

Pemanfaatan Data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dalam Verifikasi Peningkatan Akurasi Keluaran Model Curah Hujan *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3* (CMIP3) Menggunakan Data Sinar Kosmik di Indonesia Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan

Jalu Tejo Nugroho¹, Safwan Hadi¹, Bayong Tjasyono¹, dan The Houw Liong²

¹Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB

E-mail: imeljalu@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk meningkatkan akurasi keluaran model curah hujan *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3* (CMIP3) di wilayah Indonesia dengan memanfaatkan data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) sebagai verifikator. Hasil simulasi jaringan syaraf tiruan (JST) dua masukan, yaitu data CMIP3 dan data sinar kosmik pada wilayah dengan klaster II terbukti meningkatkan koefisien korelasi (R) data latih dan data uji masing-masing sebesar 31,8% dan 5,6% dibandingkan simulasi dengan satu masukan. Hasil ini melengkapi bukti yang telah ada sebelumnya tentang pengaruh sinar kosmik yang intensitasnya di atmosfer bumi dimodulasi oleh aktivitas matahari pada curah hujan di wilayah Indonesia. Mekanisme yang melatarbelakangi hubungan tersebut adalah kelistrikan global di atmosfer yang mempengaruhi inti kondensasi awan di lapisan troposfer.

Kata kunci: model curah hujan CMIP3, *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), sinar kosmik, jaringan syaraf tiruan (JST)

Abstract

In this study we have successfully to improve the accuracy of rainfall global model namely Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3) in Indonesia region by using Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data as verification. The addition of cosmic rays parameter as an input of artificial neural network (ANN) have increased the correlation coefficient (R) of training and testing data up to 31.8% and 5.6% respectively for cluster II region. This result supports the previous study about effects of solar activity on rainfall in Indonesia region. The mechanism underlying this relationship is global electricity in the atmosphere that affect cloud condensation nuclei in the troposphere.

Keywords: CMIP3 model, *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), cosmic rays, artificial neural network (ANN)



1. PENDAHULUAN

Sistem iklim di permukaan bumi saling berinteraksi satu sama lain sehingga menyebabkan mekanismenya menjadi sangat kompleks dan sulit dipahami. Untuk mengatasi tuntutan ini para ahli menciptakan model numerik dari sistem bumi yang mengacu pada model kesetimbangan energi yang telah berevolusi selama beberapa dekade terakhir. Pada dasarnya, model iklim berusaha untuk mereplika proses sistem iklim di bumi (sebagai contoh termodinamika, dinamika fluida, dan proses ekosistem) yang memungkinkan kita untuk bereksperimen dengan parameter-parameter sistem dan menarik kesimpulan tentang bagaimana sumber yang berbeda menciptakan sifat/karakter yang berbeda. Dalam hal ini dikenal istilah model sirkulasi global yang mengintegrasikan beberapa model yang telah ada sebelumnya, seperti model atmosfer, dinamika awan, permukaan tanah, serta model-model lainnya. Salah satu model iklim yang telah banyak digunakan adalah *World Climate Research Programme (WCRP) Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3)* oleh Meehl et al. (2007) yang berbasis pada proyeksi iklim yang digunakan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Salah satu dari model iklim global untuk curah hujan tersebut adalah *CSIRO-Mk3.SRES 0 A1B* yang merupakan model *downscaled* menggunakan metode *bias-correction/spatial*.

Untuk studi karakteristik dan mekanisme curah hujan di daerah tropis satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* merupakan wahana yang tepat. Ichikawa dan Yasunari (2006) menggunakan data TRMM untuk mengetahui karakteristik ruang dan waktu dari siklus diurnal curah hujan di Kalimantan. Mereka menyimpulkan bahwa komponen baratan (timuran) troposfer bawah berhubungan dengan periode konveksi aktif (tidak aktif) di atas pulau yang berkaitan dengan gangguan atmosfer intramusiman yang diakibatkan oleh *Madden Julian Oscillation (MJO)*. Meneghini et al. (2004) dengan menggunakan metode *Surface Reference Technique (SRT)* dan metode *Hitschfeld-Bordan* telah meneliti profil curah hujan global menggunakan data TRMM dari sensor PR. Dari perhitungan selama dua minggu diperoleh bahwa 90% estimasi kejadian hujan di sepanjang lautan masih berada dalam rentang nilai yang dapat ditoleransi.

Siklus harian curah hujan dan variasi regional di Sumatera, Indonesia juga telah diteliti oleh Mori et al. (2004) menggunakan data TRMM dari sensor yang sama. Dengan kemampuan sensor dalam mendeteksi hujan secara langsung terlepas dari kondisi permukaan dan awan mereka mengemukakan bahwa curah hujan konvektif banyak mendominasi wilayah Sumatera pada waktu lokal 15.⁰⁰ sampai dengan 20.⁰⁰.

As-syakur dan Prasetya (2010) menyebutkan adanya tingkat korelasi yang sedang sampai kuat antara data satelit TRMM dengan data obserasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di Indonesia. Data satelit tersebut dapat memberikan informasi sebaran spasial temporal curah hujan di Indonesia. Data curah hujan TRMM juga dapat dijadikan untuk memverifikasi

keluaran model curah hujan global. Satiadi (2009) membandingkan antara curah hujan konvektif hasil simulasi model sirkulasi umum atmosfer dengan data TRMM. Hasil perbandingan menunjukkan pola distribusi yang secara umum mengikuti pola data TRMM. Analisis validasi yang dilakukan oleh As-syakur et al. (2011) di wilayah Bali menunjukkan bahwa data TRMM memiliki korelasi yang sangat baik dengan data pengukuran pada rentang waktu bulanan dibandingkan dengan data harian selama kurun waktu 1998 sampai dengan 2002. Data TRMM di wilayah ini diketahui memiliki nilai yang lebih rendah (*under estimated*) dibandingkan dengan data pengukuran.

Aktivitas matahari dalam berbagai literatur telah terbukti ikut berperan pada variabilitas iklim di permukaan bumi, termasuk di dalamnya curah hujan. Sinar kosmik telah diketahui berkorelasi negatif dengan aktivitas matahari yang dikarakterisasi oleh bilangan bintik matahari (*sunspot*). Pada saat aktivitas matahari maksimum maka intensitas sinar kosmik yang mencapai permukaan bumi akan menjadi minimum dan sebaliknya. Secara umum dikatakan apabila fluks sinar kosmik yang mencapai atmosfer bumi maksimum maka tutupan awan di atmosfer pun menjadi maksimum yang dapat berdampak pada peningkatan intensitas curah hujan di bumi oleh Svensmark dan Friis-Christensen (1997) serta Gernowo (2009).

Menurut Rosenfeld (2006) dan Tinsley et al. (2007), mekanisme antara intensitas sinar kosmik yang masuk ke atmosfer bumi dengan variabilitas curah hujan di permukaan bumi adalah melalui kelistrikan global di atmosfer melalui proses ionisasi, dimana ionisasi oleh sinar kosmik menjadikan atmosfer sebagai plasma penghantar listrik sehingga arus listrik melewati ionosfer menuju atmosfer bawah yang pada akhirnya mempengaruhi inti kondensasi awan. Konsentrasi droplet inti kondensasi awan ini akan mengontrol reflektivitas awan dan efisiensi curah hujan pada awan rendah (Carslaw et al, 2002).

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk memanfaatkan data TRMM sebagai verifikator dalam peningkatan akurasi keluaran model curah hujan di wilayah Indonesia dengan melibatkan faktor sinar kosmik sebagai masukan (*input*) jaringan syaraf tiruan.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data bulanan TRMM tipe 3B43 yang dapat diperoleh dari <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/> TRMM mulai dari bulan Januari 1998 sampai dengan bulan Desember 2010 dengan resolusi $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ dan dalam satuan mm/jam. Data sinar kosmik bersumber dari observatorium Beijing, Cina diunduh dari: <ftp.ngdc.noaa.gov/> dalam satuan *hourly counting rate*, mulai dari bulan Januari 1993 s.d Juni 2010. Data keluaran model iklim untuk curah hujan yang digunakan bersumber dari www.engr.scu.edu/ dan yang dipilih adalah data CSIRO-Mk3.SRES 0 A1B. Data tersebut merupakan data bulanan



grid global tiap $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ berturut-turut untuk lintang dan bujur. Data yang dipergunakan dalam penelitian dipilih untuk wilayah Indonesia dengan posisi bujur dan lintang masing-masing adalah $95,25^\circ\text{BT}$ - $141,75^\circ\text{BT}$ dan $9,75^\circ\text{LU}$ - $11,75^\circ\text{LS}$ dari bulan Januari 1998 sampai dengan bulan Desember 2010.

Metode penelitian yang digunakan adalah jaringan syaraf tiruan (JST) propagasi mundur (*backpropagation*) yang terdiri atas satu neuron pada lapisan masukan dan satu neuron pada lapisan keluaran. Mengacu pada Kusumadewi (2004), arsitektur jaringan menggunakan dua lapisan tersembunyi, masing-masing dengan sepuluh neuron pada lapisan tersembunyi pertama dengan fungsi aktivasi tansig dan lima neuron pada lapisan tersembunyi kedua dengan fungsi aktivasi *logsig*. Pada lapisan keluaran digunakan fungsi aktivasi *purelin*. Sebelum dilakukan proses propagasi mundur terlebih dulu dilakukan proses *preprocessing* dan propagasi maju (*feedforward propagation*).

Dengan asumsi data masukan (data keluaran model curah hujan dan sinar kosmik) disimpan pada matriks p dan target (data curah hujan observasi) pada matriks t , maka:

$$[pn, meanp, stdp, tn, meant, stdt] = \text{prestd}(P,T) \quad (1)$$

dimana pn dan tn masing-masing adalah matriks masukan dan keluaran yang ternormalisasi, $meanp$ dan $meant$ berturut-turut adalah rata-rata (*mean*) pada matriks masukan (p) dan keluaran (t), $stdp$ dan $stdt$ adalah deviasi standar pada matriks masukan (p) dan keluaran (t), dan *prestd* adalah fungsi untuk mengubah data ke bentuk normal dengan rata-rata = 0 dan deviasi standar = 1. Tahap selanjutnya dibangun jaringan dengan metode pembelajaran *traingdm*:

$$\text{net} = \text{newff}(\text{minmax}(pn), [10 \ 5 \ 1], \{ 'tansig' \ 'logsig' \ 'purelin' \}, 'traingdm') \quad (2)$$

dengan *newff* adalah fungsi yang digunakan untuk membangun jaringan *backpropagation*, *minmax(pn)* adalah fungsi untuk menentukan skala masukan dan keluaran, serta *traingdm* adalah fungsi untuk menghitung gradien serta memperbaiki nilai bobot pada setiap pengoperasian data masukan. Proses pembelajaran dilakukan dengan perintah:

$$\text{net} = \text{train}(\text{net}, pn, tn) \quad (3)$$

Selanjutnya dilakukan pengujian (simulasi) terhadap data-data yang ikut dilatih:

$$an = \text{sim}(\text{net}, pn) \quad (4)$$

dengan an adalah vektor yang digunakan untuk menyimpan hasil simulasi jaringan. Selanjutnya keluaran jaringan dan target dianalisis dengan regresi linear yang menghasilkan persamaan garis serta koefisien korelasi dengan menggunakan fungsi *postreg*.

$$[m, a, r] = \text{postreg}(a, T) \quad (5)$$

dimana m , a , dan r berturut-turut adalah gradien hasil regresi linear, titik perpotongan dengan sumbu-y, dan koefisien korelasi antara keluaran jaringan dengan target.

Pengelompokan wilayah yang menjadi lingkup penelitian ini dilakukan menggunakan metode pengklasteran samar (*fuzzy clustering*). Teknik ini dapat menentukan kluster optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal Euclidian untuk jarak antar vektor. *Fuzzy c-means* (FCM) adalah suatu teknik pengklasteran data dimana keberadaan tiap-tiap titik data dalam suatu kluster ditentukan oleh derajat keanggotaan. Konsep dasar FCM adalah menentukan pusat kluster, yang akan menandai lokasi rata-rata untuk tiap-tiap kluster. Dengan cara memperbaiki pusat kluster dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat kluster akan bergerak menuju lokasi yang tepat.

Mengacu pada Kusumadewi (2006), masukan data X yang akan dikluster dapat dinyatakan sebagai matriks berukuran $n \times m$ yang dituliskan dengan: X_{ij} = data sampel ke- i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), atribut ke- j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$), dengan n adalah jumlah sampel data dan m adalah atribut tiap data. Langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah cluster (c), pangkat (w), maksimum iterasi (MaxIter), galat terkecil yang diharapkan (ξ), fungsi obyektif awal ($P_0 = 0$), dan iterasi awal ($t = 1$).

Bilangan random μ_{ik} , dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$ dibangkitkan sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U . Jumlah setiap kolom (atribut) dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_j = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (6)$$

dengan $j = 1, 2, \dots, m$. Pusat cluster ke- k : V_{kj} dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (7)$$

dengan $k = 1, 2, \dots, c$ dan $j = 1, 2, \dots, m$. Tahap selanjutnya adalah menghitung fungsi obyektif pada iterasi ke- t , P_t :

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{ij})^2 \right] (\mu_{ik})^2 \right) \quad (8)$$

serta perubahan matriks partisi:



$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-1}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-1}} \quad (9)$$

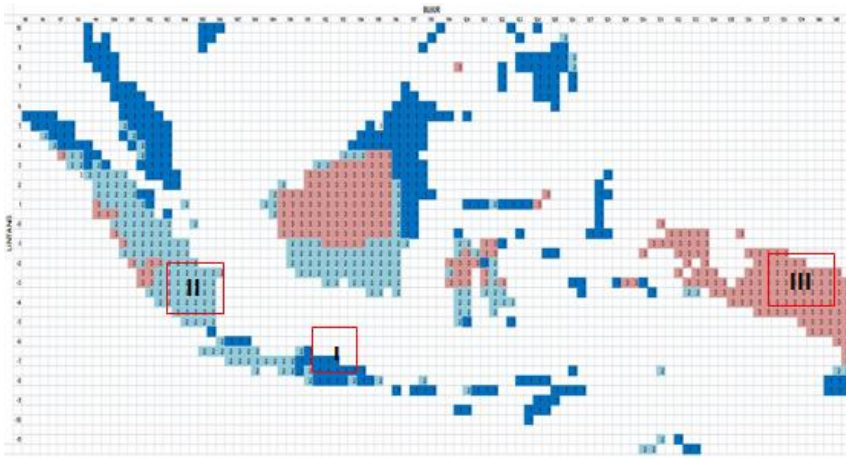
dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$. Kondisi berhenti tercapai jika $(|P_t - P_{t-1}| < \xi)$ atau $(t > \text{MaxIter})$. Jika tidak maka: $t = t + 1$, yang berarti mengulang langkah-langkah sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

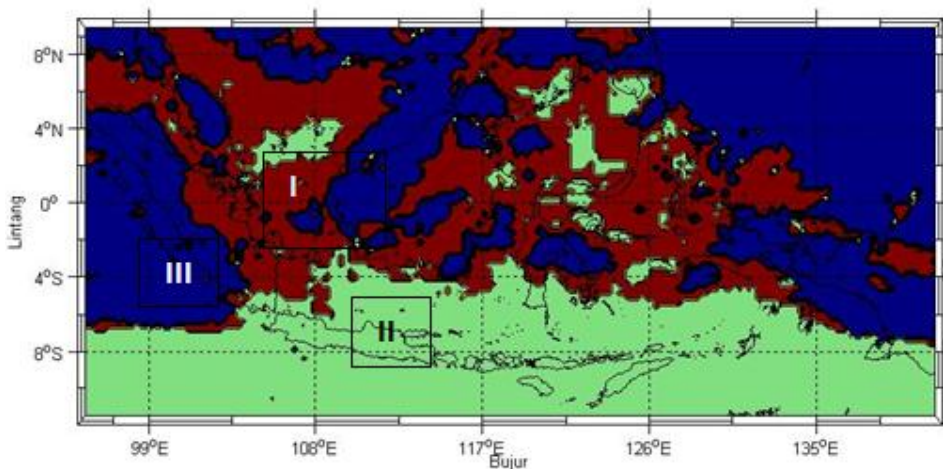
Tahap pertama penelitian ini adalah mengaplikasikan metode pengklasteran untuk mengklasifikasikan daerah di Indonesia berdasarkan kesesuaian data yang dianalisis, yaitu data keluaran model curah hujan serta data TRMM dengan jumlah kluster yang dipilih sebanyak tiga kluster. Gambar 1 merupakan hasil pengklasteran data bulanan keluaran model curah hujan tahun 2000 sementara Gambar 2 adalah hasil pengklasteran data bulanan TRMM untuk tahun yang sama. Pemilihan tahun 2000 dalam penentuan kluster dengan pertimbangan bahwa tahun tersebut bersesuaian dengan kondisi aktif matahari yang merupakan puncak siklus ke-23 aktivitas matahari. Diharapkan agar pada saat identifikasi pengaruh masukan parameter aktivitas matahari di dalam jaringan syaraf tiruan (JST) guna peningkatan akurasi keluaran model curah hujan akan dapat diperoleh hasil yang maksimal.

Perhitungan koefisien korelasi statistik (R) antara data keluaran model curah hujan dengan data TRMM dari bulan Januari 1998 sampai dengan bulan Desember 2010 untuk masing-masing kluster telah dilakukan. Tabel 1 memuat nilai R tertinggi yang diperoleh pada daerah dengan kluster II, baik untuk data TRMM maupun data keluaran model curah hujan. Gambar 3 menunjukkan plot dari kedua data tersebut.

Langkah yang selanjutnya dilakukan adalah mengaplikasikan metode JST untuk merekonstruksi serta memprediksi data keluaran model curah hujan dengan menjadikan data TRMM sebagai data untuk mengecek akurasinya. Pemilihan kluster serta rentang waktu data yang akan diuji mengacu pada data yang mempunyai nilai korelasi linear tertinggi antara data keluaran model curah hujan dengan data TRMM, yaitu kluster II data keluaran model curah hujan dengan kluster II data TRMM untuk keseluruhan bulan.



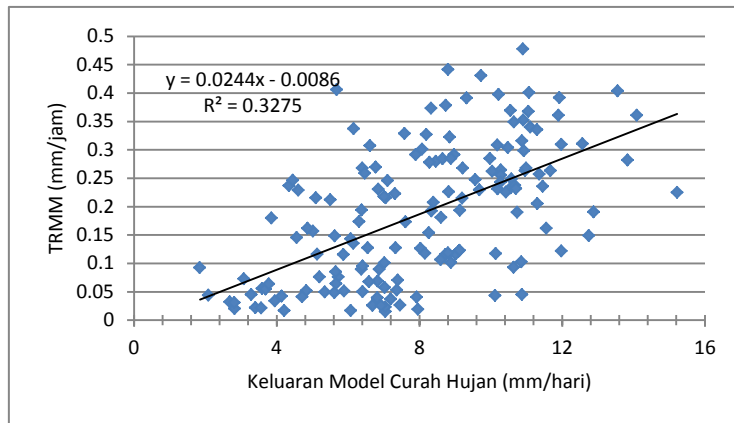
Gambar 1. Hasil pengklasteran data keluaran model curah hujan tahun 2000. Klaster I, II, dan III, masing-masing ditandai dengan area berwarna biru tua (I), biru muda (II), dan coklat (III).



Gambar 2. Hasil pengklasteran data TRMM tahun 2000. Klaster I, II, dan III, masing-masing ditandai dengan area berwarna coklat (I), hijau (II), dan biru (III).

Tabel 1. Nilai Koefisien korelasi data keluaran model curah hujan dan data TRMM untuk keseluruhan bulan Januari 1998 sampai Desember 2010 untuk setiap klaster

| | | TRMM | | |
|----------|-------------|-----------|------------|-------------|
| | | Klaster I | Klaster II | Klaster III |
| Model CH | Klaster I | 0.05 | 0.16 | 0.12 |
| | Klaster II | -0.20 | 0.57 | 0.04 |
| | Klaster III | -0.21 | 0.40 | -0.06 |

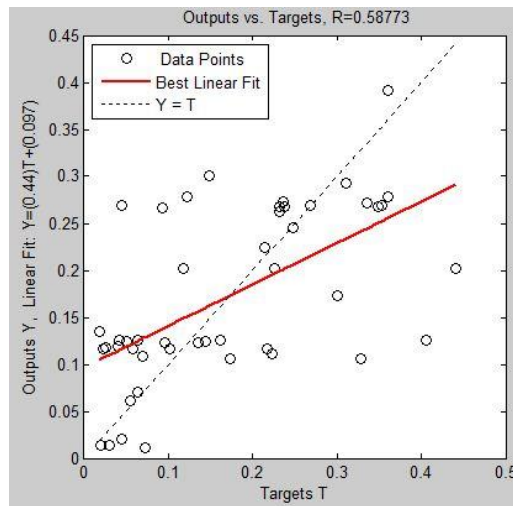


Gambar 3. Plot persamaan linear dan koefisien korelasi antara data keluaran model curah hujan dengan data TRMM untuk keseluruhan bulan mulai dari Januari 1998 sampai dengan Desember 2010

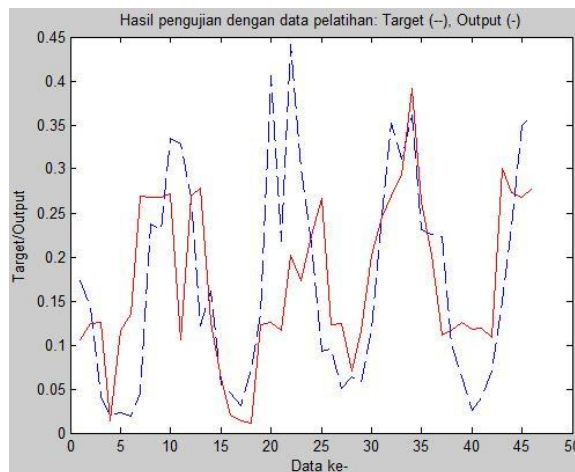
Data yang menjadi masukan pada proses simulasi menggunakan JST dengan satu masukan adalah data bulanan keluaran model curah hujan, mulai dari Januari 1998 sampai dengan Juni 2010. Data yang menjadi target yaitu data TRMM dengan rentang yang sama. Jumlah data yang digunakan sebanyak 150 data, 100 data pertama merupakan data pelatihan dan sisanya menjadi data pengujian. Nilai optimum R antara data pengujian dengan data target sebesar 0,58 yang tercapai pada saat *epoch* 12000. Gambar 4 merupakan plot persamaan linier serta R antara data pengujian dengan data target hasil simulasi JST dengan satu masukan. Rekonstruksi data pengujian terhadap data target untuk kasus ini ditampilkan dalam Gambar 5.

Untuk meningkatkan akurasi data keluaran model curah hujan yang menjadi input jaringan terhadap data TRMM sebagai data acuan secara hipotesis dapat dilakukan dengan memperhitungkan parameter lain yang telah terbukti secara fisis ikut berkontribusi pada variabilitas curah hujan sebagai *input* tambahan. Peningkatan akurasi tersebut ditandai dengan adanya peningkatan nilai koefisien korelasi antara data pengujian dengan data target.

Berdasarkan perhitungan R antara data bilangan bintang matahari dengan data TRMM klaster II diperoleh hasil korelasi yang negatif sebesar 0,05. Sementara R antara data sinar kosmik dengan data TRMM klaster II sebesar 0,39. Dari perhitungan ini maka parameter aktivitas matahari yang dimasukkan sebagai masukan tambahan pada arsitektur JST adalah sinar kosmik. Data yang menjadi masukan JST dengan dua masukan adalah data bulanan keluaran model curah hujan serta data sinar kosmik sementara yang menjadi target yaitu data TRMM. Interval data dimulai dari Januari 1998 sampai dengan Juni 2010. Dengan demikian, arsitektur yang dibangun terdiri atas dua neuron pada lapisan

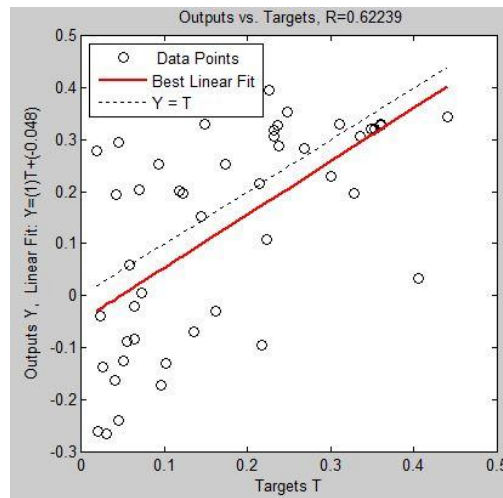


Gambar 4. Plot persamaan linier serta R antara data pengujian dengan data target untuk satu masukan

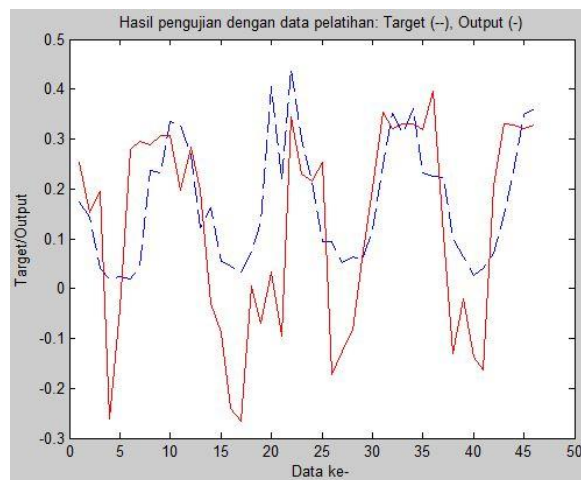


Gambar 5. Rekonstruksi data pengujian terhadap data target pada jaringan dengan satu masukan

input dan satu neuron pada lapisan keluaran. Dari simulasi diperoleh nilai optimal R antara data pelatihan dengan data target sebesar 0,87 dan untuk data pengujian dengan data target sebesar 0,62 yang tercapai pada saat *epoch* 12000. Gambar 6 merupakan plot persamaan linier serta R antara data pengujian dengan data target sementara plot data pengujian terhadap data target untuk kasus ini ditampilkan dalam Gambar 7.



Gambar 6. Plot persamaan linier serta R antara data pengujian dengan data target untuk dua masukan dengan nilai epoch optimal 12000.



Gambar 7 Rekonstruksi data pengujian terhadap data target untuk dua input pada nilai epoch optimal 12000

Diperoleh hasil bahwa nilai R jaringan dengan dua masukan (yaitu data keluaran model curah hujan dan data sinar kosmik), baik untuk data pelatihan maupun untuk data pengujian mengalami peningkatan terhadap data target (yaitu data TRMM) dibandingkan pada jaringan dengan hanya satu masukan saja (data keluaran model curah hujan saja). Tabel 2 menampilkan persentase kenaikan nilai R terhadap penambahan masukan JST. R_{11} , R_{12} , R_{21} , dan R_{22} berturut-turut menyatakan R data pelatihan terhadap data target untuk satu masukan, data pelatihan terhadap data target untuk dua masukan, data pengujian terhadap data

target untuk satu masukan, dan data pelatihan terhadap data target untuk dua masukan.

Tabel 2. Persentase kenaikan nilai koefisien korelasi (ΔR) terhadap penambahan input pada *epoch* optimal

| | R ₁ | R ₂ | R ₂ | R ₂ |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0,66 | 0,87 | 0,587 | 0,62 |
| % ΔR | 31,8% | | 5,6% | |

Dari Tabel 2 di atas terlihat adanya peningkatan nilai R, baik untuk data latih maupun data uji pada hasil simulasi JST dengan dua masukan dibandingkan terhadap JST dengan satu masukan. Dengan penambahan masukan berupa parameter sinar kosmik pada simulasi JST telah dapat meningkatkan akurasi keluaran model curah hujan untuk wilayah Indonesia dengan klaster II dengan menggunakan data TRMM sebagai verifikator hasil prediksi yang diperoleh.

Hasil penelitian ini dapat melengkapi bukti-bukti sebelumnya tentang pengaruh sinar kosmik pada variabilitas curah hujan di berbagai wilayah di permukaan bumi. Zherebtsov et al. (2005) mengatakan bahwa tingkat dan korelasi antara intensitas sinar kosmik dan keawanan global bergantung pada posisi lintang, karakter permukaan (daratan atau lautan) serta karakteristik tutupan awan.

4. KESIMPULAN

Dengan penambahan faktor yang ikut berkontribusi terhadap variabilitas curah hujan di permukaan yaitu sinar kosmik telah dapat meningkatkan akurasi keluaran model curah hujan *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3* (CMIP3) di wilayah Indonesia dengan memanfaatkan data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) sebagai verifikator. Peningkatan akurasi yang diperoleh ditunjukkan dengan peningkatan nilai koefisien korelasi (R) simulasi menggunakan metode jaringan syaraf tiruan (JST) baik antara data latih maupun data uji yang dibandingkan terhadap data acuannya.

Dari metode pengklasteran diperoleh nilai R optimal antara data TRMM dengan data CMIP3 sebesar 0,57 untuk wilayah dengan klaster II. Hasil simulasi JST dengan dua masukan menunjukkan adanya peningkatan nilai R, baik untuk data latih dan data uji masing-masing sebesar 31,8% dan 5,6% dibandingkan dengan hasil simulasi satu masukan. Hasil ini melengkapi bukti yang telah ada sebelumnya tentang pengaruh sinar kosmik yang intensitasnya dimodulasi oleh aktivitas matahari pada curah hujan di wilayah Indonesia.



DAFTAR REFERENSI

- As-syakur, A.R., dan R. Prasetya, 2010. *Pola Spasial Anomali Curah Hujan Selama Maret Sampai Juni 2010 di Indonesia; Komparasi Data TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B43 dengan Stasiun Pengamat Hujan*, Prosiding Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia, pp. 505-516, Universitas Udayana
- As-syakur, A.R., Tanaka, T., Prasetya, R., Swardika, I.K., dan Kasa, I.W., 2011, Comparison of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 24, 8969–8982
- Carlsaw, K. S., Harison R. G., dan Kirkby J., 2002, *Cosmic Rays, Clouds, and Climate*, Science, 298, 1732-1737
- Didi Satiadi, 2009, Perbandingan Curah Hujan Hasil Simulasi Model Sirkulasi Umum Atmosfer dengan Data Observasi Satelit TRMM, *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara* Vol. 4 No. 1, hal. 31-40
- Gernowo R., 2009, *Dinamika Atmosfer Curah Hujan Ekstrim dan Evaluasi Awal Teknologi Modifikasi Cuaca Sistem Statis di DKI Jakarta (Disertasi)*, Institut Teknologi Bandung
- Ichikawa H. And T. Yasunari, 2006. *Time – Space Characteristics of Diurnal Rainfall over Borneo and Surrounding Oceans as Observed by TRMM-PR*. *Journal of Climate*: Vol. 19, No. 7, pp. 1238-1260
- Kusumadewi, S., 2004, *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab dan Excel Link*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta
- Kusumadewi, S., 2006, *Multi-Attribute Decision Making (FMADM)*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta
- Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor: The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383-1394, 2007.
- Meneghini, R., J. A. Jones, T. Iguchi, K. Okamoto and J. Kwiatkowski, 2004. *A Hybrid Surface Reference Technique and Its Application to the TRMM Precipitation Radar*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*: Vol. 21, No. 11, pp. 1645-1658
- Mori S., H. Jun-Ichi, Y. I. Tauhid, M. D. Yamanaka, N. Okamoto, F. Murata, N. Sakurai, H. Hashiguchi, and T. Sribimawati, 2004. *Diurnal Land-Sea Rainfall Peak Migration over Sumatera Island, Indonesian Maritime Continent, Observed by TRMM Satellite and Insentive Rawinsonde, Soundings*. *Monthly Weather Review*: Vol. 132, No. 8, pp. 2021-2039
- Rosenfeld, D., 2006. *Aerosol-cloud interactions control of earth radiation and latent heat release budgets*, *Space Sci. Rev.*, 125, 149-157
- Svensmark, H. dan Friis-Christensen, 1997, *Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar-climate relationships*, *J. Atmos. Solar Terr. Phys.* 59, p. 1225-1232
- Tinsley B. A., G.B. Burns, Limin Zhou, 2007. *The role of the global electric circuit in solar and internal forcing of clouds and climate*, *Advances in Space Research* 40, pp. 1126–1139
- Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., 2005, *The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere*, *Advances in Space Research*, Volume 35, Issue 8, pp. 1472–1479

BIOGRAFI PENULIS*Jalu Tejo Nugroho*

Jalu Tejo Nugroho lahir di Jakarta (39) bekerja pada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Saat ini sedang menyelesaikan studi di Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung. Penulis memperoleh gelar sarjana dan master di Departemen Fisika, Universitas Indonesia.