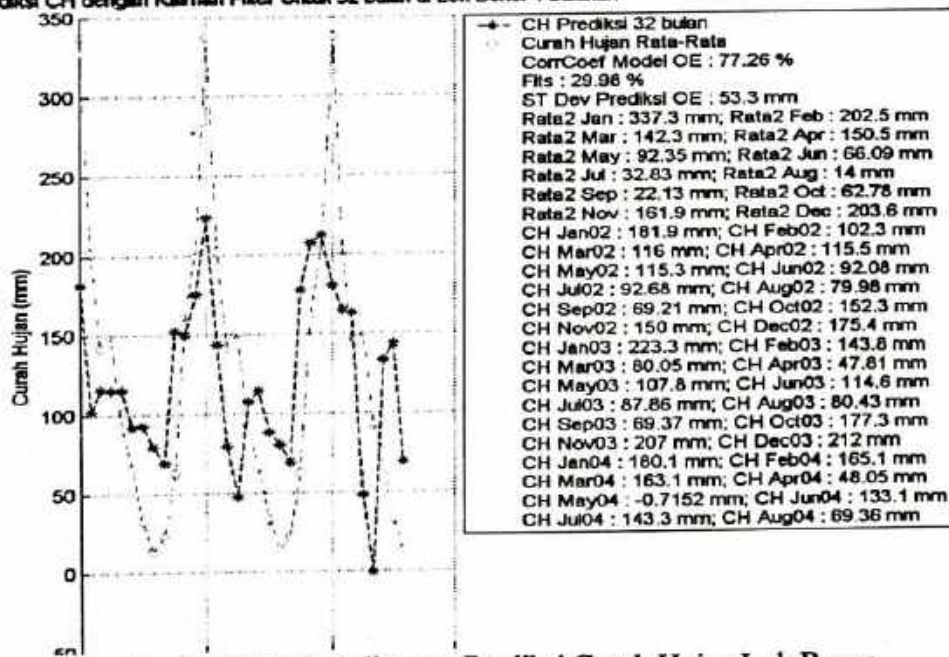
Gambar 17. Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Sumarorong

Jawa Prediksi CH dengan Kalman Filter Untuk 20 bulan di Pringsewu 1 bulanan

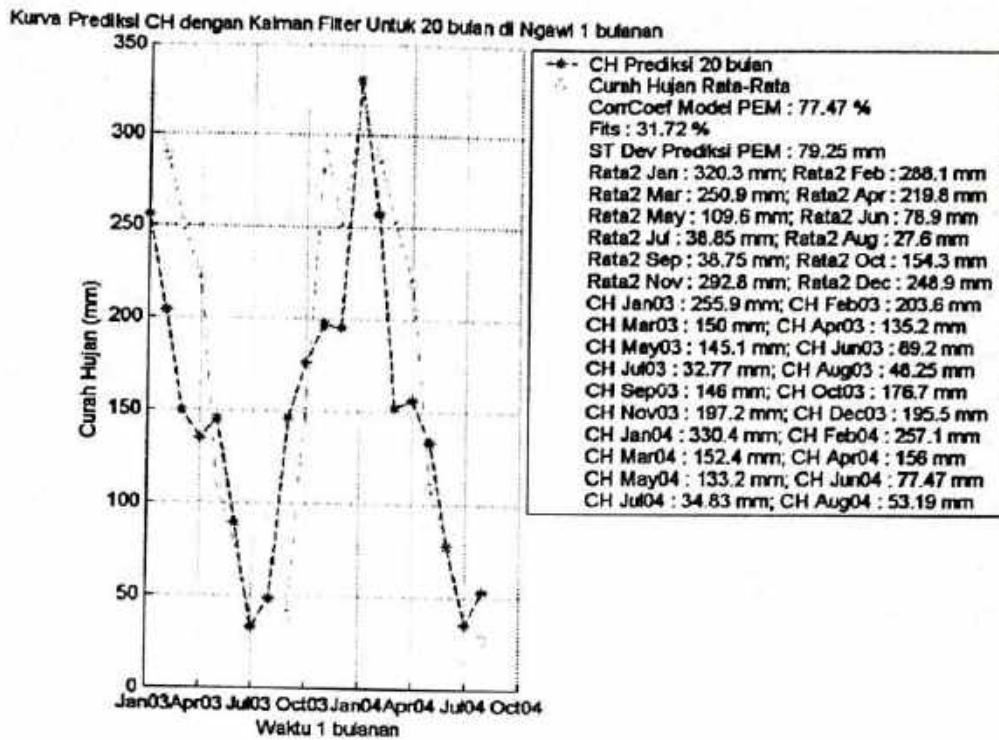


Gambar 16 Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Pringsewu

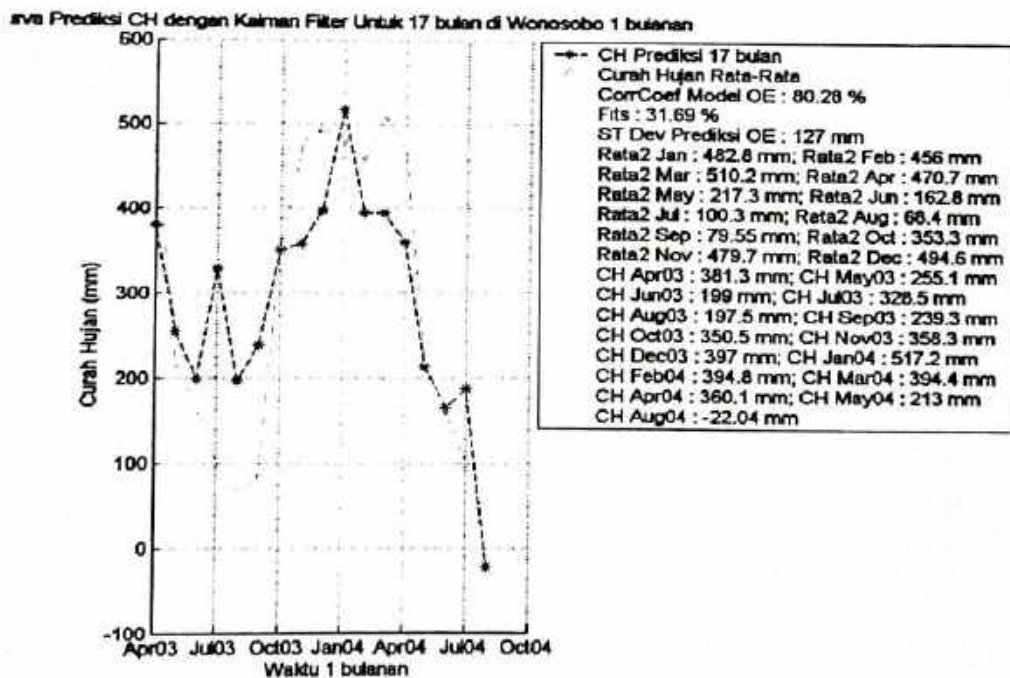
Jawa Prediksi CH dengan Kalman Filter Untuk 32 bulan di Loh Bener 1 bulanan



Gambar 18 Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Loh Bener

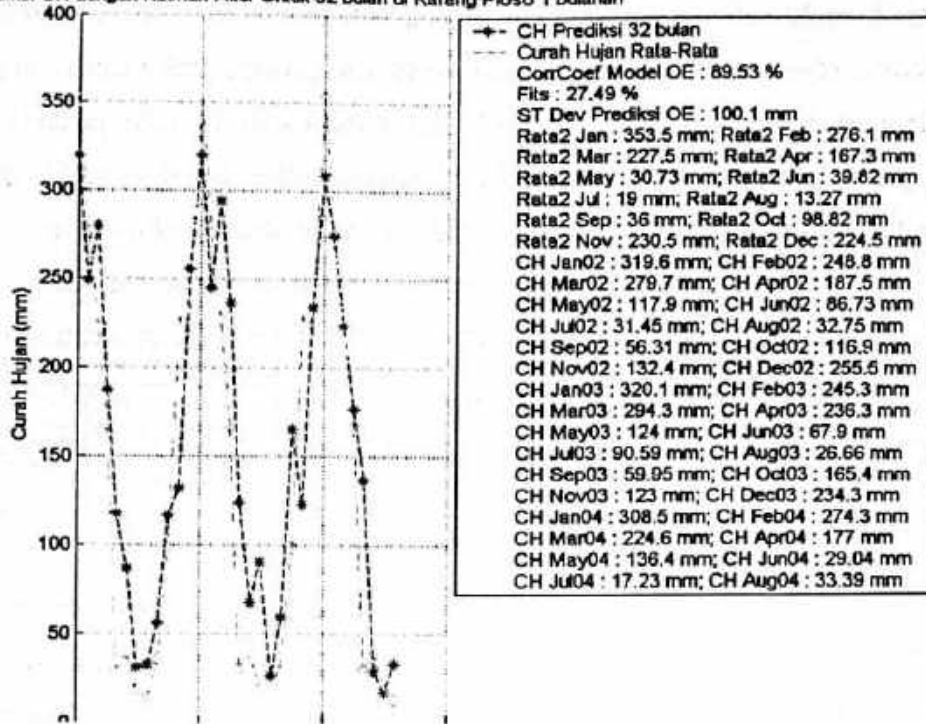


Gambar 19. Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Ngawi



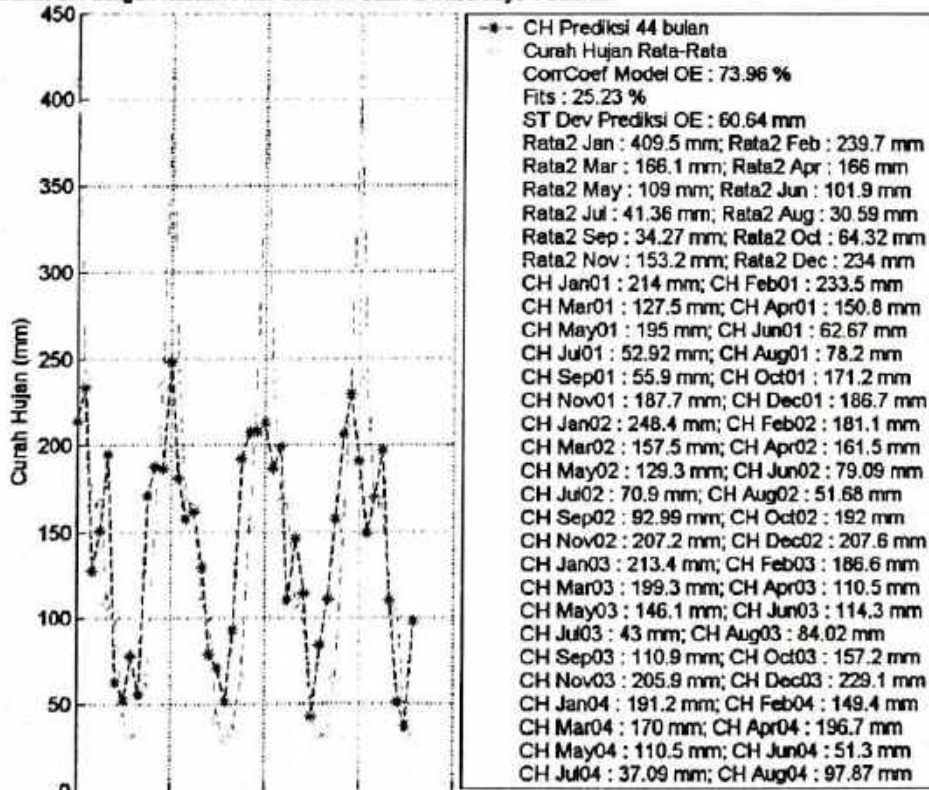
Gambar 16 Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Palopo

va Prediksi CH dengan Kalman Filter Untuk 32 bulan di Karang Ploso 1 bulanan



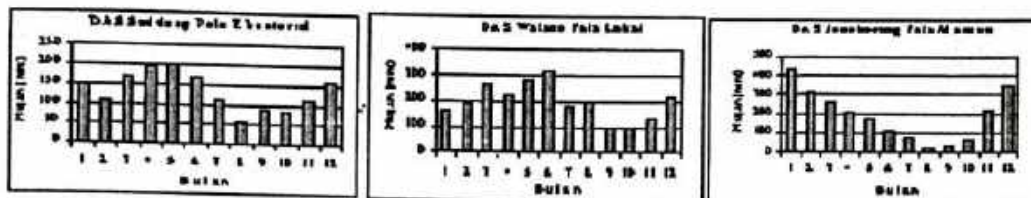
Gambar 20. Kurva diagram Prediksi Curah Hujan Karang Poso

urva Prediksi CH dengan Kalman Filter Untuk 44 bulan di Indramayu 1 bulanan



4.3. Interpretasi dan Analisis Model Area Terbatas (LAM)

Benua maritim Indonesia dilalui oleh garis lintang 0° dan Zona Konvergensi Intertropis (Intertropical Convergence Zone) yang bergerak ke utara dan ke selatan sesuai dengan gerakan semu matahari bolak balik ke garis tropis cancer dan ke garis tropis capricorn. Ekinoks terjadi pada tanggal 21 Maret dan 23 September (Bayong, 2005). Dampak dari ekinoks daerah benua maritim Indonesia memiliki distribusi 3 tipe curah hujan bulanan, yaitu tipe monsun, tipe ekuatorial, dan tipe lokal Gambar 21.



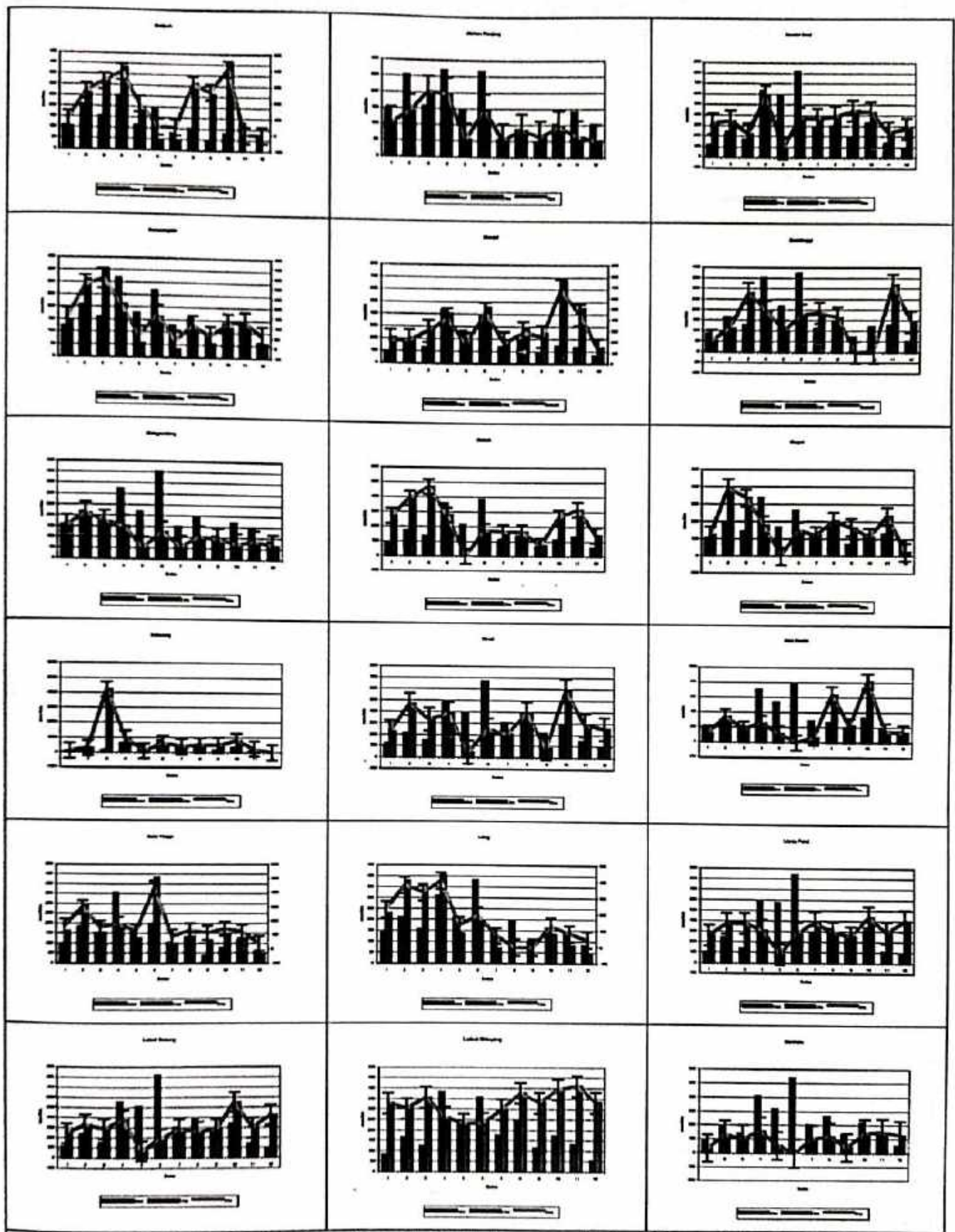
Gambar 21. Tipe Curah hujan Benua Maritim Indonesia

Daerah ekuator menerima energi matahari maksimum, energi ini digunakan untuk menggerakkan atmosfer secara global ke daerah lintang menengah dan lintang tinggi (kutub). Gerak atmosfer global tidak hanya membawa energi panas akan tetapi juga membawa uap air dan zat-zat lain yang mengendalikan cuaca dan iklim.

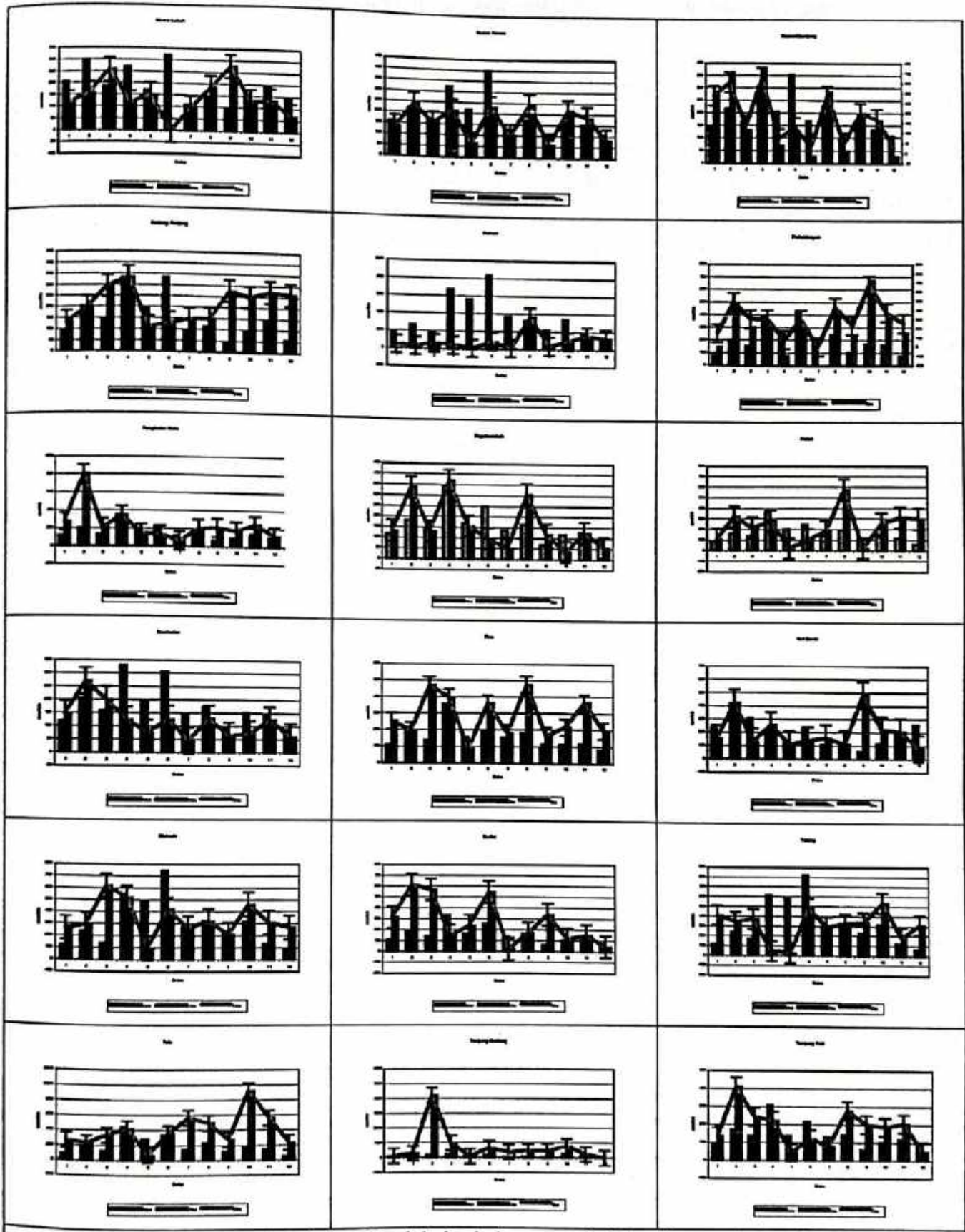
Propinsi Sulawesi Selatan memiliki pola atau tipe hujan sangat beragam. Hasil penelitian tipe hujan yang dilakukan oleh Boerema (1926) dan diperbaharui oleh Badan Meteorologi dan Geofisika dengan menggunakan data selama periode 1961 - 1990 menunjukkan bahwa, di Sulawesi-Selatan terdapat 7 tipe hujan. Berdasarkan ke tujuh tipe hujan tersebut dan faktor yang mengendalikannya, maka pola hujan di Sulawesi-Selatan secara garis besar dapat dibagi dalam tiga pola, yaitu (1) pola ekuatorial, (2) pola monsun dan (3) pola local. Propinsi Sumatera Barat didominasi pola atau tipe hujan tipe lokal.

Kota	Korelasi	Kota	Korelasi	Kota	Korelasi
Batipuh	0.33	Gobah	0.02	Limau Purut	-0.37
Alahan Panjang	0.73	Guguk	0.16	Lubuk Basung	-0.33
Bandar Buat	0.2	Indarung	0.49	Lubuk Sikaping	-0.57
Batu sangkar	0.49	Kinali	-0.007	Maninjau	-0.23
Bonjol	0.31	Koto Kandis	-0.15	Muara Labuh	-0.46
Bukittinggi	0.42	Koto Tinggi	0.46	Muara Panas	0.56
Galogandang	0.34	Laing	0.47	Muara Sijunjung	0.4
Padang Panjang	-0.04	Pangkalan Kuto	0.35	Sel Dareh	0.07
Painan	-0.16	Payakumbuh	0.63	Rao	0.35
Palambayan	0.08	Petok	0.1	Rambatan	0.28
Sicincin	0.13	Talu	0.023	Tanjung Gadang	0.3
Suliki	0.2	Tabing	-0.02	Tanjung Pati	0.27

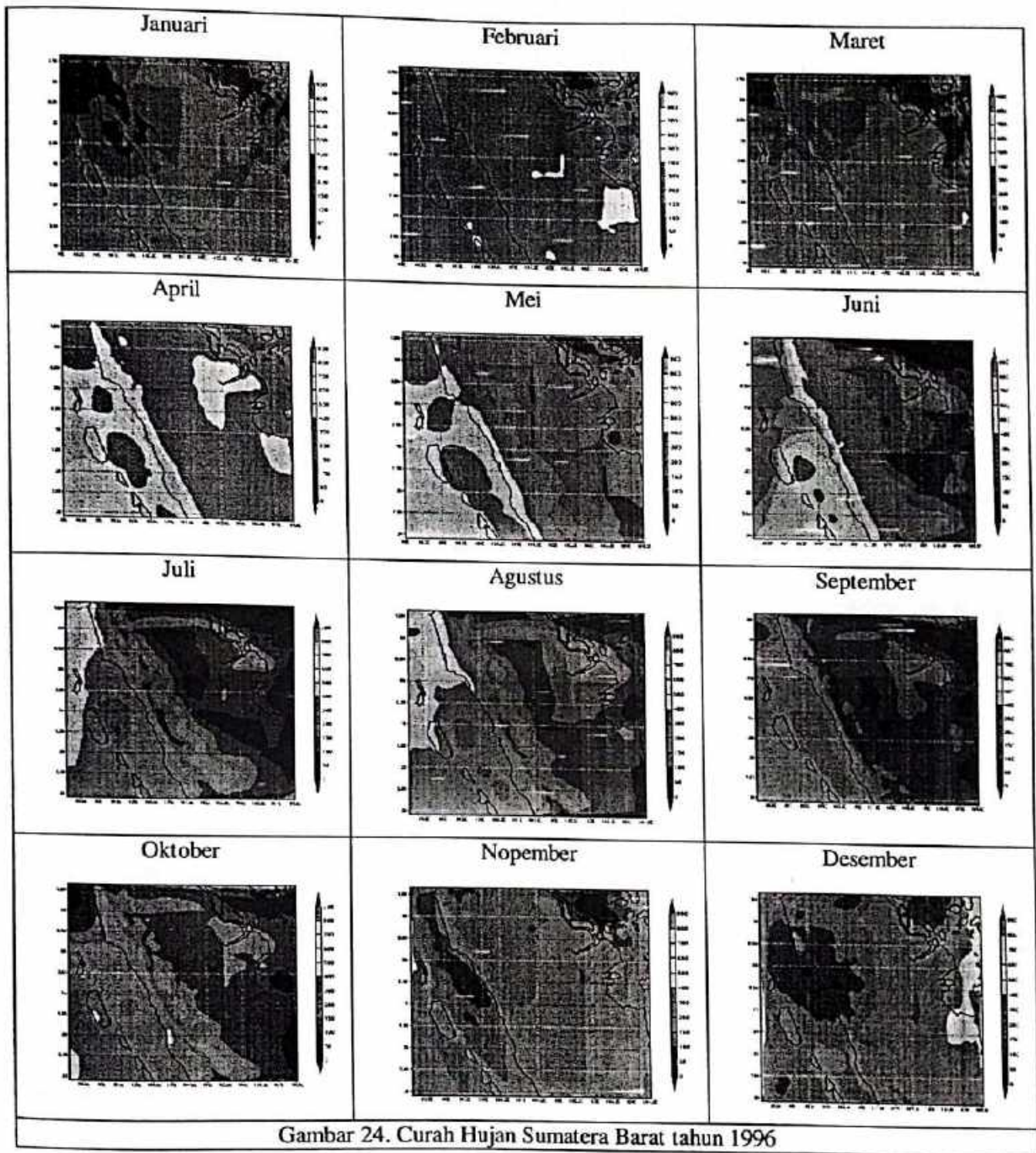
Tabel 1. Korelasi Curah Hujan Berbasis Model Area Terbatas

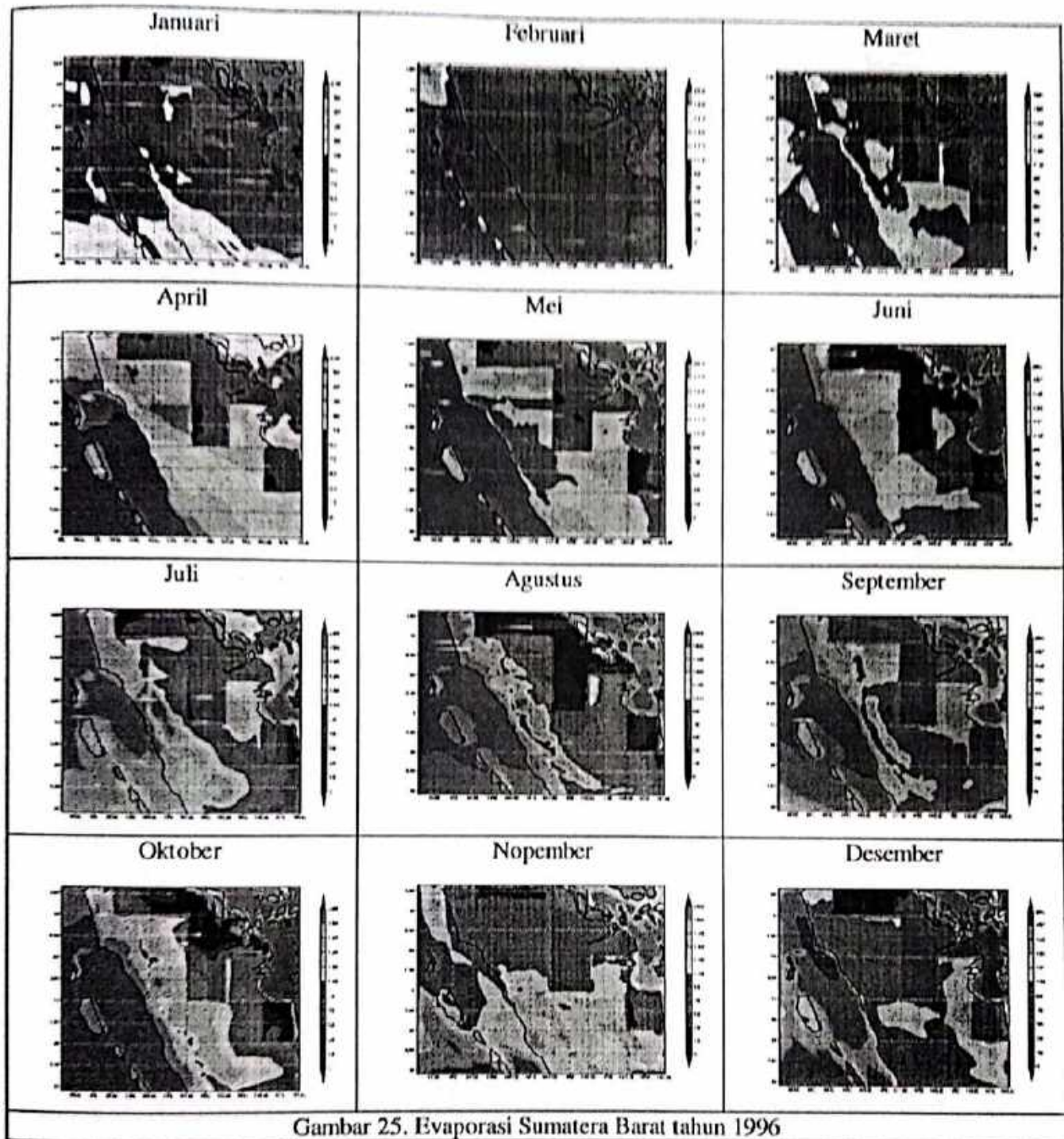


Gambar 22. Perbandingan Curah hujan keluaran model dan Observasi tahun 1996

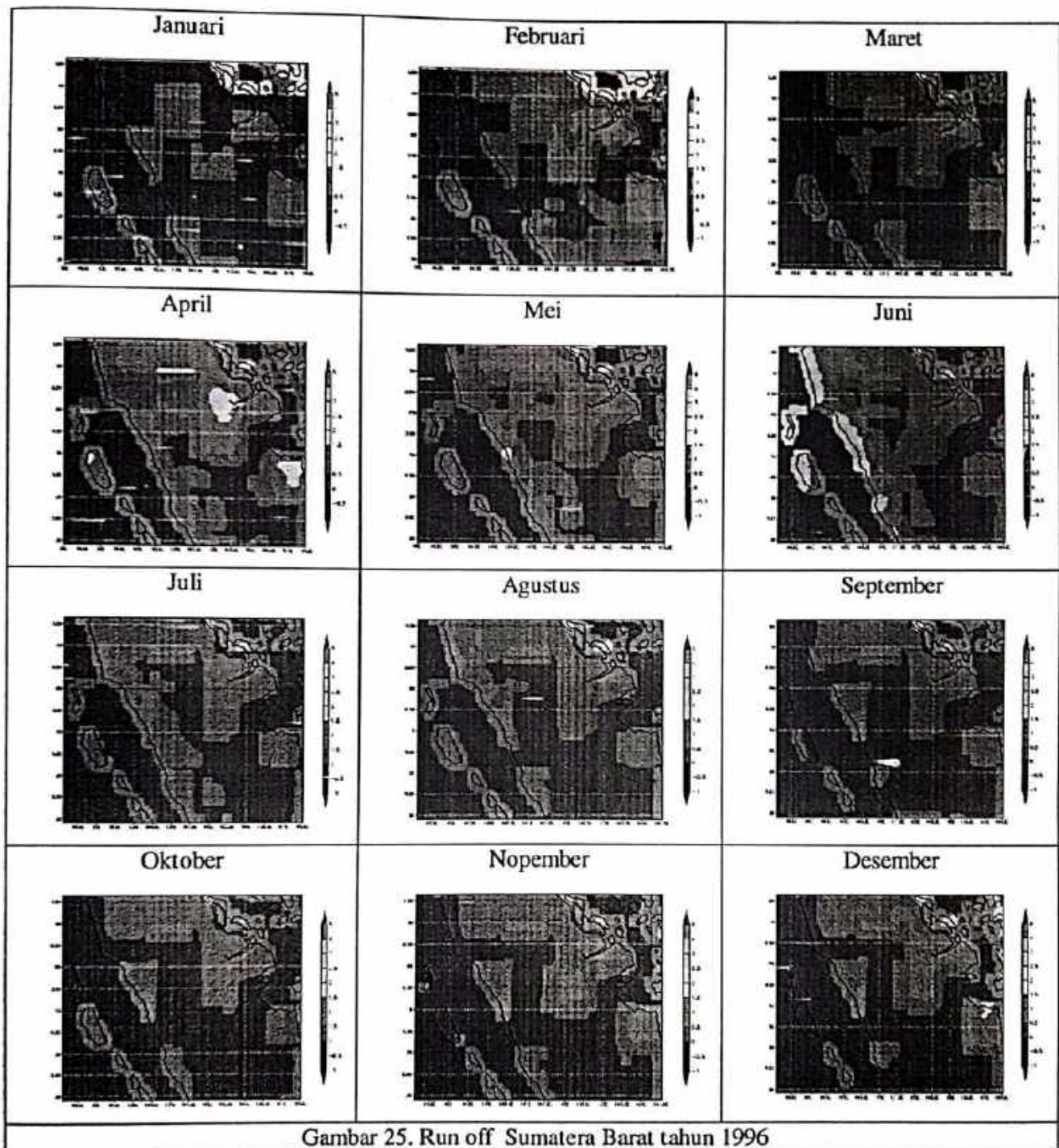


Gambar 23. Perbandingan Curah hujan keluaran model dan Observasi tahun 1996

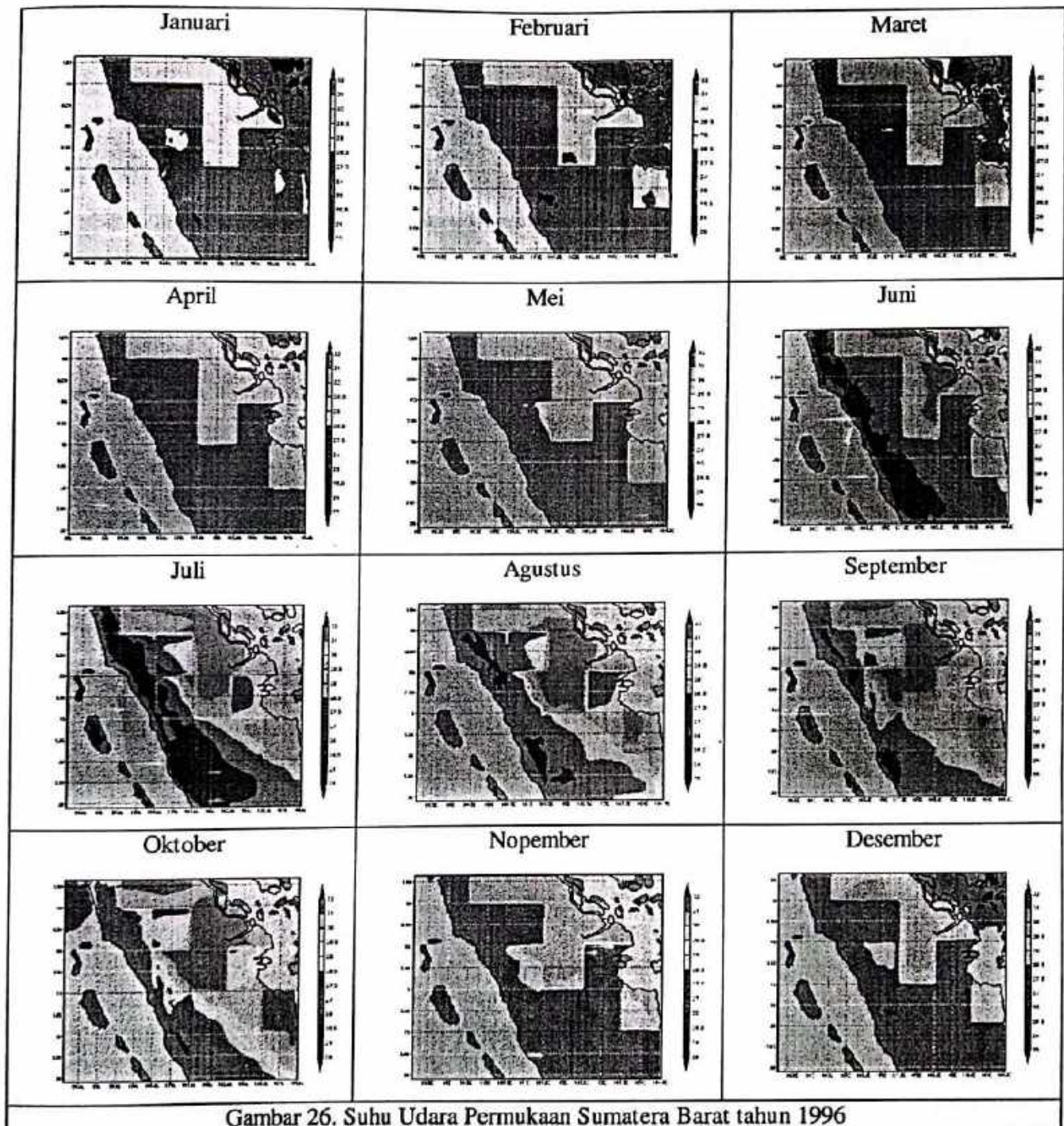




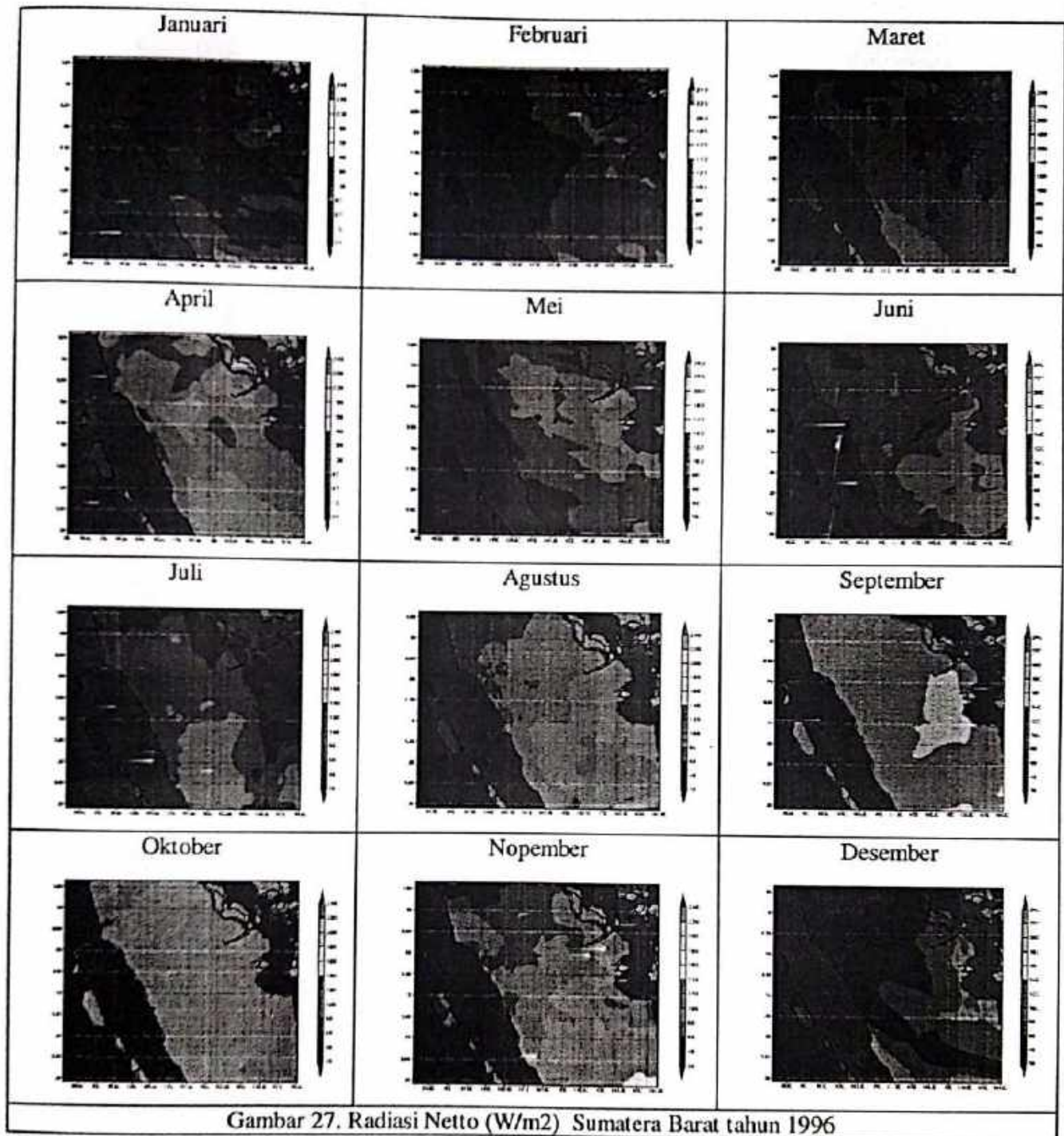
Gambar 25. Evaporasi Sumatera Barat tahun 1996



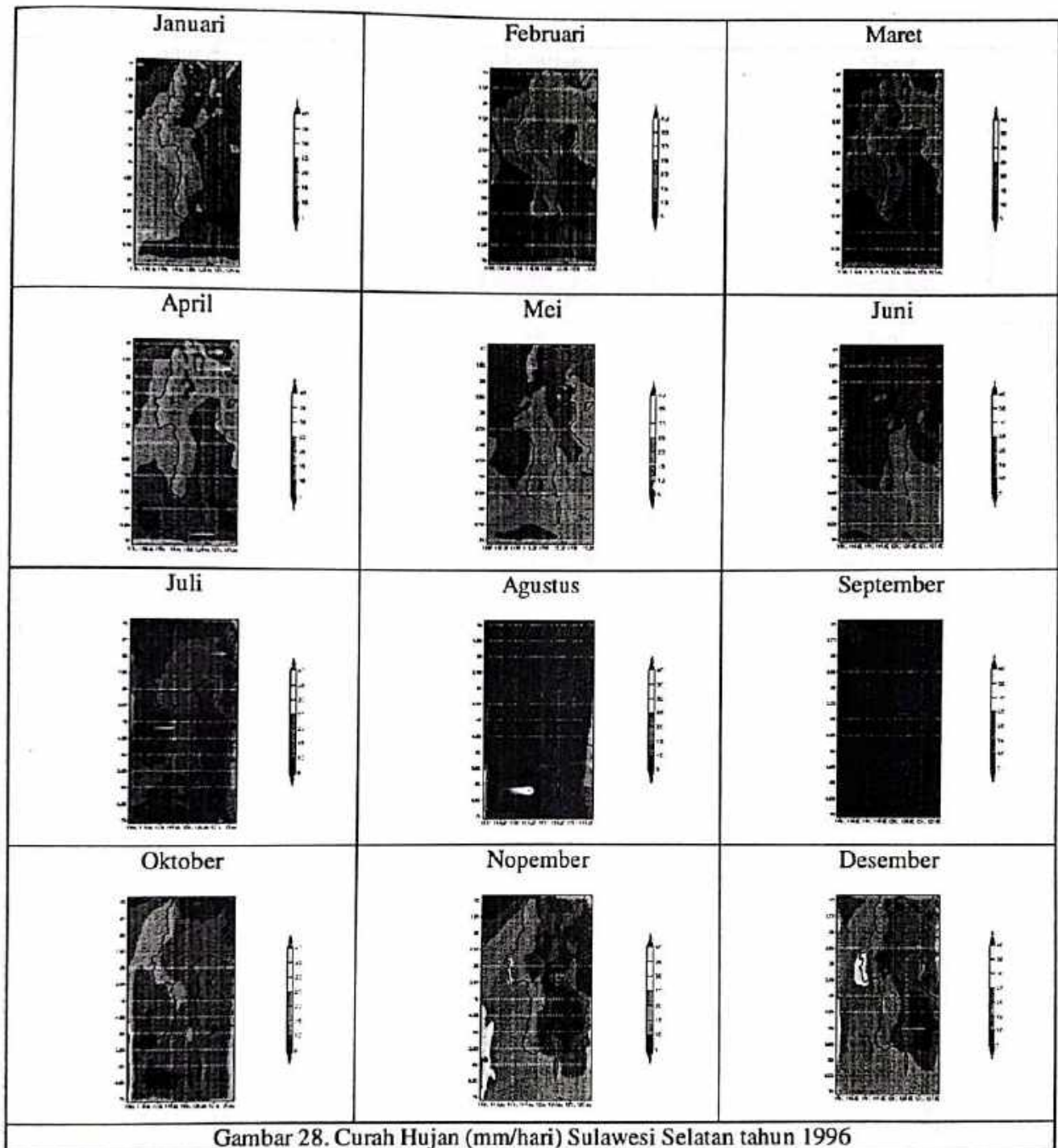
Gambar 25. Run off Sumatera Barat tahun 1996

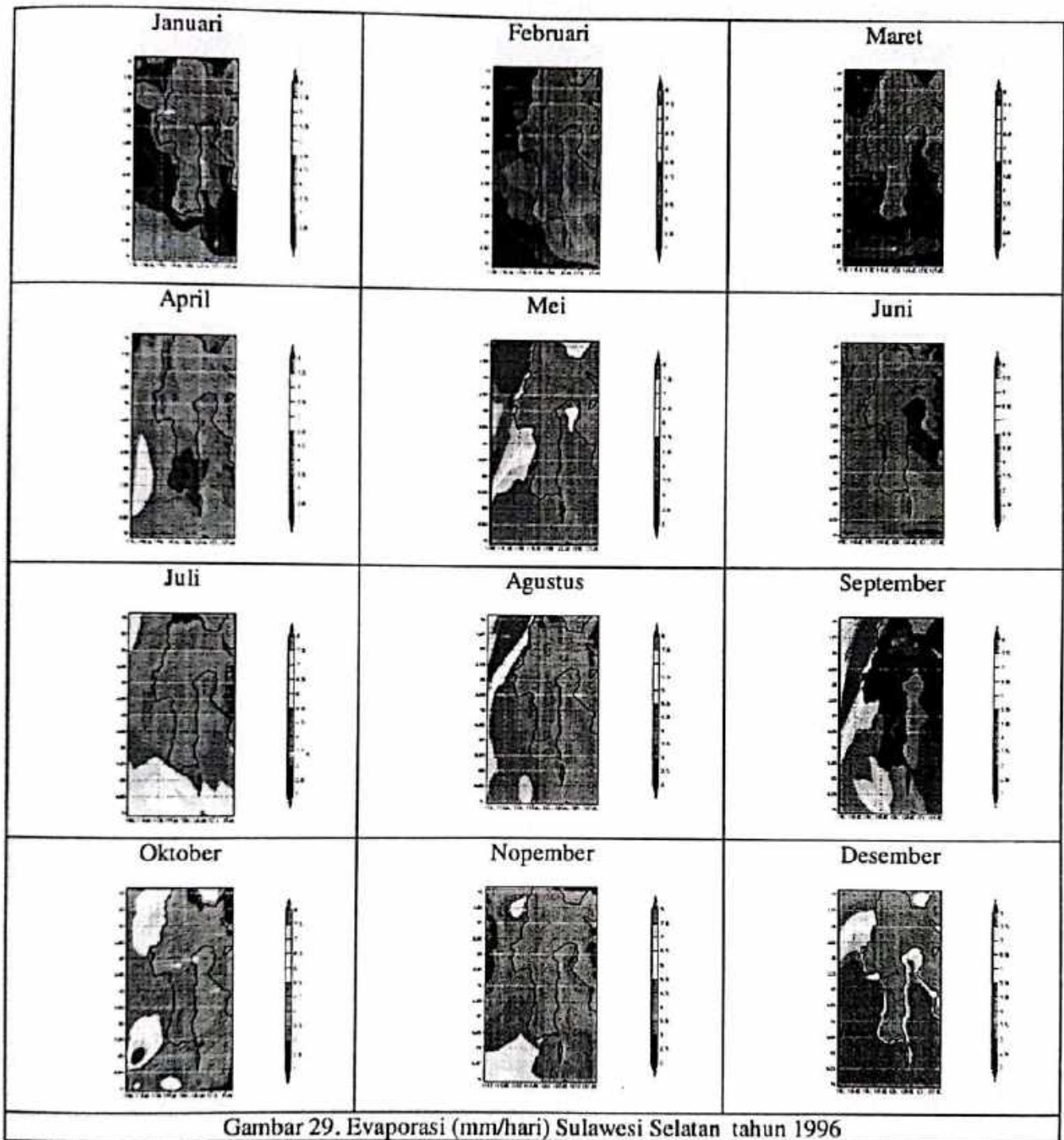


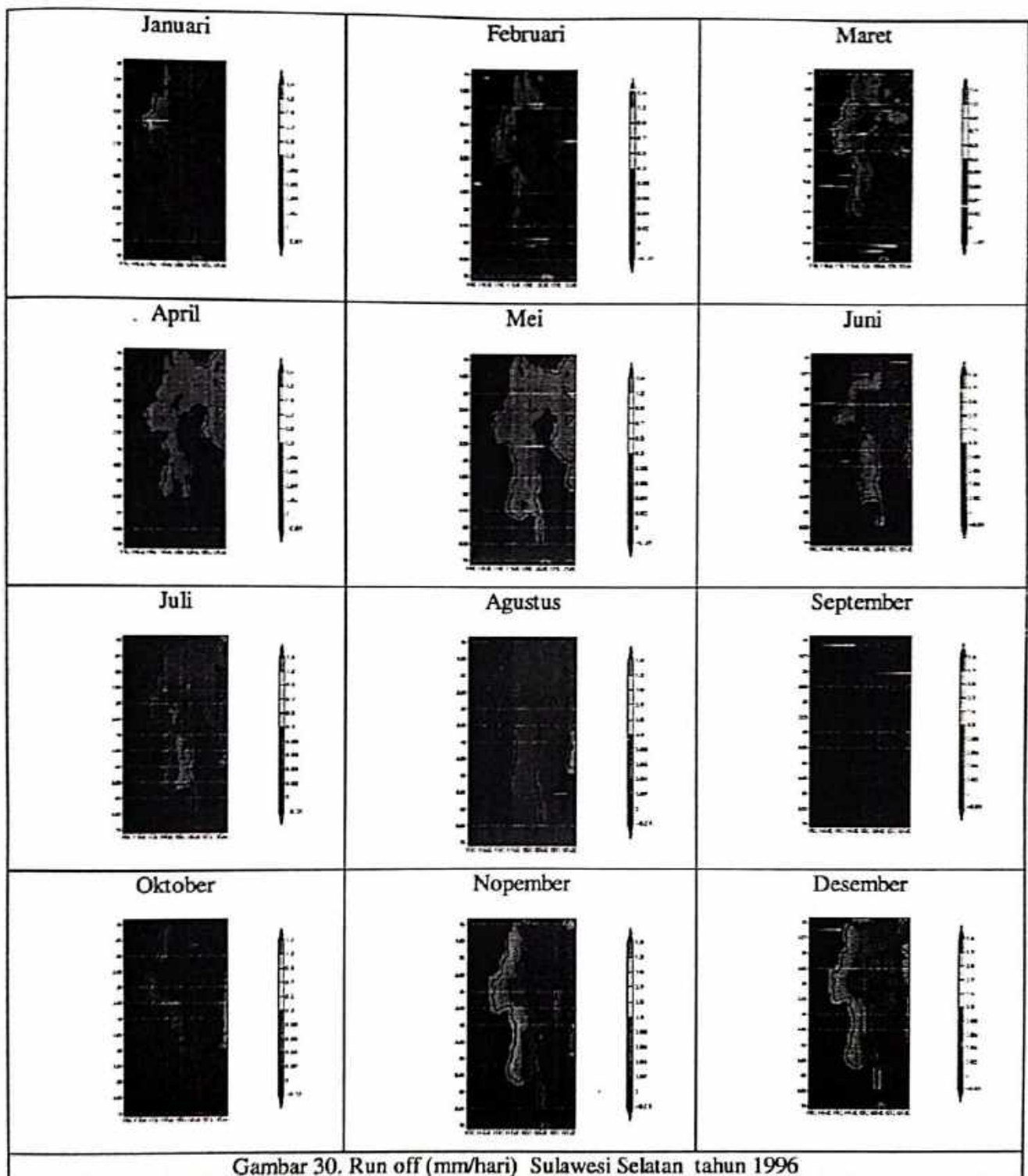
Gambar 26. Suhu Udara Permukaan Sumatera Barat tahun 1996

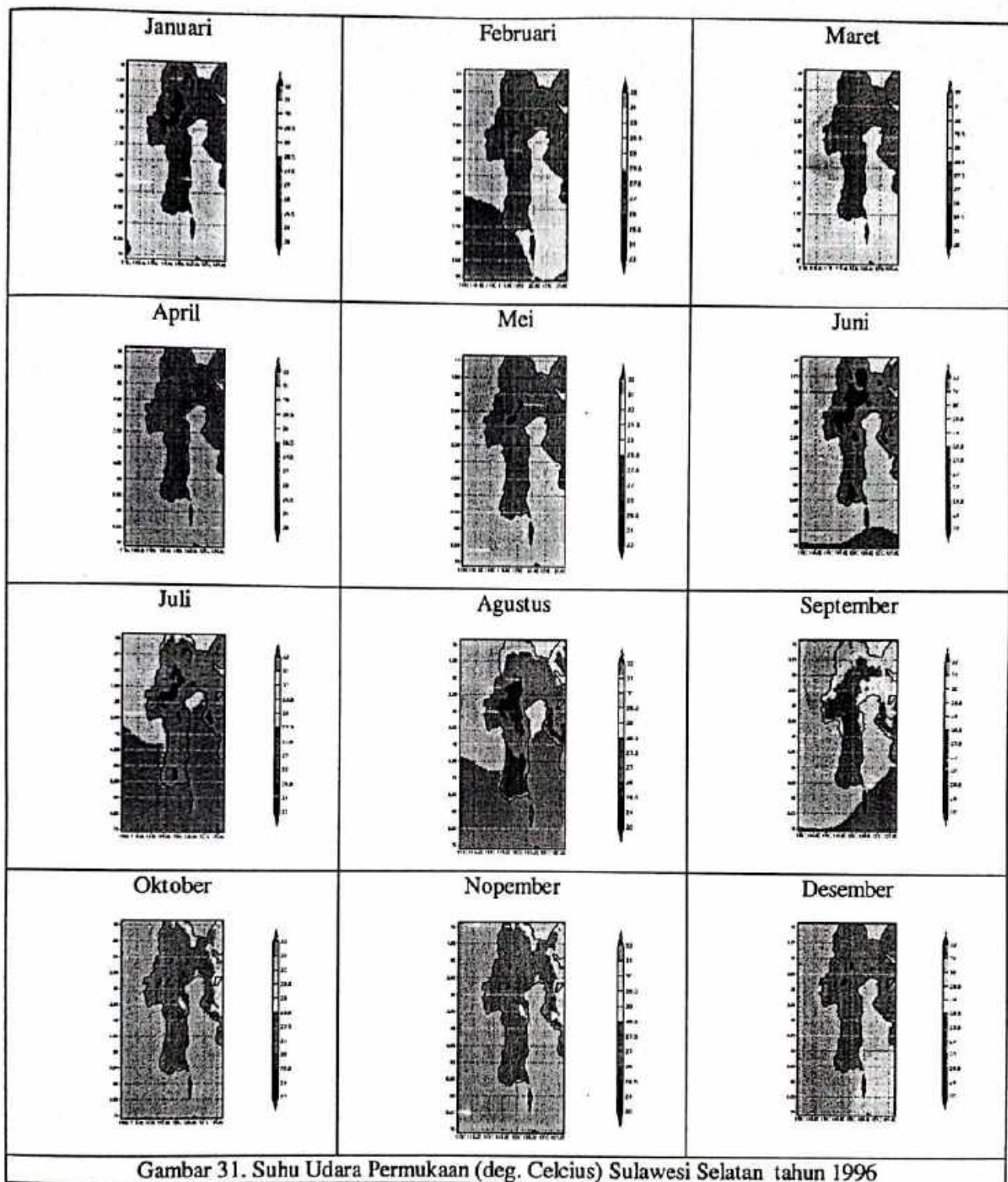


Gambar 27. Radiasi Netto (W/m²) Sumatera Barat tahun 1996



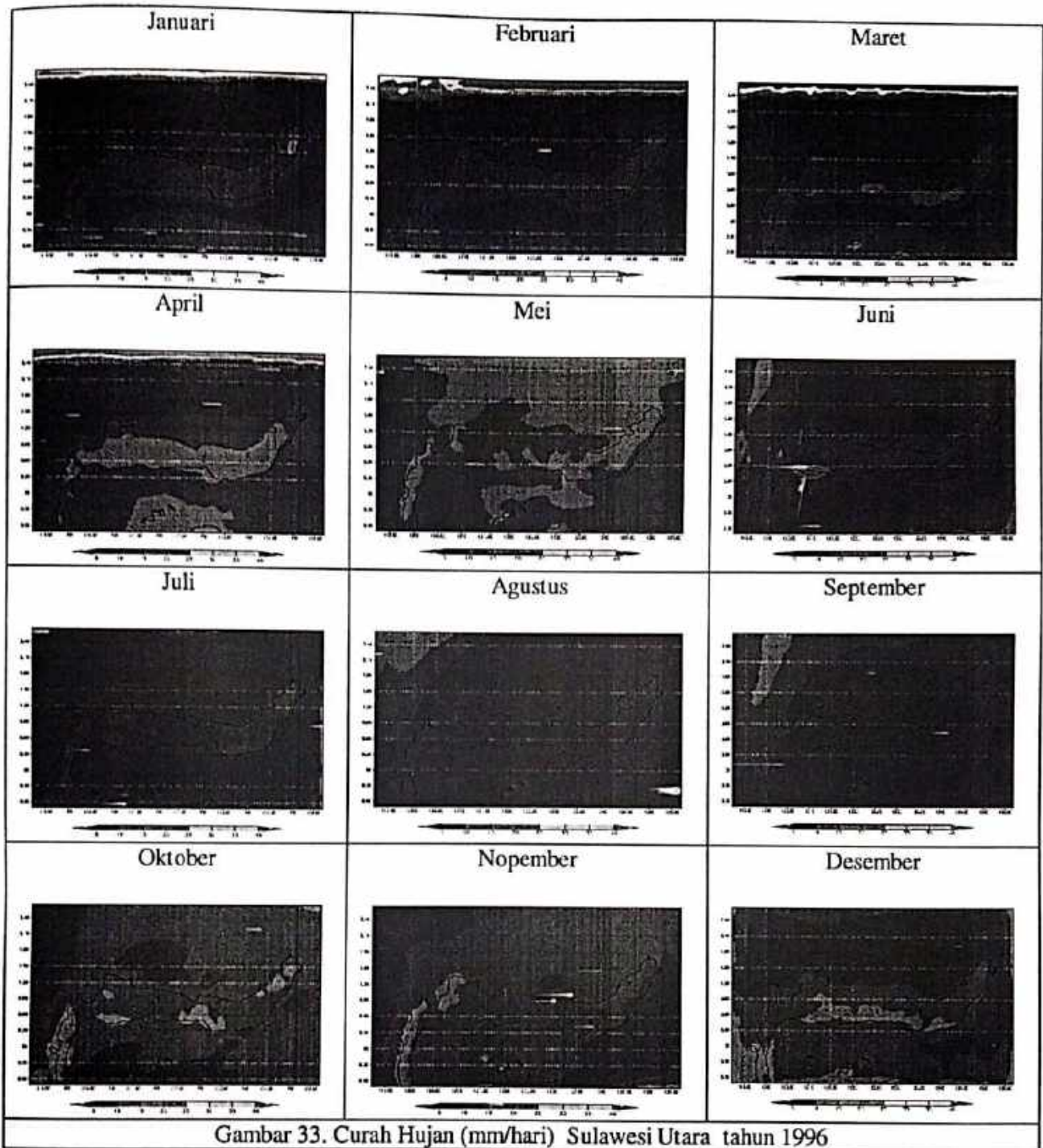


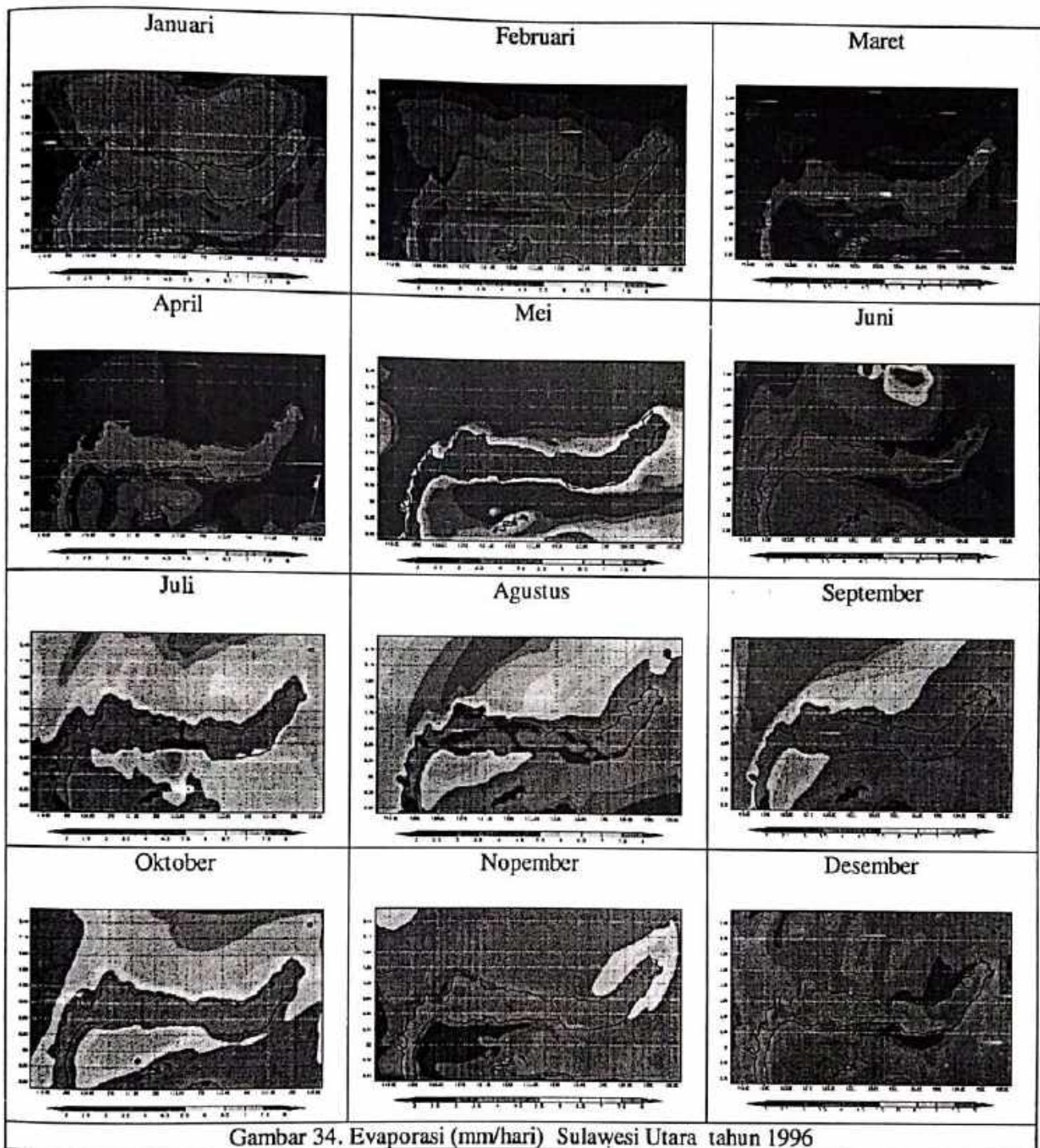




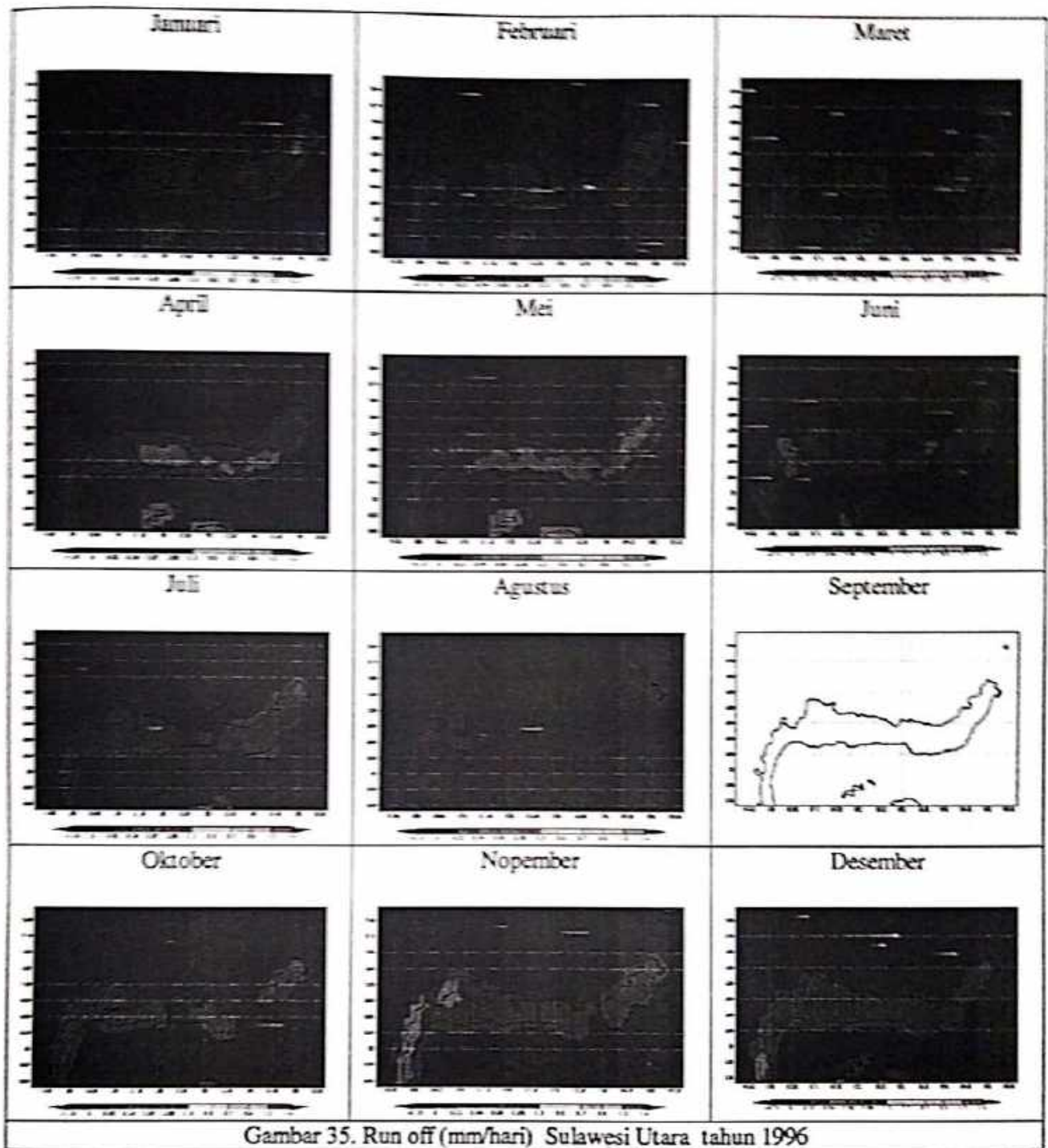


Gambar 32. Radiasi Netto W/m²) Sulawesi Selatan tahun 1996

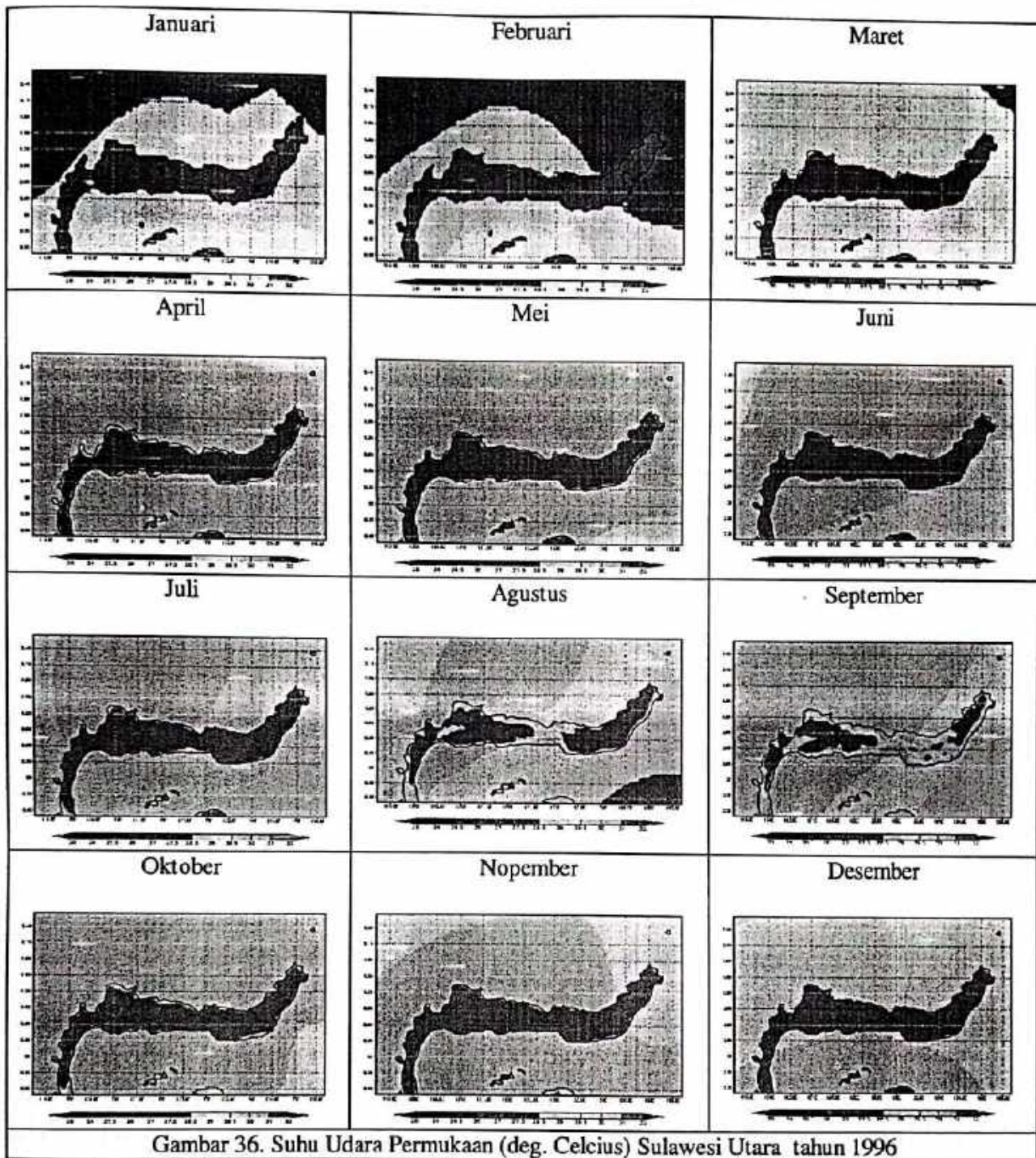


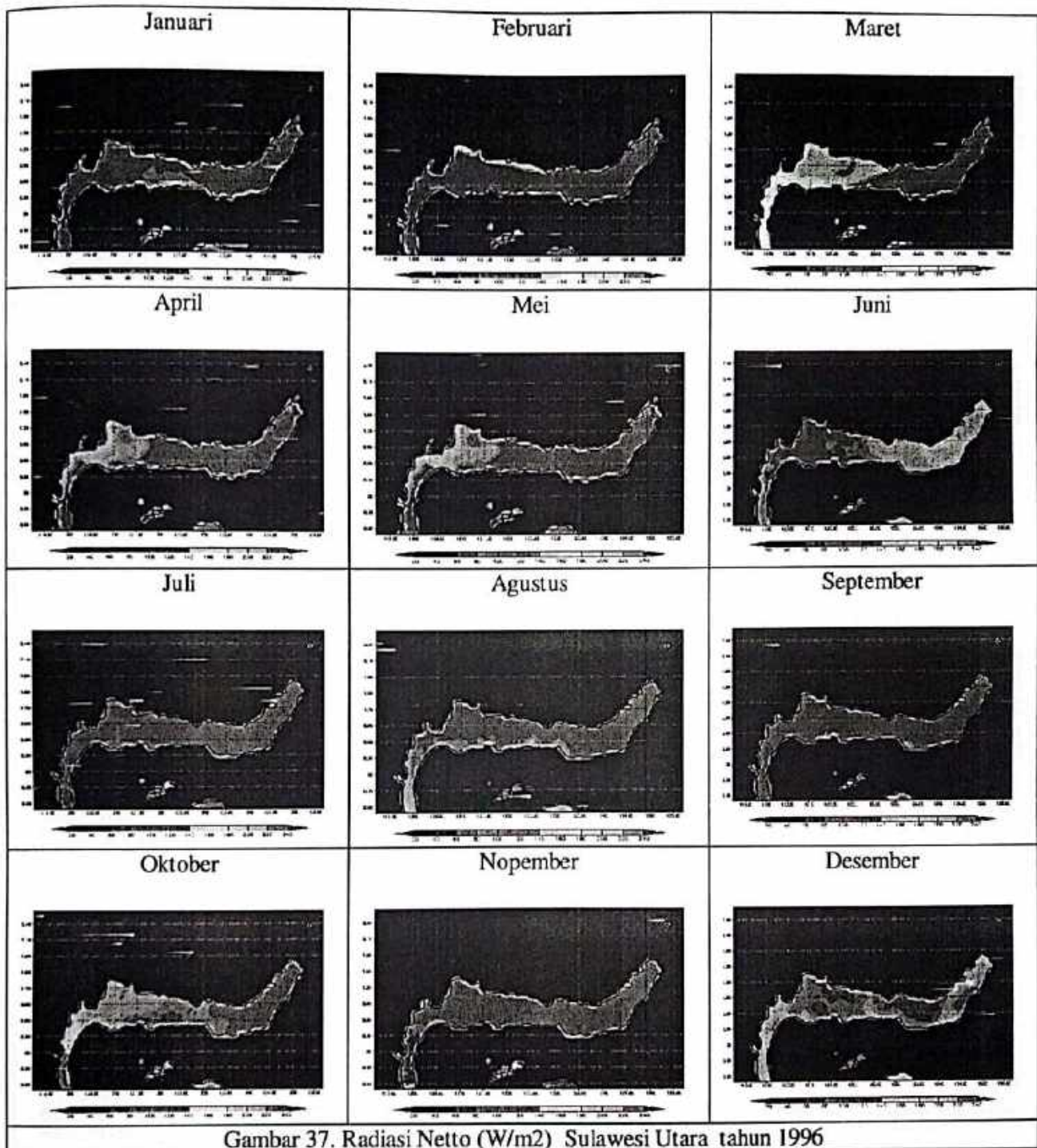


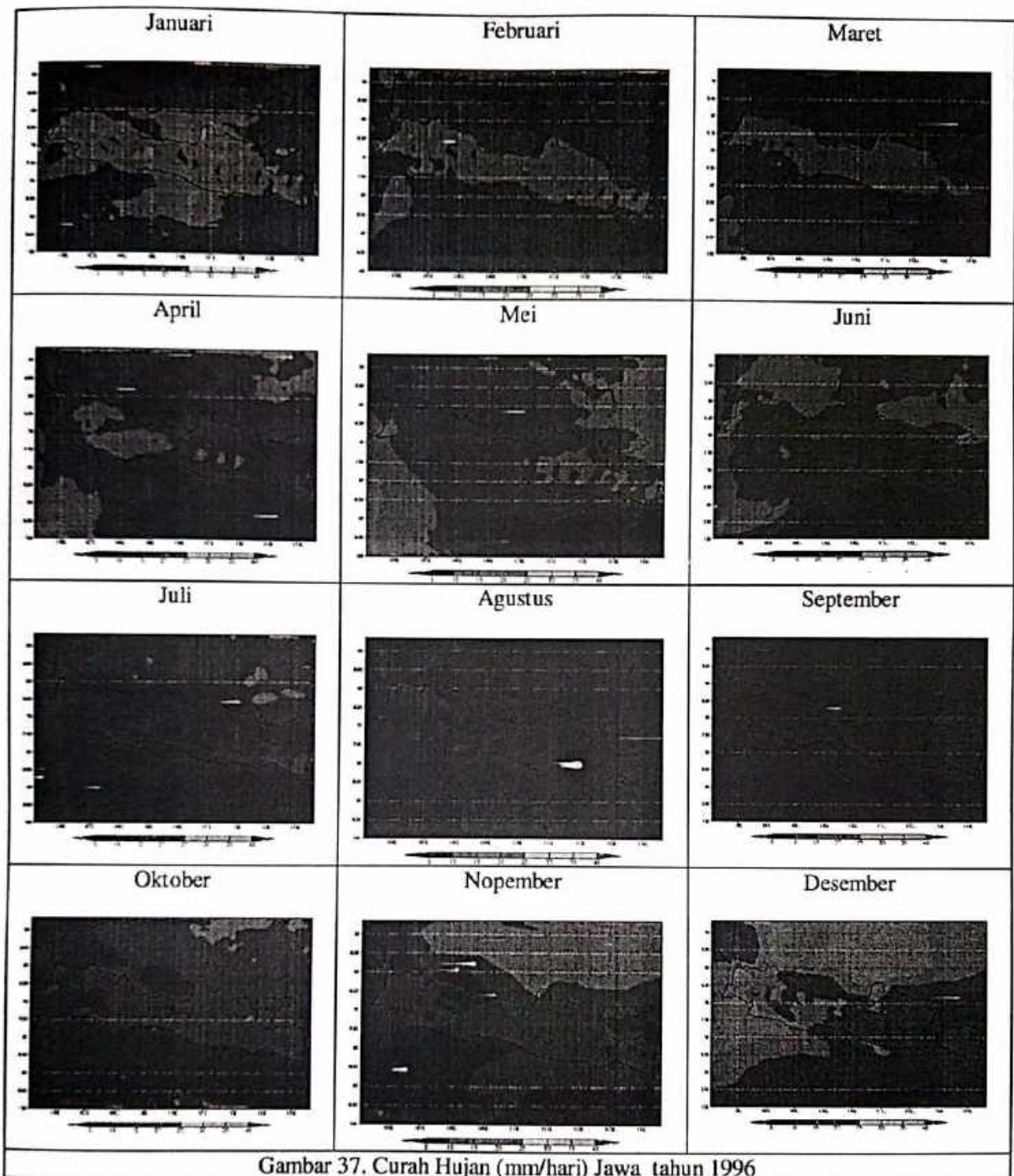
Gambar 34. Evaporasi (mm/hari) Sulawesi Utara tahun 1996

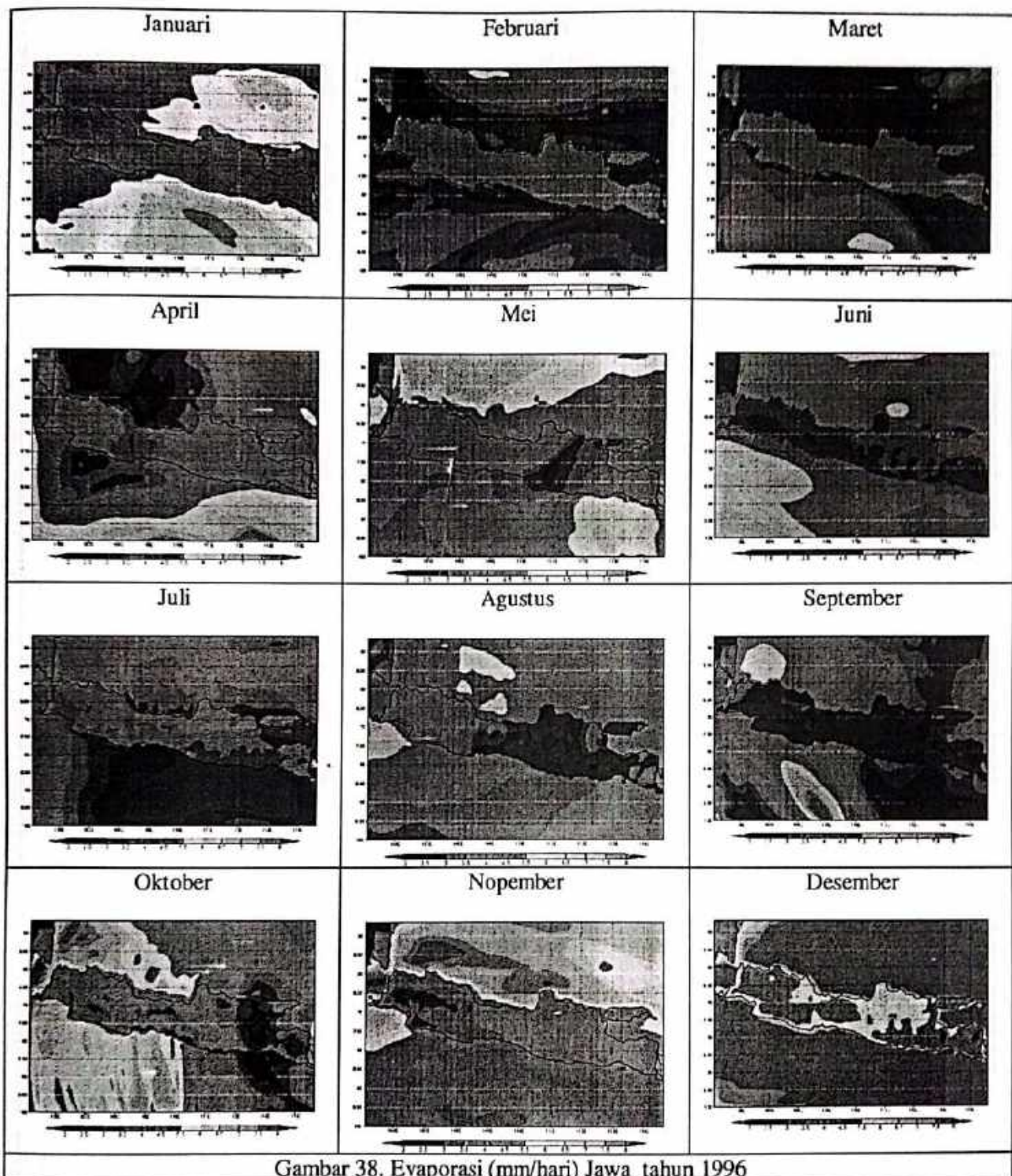


Gambar 35. Run off (mm/hari) Sulawesi Utara tahun 1996

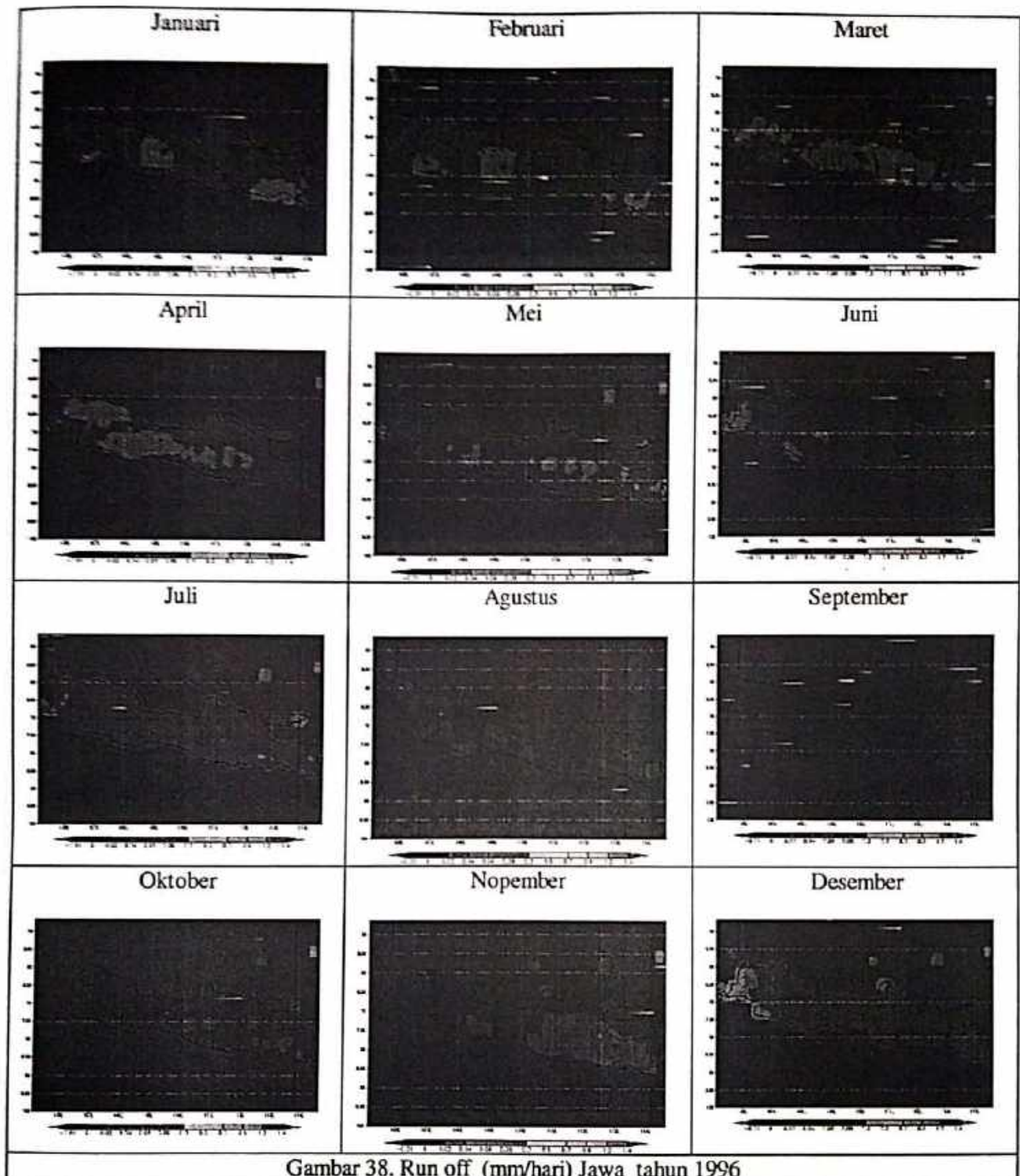


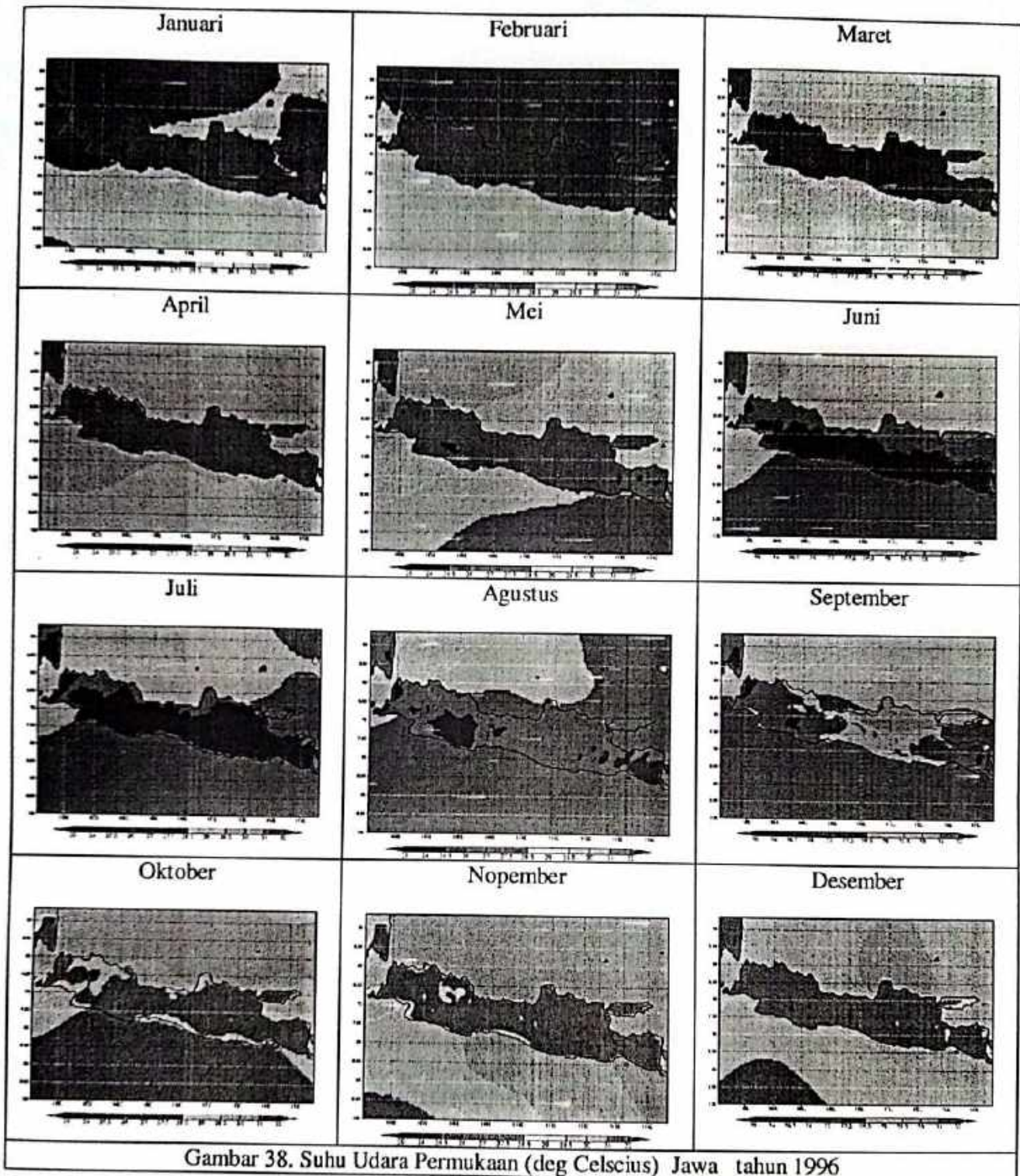




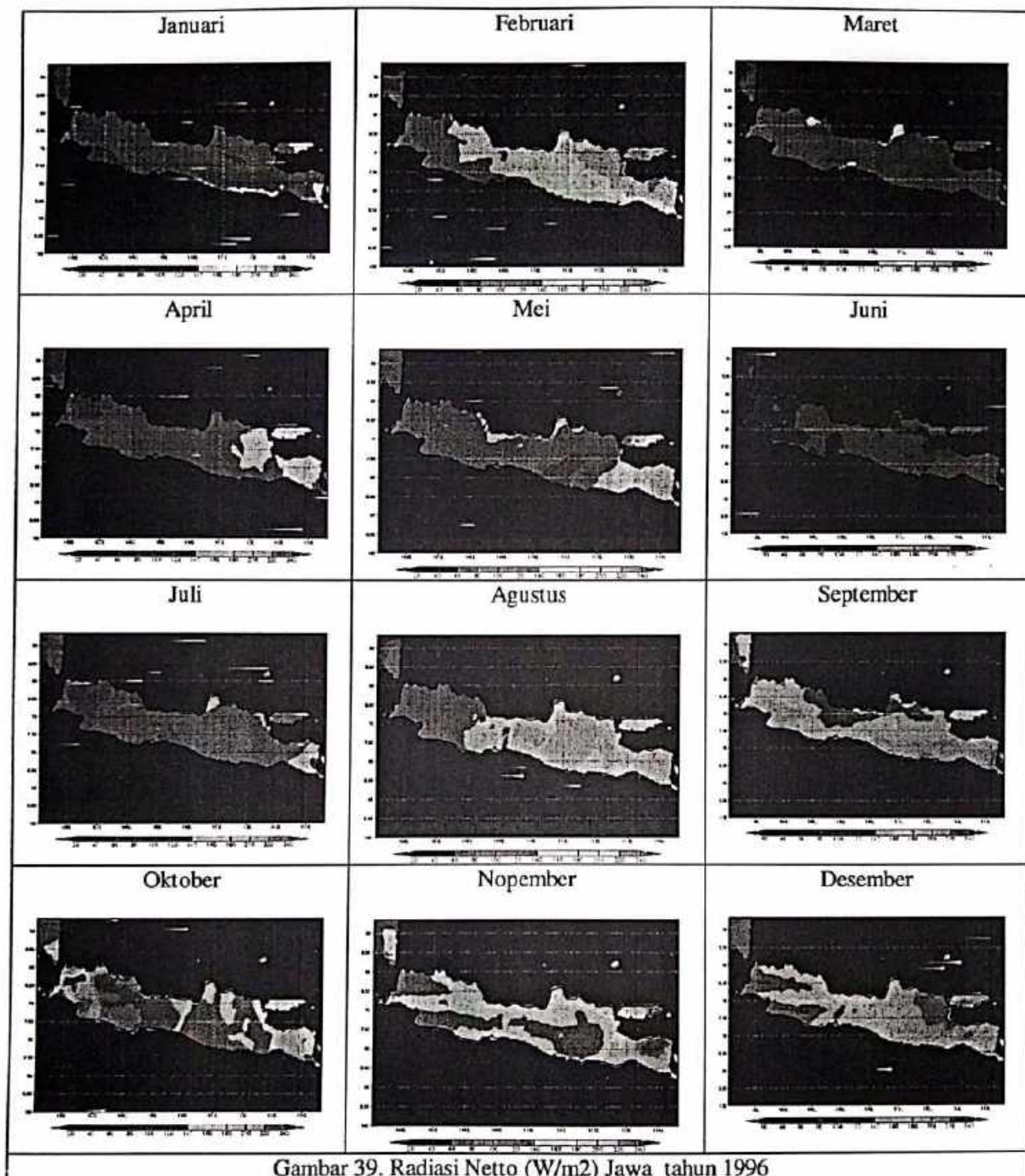


Gambar 38. Evaporasi (mm/hari) Jawa tahun 1996

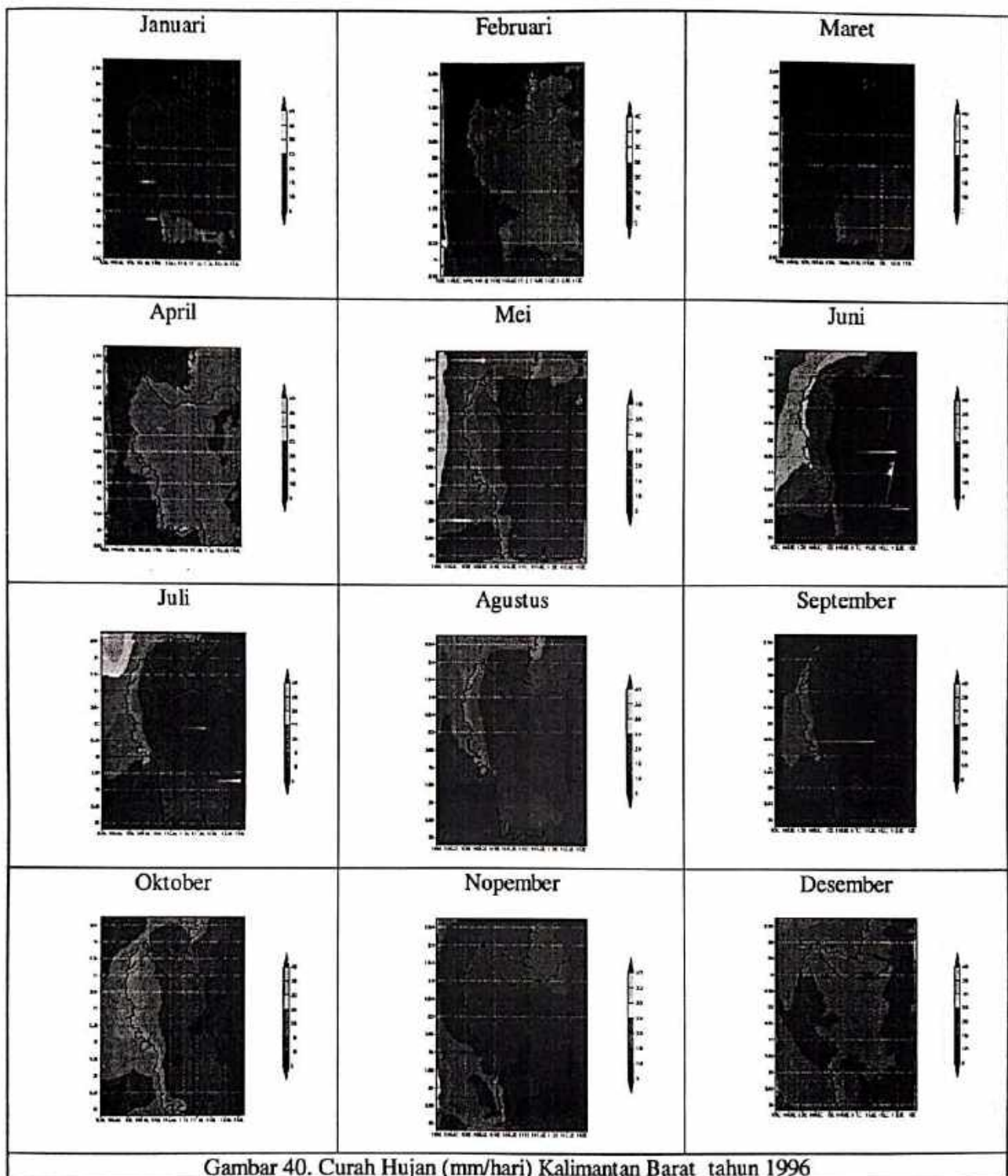


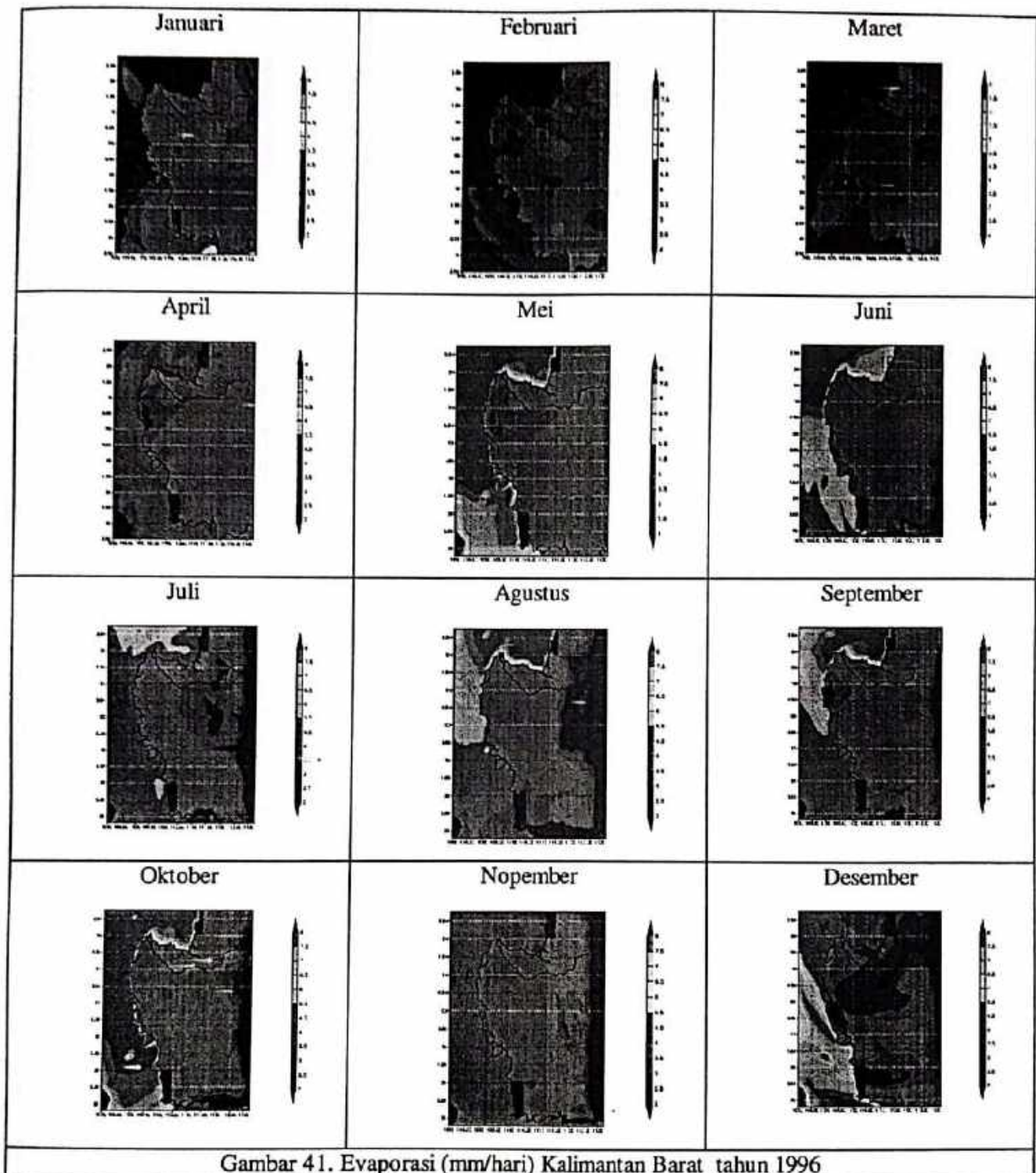


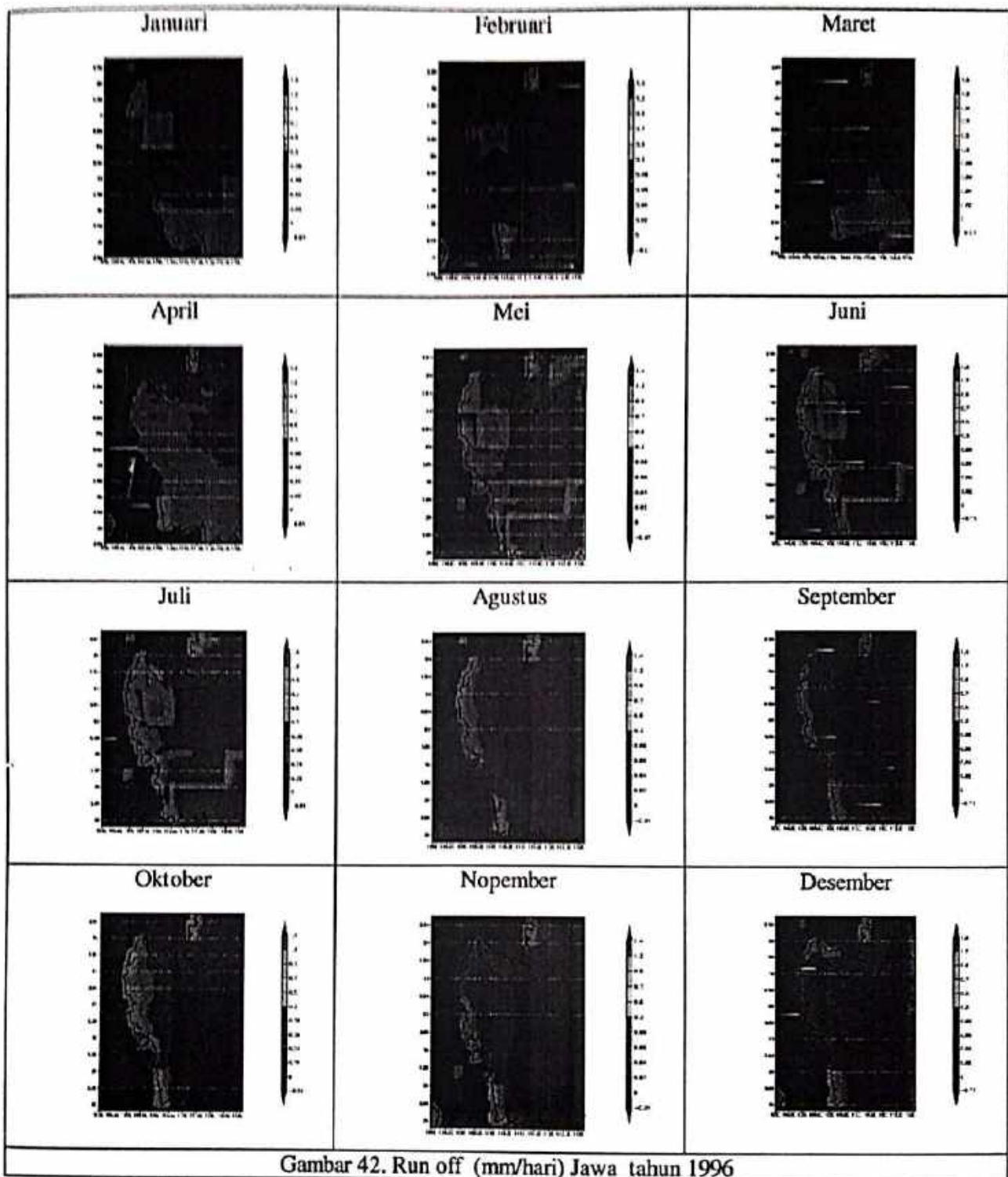
Gambar 38. Suhu Udara Permukaan (deg Celsciuss) Jawa tahun 1996



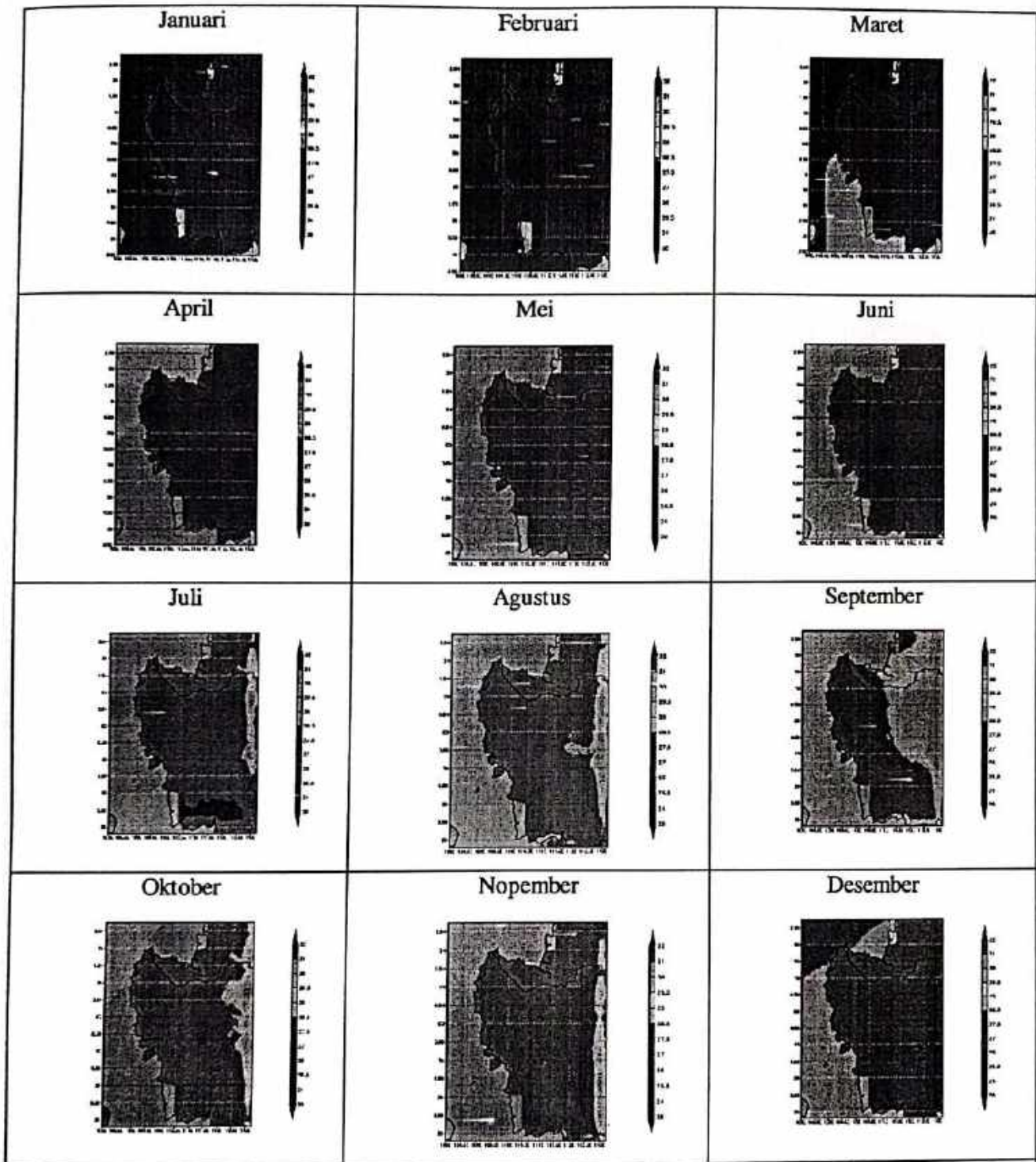
Gambar 39. Radiasi Netto (W/m²) Jawa tahun 1996



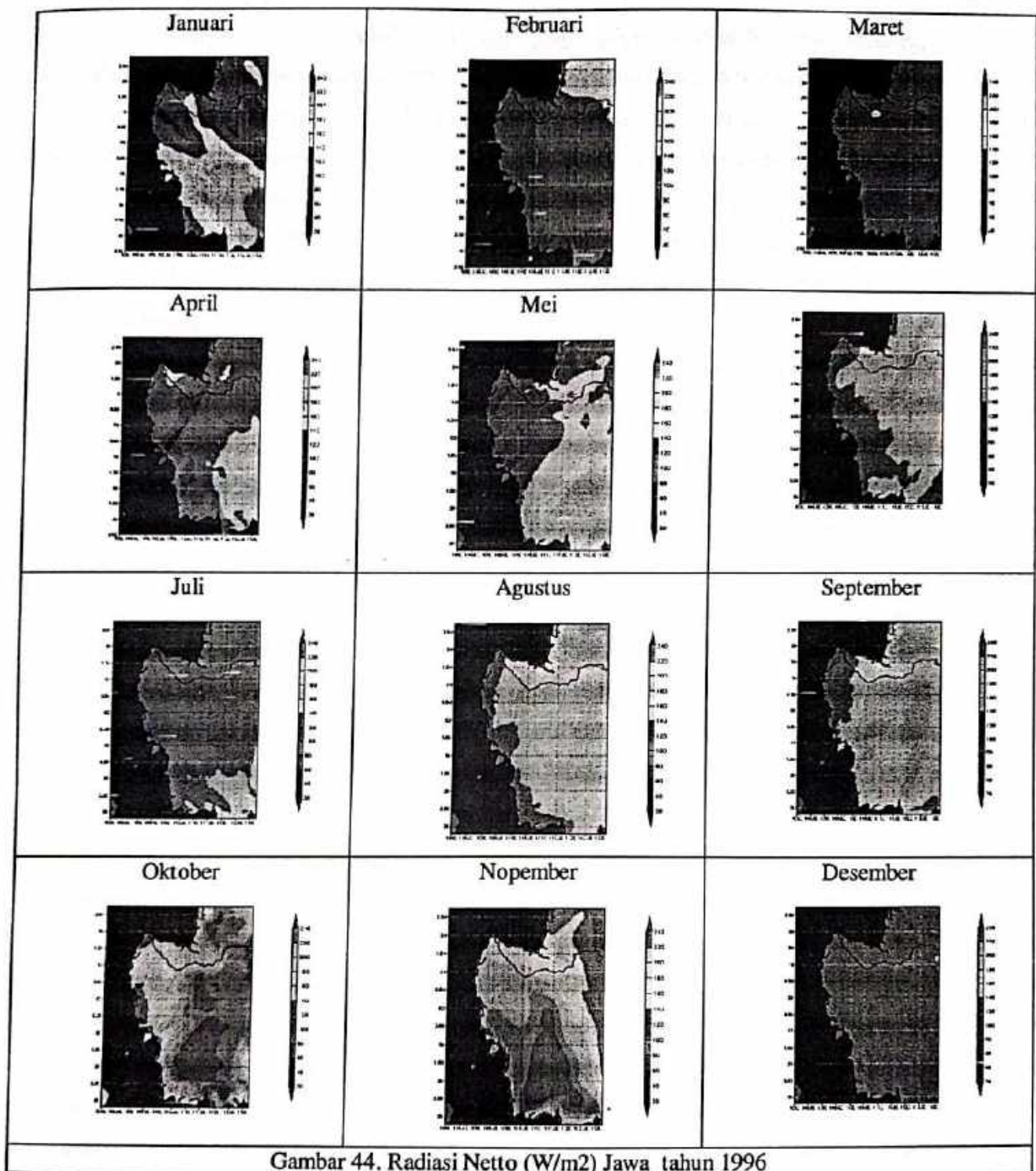




Gambar 42. Run off (mm/hari) Jawa tahun 1996



Gambar 43. Suhu Udara Permukaan (deg Celcius) Jawa tahun 1996



Gambar 44. Radiasi Netto (W/m²) Jawa tahun 1996

5. KESIMPULAN

Keadaan suhu Samudera Hindia yang panas disebelah barat Sumatra, kemungkinan menyebabkan banyak terjadi hujan ditengah musim kemarau ini. Suhu muka laut yang dingin di Pasifik timur serta hangat di Pasifik barat mengindikasikan tidak terjadinya fenomena El Niño saat ini. Sebagaimana hasil prakiraan International Institute for Climate Prediction, akan terjadi musim kemarau yang agak basah di Indonesia bagian barat. Tetapi juga sedikit agak kering di Indonesia bagian tengah dan timur. Keadaan ini diperkirakan akan berlangsung sampai awal musim penghujan yang akan datang.

Penurunan hasil terbesar berdasarkan analisis neraca air untuk tanaman wortel dan bawang daun di Pacet sebesar 7% terjadi pada periode pembungaan. Hal itu ditandai dengan fluktuasi ETR/ETM kurang dari 0.65 artinya pada periode tersebut terjadi defisit air. Fluktuasi ETR/ETM pada tanaman padi tanpa irigasi di Sukamandi yang lebih rendah dari 0,65 terjadi pada seluruh fase pertumbuhan, hal ini dapat menyebabkan penurunan hasil lebih dari 20%. Hasil tanaman di beberapa daerah tanpa irigasi di Jawa Tengah tidak sampai mengalami penurunan yang terlalu besar (kurang dari 10%). Hal itu diantaranya dikarenakan kandungan air tanah masih mencukupi kebutuhan tanaman.

Analisis Kalman Filter memberikan hasil bahwa model dengan order yang mempunyai nilai Correlation Coefisien (CC) Model dan Prediksi Tertinggi untuk validasi 3 bulan adalah Input SST JJA dengan model OE [19 17 19]. Sedangkan untuk validasi 6 bulan adalah Input SST SON dengan model BJ [20 18 19 18 20]. Sedangkan berdasarkan hasil analisis Wetness Index 122_064_29Apr2002 pada daerah yang diteliti sebagian besar termasuk ke dalam kelas 1 (Sangat Lembab) dan kelas 2 (Lembab).

Seperti potensi disebutkan diatas kedua metoda, baik metoda ANFIS, Filter Kalman maupun Model Area Terbatas mempunyai kemampuan untuk mensimulasi dan memprediksi iklim, terutama suhu dan curah hujan. Perbandingan hasil prediksi dengan pengamatan / observasi pada beberapa lokasi menunjukkan hasil yang beragam. Prediksi elemen iklim semacam ini, terutama curah hujan, masih harus diteliti keabsahannya untuk lokasi-lokasi lain mengingat daerah Indonesia merupakan daerah yang unik dengan sistem iklim yang sangat kompleks.

Interface yang disusun masih sederhana, belum seluruhnya memudahkan pengguna. Sehingga diperlukan kegiatan lanjutan untuk menyempurnakannya.

Tingkat akurasi model Filter Kalman masih kurang baik untuk digunakan dalam mem-prediksi curah hujan bulanan. Keluaran model masih perlu dikoreksi.

Untuk meningkatkan akurasi perlu menggunakan multivariabel input yang lain seperti indeks oskilasi selatan, SST Samudera Hindia, atau menggunakan beberapa stasiun lain yang berkorelasi sangat kuat dengan SST.

Guna meningkatkan keandalan model perlu data pengamatan yang panjang dan kontinu, karena apabila data yang digunakan cukup banyak, maka akurasinya dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Busuioc, A., D. Chen, and C. Hellstrom, 2001: Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation. *Int. J. Climatology*, **21**, 557–578.
2. Dupe, Z. L. dan A. Zahuriansyah Djaya, 2002. Variabilitas Hujan Kota Bandung dan Korelasinya dengan El Nino. Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional 2, LAPAN- Bandung, 21 Agustus 2001.
3. Dupe, Z. L. dan The Houw Liong, 2001. Prediction Nino 3.5 SST Anomaly. Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional 1, LAPAN- Bandung, 11 Juli 2000.
4. Dupe, Z. L.; Hadi W. T., Atika L: El Nino/La Nina Forecasting Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) . Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional 3 , LAPAN- Bandung, 31 Juli 2002 (dalam persiapan).
5. Ratag, M. A., 2002: Aplikasi Analisis Waktu-Frekuensi Wavelet untuk Validasi Luaran dan Verifikasi Model Iklim Area Terbatas: Studi kasus Curah Hujan di Bandung. Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional 2 , LAPAN- Bandung, 21 Agustus 2001.