

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Hujan

Hujan adalah sebuah peristiwa Presipitasi (jatuhnya cairan dari atmosfer yang berwujud cair maupun beku ke permukaan bumi) berwujud cairan. Hujan memerlukan keberadaan lapisan atmosfer tebal agar dapat menemukan suhu di atas titik leleh es di atas permukaan Bumi.

Di Bumi, hujan adalah proses kondensasi (perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat) uap air di atmosfer menjadi butiran air yang cukup berat untuk jatuh dan biasanya tiba di daratan. Dua proses yang mungkin terjadi bersamaan dapat mendorong udara semakin jenuh menjelang hujan, yaitu pendinginan udara atau penambahan uap air ke udara. Butir hujan memiliki ukuran yang beragam mulai dari butiran besar hingga butiran kecilnya.

B. Proses Terjadinya Hujan

Pada proses terjadinya hujan merupakan siklus yang terjadi pada bagian bumi yakni daratan dan perairan. Siklus ini terjadi berputar sepanjang waktu yang menyeimbangkan kehidupan di bumi, proses berikut merupakan proses terbentuknya hujan :

1. Seluruh wilayah pada permukaan perairan bumi seperti sungai, danau, laut akan menguap ke udara karena panas matahari.
2. Uap air kemudian naik terus ke atas kemudian menyatu dengan udara.
3. Suhu udara yang semakin tinggi akan membuat uap air itu melakukan kondensasi atau menjadi embun, yang menghasilkan titik-titik air yang berbentuk kecil
4. Suhu yang semakin tinggi membuat butiran uap yang menjadi embun tersebut semakin banyak jumlahnya, yang kemudian berkumpul membentuk awan.
5. Awan kemudian terus berwarna menjadi kelabu dan gelap yang dikarenakan butiran airnya sudah terkumpul dalam jumlah banyak.
6. Lalu suhu yang sangat dingin dan semakin berat, membuat butiran-butiran tersebut akan jatuh ke bumi yang dinamakan hujan.

Siklus terjadinya hujan tersebut adalah muktlak terjadi setiap tahunnya, karena tidak bisa dipungkiri bahwa air merupakan sumber daya alam yang sangat penting untuk kelangsungan makhluk hidup dan karena manfaat air bagi kehidupan akan mempengaruhi perkembangan bumi. Awan pada proses terjadinya hujan akan membedakan jenis hujan yang terjadi di setiap wilayah. Hal ini karena proses pembentukan awan pada siklus terjadinya hujan dibedakan berdasarkan lapisannya menjadi seperti berikut :

1. *Sirus*

Sirus adalah lapisan yang paling atas yang bentuknya seperti serabut halus berwarna putih. Pada awan ini, akan membentuk menyerupai kristal es di langit, jika sedah terbentuk seperti itu biasanya hujan akan turun.

2. *Cumulus*

Pada lapisan kedua ini, akan membentuk yang biasanya seperti gumpalan putih lembut yang menandakan kalau cuaca akan panas serta kering. Namun ada juga yang bisa muncul dengan warna hitam yang menandakan akan turun hujan disertai angin, petir dan guruh.

3. *Stratus*

Merupakan lapisan yang menempati lapisan paling rendah di langit yang membuatnya letaknya dekat dengan permukaan bumi. Jika awan stratus kemudian berubah warna menjadi abu-abu, hal ini menandakan bahwa awan ini sudah mengandung butiran hujan yang siap diturunkan.

C. Alat Pengukur Hujan

Ada dua jenis alat pengukur hujan, yaitu manual dan otomatis.

1. Alat Pengukur Hujan Manual

Alat ini lebih dikenal dengan dengan nama Penakar Hujan *Observatorium* (OBS) atau Penakar Hujan Manual, sedang di kalangan pertanian dan pengairan biasa disebut ombrometer. Sebuah alat yang digunakan untuk menakar atau mengukur hujan harian.

Penakar Hujan OBS ini merupakan jejaring alat ukur cuaca terbanyak di Indonesia. Penempatannya 1 PH OBS mewakili luasan area 50 km² atau sampai radius 5 km. Fungsinya yang vital terhadap deteksi awal musim (Hujan/kemarau) menjadikannya sebagai barang yang dicari dan sangat diperlukan. Bahan yang digunakan adalah semurah dan semudah

mendapatkannya. Tujuan akhir pengukuran curah hujan adalah tinggi air yang tertampung bukan volumenya. Hujan yang turun jika diasumsikan menyebar merata, homogen dan menjatuhki wadah (kaleng) dengan penampang yang berbeda akan memiliki tinggi yang sama dengan catatan faktor menguap, mengalir, dan meresap tidak ada.



Gambar 2.1 Penakar Hujan *Observatorium* (OBS)

2. Alat Pengukur Hujan Otomatis

Penakar hujan jenis *Hellman* merupakan suatu instrument/alat untuk mengukur curah hujan. Penakar hujan jenis hellman ini merupakan suatu alat penakar hujan berjenis *recording* atau dapat mencatat sendiri. Alat ini dipakai di stasiun-stasiun pengamatan udara permukaan. Pengamatan dengan menggunakan alat ini dilakukan setiap hari pada jam-jam tertentu mekipun cuaca dalam keadaan baik/hari sedang cerah. Alat ini mencatat jumlah curah hujan yang terkumpul dalam bentuk garis vertikal yang tercatat pada kertas pias. Alat ini memerlukan perawatan yang cukup

intensif untuk menghindari kerusakan-kerusakan yang sering terjadi pada alat ini.

Curah hujan merupakan salah satu parameter cuaca yang mana datanya sangat penting diperoleh untuk kepentingan BMG dan masyarakat yang memerlukan data curah hujan tersebut. Hujan memiliki pengaruh yang sangat besar bagi kehidupan manusia, karena dapat memperlancar atau malah menghambat kegiatan manusia. Oleh karena itu kualitas data curah hujan yang didapat haruslah bermutu dan memiliki keakuratan yang tinggi. Maka seorang *observer* / pengamat haruslah mengetahui tentang alat penakar hujan yang dipakai di stasiun pengamat secara baik. Salah satu alat penakar hujan yang sering dipakai ialah penakar hujan jenis *Hellman* (Bunganaen, 2013).

Jika hujan turun, air hujan masuk melalui corong, kemudian terkumpul dalam tabung tempat pelampung. Air hujan ini menyebabkan pelampung serta tangkainya terangkat atau naik ke atas. Pada tangkai pelampung terdapat tongkat pena yang gerakannya selalu mengikuti tangkai pelampung. Gerakan pena dicatat pada pias yang ditakkan/digulung pada silinder jam yang dapat berputar dengan bantuan tenaga per.



Gambar 2.2 Penakar Hujan Jenis *Hellman*

Jika air dalam tabung hampir penuh (dapat dilihat pada lengkungan selang gelas), pena akan mencapai tempat teratas pada pias. Setelah air mencapai atau melewati puncak lengkungan selang gelas,maka berdasarkan sistem *siphon* otomatis (sistem selang air), air dalam tabung akan keluar sampai ketinggian ujung selang dalam tabung. Bersamaan dengan keluarnya air, tangki pelampung dan pena turun dan pencatatannya pada pias merupakan garis lurus vertikal. Jika hujan masih terus-menerus turun, maka pelampung akan naik kembali seperti diatas. Dengan demikian jumlah curah hujan dapat dihitung atau ditentukan dengan menghitung garis-garis vertikal.

D. Metode yang dipakai

Secara umum, data seri waktu dapat diuraikan menjadi komponen deterministik yang dapat dirumuskan menjadi nilai nilai yang berupa komponen yang merupakan solusi eksak dan komponen yang bersifat stokastik, mana nilai ini selalu dipresentasikan sebagai suatu fungsi yang terdiri dari beberapa fungsi data seri waktu. Data seri waktu X_{tr} , dipresentasikan sebagai suatu model yang terdiri dari beberapa fungsi sebagai berikut : (Rizalihadi, 2002; Bhakar, 2006; dan Zakaria, 2008)

Dimana :

T_t = komponen trend, $t = 1, 2, 3, \dots, N$

P_t = komponen

S_t = komponen stokastik

Komponen trend menggambarkan perubahan panjang dari pencatatan data hujan yang panjang selama pencatatan data hujan, dan dengan mengabaikan komponen fluktuasi dengan durasi pendek. Didalam penelitian ini, untuk data hujan yang dipergunakan, diperkirakan tidak memiliki trend. Sehingga persamaan ini dapat dipresentasikan sebagai berikut :

Persamaan (2.2) adalah persamaan pendekatan untuk mensimulasikan model periodik dan stokastik dari data curah hujan harian.

1. Metode Spektral

Metode spektrum merupakan salah satu metode transformasi yang umumnya dipergunakan didalam banyak aplikasi. Metode ini dapat dipresentasikan sebagai persamaan Transformasi Fourier sebagai berikut, (Zakaria, 2003; Zakaria, 2008):

$$P(f_m) = \frac{\Delta t}{2\sqrt{\pi}} \sum_{n=-N/2}^{n=N/2} P(t_n) \cdot e^{\frac{-2\pi i}{M} \cdot m \cdot n} \quad \dots \dots \dots \quad 2.3$$

Dimana $P(t_n)$ adalah data seri curah hujan dalam domain waktu dan $P(f_n)$ adalah data seri curah hujan dalam domain frekuensi. t_n adalah variabel seri dari waktu yang mempresentasikan panjang data ke N , f_m variabel seri dari frekuensi.

Berdasarkan pada frekuensi curah hujan yang dihasilkan dari Persamaan (2.4), amplitudo sebagai fungsi dari frekuensi curah hujan dapat dihasilkan. Amplitudo maksimum dapat ditentukan dari amplitudo amplitudo yang dihasilkan sebagai amplitudo signifikan. Frekuensi curah hujan dari amplitudo yang signifikan digunakan untuk mensimulasikan curah hujan harian sintetik atau buatan yang diasumsikan sebagai frekuensi curah hujan yang signifikan. Frekuensi curah hujan signifikan yang dihasilkan didalam studi ini dipergunakan untuk menghitung frekuensi sudut dan menentukan komponen priodik curah hujan harian dengan menggunakan Persamaan (2.4).

2. Istilah Periodik

Dalam matematika, **fungsi hampir berkala** adalah fungsi bilangan riil yang bersifat periodik terhadap tingkat keakuratan apapun yang diinginkan karena "periode nyaris"-nya panjang dan terdistribusi dengan baik. Konsep ini awalnya diteliti oleh *Harald Bohr*, lalu disederhanakan oleh *Vyacheslav Stepanov*, *Hermann Weyl*, dan *Abram Samoilovitch Besicovitch*. Ada pula fungsi nyaris periodik di kelompok abelian padat tertutup yang pertama kali diteliti oleh *John von Neumann*. Kehampirberkalaan (*almost periodicity*) adalah sifat sistem dinamika yang tampak menelusuri kembali jalurnya melalui ruang fase, namun tidak sepenuhnya tepat.

Komponen periodik $P(t)$ berkenaan dengan suatu perpindahan yang berosilasi untuk suatu interval tertentu (Kotegoda, 1980). Keberadaan $P(t)$ diidentifikasi dengan menggunakan metode Transformasi Fourier. Bagian yang berosilasi menunjukkan keberadaan $P(t)$, dengan menggunakan periode P , beberapa periode puncak dapat diestimasi dengan menggunakan analisis Fourier. Frekuensi-frekuensi yang didapat dari metode spektral secara jelas menunjukkan adanya variasi yang bersifat periodik.

Komponen periodik $P(f_m)$ dapat juga ditulis dalam bentuk frekuensi sudut ω_r . Selanjutnya dapat diekspresikan sebuah persamaan dalam bentuk Fourier sebagai berikut, (Zakaria, 1998) :

$$\hat{P}(t) = S_o + \sum_{r=1}^{r=k} A_r \sin(\omega_r t) + \sum_{r=1}^{r=k} B_r \cos(\omega_r t) \quad \dots \quad 2.4$$

Persamaan (2.4) dapat disusun menjadi persamaan sebagai berikut,

$$\hat{P}(t) = \sum_{r=1}^{r=k+1} A_r \sin(\omega_r t) + \sum_{r=1}^{r=k} B_r \cos(\omega_r t) \quad \dots \quad 2.5$$

Dimana :

$P(t)$ = komponen periodik

$\hat{P}(t)$ = model dari komponen periodik

P_o = A_{k+1} = rerata curah hujan harian (mm)

ω_r = frekuensi sudut (radian)

t = waktu (hari)

A_r, B_r = koefisien komponen *fourier*

k = jumlah komponen signifikan

3. Istilah Stokastik

Stochastic berasal dari kata Yunani *στόχος*, yang berarti "aim" atau "tujuan/sasaran". Hal ini juga menunjukkan target yang bersifat melekat.

Dalam teori probabilitas, sistem murni stokastik adalah salah satu yang keadaannya non-deterministik sehingga kondisi berikutnya dari sistem ditentukan secara probabilistik. Setiap sistem atau proses yang harus dianalisa menggunakan teori probabilitas stokastik setidaknya sebagian.

Sistem stokastik dan proses stokastik peranan penting dalam model matematika dari fenomena di berbagai bidang ilmu pengetahuan, teknik, ekonomi dan bidang ilmu lainnya.

Prosedur matematika yang diambil untuk memformulasikan model yang diprediksi akan didiskusikan selanjutnya. Tujuan yang paling prinsip dari analisis ini adalah untuk menentukan model yang realistik untuk menghitung dan menguraikan data hujan seri waktu menjadi berbagai komponen frekuensi, amplitudo, dan fase hujan yang bervariasi.

Komponen stokastik dibentuk oleh nilai yang bersifat *random* yang tidak dapat dihitung secara tepat. Stokastik model, dalam bentuk model *autoregresif* dapat ditulis sebagai fungsi matematika sebagai berikut,

$$S_t = \varepsilon + \sum_{k=1}^p b_k \cdot S_{t-k} \quad \dots \dots \dots \quad 2.6$$

Persamaan 2.6 dapat diuraikan menjadi,

$$S_t = \varepsilon + b_1 \cdot S_{t-1} + b_2 \cdot S_{t-2} + \dots + b_p \cdot S_{t-p} \quad \dots \dots \dots \quad 2.7$$

Dimana :

b_k = parameter model *autoregressif*.

ε = konstanta bilangan *random*

$k = 1, 2, 3, 4, \dots, p$ = order komponen stokastik

Untuk mendapatkan parameter model dan konstanta bilangan random dari model stokastik di atas dapat dipergunakan metode kuadrat terkecil (*least squares method*).

4. Metode Kuadrat Terkecil (*Least Squares Method*)

Didalam metode pendekatan kurvanya, sebagai suatu solusi pendekatan dari komponen-komponen periodik $P(t)$, dan untuk menentukan fungsi dari Persamaan (2.5), sebuah prosedur yang dipergunakan untuk mendapatkan model komponen periodik tersebut adalah metode kuadrat terkecil (*Least squares method*). Dari Persamaan (5) dapat dihitung jumlah dari kuadrat *error* antara data dan model periodik (Zakaria, 1998) sebagai berikut,

$$\text{Jumlah kuadrat } \textit{error} = J = \sum_{t=1}^{l=m} \{P(t) - \hat{P}(t)\}^2 \quad \dots \dots \dots \quad 2.8$$

Dimana J adalah jumlah kuadrat *error* yang nilainya tergantung pada nilai A_r dan B_r . Selanjutnya koefisien J hanya dapat menjadi minimum bila memenuhi persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\partial J}{\partial A_r} = \frac{\partial J}{\partial B_r} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad 2.9$$

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, didapat komponen *fourier* A_r dan B_r . Berdasarkan koefisien *fourier* ini dapat dihasilkan persamaan sebagai berikut,

- a. Curah hujan harian rerata,

$$P_0 = A_{k+1} \quad \dots \dots \dots \quad 2.10$$

- b. Amplitudo dari komponen harmonik,

$$C_r = \sqrt{A_r^2 + B_r^2} \quad \dots \dots \dots \quad 2.11$$

- c. Fase dari komponen harmonik,

$$\phi_r = \arctan\left(\frac{B_r}{A_r}\right) \quad \dots \quad 2.12$$

Rerata dari curah hujan harian, amplitudo dan fase dari komponen harmonik dapat dimasukkan ke dalam sebuah persamaan sebagai berikut,

$$\hat{P}(t) = S_o + \sum_{r=1}^{r=k} C_r \cdot \cos(\omega_r t - \varphi_r) \quad \dots \quad 2.13$$

Persamaan (2.13) adalah model periodik dari curah hujan harian dimana yang periodik didapat berdasarkan data curah hujan harian dari stasiun curah hujan Sukaramo.

Berdasarkan hasil simulasi yang didapat dari model periodik curah hujan harian, dapat dihitung komponen stokastik curah hujan harian. Komponen stokastik merupakan selisih antara data curah hujan harian dengan hasil simulasi curah hujan harian yang didapat dari model periodik. Selanjutnya Parameter stokastik dapat dicari dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squares method*).

E. Metode Konvensional / Rata-rata

Metode Konvensional / Rata-rata adalah metode yang paling praktis digunakan untuk mencari data curah hujan yang hilang. Metode ini hanya merata-ratakan curah hujan kumulatif bulanan atau tahunan dari curah hujan yang hilang.

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad \dots \quad 2.14$$

Keterangan :

P = Curah Hujan yang hilang

P_1 = Curah hujan tahun sebelumnya

P_2 = Curah hujan tahun berikutnya

Metode ini adalah metode yang paling sederhana maka metode ini mungkin kurang akurat untuk perencanaan karena hanya merata-ratakan curah hujan untuk mencari curah hujan yang hilang.

F. Metode *Normal Ratio*

Metode *Normal Ratio* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mencari data yang hilang. Metode perhitungan yang digunakan cukup sederhana yakni dengan memperhitungkan data curah hujan di stasiun hujan yang berada di das yang sama untuk mencari data curah hujan yang hilang di stasiun tersebut. Variabel yang diperhitungkan pada metode ini adalah curah hujan harian di stasiun lain dan jumlah curah hujan 1 tahun pada stasiun lain tersebut. Rumus Metode *Normal Ratio* untuk mencari data curah hujan yang hilang sebagai berikut :

Keterangan :

Rx = Curah hujan stasiun yang datanya dicari (mm)

n = Jumlah stasiun Hujan

NA = Jumlah hujan pada stasiun A pada tahun sebelumnya

PA = Curah hujan harian pada stasiun A

NB = Jumlah hujan pada stasiun B pada tahun sebelumnya

PB = Curah hujan harian pada stasiun B

N_x = Jumlah hujan pada stasiun X pada tahun sebelumnya

Metode ini jika dilihat dari penggunaan rumus yang memasukkan jumlah data curah hujan pada stasiun lain di das yang sama, maka metode ini lebih akurat dibandingkan dengan metode konvensional / rata-rata yang hanya menggunakan data pada stasiun hujan itu sendiri.

G. Metode *Inversed Square Distance*

Metode *Inversed Square Distance* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mencari data yang hilang. Metode perhitungan yang digunakan hampir sama dengan metode *normal ratio* yakni memperhitungkan stasiun yang ada pada das yang sama. Jika pada metode *normal ratio* yang digunakan adalah jumlah curah hujan dalam 1 tahun, pada metode ini variabel yang digunakan adalah jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang akan dicari data curah hujan yang hilang. Rumus Metode *Inversed Square Distance* untuk mencari data curah hujan yang hilang sebagai berikut :

$$R_X = \frac{\frac{1}{dX_A^2} \times R_A + \frac{1}{dX_B^2} \times R_B}{\frac{1}{dX_A^2} + \frac{1}{dX_B^2}} \quad \dots \quad 2.16$$

Keterangan :

Rx = Curah hujan stasiun yang datanya dicari (mm)

RA = Curah hujan stasiun A

dXA = Jarak stasiun A ke stasiun yang di cari

RB = Curah hujan stasiun B

dXB = Jarak stasiun B ke stasiun yang di cari

Metode ini jika dilihat dari penggunaan rumus yang memasukkan jarak data curah hujan pada stasiun lain di das yang sama, maka metode ini lebih akurat dibandingkan dengan metode konvensional / rata-rata yang hanya menggunakan data pada stasiun hujan itu sendiri.