

Model Estimasi Curah Hujan Berdasarkan Suhu Puncak Awan Menggunakan Inversi *Nonlinear*

¹Ganis Rickza Octari, ²Didi Suhaedi, dan ³Noersomadi.

^{1,2}Matematika, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

e-mail : ganisrickza@gmail.com, dsuhaedi@gmail.com, noersomadi@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model estimasi curah hujan berdasarkan data suhu puncak awan yang diperoleh dari satelit geostasioner MTSAT-IR1. Hasil plotting antara suhu puncak awan terhadap curah hujan menyerupai bentuk eksponensial sehingga dalam pembuatan model estimasi curah hujan didekati oleh persamaan eksponensial yaitu estimasi curah hujan = $ae^{\frac{b}{T_{BB}}}$ dengan metode inversi nonlinear. Hasil perhitungan menggunakan Matlab, didapat model estimasi curah hujan = $1,380462 \cdot 10^{-7} e^{\frac{3789,518}{T_{BB}}}$. Grafik yang dihasilkan memiliki kemiripan pola antara hasil model estimasi dengan data observasi, namun pada bulan Juni adanya lonjakan pada data observasi dan pada bulan November terdapat lonjakan pada data model estimasi. Hal tersebut disebabkan karena terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi curah hujan diantaranya faktor garis lintang, ketinggian tempat, jarak sumber air, perbedaan suhu tanah, dan luas daratan.

Kata Kunci : Suhu Puncak Awan, Inversi *Nonlinear*, Curah Hujan

A. Pendahuluan

Air memiliki peran sangat penting bagi kelangsungan makhluk hidup, terutama manusia. Keberadaan air dimuka bumi sangat berkaitan dengan hujan. Hujan selain bermanfaat, juga dapat menjadi ancaman munculnya bencana alam. Oleh karena itu penyediaan data curah hujan dianggap sangat penting bagi perencanaan pembangunan maupun antisipasi bencana alam. Namun karenaketersediaan data curah hujan yang sejauh ini masih dianggap kurang memadai karena jumlah dan keterbatasan jangkauan alat penakar hujan maka digunakan satelit untuk menentukan suhu puncak awan dalam pengukuran curah hujan.

Satelit yang ditembakkan ke bumi akan memberikan informasi sesuai data yang dibutuhkan. Sensor yang ditembakkan tidak semua menuju bumi tetapi ada juga yang terhalang oleh awan. Jika sensor langsung ke bumi, maka informasi yang diperoleh adalah mengenai bumi sedangkan jika terhalang oleh awan, maka informasi yang diperoleh adalah mengenai awan.

Satelit MTSAT-IR1 (*Multy-functional Transport Satelite Infrared 1*) merupakan salah satu satelit yang dimanfaatkan oleh LAPAN dalam memperoleh informasi cuaca berdasarkan suhu puncak awan. Hubungan antara suhu puncak awan dengan curah hujan yang dihasilkan mempunyai korelasi yang tinggi (Widodo,1998).

Hubungan antara besaran curah hujan dengan suhu puncak awan dapat didekati dengan pemodelan geofisika. Pemodelan geofisika memiliki dua jenis yaitu *forward modelling* dan *inverse modelling*. *Forward modelling* adalah pemodelan yang dilakukan untuk memperoleh data dari model yang ada berdasarkan sifat-sifat fisis yang diketahui. Sedangkan *inverse modelling* adalah pemodelan yang dilakukan berdasarkan data observasi.

Berdasarkan penjelasan diatas maka akan dikaji mengenai model estimasi curah hujan dengan input data suhu puncak awan dengan menggunakan inversi *nonlinear* sertaperbandingan antara curah hujan observasi dengan estimasi curah hujan.

B. Landasan Teori

1. Hujan

Titik-titik air di udara atau awan yang sudah terlalu banyak kandungan airnya akan kembali jatuh ke bumi sebagai hujan (presipitasi). Berdasarkan proses terjadinya, hujan dibagi menjadi 3 jenis, yaitu (Icha,2001) :

- a. Hujan Orografis yaitu hujan yang terjadi karena adanya pergerakan udara yang mengandung uap air yang terhalang oleh gunung sehingga udara tersebut dipaksa naik ke lereng gunung dan terjadi kondensasi pada ketinggian tertentu dan terbentuk awan sehingga terjadilah hujan.
- b. Hujan Konveksi yaitu hujan yang terjadi karena udara yang mengandung uap air bergerak naik secara vertikal akibat pemanasan (konveksi).
- c. Hujan Frontal yaitu hujan yang terjadi karena adanya pertemuan massa (udara yang mengandung uap air) udara panas dan massa udara dingin.

2. Awan

Awan merupakan udara yang mengandung uap air yang dapat dilihat dan terbentuk dari tetesan air atau kristal yang menggantung di atmosfer di atas permukaan bumi. Awan terbentuk karena udara lembab mengalami pendinginan hingga mencapai titik embun. Saat mencapai titik embun, udara menyatu dengan uap air dan berkondensasi sehingga membeku dan membentuk embun atau butiran-butiran air. Kumpulan butiran air itulah yang disebut awan.

3. Satelit MTSAT

Satelit meteorologi adalah satelit yang bertujuan untuk mengamati kondisi atmosfer dan digunakan untuk penelitian atau informasi mengenai cuaca. Secara umum satelit meteorologi dibagi berdasarkan pola orbital satelit yaitu (Panjaitan, 2012) :

- a. Orbit geostasioner adalah suatu orbit yang periode rotasinya sama dengan periode rotasi bumi. Satelit yang termasuk orbit ini adalah MTSAT, FENGYUN2, GOES, METEOSAT, COMS, INSAT dan KALPANA
- b. Orbit polar adalah suatu orbit yang lintasannya melalui kedua kutub bumi. Satelit yang termasuk orbit ini adalah AQUA, TERRA, NOAA, METOP, FENGYUN1 dan METEOR.
- c. Orbit tropic, satelit yang termasuk orbit ini adalah TRMM dan JASON.

Salah satu satelit meteorologi yang dimanfaatkan oleh LAPAN Bandung adalah satelit MTSAT. Satelit ini diluncurkan dengan tujuan sebagai satelit cuaca dan komunikasi. Satelit ini memiliki dua sensor yaitu *infrared* dan *visible*.

Sensor *infrared* terdiri dari empat saluran yaitu IR-1, IR-2, IR-3 dan IR-4. IR-1 memberikan informasi mengenai awan, pergerakan angin dan badai. IR-2 memberikan informasi mengenai suhu permukaan laut dan memantau gunung berapi. IR-3 memberikan informasi mengenai pergerakan uap air di lapisan tengah atmosfer. IR-4 memberikan informasi mengenai sumber panas dan awan pada malam hari.

Sensor *visible* memberikan informasi mengenai awan pada siang hari, es dan salju. Sensor mendeteksi awan, dengan melihat besarnya albedo (perbandingan antara sinar matahari yang datang ke bumi dan dipantulkan kembali ke angkasa) suatu objek. Sehingga sensor ini hanya dapat bekerja pada siang hari.

4. Inversi *Nonlinear*

Dalam geofisika, kegiatan pengukuran dilakukan berdasarkan prosedur yang berlaku berdasarkan sifat fisis objek yang diteliti. Hasil pengukurannya disajikan dalam bentuk tabel angka pengukuran yang disebut data observasi.

Hubungan sifat fisis objek yang diteliti dengan data observasi dapat berupa model matematika. Model ini digunakan untuk mengekstrak parameter fisis objek yang diteliti dari data observasi. Proses ini disebut *inverse modelling*. Kebalikan dari *inverse modelling* disebut *forward modelling*. Artikel ini membahas inversi *nonlinear* dengan persamaan eksponensial sebagai berikut :

$$y = ae^{\frac{b}{x}}(1)$$

dengan

y : variabel tidak bebas

a,b : parameter korelasi

x : suhu variabel bebas

Hubungan data dengan parameter model yang *nonlinear* dapat dinyatakan dengan persamaan (Grandis, 2003), yaitu :

$$d = g(m)(2)$$

dengan

d : data

g : fungsi pemodelan kedepan

m : parameter korelasi

Parameter model yang *nonlinear* dapat didekati secara linier dengan memakai ekspansi taylor orde pertama $g(m)$ di sekitar model awal m_0 (Sulaeman, 2010 : 13-17). Sehingga persamaan (2) menjadi sebagai berikut :

$$d = g(m) + J_0 \Delta m_0 \tag{3}$$

dengan

$$J_0 = \left[\frac{\partial g_j}{\partial m_k} \right] \quad j, k = 1, 2, 3, \dots, n$$

J merupakan matriks jacobii dengan komponen berupa turunan parsial fungsi $g(m)$ terhadap setiap parameter korelasi m yang dievaluasi pada $m = m_0$ sehingga $\Delta m_0 = [m - m_0]$.

Persamaan (3) dapat diselesaikan menggunakan metode kuadrat terkecil, yaitu mencari solusi Δm_0 yang menghasilkan $d - (g(m_0) + J_0 \Delta m_0)$ minimum. Solusi persamaan (3) tersebut adalah :

$$d = g(m_0) + J_0 \Delta m_0$$

$$d - g(m_0) = g(m_0) + J_0 \Delta m_0 - g(m_0)$$

$$d - g(m_0) = J_0 \Delta m_0$$

$$(J_0^T J_0)^{-1} J_0^T (d - g(m_0)) = (J_0^T J_0)^{-1} J_0^T J_0 \Delta m_0$$

$$(J_0^T J_0)^{-1} J_0^T (d - g(m_0)) = \Delta m_0(4)$$

Model yang optimum diperoleh melalui proses modifikasi model awal m_0 secara iteratif menggunakan persamaan (4).

Dengan memperhatikan

$$\Delta m_0 = m - m_0$$

$$m_0 + \Delta m_0 = m$$

maka persamaan (4) menjadi

$$m_0 + \Delta m_0 = m$$

$$m_0 + (J_0^T J_0)^{-1} J_0^T (d - g(m_0)) = m(5)$$

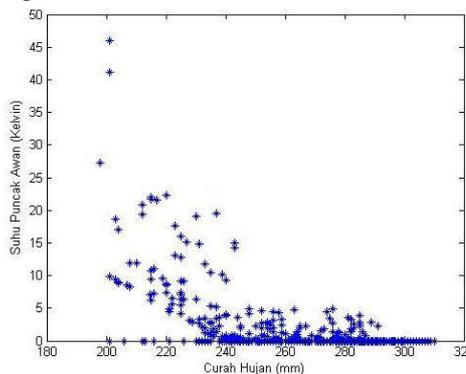
untuk model pada iterasi n+1 maka dapat ditulis sebagai berikut :

$$\mathbf{m}_{n+1} = \mathbf{m}_n + (\mathbf{J}_n^T \mathbf{J}_n)^{-1} \mathbf{J}_n^T (\mathbf{d} - g(\mathbf{m}_n)) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

C. Hasil Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data suhu puncak awan dan curah hujan tahun 2008. data curah hujan yang digunakan merupakan data satelit MTSAT-IR1 yang dikonversi dari format file PGM menjadi angka yang diperoleh dari situs <http://weather.is.kochi-u.ac.jp>. Sedangkan data curah hujan diperoleh dari alat penakar hujan otomatis (*Automatic Weather System, AWS*) yang dioperasikan oleh LAPAN.

Jumlah data suhu puncak awan dan curah hujan masing-masing adalah 8777 data. 5764 data setelah diberikan pembobotan dengan mempertimbangan tinjauan fisis. Data tersebut dapat disajikan sebagai berikut :



Gambar 1 *Plotting Data Suhu Puncak Awan Terhadap Curah Hujan*

Grafik diatas menyerupai bentuk eksponensial, sehingga estimasi terhadap data tersebut menggunakan bentuk persamaan eksponensial sebagai berikut :

$$y_{est} = a e^{\frac{b}{x}}$$

dengan

y_{est} : Curah Hujan

a, b : Parameter Korelasi (m)

x : Suhu Puncak Awan

Perhitungan koefisien korelasi ini dilakukan menggunakan program yang telah dibuat dengan software Matlab (R2011a) dengan nilai koefisien korelasi awal adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{m}_0 = \begin{bmatrix} 1,4 \cdot 10^{-7} \\ 3795 \end{bmatrix}$$

Hasil yang diperoleh dengan galat yang diinginkan sebesar 10^{-8} adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{m}_{11} = \begin{bmatrix} 1,380462 \cdot 10^{-7} \\ 3,789518 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

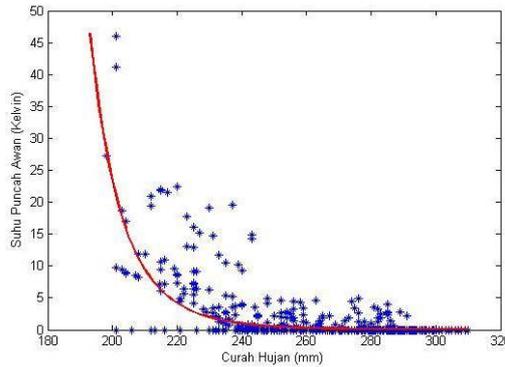
Selanjutnya, nilai koefisien korelasi tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan umum (1) sebagai berikut :

$$y_{est} = a e^{\frac{b}{x}} \\ y_{est} = 1,380462 \cdot 10^{-7} e^{\frac{3789,518}{x}} \quad (7)$$

dengan

y_{est} : Estimasi Curah Hujan

x : Suhu Puncak Awan



Gambar 2 Perbandingan Antara Data Curah Hujan Observasi dengan Estimasi Curah Hujan

Garis berwarna merah adalah grafik fungsi estimasi curah hujan dengan persamaan fungsi sebagai berikut :

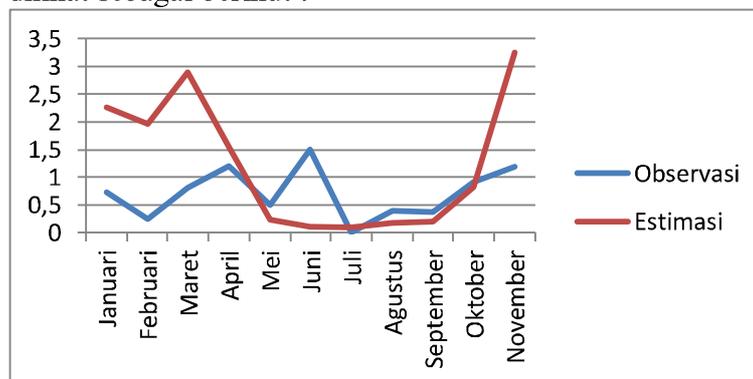
$$y_{est} = 1,380462 \cdot 10^{-7} e^{\frac{3789,518}{x}}$$

dengan

y_{est} : Estimasi Curah Hujan

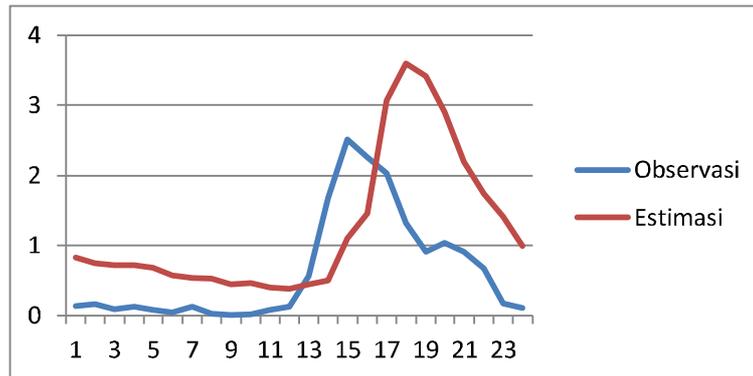
x : Suhu Puncak Awan

Gambar 2 memperlihatkan bahwa grafik fungsi yang diperoleh mendekati *plotting* data curah hujan observasi. Namun ada beberapa data yang jauh dari grafik fungsi tersebut. Perbandingan grafik antara estimasi curah hujan dengan curah hujan observasi dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 3 Grafik Rata-Rata Per Bulan

Gambar 3 merupakan grafik perbandingan antara estimasi curah hujan dengan curah hujan observasi berdasarkan rata-rata perbulan. Sumbu x menunjukkan bulan sedangkan sumbu y menunjukkan curah hujan dengan satuan milimeter (mm).



Gambar 4 Grafik Rata-Rata Perjam dalam Satu Tahun

Gambar 4 merupakan grafik perbandingan antara estimasi curah hujan dengan curah hujan observasi berdasarkan rata-rata perjam dalam satu tahun. Sumbu x menunjukkan jam dalam satuan WIB sedangkan sumbu y menunjukkan curah hujan dengan satuan milimeter (mm).

Hasil perbandingan grafik fungsi estimasi curah hujan dengan curah hujan observasi dinilai mempunyai pola relatif sama. Gambar 2, grafik fungsi estimasi curah hujan yang telah diperoleh mendekati pola data curah hujan observasi, tetapi beberapa data terlihat jauh dari grafik fungsi estimasi curah hujan. Gambar 3, memperlihatkan bahwa kedua grafik tersebut relatif mempunyai pola yang relatif sama, di mana pada bulan yang sama terjadi kenaikan atau penurunan, baik untuk grafik estimasi curah hujan maupun grafik curah hujan observasi meskipun besar kenaikan atau penurunan curah hujan tidak sama.

Berdasarkan gambar 3, pada bulan Juni dan November terlihat adanya perbedaan pola antara grafik estimasi curah hujan dengan grafik curah hujan observasi. Pada bulan Juni, grafik curah hujan observasi menunjukkan adanya kenaikan curah hujan dari bulan sebelumnya, sedangkan grafik estimasi curah hujan menunjukkan curah hujan yang terjadi pada bulan tersebut relatif sama dengan bulan sebelumnya. Pada bulan November, grafik estimasi curah hujan dan grafik curah hujan observasi keduanya menunjukkan adanya kenaikan curah hujan dari bulan sebelumnya. Namun, pada grafik estimasi curah hujan terlihat bahwa kenaikan curah hujan yang sangat tinggi dibandingkan kenaikan curah hujan pada grafik curah hujan observasi. Pada gambar 4 terlihat adanya perbedaan waktu terjadinya hujan antara estimasi curah hujan dengan curah hujan observasi. Pada grafik estimasi curah hujan, curah hujan tinggi terjadi sekitar pukul 17.00 WIB sedangkan pada data observasi terjadi pukul 14.00 WIB. Hal ini menunjukkan pula bahwa terdapat perbedaan waktu respon sensor pengamatan di permukaan dan sensor di satelit.

Perbedaan data estimasi curah hujan dengan data curah hujan observasi diduga disebabkan oleh faktor-faktor lain yang mempengaruhi curah hujan. Menurut Suroso (2006) bahwa curah hujan di Indonesia variabilitas dan kompleks. Selain suhu puncak awan, faktor-faktor lain yang mempengaruhi curah hujan yaitu faktor garis lintang, ketinggian tempat, jarak sumber air, perbedaan suhu tanah dan luas daratan (Suroso,2006) :

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan pengolahan data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan koefisien korelasi menggunakan inversi nonlinear didapat

$$m_0 = \begin{bmatrix} 1,380462 \cdot 10^{-7} \\ 3789,518 \end{bmatrix}$$

Sehingga model estimasi curah hujan yang didapat :

$$y_{est} = 1,380462 \cdot 10^{-7} e^{\frac{3789,518}{x}}$$

2. Model curah hujan yang diperoleh menggunakan inversi nonlinear berdasarkan suhu puncak awan, dilihat dari grafik perbandingan antara curah hujan observasi dengan estimasi curah hujan memiliki pola yang relatif sama, namun besar kenaikan atau penurunan curah hujan tidak sama. Hal tersebut diakibatkan oleh faktor-faktor lain selain faktor suhu puncak awan yang mempengaruhi curah hujan seperti faktor garis lintang, ketinggian tempat, jarak sumber air, perbedaan suhu tanah, dan luas daratan.

Daftar Pustaka

- Grandis, H. 2003. *Inversi Geofisika (Geophysical Invesion)*. Institut Teknologi Bandung.
- Icha. 2011. *Curah Hujan, Pengertian Hujan, dan Jenis-jenis Hujan*. <http://blog-pengetahuan-umum.blogspot.com/2011/11/curah-hujan-pengertian-hujan-dan-jenis.html> (diakses tanggal 1 Juli 2014).
- Panjaitan, A. 2012. *Pengenalan Satelit MTSAT*.
- Sulaeman, C. 2010. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi Volume 5*, halaman 13-17.
- Suroso. 2006. *Analisis Curah Hujan untuk Membuat Kurva Intensity-Duration Frequency (IDF) di Kawasan Rawan Banjir Kabupaten Banyumas*. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 1. Purwakarta : Universitas Jendral Sudirman.
- Widodo, F. 1998. *Pemanfaatan Data Satelit Cuaca GMS untuk Estimasi Curah Hujan di Kabupaten Bandung, Tesis*. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada.