

**METODE DISAGREGASI CURAH HUJAN DENGAN  
PENDEKATAN STOKASTIK *NEYMAN-SCOTT***

**SKRIPSI**

**oleh:**

**IVANA OLGA MANGARE**

**145090501111036**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2017**



**METODE DISAGREGASI CURAH HUJAN DENGAN  
PENDEKATAN STOKASTIK *NEYMAN-SCOTT***

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh:

**IVANA OLGA MANGARE**

**145090501111036**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**  
**METODE DISAGREGASI CURAH HUJAN DENGAN**  
**PENDEKATAN STOKASTIK *NEYMAN-SCOTT***

oleh:  
**IVANA OLGA MANGARE**  
**145090501111036**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji**  
**pada tanggal 28 Desember 2017**  
**dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar**  
**Sarjana Sains dalam bidang Statistika**

**Pembimbing**

**Dr. Suci Astutik, S.Si., M.Si.**  
**NIP. 197407221999032001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Matematika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Ratno Bagus Edy Wibowo, S.Si, M.Si, Ph.D.**  
**NIP. 197509082000031003**

## LEMBAR PERNYATAAN

**Nama** : Ivana Olga Mangare  
**NIM** : 145090501111036  
**Jurusan** : Matematika  
**Program Studi** : Statistika  
**Penulis Skripsi Berjudul** :

### **METODE DISAGREGASI CURAH HUJAN DENGAN PENDEKATAN STOKASTIK *NEYMAN-SCOTT***

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termasuk di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 28 Desember 2017

Yang menyatakan,

Ivana Olga Mangare  
NIM. 145090501111036

# METODE DISAGREGASI CURAH HUJAN DENGAN PENDEKATAN STOKASTIK NEYMAN-SCOTT

## ABSTRAK

Pengukuran curah hujan dilakukan pada skala waktu tinggi (harian) dan skala waktu rendah (per-jam). Informasi curah hujan skala waktu rendah sangat diperlukan, salah satunya di bidang hidrologi. Pemodelan curah hujan dilakukan dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulse* (NSRP) pada data curah skala waktu rendah Chicago tahun 2016. Setiap bulannya, terdapat enam parameter yang dihasilkan dan digunakan untuk membangkitkan data pada skala waktu rendah (per-jam). Namun, hasil pembangkitan yang dihasilkan belum konsisten terhadap data asli. Sehingga metode disagregasi dengan *proportional adjusting procedure* dapat membangkitkan data curah hujan per-jam yang konsisten terhadap data asli. Model NSRP yang dihasilkan sudah cukup baik, dengan nilai MAE sebesar 0,079 dan 0,114 yang mendekati 0. Ketidakkonsistenan data hasil pembangkitan berhasil diatasi dengan metode disagregasi *adjusting* yang menghasilkan data curah hujan harian yang identik dengan data hasil observasi.

**Kata Kunci:** Curah Hujan, Disagregasi, NSRP, Stokastik.

# **RAINFALL DISAGGREGATION METHOD USING NEYMAN-SCOTT STOCHASTIC PROCESS**

## **ABSTRACT**

Rainfall measurements are performed on a high time scale (daily) and low time scale (hourly). Low-time rainfall information is required, one of them in the field of hydrology. Rainfall modeling is done with the Neyman-Scott Rectangular Pulse (NSRP) stochastic approach on Chicago's low-Chicago time-flow data 2016. Each month, six parameters are generated and used to generate data on a low time scale (hourly). However, the resulting generation results have not been consistent with the original data. So the disaggregation method with proportional adjusting procedure can generate consistent hourly rainfall data against the original data. The resulting NSRP model is good enough, with MAE value of 0.079 and 0.114 which is close to 0. Inconsistency of result data of succeed is overcome with disaggregation adjusting method which yield daily rainfall data identical with observation data.

**Keywords:** Rainfall, Dissagregation, NSRP, Stochastics.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Metode Disagregasi Curah Hujan Dengan Pendekatan Stokastik Neyman-Scott”. Skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Dr. Suci Astutik, S.Si., M. Si selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan.
2. Rahma Fitriani, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku ketua Program Studi Statistika Universitas Brawijaya dan dosen penguji I skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan.
3. Dr. Dra. Ani Budi Astuti, M.Si selaku dosen penguji II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan.
4. Ratno Bagus Edy Wibowo, S.Si., M.Si., Ph.D selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universtas Brawijaya.
5. Keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan.
6. Teman-teman Statistika 2014 Universitas Brawijaya yang senantiasa memberi dukungan.
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih belum sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, Desember 2017

(Penulis)



# DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Curah Hujan.....	5
2.2. Distribusi Data .....	6
2.2.1. Distribusi Poisson.....	6
2.2.2. Distribusi Geometri .....	6
2.2.3. Distribusi Eksponensial.....	7
2.3. Proses Stokastik .....	7
2.3.1. Proses Poisson .....	7
2.4. Model Curah Hujan Stokastik <i>Neyman-Scott</i> <i>Rectangular Pulses</i> (NSRP) .....	8
2.4.1. Pemodelan NSRP .....	8
2.4.2. Pendugaan Parameter .....	10
2.4.3. <i>Goodness of Fit</i> Model .....	11
2.5. Metode Disagregasi .....	12
2.6. Metode <i>Adjusting</i> .....	14
2.6.1. Metode Proporsional ( <i>Proportional Adjusting</i> <i>Procedure</i> ).....	14
2.6.2. Metode Linear ( <i>Linear Adjusting Procedure</i> )	15
2.6.3. Metode Power ( <i>Power Adjusting Procedure</i> )	15
BAB III. METODE PENELITIAN .....	17
3.1. Sumber Data .....	17

3.2. Metode Analisis .....	17
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Eksplorasi Data .....	21
4.2. Pemodelan <i>Neyman-Scott Rectangular Pulses</i> (NSRP) .....	23
4.3. Metode Disagregasi Waktu.....	26
BAB V. KESIMPULAN .....	29
5.1. Kesimpulan .....	29
5.2. Saran .....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN .....	33

## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1. Skema Model NSRP .....	9
Gambar 2.1. Metode Disagregasi (Koutsoyiannis, 2003).....	13
Gambar 3.1. Diagram Alir Disagregasi .....	18
Gambar 3.2. Diagram Alir Sub Program Pemodelan NSRP .....	19
Gambar 3.3. Diagram Alir Sub Program Disagregasi .....	20
Gambar 4.1. Plot Curah Hujan Per-Jam Chicago 2016.....	21
Gambar 4.2. Plot Curah Hujan Harian Chicago 2016 .....	22
Gambar 4.3. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum <i>Adjusting</i> Curah Hujan Per-jam tahun 2016.....	25
Gambar 4.4. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum <i>Adjusting</i> Curah Hujan Per-jam Januari 2017.....	26
Gambar 4.5. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Per-jam Bulan Juli 2016 .....	27
Gambar 4.6. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum dan Sesudah <i>Adjusting</i> Curah Hujan Harian Bulan Juli 2016.....	27
Gambar 4.7. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Per-jam Bulan Januari 2017 .....	28
Gambar 4.8. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Harian Bulan Januari 2017 .....	28

## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2.1. Parameter NSRP .....	9
Tabel 2.2. Struktur Data Disagregasi Curah Hujan .....	13
Tabel 4.1. Karakteristik Data Curah Hujan Per-Jam .....	22
Tabel 4.1. Statistik Data Curah Hujan Per-Jam.....	23
Tabel 4.2. Parameter NSRP .....	24

## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1. Data Curah Hujan Harian (mm) Chicago Januari 2016 – Januari 2017 .....	33
Lampiran 2. Data Hasil Pembangkitan NSRP .....	35
Lampiran 3. Perbandingan Curah Hujan Harian Bulan Juli Data .	36
Lampiran 4. Data Curah Hujan Per-Jam ( $Y_t$ ) dan Hasil <i>Adjusting</i> ( $Y_t$ ) Bulan Januari 2017 (mm).....	37
Lampiran 5. Bahasa Pemrograman Matlab (Camici dkk., 2011) ..	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Banjir dan longsor merupakan masalah yang sering muncul saat hujan deras terjadi. Tingginya curah hujan, namun tidak diimbangi dengan sarana penampungan air atau daerah resapan yang sesuai menjadi penyebabnya. Bencana banjir sering terjadi di banyak daerah di dunia, bahkan di negara maju sekalipun. Hal ini dapat merugikan banyak pihak, mengganggu mobilitas, dan jalannya pemerintahan, terutama di bidang perdagangan. Cara penanggulangan banjir adalah membangun saluran air atau drainase, menyiapkan wilayah untuk menerima, mengumpulkan air hujan untuk mengalirkannya ke sungai atau ke laut. Kesesuaian ukuran dan kapasitas saluran air tersebut harus sesuai dengan intensitas hujan yang terjadi di wilayah tersebut.

Kini terdapat beberapa *website* yang menyediakan informasi mengenai prakiraan cuaca di seluruh wilayah di dunia. Di negara maju, informasi prakiraan cuaca disajikan pada skala waktu rendah seperti skala per-jam. Informasi ini sering digunakan, bahkan untuk informasi di waktu lampau dan waktu yang akan datang. Prakiraan cuaca untuk skala per-jam diperlukan khususnya di musim hujan karena adanya perbedaan curah hujan saat pagi dan sore hari. Prakiraan cuaca pada skala waktu rendah dapat memberikan hasil yang lebih tepat dan akurat. Selain itu beberapa metode dalam hidrologi memerlukan data curah hujan skala waktu rendah sebagai *input*.

Pengukuran curah hujan untuk skala waktu rendah dapat diperoleh dengan berbagai cara. Stasiun hujan melakukan pencatatan curah hujan di lapangan dengan menggunakan perangkat pengukuran, seperti alat ukur hujan otomatis, radar cuaca dan sensor *remote*. Namun, minimnya data dan fasilitas dapat menjadi salah satu penyebab minimnya informasi mengenai cuaca terutama curah hujan

pada skala waktu rendah di Indonesia. Padahal banyak alat hidrologi yang memerlukan input berupa data skala waktu per-jam.

Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan data curah hujan skala waktu rendah, yaitu skala waktu per-jam dapat menggunakan metode disagregasi. Metode disagregasi adalah metode pembangkitan data dengan melibatkan dua skala waktu, yaitu skala waktu tinggi dan skala waktu rendah (Koutsoyiannis, 2003). Hasil pembangkitan data curah hujan data bangkitan skala waktu rendah yang dihasilkan harus konsisten terhadap data skala waktu tinggi sebenarnya.

Terdapat dua tahap dalam metode disagregasi, yaitu pemodelan dan pembangkitan data. Tahap awal adalah pemodelan curah hujan skala waktu rendah. Terdapat banyak model yang dapat digunakan untuk memodelkan curah hujan. Beberapa di antaranya adalah menggunakan model deret waktu, model bayesian, model logistik dan model stokastik. Pada penelitian sebelumnya, Pratiwi (2014) memodelkan curah hujan dengan campuran rantai markov dan model deret waktu, sedangkan Ratnasari (2015) memodelkan dengan model *Zero Inflated Gamma* (ZIG), dan Rahmawati (2015) menggunakan model gabungan regresi logistik dan regresi gamma. Terdapat dua model curah hujan stokastik yang dapat digunakan, yaitu *Neyman-Scott Rectangular Pulses* (NSRP) dan *Bartlett-Lewis Rectangular Pulses* (BLRP). Model BLRP sebelumnya telah dilakukan oleh Hidayah, dkk. (2010), sehingga model stokastik yang digunakan pada penelitian ini adalah model NSRP. Tahap selanjutnya, yaitu pembangkitan data dengan metode disagregasi dengan *adjusting procedure*. Rahmawati (2015) telah melakukan pembangkitan data dengan metode disagregasi, namun data skala waktu tinggi dan rendah yang digunakan adalah data bulanan dan harian. Sehingga pada penelitian ini, dilakukan metode disagregasi dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulses* (NSRP) data curah hujan skala waktu tinggi (harian) untuk membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah (per-jam) yang sesuai.



## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana memodelkan curah hujan skala per-jam dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulses* ?
2. Bagaimana pembangkitan data curah hujan skala waktu rendah berdasarkan data skala waktu tinggi dengan metode disagregasi?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memodelkan curah hujan dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulse*.
2. Membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah berdasarkan data skala waktu tinggi dengan metode disagregasi.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah (per-jam) berdasarkan data skala waktu tinggi (harian) yang diketahui.

## **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan skala harian dan per-jam Kota Chicago tahun 2016.
2. Variabel banyak sel hujan setiap storm berdistribusi poisson. Pembangkitan data dengan metode disagregasi dilakukan pada bulan terbasah.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Curah Hujan**

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (milimeter) di atas permukaan horizontal apabila tidak terjadi proses penguapan, pengaliran, dan peresapan (BMKG, 2016). Dapat diartikan pula sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter, berarti dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air hujan setinggi satu milimeter atau tertampung air 1 liter. Kondisi geografis yang berbeda di setiap wilayah menyebabkan angka curah hujan bervariasi.

Curah hujan merupakan salah satu hal yang mempengaruhi iklim dan cuaca. Selain itu, informasi curah hujan digunakan di banyak bidang, seperti bidang pertanian dan mitigasi bencana, seperti banjir dan longsor. Pembangunan saluran air atau drainase serta pengendalian banjir menggunakan data curah hujan digunakan untuk mengetahui jumlah hujan yang terjadi dan sebagai prakiraan pembuatan saluran air. Selain itu beberapa metode dalam hidrologi memerlukan data curah hujan skala waktu rendah sebagai input. Pencatatan curah hujan dilakukan secara manual dengan mengukur jumlah air hujan yang tertampung pada alat penakar curah hujan pada hari tersebut. Data tersebut kemudian dikumpulkan setiap hari dan dilaporkan secara berkala.

Banyaknya curah hujan per-satuan jangka waktu tertentu disebut intensitas/tingkat kelembatan hujan. Saat intensitas hujan besar, berarti terjadi hujan lebat dan dapat menimbulkan banjir. Berdasarkan intensitas curah hujan dibedakan menjadi 3 yaitu hujan sedang berada diantara 20 dan 50 mm perhari, hujan lebat berada diantara 50 dan 100 mm perhari, dan hujan sangat lebat berada di atas 100 mm perhari.

## 2.2. Distribusi Data

### 2.2.1. Distribusi Poisson

Suatu variabel mengikuti distribusi poisson saat terjadi kejadian yang langka dalam suatu interval waktu. Suatu kejadian mengikuti distribusi poisson memiliki peluang sukses yang sangat kecil, hingga mendekati 0, dengan banyak pengamatan yang besar mendekati tak hingga dan rata-rata  $\lambda$ . Fungsi frekuensi peluang dari peubah  $X$  sebagaimana pada persamaan 2.1 (Walpole, 2011).

$$p(x) = P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \text{ untuk } x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

Nilai harapan dan varian  $X$  untuk distribusi poisson adalah:

$$E(X) = Var(X) = \lambda = np$$

di mana

$\lambda$  : rata-rata terjadinya *event* dalam satu periode

$e$  : konstanta (2,71828)

$X$  : variabel random diskrit

$n$  : banyak pengamatan

$p$  : peluang sukses

### 2.2.2. Distribusi Geometri

Distribusi geometri berkaitan dengan *Bernoulli* dan distribusi binomial (Ghahramani, 2005). Distribusi geometri menentukan peluang terjadinya kejadian sukses pertama ( $p$ ) setelah beberapa kali percobaan. Fungsi frekuensi peluang distribusi geometri sebagaimana pada persamaan 2.2.

$$P(X = x) = \begin{cases} (1-p)^{x-1}p, & 0 < p < 1 \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2.2)$$

Nilai harapan dan ragam untuk distribusi geometri adalah:

$$E(X) = \frac{1}{p} \quad Var(X) = \frac{1-p}{p^2}$$

di mana

$x$  : banyaknya percobaan hingga sukses pertama

$n$  : banyak pengamatan

$p$  : peluang sukses

### 2.2.3. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk mendeskripsikan waktu antar kedatangan. Sifat utama distribusi eksponensial adalah *memoryless* yang diperlukan di beberapa model stokastik. Sebaran ini biasa digunakan untuk memodelkan peristiwa yang berhubungan dengan waktu. Fungsi kepekatan peluangnya dengan parameter  $\lambda$  ditunjukkan pada persamaan 2.3 dan fungsi kumulatifnya sebagaimana persamaan 2.4 (Ghahramani, 2005).

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2.4)$$

Nilai harapan dan varian  $X$  distribusi eksponensial adalah:

$$E(X) = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

### 2.3. Proses Stokastik

Proses stokastik  $\{X(t)|t \in T\}$  merupakan keluarga peubah acak ( $X$ ) yang merupakan fungsi dari waktu ( $t$ ) (Ghahramani, 2005).  $T$  merupakan indeks dari proses yang terjadi,  $T = \{1,2, \dots\}$  untuk  $t$  diskrit, dan  $T = \{0, \infty\}$  untuk  $t$  kontinyu. Beberapa contoh proses stokastik adalah proses poisson, rantai markov, sistem antrian.

#### 2.3.1. Proses Poisson

Menurut Taylor dan Karlin (1998), proses poisson dengan laju  $\lambda$  merupakan proses stokastik  $\{X(t), t \geq 0\}$  dimana

(i) Untuk setiap waktu  $t_0 = 0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$  mengalami kenaikan yang saling bebas,

$$X(t_1) - X(t_0), X(t_2) - X(t_1), \dots, X(t_n) - X(t_{n-1}),$$

(ii) Untuk  $s \geq 0$  dan  $t > 0$ , variabel  $X(s + t) - X(s)$  berdistribusi

$$\text{poisson dengan } P\{X(s + t) - X(s) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!},$$

(iii)  $X(0) = 0$ .

Jika  $X(t)$  adalah proses poisson dengan laju  $\lambda > 0$ , rata-rata dan variannya adalah  $E[X(t)] = \text{Var}[X(t)] = \lambda t$ .

## 2.4. Model Curah Hujan Stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulses* (NSRP)

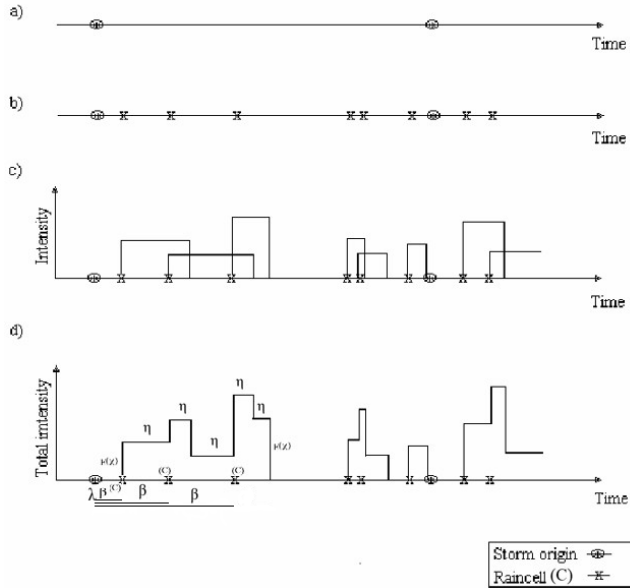
### 2.4.1. Pemodelan NSRP

Proses stokastik merupakan proses yang bergantung pada waktu. Pemodelan curah hujan dapat menggunakan proses stokastik karena variabel yang digunakan mempunyai distribusi dan probabilitas. Proses pemodelan stokastik sering digunakan dalam hidrologi, salah satunya untuk memodelkan curah hujan. Model hujan stokastik yang sering digunakan adalah *Bartlett-Lewis Rectangular Pulse* (BLRP) dan *Neyman-Scott Rectangular Pulse* (NSRP). Pada kedua model hujan stokastik ini proses hujan dihitung pada setiap *cluster* atau kelompoknya, yang disebut *storm* (Yendra dkk., 2014).

Melalui model stokastik bisa didapatkan informasi lengkap tentang peristiwa hujan yang terjadi karena data yang digunakan adalah data hujan dalam skala yang kecil, seperti data harian atau data per-jam. Selain itu, model hujan stokastik dapat menyimulasikan serangkaian data yang panjang pada lokasi dengan data historik yang sedikit (Cowpewartait, 2010).

Cowpewartait (2010) memodelkan hujan stokastik dengan NSRP untuk curah hujan di Inggris dengan lima parameter, yaitu  $\lambda$ ,  $E(X)$ ,  $E(C)$ ,  $\beta$ , dan  $\eta$  sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.

Proses hujan dihitung dalam setiap kelompok atau kluster yang setiap kelompoknya disebut *storm*. *Storm* mengikuti proses poisson dengan waktu dimulainya diwakili parameter  $\lambda$  yang terdistribusi secara eksponen. Setiap *storm* terdapat jumlah sel hujan ( $C$ ) secara acak dengan distribusi poisson dan geometri dengan rata-rata  $E(C)$ . Selang antara awal terjadi *storm* dan adanya sel hujan menyebar eksponensial dengan rata-rata  $\beta$ . Intensitas atau keledatan hujan ( $X$ ) yang terjadi untuk setiap sel dalam setiap *storm* terdistribusi secara eksponensial dengan rata-rata  $E(X)$ . Lama atau durasi terjadinya hujan setiap sel dalam setiap *storm* menyebar eksponensial diwakili parameter  $\eta$ .



Gambar 2.1. Skema Model NSRP

Tabel 2.1. Parameter NSRP

Variabel	Sebaran	Parameter	Satuan
Waktu dimulai <i>storm</i>	Eksponensial	$\lambda$	1/jam
Banyak sel hujan setiap <i>storm</i>	Poisson	$C$	sel
Selang antara awal terjadi <i>storm</i> dan adanya sel hujan	Eksponensial	$\beta$	1/jam
Durasi hujan	Eksponensial	$\eta$	1/jam
Intensitas atau kelebatan hujan	Eksponensial	$X$	mm/jam

Menurut Rodriguez-Iturbe (1987), model NSRP secara matematis ditunjukkan pada persamaan 2.5.

$$Y(t) = \int_{u=0}^{\infty} X_{t-u}(u) dN(t-u) \quad (2.5)$$

$$dN(t) = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat sel hujan saat } t - u \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases}$$

di mana

$Y(t)$  : total intensitas hujan tiap sel hujan pada waktu  $t$

$X_{t-u}(u)$  : tingkat kelembatan hujan saat  $t - u$

$N(t)$  : proses mencacah stokastik setiap kedatangan sel hujan

Jumlah total curah hujan pada skala waktu  $\tau$  ditunjukkan pada persamaan 2.6. Curah hujan yang terjadi setiap  $N(t)$  adalah  $\lambda\mu_c$ . Dalam selang waktu  $\tau$ .

$$Y_i^\tau = \int_{(i-1)\tau}^{i\tau} Y(t)dt \quad (2.6)$$

dimana  $i = 1, 2, \dots, 24$ .

## 2.4.2. Pendugaan Parameter

Pendugaan parameter dilakukan melalui karakteristik statistik melalui metode momen, yaitu rata-rata, ragam, autokorelasi, dan kemiringan (*skewness*). Karakteristik statistik tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.7 – 2.9 (Yusof dkk., 2015).

$$E(Y_i^\tau) = \frac{\lambda\tau}{\eta} E(C)E(X) \quad (2.7)$$

$$Var(Y_i^\tau) = \Omega_1(\lambda, C, X)\Psi_1(\eta, \tau) + \Omega_2(\lambda, C, X)\Psi_2(\eta, \tau, \beta) \quad (2.8)$$

$$cov(Y_i^\tau, Y_{i+k}^\tau) = \Omega_1(\lambda, C, X)\Psi_3(\eta, \tau, \beta) + \Omega_2(\lambda, C, X)\Psi_4(\eta, \tau, \beta) \quad (2.9)$$

$$\Omega_1(\lambda, C, X) = 2\lambda E(C)E(X^2)$$

$$\Omega_2(\lambda, C, X) = \lambda E(C^2 - C)E^2(X)$$

$$\Psi_1(\eta, \tau) = \frac{1}{\eta^3} (\eta\tau - 1 + \exp(-\eta\tau))$$

$$\Psi_2(\eta, \tau, \beta) = \Psi_1(\eta, \tau) \frac{\beta^2}{\beta^2 - \eta^2} - \frac{\beta\tau - 1 + \exp(-\beta\tau)}{\beta(\beta^2 - \eta^2)}$$

$$\Psi_3(\eta, \tau, \beta) = \frac{1}{2\eta^3} (1 - \exp(-\eta\tau))^2 \exp(-\eta(k-1)\tau)$$



$$\Psi_4(\eta, \tau, \beta) = \Psi_3(\eta, \tau, \beta) \frac{\beta^2}{\beta^2 - \eta^2} - \frac{1 - \exp(-\beta\tau)^2 \exp(-\beta(k-1))}{2\beta(\beta^2 - \eta^2)}$$

di mana

$k$  : lag autokorelasi

$\tau$  : selang waktu hujan

$\lambda$  : rata-rata waktu dimulainya *storm*

$\beta$  : rata-rata selang antara awal terjadi *storm* dan adanya sel hujan

$\eta$  : durasi terjadinya hujan setiap sel dalam setiap *storm*

$E(C)$  : rata-rata sel hujan setiap *storm*

$E(X)$  : rata-rata intensitas hujan

Pendugaan parameter dilakukan dengan meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan antara model yang dipilih dan data asli pada persamaan 2.10 melalui proses iterasi. Data yang digunakan dengan selang waktu ( $\tau$ ) yang berbeda, yaitu pada 1, 6, dan 24 jam. Statistik yang digunakan adalah rata-rata  $\tau$  jam  $\hat{\mu}(\tau)$ , ragam  $\tau$  jam  $\hat{\sigma}(\tau)$ , autokorelasi lag-1 selang  $\tau$  jam  $\hat{\rho}(\tau, 1)$ , dan kemiringan data  $\hat{\gamma}(\tau)$ . Melalui persamaan 2.7 sampai dengan persamaan 2.9, didapatkan momen kedua pada selang waktu ( $\tau$ ) yang berbeda. Persamaan 2.10 digunakan untuk mengkalibrasi model ke data curah hujan observasi (Yendra dkk., 2015).

$$Z(X, \tau) = \sum_{k, \tau} \left( 1 - \frac{\theta(X, \tau)}{\theta^*(\tau)} \right)^2 \quad (2.10)$$

di mana

$Z(X, \tau)$  : fungsi objektif

$\theta^*(\tau)$  : momen statistik dari data

$\theta(X, \tau)$  : momen hasil penghitungan statistik

### 2.4.3. Goodness of Fit Model

MAE (*Mean Absolute Error*) merupakan salah satu cara untuk mengetahui ketepatan suatu model dengan

mempertimbangkan data hasil observasi. MAE sebagaimana pada persamaan 2.11 digunakan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan hasil. Nilai MAE yang mendekati 0 menandakan bahwa model tersebut sudah baik.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_t - \tilde{Y}_t| \quad (2.11)$$

di mana

- $n$  : banyaknya data
- $Y_t$  : data aktual
- $\tilde{Y}_t$  : data hasil pembangkitan

## 2.5. Metode Disagregasi

Disagregasi adalah metode pembangkitan data dengan melibatkan dua skala waktu, yaitu skala waktu tinggi dan rendah (Koutsoyiannis, 2003). Keuntungan menggunakan metode disagregasi adalah lebih flexibel dan dapat mempertahankan karakteristik data, seperti rata-rata dan standar deviasi. Dalam metode disagregasi harus memenuhi persamaan 2.12 di mana  $k$  adalah jumlah sub-periode dalam setiap periode.

$$\sum_{t=(i-1)k+1}^{ik} Y_{it} = Z_i \quad (2.12)$$

di mana

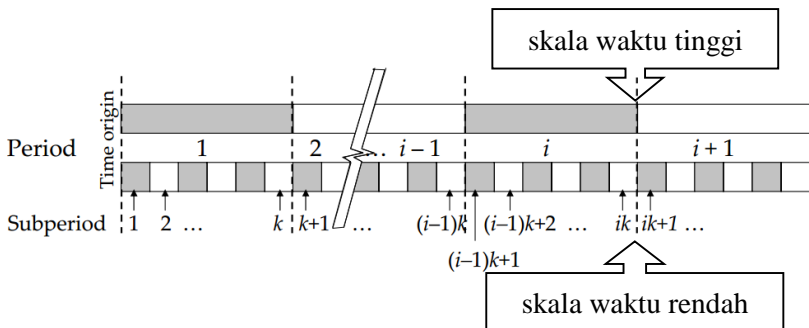
- $Z_i$  : data skala waktu tinggi (harian)
- $Y_{it}$  : data skala waktu rendah (per-jam)
- $k$  : periode skala waktu rendah pada setiap skala waktu tinggi
- $i$  : periode skala waktu tinggi atau banyaknya hari

Data yang digunakan adalah data pada skala waktu tinggi yaitu data harian ( $Z_i$ ) dan skala waktu rendah yaitu data per-jam ( $Y_t$ ). Struktur data pada metode disagregasi disusun pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Struktur Data Disagregasi Curah Hujan

Waktu		Data Skala Waktu Rendah (per-jam)	Data Skala Waktu Tinggi (harian)
Hari ke-	Per-jam		
1	1	$Y_1$	$Z_1$
	2	$Y_2$	
	$\vdots$	$\vdots$	
	$k$	$Y_k$	
2	1	$Y_{k+1}$	$Z_2$
	2	$Y_{k+2}$	
	$\vdots$	$\vdots$	
	$k$	$Y_{2k}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$i$	1	$Y_{(i-1)k+1}$	$Z_i$
	2	$Y_{(i-1)k+2}$	
	$\vdots$	$\vdots$	
	$k$	$Y_{ik}$	

Pada penelitian ini  $k$  yang digunakan adalah 24, karena terdapat 24 jam dalam 1 hari. Model disagregasi diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2 dimana data skala waktu rendah merupakan data per-jam dan skala waktu tinggi merupakan data harian.



Gambar 2.1. Metode Disagregasi (Koutsoyiannis, 2003)

Proses disagregasi melibatkan model stokastik dan transformasi. Model stokastik digunakan untuk pembangkitan data dan transformasi atau *adjusting* berguna untuk menjamin kestabilan data skala waktu rendah terhadap skala waktu tinggi.

## 2.6. Metode *Adjusting*

Metode transformasi yang digunakan agar data hasil bangkitan skala waktu rendah konsisten terhadap data skala waktu tinggi adalah menggunakan *adjusting*. Hal ini untuk meminimumkan kesalahan yang terjadi. Dengan *adjusting*, hasil pembangkitan data skala waktu rendah konsisten. Terdapat 3 metode *adjusting*, yaitu metode proporsional, linear, dan *power* (Koutsyiannis, 2001).

### 2.6.1. Metode Proporsional (*Proportional Adjusting Procedure*)

Metode proporsional merupakan metode yang paling sering digunakan dan sederhana dibanding metode lainnya. Koutsyiannis (2001) menunjukkan bahwa metode ini dapat dapat mempertahankan distribusi data dengan distribusi dan parameter skala pada umumnya, memberikan pendekatan yang baik untuk variabel terikat dengan distribusi gamma, dan tidak menghasilkan nilai  $Y_t$  yang negatif. Persamaan untuk metode *adjusting* proporsional ditunjukkan pada persamaan 2.13.

$$\hat{Y}_{it} = \tilde{Y}_{it} \frac{Z_i}{\sum_{j=1}^k \tilde{Y}_{ij}} \quad (2.13)$$

$$\sum_{j=1}^k \tilde{Y}_{ij} = \tilde{Z}_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

di mana

$\hat{Y}_{it}$  : data hasil *adjusting* skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$\tilde{Y}_{it}$  : data bangkitan skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$Z_i$  : data observasi skala waktu tinggi, hari ke-  $i$

$k$  : periode skala waktu rendah pada setiap skala waktu tinggi

$n$  : periode skala waktu tinggi atau banyaknya hari

### 2.6.2. Metode Linear (*Linear Adjusting Procedure*)

Kelemahan dari metode linear adalah kemungkinan dapat dihasilkan hasil yang negatif, yaitu pada data nilai 0. Persamaan untuk metode linear ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$\hat{Y}_{it} = \tilde{Y}_{it} + \lambda_{it} \left( Z_i - \sum_{j=1}^k \tilde{Y}_{ij} \right) \quad (2.14)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$
$$j = 1, 2, \dots, k$$

di mana

$\hat{Y}_{it}$  : data hasil *adjusting* skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$\tilde{Y}_{it}$  : data bangkitan skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$Z_i$  : data observasi skala waktu tinggi, hari ke-  $i$

$\lambda_t$  : kovarian dari data skala waktu rendah dan tinggi

$k$  : periode skala waktu rendah pada setiap skala waktu tinggi

$n$  : periode skala waktu tinggi atau banyaknya hari

### 2.6.3. Metode Power (*Power Adjusting Procedure*)

Metode *power* identik dengan metode proporsional. Persamaan untuk metode *power* ditunjukkan pada persamaan 2.15.

$$\hat{Y}_{it} = \tilde{Y}_{it} \left( \frac{Z_i}{\sum_{j=1}^k \tilde{Y}_{ij}} \right)^{\frac{\lambda_t}{\eta_t}} \quad (2.15)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$
$$j = 1, 2, \dots, k$$

di mana

$\hat{Y}_{it}$  : data hasil *adjusting* skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$\tilde{Y}_{it}$  : data bangkitan skala waktu rendah, hari ke- $i$ , jam ke- $t$

$Z_i$  : data observasi skala waktu tinggi, hari ke-  $i$

$\lambda_t$  : kovarian dari data skala waktu rendah dan tinggi

$\eta_t$  : nilai harapan dari data skala waktu rendah dan tinggi

$k$  : periode skala waktu rendah pada setiap skala waktu tinggi

$n$  : periode skala waktu tinggi atau banyaknya hari



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Sumber Data

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder dari *website* yang menyediakan data laporan cuaca *www.wunderground.com*. Data yang digunakan adalah curah hujan skala waktu tinggi (harian) dan skala waktu rendah (per-jam) wilayah Chicago O'Hare *International*, IL. Data curah hujan periode 1 Januari - 31 Desember 2016, sebanyak 366 data harian dan 8784 data per-jam, digunakan sebagai data *in-sample*. Selanjutnya, data curah hujan 1 - 31 Januari 2017, sebanyak 31 data harian dan 744 data per-jam, digunakan sebagai data *out-sample*. Bahasa pemrograman yang digunakan pada penelitian ini adalah *Software* Matlab (Camici dkk., 2011).

### 3.2. Metode Analisis

Penelitian ini dilakukan dua tahap. Tahap pertama adalah pemodelan curah hujan yang dilakukan dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulses* (NSRP) dan tahap kedua adalah pembangkitan data dengan metode disagregasi dengan *adjusting*.

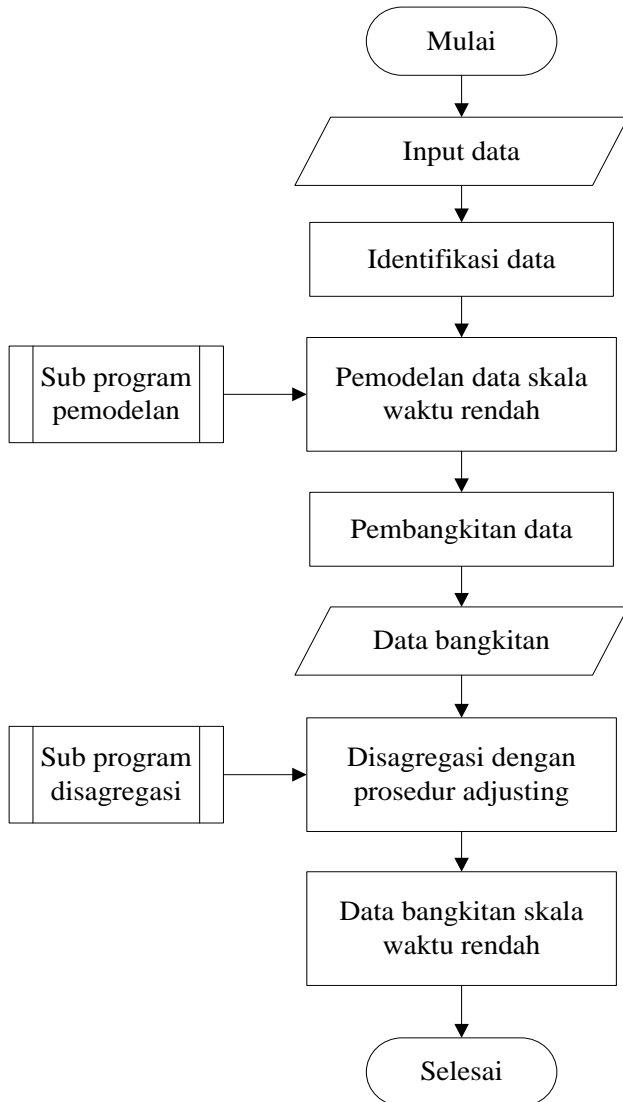
#### 1. Pemodelan curah hujan

- a. Mengidentifikasi karakteristik data curah hujan per-jam.
- b. Menduga parameter  $\lambda, E(X), E(C), \beta$ , dan  $\eta$  dengan metode momen penduga statistik pada persamaan 2.7, persamaan 2.8, dan persamaan 2.9 melalui proses iterasi untuk meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan (persamaan 2.10) antara model yang dipilih dan data asli.
- c. Melakukan *goodness of fit* model sesuai persamaan 2.11.

#### 2. Disagregasi dan *adjusting procedure*

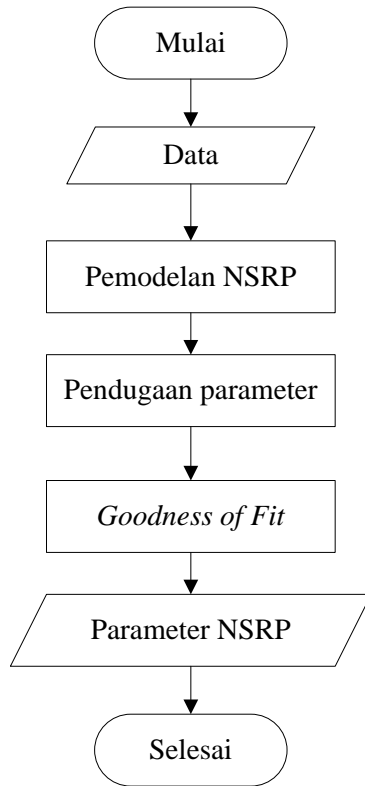
- a. Membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah  $\tilde{Y}_{it}$ .
- b. Membentuk data curah hujan skala waktu tinggi  $\tilde{Z}_i$ .
- c. Mengidentifikasi data hasil bangkitan dengan metode *adjusting proportional* pada persamaan 2.13.
- d. Jika  $\tilde{Z}_i \neq Z_i$ , mengulangi proses 2b dan 2c.

e. Melakukan pembangkitan data sesuai data yang dibutuhkan. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1, Gambar 3.2, dan Gambar 3.3.

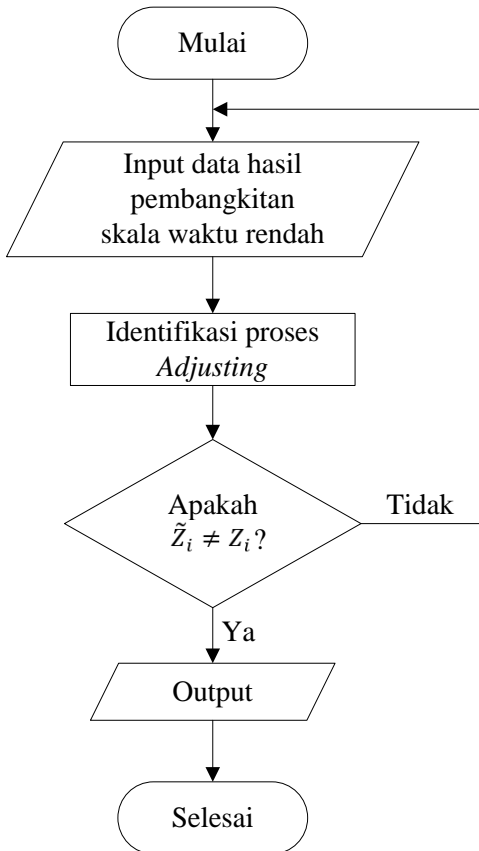


Gambar 3.1. Diagram Alir Disagregasi





Gambar 3.2. Diagram Alir Sub Program Pemodelan NSRP

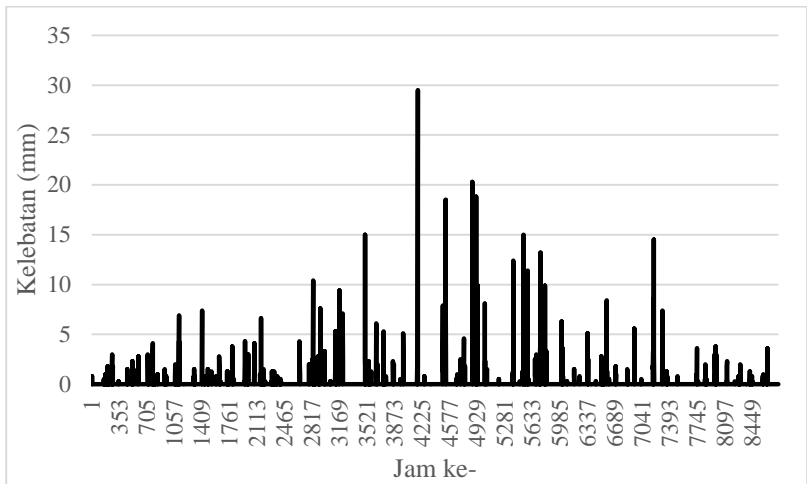


Gambar 3.3. Diagram Alir Sub Program Disagregasi

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

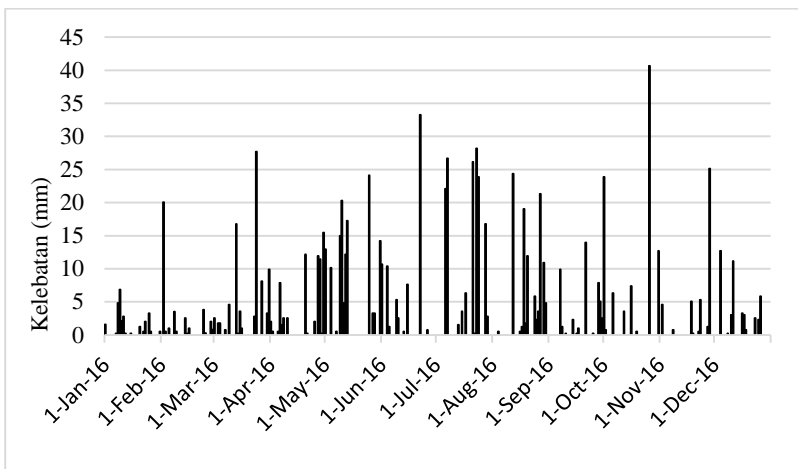
### 4.1. Eksplorasi Data

Chicago merupakan sebuah kota di negara bagian Amerika Serikat tengah, yaitu Illionis. Kota ini memiliki iklim subtropis dengan 4 musim, yaitu musim semi, musim panas, musim gugur, dan musim dingin. Curah hujan di Chicago tahun 2016 pada skala waktu per-jam dan harian ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Plot Curah Hujan Per-Jam Chicago 2016

Pada skala waktu per-jam, yaitu Gambar 4.1, curah hujan tertinggi adalah 29,5 mm terjadi pada tanggal 22 Juni 2016 pukul 20.51. Selanjutnya, 20,3 mm pada 21 Juli 2016 pukul 21.51 dan 18,8 mm pada 23 Juli 2016 pukul 22.51. Melalui plot curah hujan skala waktu tinggi, yaitu curah hujan harian pada Gambar 4.2, hujan terjadi hampir setiap hari terutama di bulan Juli.



Gambar 4.2. Plot Curah Hujan Harian Chicago 2016

Tabel 4.1. Karakteristik Data Curah Hujan Per-Jam

Bulan	Rata-rata	Standar Deviasi	Min	Maks	Modus
Januari	0,0757	0,3379	0	3	0
Februari	0,083	0,4995	0	7,4	0
Maret	0,0878	0,4244	0	4,3	0
April	0,109	0,5772	0	10,4	0
Mei	0,1872	0,992	0	15	0
Juni	0,101	1,1607	0	29,5	0
Juli	0,188	1,4259	0	20,3	0
Agustus	0,1462	1,0995	0	15	0
September	0,0603	0,4133	0	6,3	0
Oktober	0,1293	0,88	0	14,5	0
November	0,0599	0,3483	0	3,8	0
Desember	0,0609	0,2825	0	3,6	0
Total	0,1078	0,7989	0	29,5	0

Berdasarkan Tabel 4.1, curah hujan yang sering terjadi sepanjang tahun adalah 0 mm atau keadaan tidak terjadi hujan. Rata-

rata curah hujan kota Chicago tahun 2016 sebesar 0,1078 mm, dimana bulan Juli memiliki rata-rata curah hujan tertinggi dibandingkan bulan lainnya, sebesar 0,188 mm. Curah hujan tertinggi 20,3 mm dan standar deviasi 0,4259 mm. Sehingga Bulan Juli merupakan bulan terbasah. Selain itu, bulan dengan curah hujan terkecil terjadi pada November, sebesar 0,0599 mm, dengan curah hujan tertinggi 3,8 mm dan standar deviasi 0,3483 mm.

#### 4.2. Pemodelan Neyman-Scott Rectangular Pulses (NSRP)

Pemodelan data curah hujan skala waktu rendah dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulses* dilakukan sebagai langkah awal. Hasil pemodelan NSRP dapat digunakan untuk membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah.

Tabel 4.1. Statistik Data Curah Hujan Per-Jam

Bulan	$\mu_1$	$\sigma^2_1$	$\sigma^2_{24}$	$\rho_{(24,1)}$	$\gamma_1$	$\gamma_{24}$
Januari	0,076	0,114	7,408	0,319	5,729	1,352
Februari	0,083	0,249	14,291	-0,079	10,466	2,250
Maret	0,097	0,234	11,393	-0,123	7,603	1,113
April	0,100	0,283	19,971	0,086	12,152	2,116
Mei	0,187	0,984	51,905	0,103	8,285	1,404
Juni	0,101	1,347	43,098	-0,104	22,922	3,764
Juli	0,188	2,033	73,316	0,123	10,904	1,706
Agustus	0,146	1,209	46,115	-0,112	10,323	2,053
September	0,060	0,171	10,452	-0,016	10,286	2,689
Oktober	0,129	0,774	73,579	-0,094	10,470	3,360
November	0,060	0,121	22,173	-0,043	7,483	4,421
Desember	0,061	0,080	9,811	-0,025	6,669	2,568

di mana

$\mu_1$  : rata-rata curah hujan per-jam

$\sigma^2_1$  : ragam per-jam

$\sigma^2_{24}$  : ragam per-24 jam/harian

$\rho_{(24,1)}$  : autokorekasi lag-1 per-24 jam/harian

- $\gamma_1$  : kemiringan (*skewness*) per-jam  
 $\gamma_{24}$  : kemiringan (*skewness*) per-24 jam/harian

Berdasarkan data curah hujan per-jam hasil observasi, diperoleh stastistik data yang ditampilkan pada Tabel 4.2. Proses iterasi dilakukan untuk menduga parameter dengan meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan antara model yang dipilih dan data asli seperti pada persamaan 2.10. Dan didapatkan parameter NSRP yang ditampilkan pada Tabel 4.3.

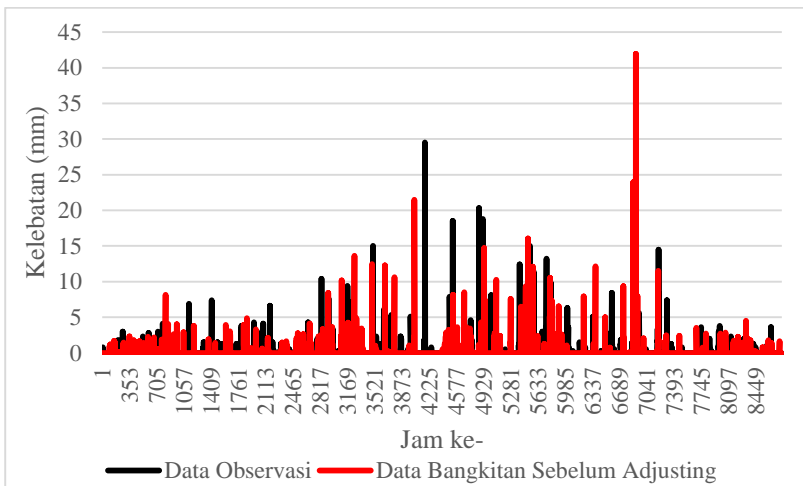
Tabel 4.2. Parameter NSRP

Bulan	$\lambda$	$\beta$	E(C)	$\eta$	E(X)
Januari	0,0176	0,06411	27,328	20,247	0,282
Februari	0,020	1	6,427	60	0,027
Maret	0,020	1	30	60	0,104
April	0,0165	0,203	10,262	26,738	0,062
Mei	0,020	0,196	17,046	56,430	0,030
Juni	0,020	1	1,810	35,172	0,010
Juli	0,0196	0,139	9,369	50,592	0,017
Agustus	0,020	1	6,956	60	0,015
September	0,020	1	2,429	60	0,016
Oktober	0,020	1	4,992	42,848	0,018
November	0,020	1	6,416	60	0,038
Desember	0,020	1	6,262	60	0,043

Pendugaan parameter dilakukan setiap bulannya sepanjang tahun seperti pada Tabel 4.3. Bulan Januari memiliki rata-rata intensitas hujan terbesar dibandingkan bulan lainnya, yaitu sebesar 0,282 mm per jam. Rata-rata waktu dimulainya *storm* 0,018 per jam, rata-rata selang antara awal terjadi *storm* dengan adanya sel hujan 0,064 per jam, rata-rata sel hujan setiap *storm* 27,328, dan durasi terjadinya hujan setiap sel dalam setiap *storm* 20,247 per jam.

Di bulan terbasah, yaitu bulan Juli, rata-rata intensitas hujan sebesar 0,017 mm. Rata-rata waktu dimulainya *storm* 0,0196 per jam, rata-rata selang antara awal terjadi *storm* dengan adanya sel hujan 0,139 per jam, rata-rata sel hujan setiap *storm* 9,369, dan durasi terjadinya hujan setiap sel dalam setiap *storm* 50,592 per jam.

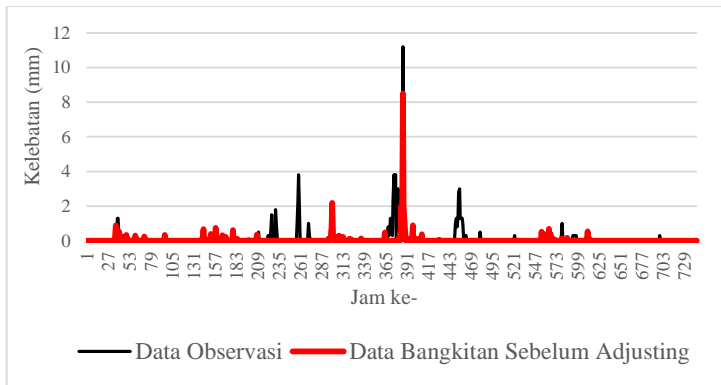
Selanjutnya, dari setiap parameter yang dihasilkan dapat dilakukan pembangkitan data skala waktu rendah. Membangkitkan bilangan acak di setiap parameter sesuai sebarannya. Berdasarkan uji *goodness of fit* yang dilakukan, pada pembangkitan data *in-sample* didapatkan nilai MAE (*Mean Absolute Error*) sebesar 0,079 yang mendekati 0. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang dihasilkan sudah baik. Plot perbandingan antara data observasi dan hasil pembangkitan dengan parameter NSRP ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.1. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum *Adjusting* Curah Hujan Per-jam tahun 2016

Pada pembangkitan data *out-sample* didapatkan nilai MAE sebesar 0,1141 yang mendekati 0. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang dihasilkan sudah baik. Plot perbandingan antara data

observasi dan hasil pembangkitan dengan parameter NSRP ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.2. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum *Adjusting* Curah Hujan Per-jam Januari 2017

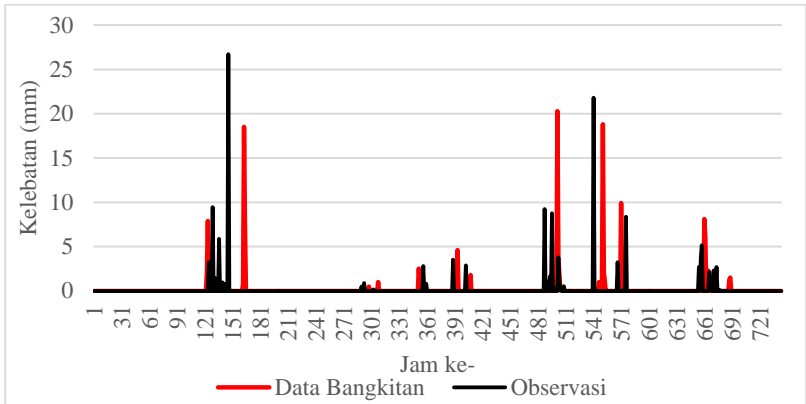
### 4.3. Metode Disagregasi Waktu

Metode disagregasi adalah proses pembangkitan data dari data skala waktu rendah yang konsisten terhadap data skala waktu tinggi. Pada data *in-sample*, disagregasi dilakukan pada bulan terbasah tahun 2016, yaitu bulan Juli.

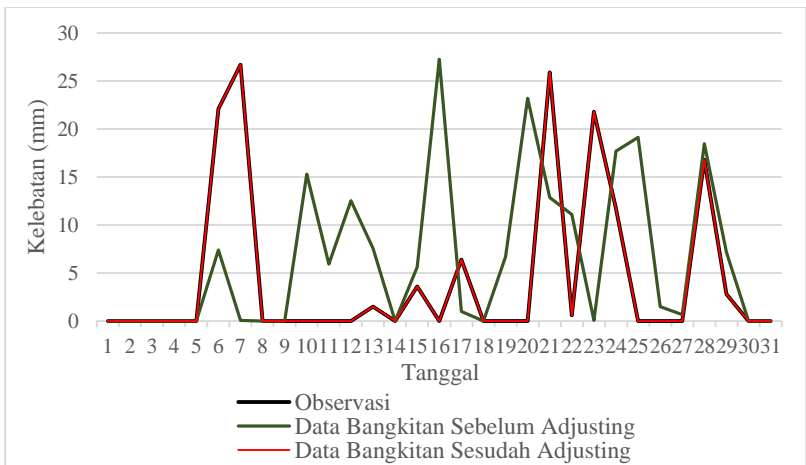
Hasil disagregasi curah hujan skala waktu rendah (per-jam) bulan Juli 2016 dan perbandingan antara data observasi dan data bangkitan setelah dilakukan *adjusting* ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa sebelum dilakukan *adjusting*, data bangkitan yang dihasilkan belum konsisten terhadap data aslinya. Metode *adjusting proportional* pada persamaan 2.13 digunakan untuk mendapatkan data hasil pembangkitan yang konsisten. Konsisten berarti memenuhi persamaan 2.12, yaitu total curah hujan per-24 jam sama dengan curah hujan hariannya.





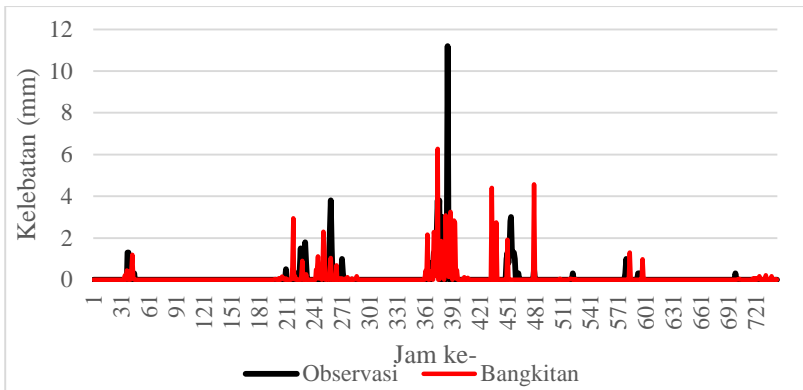
Gambar 4.1. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Per-jam Bulan Juli 2016



Gambar 4.2. Plot Data Observasi, Hasil Bangkitan Sebelum dan Sesudah *Adjusting* Curah Hujan Harian Bulan Juli 2016

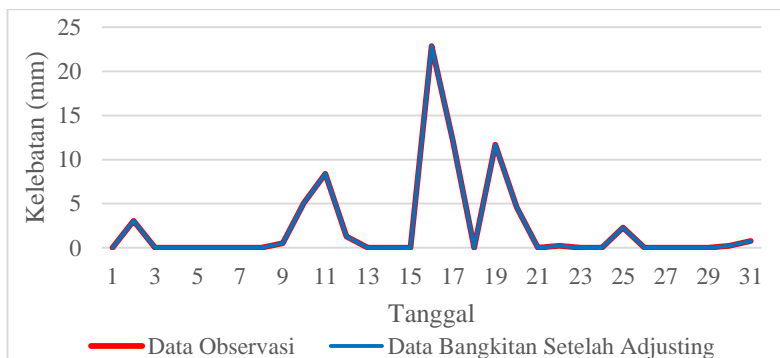
Selanjutnya, dilakukan pembangkitan data curah hujan skala waktu rendah (per-jam) yang belum diketahui, berdasarkan data skala waktu tinggi (harian) yang diketahui untuk data *out-sample* pada bulan Januari 2017. Perbandingan data curah hujan skala waktu

rendah hasil bangkitan dan data observasi bulan Januari 2017 selengkapnya terdapat pada Lampiran 4.



Gambar 4.3. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Per-jam Bulan Januari 2017

Hasil pembangkitan data curah hujan skala waktu rendah ditampilkan pada Gambar 4.7. Metode disagregasi dapat membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah yang telah konsisten terhadap data skala waktu tingginya, dimana penjumlahan dari data curah hujan per-24 jam telah identik dengan data curah hujan harian observasinya, yang ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.4. Plot Data Observasi dan Hasil Bangkitan Curah Hujan Harian Bulan Januari 2017

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Pemodelan curah hujan dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulse* dapat dilakukan pada data curah hujan skala waktu rendah 1 Januari hingga 31 Desember 2016. Intensitas atau kelembatan hujan  $X$  yang menyebar eksponensial dengan nilai harapan yang bervariasi setiap bulannya. Berdasarkan uji *goodness of fit* yang dilakukan, didapatkan nilai MAE 0,079 untuk data *in-sample* dan 0,1141 untuk data *out-sample*. Nilai MAE yang dihasilkan mendekati nol, menunjukkan bahwa model sudah baik.

Parameter NSRP yang dihasilkan digunakan untuk membangkitkan data skala waktu rendah (per-jam). Namun, hasil pembangkitan yang dihasilkan belum konsisten terhadap data observasi hariannya. Sehingga diperlukan metode disagregasi dengan *proportional adjusting procedure* untuk membangkitkan data curah hujan per-jam yang konsisten terhadap data asli.

Metode disagregasi dengan pendekatan stokastik *Neyman-Scott Rectangular Pulse* dapat digunakan untuk membangkitkan data skala waktu rendah (per-jam) bulan Januari 2017. Metode disagregasi dengan *proportional adjusting procedure* dapat membangkitkan data curah hujan skala waktu rendah yang konsisten terhadap skala waktu tingginya.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil metode disagregasi curah hujan dengan pendekatan *Neyman-Scott Rectangular Pulses* yang dilakukan, saran yang diberikan adalah:

1. Menerapkan metode dengan pendekatan stokastik pada lebih dari satu lokasi.
2. Menggunakan metode *linear adjusting procedure* dan *power adjusting procedure* untuk melakukan transformasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- BMKG, 2016. “Peraturan Kepala BMKG No. 4 Tahun 2016 tentang Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim.”
- Camici, S., Tarpanelli, A., Brocca, L., Melone, F., dan Moramarco, T. 2011. “Design soil moisture” estimation by comparing continuous and storm-based rainfall-runoff modelling”, *Water Resources Research*, 47, W05527, DOI: 10.1029/2010WR009298.
- Cowpervait, P. 2010. A Neyman-Scott Model With Continuous Distributions Of Storm Types. Austral Mathematical Soc: New Zealand.
- Ghahramani, S. 2005. *Fundamental of Probability with Stochastic Processes* (3<sup>rd</sup> edition). New Jersey: Pearson Education.
- Hidayah, E., Anwar, N., Edijatno, Iriawan, N. 2010. “Evaluating Error of Temporal Disaggregation from Daily into Hourly Rainfall using Heytos Model”. *The Journal for Technology and Science*, Vol. 21, No. 1.
- Koutsoyiannis, D. dan Onof, C. 2001. “Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model”, *Journal of Hydrology*, 246: 109-122.
- Koutsoyiannis, D. 2003. “Rainfall disaggregation methods”, *Theory and Applications*. John Wiley & Sons. Inc, Roma.
- Pratiwi, R.Y. 2014. *Pemodelan Curah Hujan Dengan Campuran Rantai Markov Dan Model Deret Waktu*. Malang: FMIPA, Universitas Brawijaya.
- Rahmawati, Y. 2015. *Metode Disagregasi Curah Hujan Dengan Model Gabungan Logistik Dan Gamma*. Malang: FMIPA, Universitas Brawijaya.

- Ratnasari, N. R. P. 2015. *Pemodelan Hujan Dengan Menggunakan Model Zero Inflated Gamma (ZIG)*. Malang: FMIPA, Universitas Brawijaya.
- Rodriguez-Iturbe, D. R. Cox, dan Valerie Isham. 1987. "Some Models for Rainfall Based on Stochastic Point Processes". *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 410, No. 1839, 269-288.
- Taylor, H. M. dan Karlin, S. 1998. *An Introduction To Stochastic Modeling* (3<sup>rd</sup> edition). London: Academic Press.
- Walpole, R. E., Myers, R.H., Myers, S.L., dan Ye, K. 2011. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* (9<sup>th</sup> edition). Boston: Pearson Education.
- Yendra, R., Rahmadeni, Desvina, A.P. 2014. "Perbandingan Model Hujan Stokastik Neyman-Scott Rectangular Pulse dan Bartlett-Lewis Rectangular Pulse". Prosiding Seminar Nasional Matematika. Departemen Matematika FMIPA UI: Depok.
- Yendra, R., Zin, W. Z. W. dan Jemain, A. A. 2014. "Pemodelan Hujan Denyut Segi Empat Neyman Scott (NSRP) Terbaik di Semenanjung Malaysia". *Sains Malaysiana* 43(3): 359-367.
- Yendra, R., Desvina, A.P, Rahmadeni, Jemain, A. A., Zin W.Z.W. dan Fudholi A.. 2015. "Rainfall Storm Modeling of Neyman-Scott Rectangular Pulse using Rainfall Cell Intensity Distributions". *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 11(9). Maxwell Scientific Publication Corp.
- Yusof, F., Daud, Z.M., Nguyen, V-T-V, dan Yusop, Z.. 2007. "Performance of Mixed Exponential and Exponential Distribution Representing Rain Cell Intensity in NSRP Model". *Malaysian Journal of Civil Engineering* 19(1): 55-72.
- Wunderground. "Chicago O'Hare International, IL" (*online*). Tersedia (<https://www.wunderground.com/weather/us/il/chicago-o-hare-international/60666>). Diakses pada 12 November 2017.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Curah Hujan Harian (mm) Chicago Januari 2016  
– Januari 2017

Tanggal	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
1	1,6	0	1,3	2	13	10,8	0
2	0	11,8	0	0,3	0	0	0
3	0	2,5	2,4	0	0	0	0
4	0	0	1,3	0	10,1	10,4	0
5	0	1	0	0,6	0	1,3	0
6	0	0	0	8,1	0	0	22,1
7	0,8	0	0,8	1,6	0,6	0	26,7
8	5	3,8	0	2,7	0	0	0
9	8,2	4,5	6,4	0	13,9	4	0
10	2,1	0	0	2,7	21,3	4	0
11	8,6	0	0	0	4,1	0	0
12	6,6	0	0	0	13	0	0
13	0	0	8,3	0	16,3	0,5	1,5
14	0	5,1	0,3	0	1	0	0
15	0,3	1,6	4,8	0	0	7,6	3,6
16	0	15,1	9,7	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	6,4
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	2,5	0	0	9,7	0	0	0
21	0	0	0	2,8	0	0	25,9
22	7,4	0	6,6	0	0	33,3	0,6
23	2	0	1,8	0	0	0	21,8
24	0	3,1	7,9	0	0	0	11,7
25	3,6	0,3	0	2	24,2	0	0
26	4,1	0	0	0	0	0,8	0
27	0	0	8,2	7,2	4,2	0	0
28	0	8,2	0	16,3	2,6	0	16,8
29	0	0,8	0	0,3	0,8	0	2,8
30	0	-	3,4	15,5	0	0	0
31	3,5	-	9,3	-	14,2	-	0

Lampiran 1. Lanjutan

Tanggal	Agst	Sept	Okt	Nov	Des	Januari
1	0	0	24	0	0	0
2	0	0	0,8	4,7	0	3,05
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	12,9	0
5	0,5	0	0	0	0	0
6	0	0	6,4	0	0	0
7	0	9,9	0	0	0	0
8	0	1,4	0	0,8	0,3	0
9	0	0	0	0	0	0,51
10	0	0,3	0	0	3,2	5,08
11	0	0	0	0	10,7	8,38
12	24,4	0	3,6	0	0	1,27
13	0	0	0	0	0	0
14	0	2,3	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0,6	0,2	7,4	0	3,4	22,86
17	1,3	1,4	0	0	2,9	12,19
18	19,2	0	0	5,1	0,9	0
19	1,8	0	0,5	0,3	0	11,68
20	11,9	0	0	0	0	4,57
21	0	13,9	0	0	0	0
22	0	0	0	0,5	0	0,25
23	0	0	0	5,4	2,6	0
24	4,8	0	0	0	0	0
25	3,3	0,3	0	0	2,4	2,29
26	3,6	0	40,7	0	6	0
27	21,5	0	0	1,3	0	0
28	0	5,8	0	25	0	0
29	11	4,4	0	0	0	0
30	4,9	3,5	0	0	0	0,25
31	0	-	12,8	-	0	0,76



Lampiran 2. Data Hasil Pembangkitan NSRP

Bulan	Tgg1	Jam	$\tilde{Y}_{t,1}$	$\tilde{Y}_{t,2}$	$\tilde{Y}_{t,3}$	...	$\tilde{Y}_{t,2000}$
Januari	1	00.51	0	0	0	...	0
		01.51	0	0	0	...	0
		02.51	0	0	0	...	0
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		23.51	0	0	0	...	0
	2	00.51	0	0	0	...	0
		01.51	0,105	0	0	...	0
		02.51	0,827	0,839	0	...	0
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		22.51	0	0	2,976	...	0
		23.51	0	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Juli	11	00.51	8,434	0	0	...	1,2474
		01.51	1,086	0	1,782	...	1,160
		02.51	0	0	3,368	...	0
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		23.51	0	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Desember	30	00.51	0	0	0	...	0
		01.51	0	0	0	...	0
		02.51	0	0,341	0	...	0
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		23.51	0	0	0	...	0
	31	00.51	0	0	0	...	0
		01.51	0	0	0	...	0
		02.51	0	0,341	1,0927	...	0
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		23.51	0	0	0	...	0

Lampiran 3. Perbandingan Curah Hujan Harian Bulan Juli Data  
Observasi dan Hasil Bangkitan

Tanggal	Observasi	Hasil Bangkitan (sebelum <i>Adjusting</i> )	Hasil Bangkitan (Setelah <i>Adjusting</i> )
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	22,1	7,385424	22,1
7	26,7	0,061692	26,7
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	15,30482	0
11	0	5,919211	0
12	0	12,51189	0
13	1,5	7,560291	1,5
14	0	0	0
15	3,6	5,627017	3,6
16	0	27,27851	0
17	6,4	0,990516	6,4
18	0	0	0
19	0	6,707735	0
20	0	23,1948	0
21	25,9	12,85538	25,9
22	0,6	11,10562	0,6
23	21,8	0,052886	21,8
24	11,7	17,69954	11,7
25	0	19,11826	0
26	0	1,477562	0
27	0	0,653513	0
28	16,8	18,48033	16,8
29	2,8	7,14554	2,8
30	0	0	0
31	0	0	0

Lampiran 4. Data Curah Hujan Per-Jam ( $Y_t$ ) dan Hasil *Adjusting* ( $\hat{Y}_t$ ) Bulan Januari 2017 (mm)

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$	Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
1	00.51	0	0	2	09.51	0	0
	01.51	0	0		10.51	0	0,2211
	02.51	0	0		11.51	0	0
	03.51	0	0		12.51	0	0,4391
	04.51	0	0		13.51	1,3	0,3717
	05.51	0	0		14.51	1,3	0,0083
	06.51	0	0		15.51	0	0,3836
	07.51	0	0		16.51	0	0
	08.51	0	0		17.51	0	0,3815
	09.51	0	0		18.51	0	1,1924
	10.51	0	0		19.51	0	0,0464
	11.51	0	0		20.51	0,3	0
	12.51	0	0		21.51	0	0
	13.51	0	0		22.51	0	0
	14.51	0	0		23.51	0	0,0057
	15.51	0	0	3	00.51	0	0
	16.51	0	0		01.51	0	0
	17.51	0	0		02.51	0	0
	18.51	0	0		03.51	0	0
	19.51	0	0		04.51	0	0
	20.51	0	0		05.51	0	0
	21.51	0	0		06.51	0	0
	22.51	0	0		07.51	0	0
	23.51	0	0		08.51	0	0
2	00.51	0	0		09.51	0	0
	01.51	0	0		10.51	0	0
	02.51	0	0		11.51	0	0
	03.51	0	0		12.51	0	0
	04.51	0	0		13.51	0	0
	05.51	0	0		14.51	0	0
	06.51	0	0		15.51	0	0
	07.51	0	0		16.51	0	0
	08.51	0	0		17.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
3	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
4	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
5	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
5	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
6	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
6	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
7	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
8	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
9	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0,0385
	06.51	0	0,0339
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
9	10.51	0	0,0807
	11.51	0	0,0049
	12.51	0	0,0246
	13.51	0	0,1604
	14.51	0	0,0262
	15.51	0	0,0427
	16.51	0,5	0,06
	17.51	0	0
	18.51	0	0,02
	19.51	0	0
	20.51	0	0,0014
	21.51	0,5	0,0597
	22.51	0	0
	23.51	0	0,0169
10	00.51	0	0,5943
	01.51	0	2,9433
	02.51	0	0,0307
	03.51	0	0,1708
	04.51	0	0
	05.51	0,3	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0,5	0
	09.51	1,5	0
	10.51	0	0,1826
	11.51	0	0,9017
	12.51	0	0
	13.51	0,3	0
	14.51	1,8	0
	15.51	0,8	0,2562
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
10	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
11	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0,4775
	03.51	0	0,4742
	04.51	0	1,1139
	05.51	0	0,0551
	06.51	0	0,2172
	07.51	0	0,3101
	08.51	0	0
	09.51	0	0,1947
	10.51	0	2,3049
	11.51	0	1,524
	12.51	0	0
	13.51	0	0,1727
	14.51	0	0,0097
	15.51	0	0,0028
	16.51	0,8	0
	17.51	2,3	0,4730
	18.51	3,8	1,0443
	19.51	1,5	0
	20.51	0	0,0051
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
12	00.51	0	0,6891
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0,067363
	05.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
12	06.51	1	0,06852
	07.51	0,3	0
	08.51	0	0,005
	09.51	0	0,0505
	10.51	0	0,00006
	11.51	0	0,005
	12.51	0	0,1243
	13.51	0	0,004
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0,0566
	18.51	0	0
	19.51	0	0,0018
	20.51	0	0,0087
	21.51	0	0,0253
	22.51	0	0,1620
	23.51	0	0
13	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
13	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
14	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
15	00.51	0	0
	01.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
15	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
16	00.51	0	0,4370
	01.51	0	0,2022
	02.51	0,3	2,167
	03.51	0,5	0
	04.51	0,3	0,0031
	05.51	0	0,3487
	06.51	0,8	0,4101
	07.51	0,3	0,2185
	08.51	0,5	0
	09.51	1,3	2,2932
	10.51	1	2,0494
	11.51	0,3	1,0640

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
16	12.51	2,3	0,1492
	13.51	3,8	6,2702
	14.51	2,5	0
	15.51	3,8	0,0231
	16.51	0	0,9181
	17.51	0,5	1,8537
	18.51	3	0,3093
	19.51	1,3	0,1369
	20.51	0	0
	21.51	0	0,9147
	22.51	0	0,4370
	23.51	0,3	3,09
17	00.51	0,3	1,2149
	01.51	11,2	0,5110
	02.51	1	0,1430
	03.51	0	0,2623
	04.51	0	3,2595
	05.51	0	0,1733
	06.51	0	0
	07.51	0	0,3239
	08.51	0	2,8401
	09.51	0	2,7288
	10.51	0	0,0569
	11.51	0	0,4614
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0,1195
	20.51	0	0
	21.51	0	0



Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
17	22.51	0	0
	23.51	0	0,0937
18	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
17.51	0	0	
18.51	0	0	
19.51	0	0	
20.51	0	0	
21.51	0	0	
22.51	0	0	
23.51	0	0	
19	00.51	0	0
	01.51	0	4,3966
	02.51	0	0
	03.51	0	2,6193
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	2,7413
	07.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
19	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	1	0
	18.51	1,3	1,9225
	19.51	0,8	0
	20.51	1,3	0
	21.51	2,8	0
	22.51	3	0
	23.51	1,3	0
	20	00.51	1,3
01.51		1,3	0
02.51		1	0
03.51		0	0
04.51		0,3	0
05.51		0,3	0
06.51		0,3	0
07.51		0	0
08.51		0	0
09.51		0	0
10.51	0	0	
11.51	0	0	
12.51	0	0	
13.51	0	0	
14.51	0	0	
15.51	0	0	
16.51	0	0	
17.51	0	0	

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
20	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0,5	4,57
21	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
22	00.51	0,3	0,00005
	01.51	0,3	0,0063
	02.51	0	0
	03.51	0	0,0485

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
22	04.51	0	0
	05.51	0	0,0052
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0,0016
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0,0391
	15.51	0	0,0437
	16.51	0	0,0138
	17.51	0	0,0376
	18.51	0	0,0049
	19.51	0	0,0359
	20.51	0	0,0011
	21.51	0	0,0101
	22.51	0	0,0015
	23.51	0	0
23	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
23	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
24	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
25	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0,3	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	1,3017
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0,3	0
	17.51	0,3	0
	18.51	0,3	0
	19.51	0,3	0
	20.51	0,3	0
	21.51	0	0,9882
	22.51	0	0
	23.51	0	0
26	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
26	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
27	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
27	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
28	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0
	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
29	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0
	05.51	0	0

Lampiran 4. Lanjutan

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
29	06.51	0	0
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0
	21.51	0	0
	22.51	0	0
	23.51	0	0
30	00.51	0	0
	01.51	0	0
	02.51	0,3	0
	03.51	0	0
	04.51	0	0,0140
	05.51	0	0,0099
	06.51	0	0,0486
	07.51	0	0,0103
	08.51	0	0
	09.51	0	0
	10.51	0	0,0014
	11.51	0	0
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0,0009
	15.51	0	0,0043

Tgl	Jam	$Y_t$	$\hat{Y}_t$
30	16.51	0	0,0004
	17.51	0	0,0055
	18.51	0	0,0003
	19.51	0	0,0028
	20.51	0	0,0079
	21.51	0	0,0650
	22.51	0	0
	23.51	0	0,0780
31	00.51	0	0,0039
	01.51	0	0
	02.51	0	0,0814
	03.51	0	0,0283
	04.51	0	0,1700
	05.51	0	0
	06.51	0	0,0383
	07.51	0	0
	08.51	0	0
	09.51	0	0,0085
	10.51	0	0
	11.51	0	0,2090
	12.51	0	0
	13.51	0	0
	14.51	0	0,0012
	15.51	0	0
	16.51	0	0
	17.51	0	0,1723
	18.51	0	0
	19.51	0	0
	20.51	0	0,0181
	21.51	0	0
	22.51	0	0,0284
	23.51	0	0

## Lampiran 5. Bahasa Pemrograman Matlab (Camici dkk., 2011)

### Metode disagregasi curah hujan dengan NSRP

```
jam='data_perjam.txt';
start='1-jan-2016';
fin='31-dec-2016';
N_gen = 2000;
stat = stats_skew(load(jam));
par = par_OPTSkew(stat);
for i=1:N_gen
Psim(:,i)=neyman_scott(start,fin,par);end
Hari='data_harian.txt';
for i=1:N_gen
disjul(:,i)=disagJULI(load(Hari),Psim(:,i),load(jam));
end
%disagregasi januari
jan='jan17.txt';
for i=1:N_gen
disjan(:,i)=disagjan(load(jan),sim(:,i),load(jam));end
```

### Statistik curah hujan per-jam

```
function stat = stats_skew(name)
data=(name);
D=data(:,1);
P=data(:,2:end);
AA=year(D(1)):year(D(end));
K=month(D);
num_anni=year(D(end))-year(D(1))+1;
S= D(1:24:end);
R=month(S);
Y=year(S);
FF=[];
for k= 1:size(P,2)
    for i=1:12
        PP=P(find(K==i),k);
        Media_1h(i)=nanmean(PP);
        var_1h(i)=nanvar(PP);
        skewn1h(i)=skewness(PP);
    end
    P24h=aggreg(P(:,k),24);
    for j=1:12
        PP24_1=P24h(find(R==j));
        PP24_2=P24h(find(R==j));
        Media_24h(j)=nanmean(PP24_1);
        var_24h(j)=nanvar(PP24_1);
        skewn24h(j)=skewness(PP24_1);
    end
end
```

## Lampiran 5. Lanjutan

```
n_mesetot=0;
if
j~=2,n_mese=floor(length(PP24_1)/num_anni);end
for s=1:num_anni
    if j==2 && yeardays(AA(s))==365
        n_mese=28;
    elseif j==2 && yeardays(AA(s))==366
        n_mese=29;
    end
    PP24_1(n_mesetot+n_mese)=NaN;
    PP24_2(n_mesetot+1)=NaN;
    n_mesetot=n_mesetot+n_mese;
end
PP24_1(isnan(PP24_1))=[];
PP24_2(isnan(PP24_2))=[];
M_1=nanmean(PP24_1);
M_2=nanmean(PP24_2);
for a=1:length(PP24_1)
    b(a)=((PP24_1(a)-M_1)*(PP24_2(a)-M_2));
    c(a)=(PP24_1(a)-M_1)^2;
    d(a)=(PP24_2(a)-M_2)^2;
end
e=((nansum(c)*nansum(d))^(1/2));
corr24(j)=nansum(b)/e;
clear b c d PP24_1 PP24_2
end
stat(:, :, k) = [Media_1h; var_1h; var_24h; corr24;
skewn1h; skewn24h ];
end
%-----%
function Paggr=aggreg(PP,aggreg)
M=length(PP);
j=1;
Paggr=zeros(round(M/aggreg),1);
for i=1:aggreg:M-mod(M,aggreg)
    Paggr(j,:)=nansum(PP(i:i+aggreg-1,:));
    j=j+1;
end
end
```

### Parameter *Neyman-Scott Rectangular Pulses*

```
function XX=par_OPTSkew(name,X_ini_dim)
if nargin<2, X_ini_dim=[0.01,0.1,5,2,1]; end

LOW = [0.00001, 0.02, 0.1, 0.1, 0.01];
UP = [ 0.02, 1, 30, 60, 4];
```

## Lampiran 5. Lanjutan

```

X_ini=(X_ini_dim-LOW) ./ (UP-LOW);
XX=zeros(5,12); for mese=1:12
    [RES,FVAL,EXITFLAG,OUTPUT]=fmincon(@paramOK,X_ini,
    [],[],[],[],zeros(5,1),ones(5,1),[],optimset('Display','off','Largescale','on','Algorithm','active-set','TolFun',1E-12),mese,name);
    X=convert_adim(RES);
    XX(:,mese)=X;
    FOB(mese)=FVAL;
end
a=[744;696;744;720;744;720;744;744;720;744;720;744];
XX=[XX',a];
%-----%
function err=paramOK(X_0,mese,name)
X=convert_adim(X_0);
lambda=X(1); beta=X(2); ni=X(3); eta=X(4); csi=X(5);
h=24; lag=1;

medialh=(1*lambda*ni)/(eta*csi);
varianzalh=lambda*eta^(-3)*(eta*1-1+2.71828^(-eta*1))*
(4*ni/(csi^2)+((ni^2)*beta^2)/(csi^2*(beta^2-eta^2)))-lambda*(beta*1-1+2.71828^(-beta*1))
*((ni^2)/(csi^2*beta*(beta^2-eta^2)));
varianza24h=lambda*eta^(-3)*(eta*24-1+2.71828^(-eta*24))*(4*ni/(csi^2)+((ni^2)*beta^2)/(csi^2*(beta^2-eta^2)))-lambda*(beta*24-1+2.71828^(-beta*24))
*((ni^2)/(csi^2*beta*(beta^2-eta^2)));
cov_24=lambda*eta^(-3)*((1-2.71828^(-eta*24))^2)*
(2.71828^(-eta*(lag1)*24))*(2*ni/(csi^2)+0.5*((ni^2)*beta^2)/(csi^2*(beta^2-eta^2)))-lambda*((1-2.71828^(-beta*24))^2)*(2.71828^(-beta*(lag-1)*24))*((ni^2)/(csi^2*2*beta*(beta^2-eta^2)));
corr=cov_24/varianza24h;

H=1;
F=-2*eta^3*beta^2*exp(-eta*H)-2*eta^3*beta^2*exp(-beta*H)+eta^2*beta^3*exp(-2*eta*H)+2*eta^4*beta*exp(-eta*H)+2*eta^4*beta*exp(-beta*H)+2*eta^3*beta^2*exp(-(eta+beta)*H)-2*eta^4*beta*exp(-(eta+beta)*H)-8*eta^3*beta^3*H+11*eta^2*beta^3-2*eta^4*beta+2*eta^3*beta^2+4*eta*beta^5*H+4*eta^5*beta*H-7*beta^5-4*eta^5+8*beta^5*exp(-eta*H)-beta^5*exp(-2*eta*H)-2*H*eta^3*beta^3*exp(-eta*H)-12*eta^2*beta^3*exp(-eta*H)+2*H*eta*beta^5*exp(-eta*H)+4*eta^5*exp(-beta*H);

```



## Lampiran 5. Lanjutan

```

G=12*eta^5*beta*exp(-beta*H)+9*eta^4*beta^2+12*eta*
beta^5*exp(-eta*H)+9*eta^2*beta^4+12*eta^3*beta^3*
exp(-(eta+beta)*H)-eta^2*beta^4*exp(-2*eta*H)-
12*eta^3*beta^3*exp(-beta*H)-9*eta^5*beta-
9*eta*beta^5-3*eta*beta^5*exp(-2*eta*H)-
eta^4*beta^2*exp(-2*beta*H)-12*eta^3*beta^3*exp(-
eta*H)+6*eta^5*beta^2*H-10*beta^4
*eta^3*H+6*beta^5*eta^2*H-10*beta^3*eta^4*H+4*beta^6*
eta*H-8*beta^2*eta^4*exp(-beta*H)+4*beta*eta^6*H+
12*beta^3*eta^3-8*beta^4*eta^2*exp(-eta*H)-6*eta^6-
6*beta^6-2*eta^6*exp(-2*beta*H)-2*beta^6*exp(-
2*eta*H)+8*eta^6*exp(-beta*H)+8*beta^6*exp(-eta*H)-
3*beta*eta^5*exp(-2*beta*H);

skew_1h=36*lambda*ni*csi^(-3)*(eta*H-2+eta*H*exp(-
eta*H)+2*exp(-eta*H))/eta^4+6*lambda*csi^(-
3)*ni^2*F/2*eta^4*beta*(beta^2-eta^2)^2)+
lambda*csi^(-3)*ni^3*G/(2*eta^4*beta*(eta^2-
beta^2)*(eta-beta)*(2*beta+eta)*(beta+2*eta));

coeff_skew_1h=skew_1h/((varianzalh)^0.5)^3;

H=24;
F=-2*eta^3*beta^2*exp(-eta*H)-2*eta^3*beta^2*exp(-
beta*H)+eta^2*beta^3*exp(-2*eta*H)+
2*eta^4*beta*exp(-eta*H)+2*eta^4*beta*exp(-
beta*H)+2*eta^3*beta^2*exp(-(eta+beta)*H)-2*eta^4
*beta*exp(-(eta+beta)*H)-8*eta^3*beta^3*H+
11*eta^2*beta^3-2*eta^4*beta+2*eta^3*beta^2+
4*eta*beta^5*H+4*eta^5*beta*H-7*beta^5-4*eta^5
+8*beta^5*exp(-eta*H)-beta^5*exp(-2*eta*H)-
2*H*eta^3*beta^3*exp(-eta*H)-12*eta^2*beta^3*exp(-
eta*H)+2*H*eta*beta^5*exp(-eta*H)+4*eta^5*exp(-
beta*H);

G=12*eta^5*beta*exp(-beta*H)+9*eta^4*beta^2+
12*eta*beta^5*exp(-eta*H)+9*eta^2*beta^4+
12*eta^3*beta^3*exp(-(eta+beta)*H)-eta^2*beta^4*exp(-
2*eta*H)-12*eta^3*beta^3*exp(-beta*H)-9*eta^5*beta-
9*eta*beta^5-3*eta*beta^5*exp(-2*eta*H)-eta^4*beta^2
*exp(-2*beta*H)-12*eta^3*beta^3*exp(-eta*H)+6*eta^5*
beta^2*H-10*beta^4*eta^3*H+6*beta^5*eta^2*H-10*beta^3
*eta^4*H+4*beta^6*eta*H-8*beta^2*eta^4*exp(-
beta*H)+4*beta*eta^6*H+12*beta^3*eta^3-
8*beta^4*eta^2*exp(-eta*H)-6*eta^6-6*beta^6-
2*eta^6*exp(-2*beta*H)-2*beta^6*exp(-2*eta*H)

```

## Lampiran 5. Lanjutan

```
+8*eta^6*exp(-beta*H)+8*beta^6*exp(-eta*H)-
3*beta*eta^5*exp(-2*beta*H);

skew_24h=36*lambda*ni*csi^(-3)*(eta*H-2+eta*H*exp(-
eta*H)+2*exp(-eta*H))/eta^4+6*lambda*csi^(-
3)*ni^2*F/(2*eta^4*beta*(beta^2-eta^2)^2)+lambda*
csi^(-3)*ni^3*G/(2*eta^4*beta*(eta^2-beta^2)*(eta-
beta)*(2*beta+eta)*(beta+2*eta));

coeff_skew_24h=skew_24h/((varianza24h)^0.5)^3;

stat=(name);
medialh_obs=stat(1,mese);
varianzalh_obs=stat(2,mese);
varianza24h_obs=stat(3,mese);
corr_obs=stat(4,mese);
coeff_skew_1h_obs=stat(5,mese);
coeff_skew_24h_obs=stat(6,mese);

err=6*(1-(medialh/medialh_obs))^2+1*(1-
(varianzalh/varianzalh_obs))^2+1*(1-
(varianza24h/varianza24h_obs))^2+6*(1-
(corr/corr_obs))^2+2*(1-
(coeff_skew_1h/coeff_skew_1h_obs))^2+2*(1-
(coeff_skew_24h/coeff_skew_24h_obs))^2;
%-----
%
function X=convert_adim(X_0)
LOW = [0.00001, 0.02, 0.1, 0.1, 0.01];
UP = [ 0.02, 1, 30, 60, 4];
X=LOW+(UP-LOW).*X_0;
```

## Pembangkitan data curah hujan skala waktu rendah

```
function PP=neyman_scott(data_inizio,data_fine,par)

rand('state',sum(100*clock))
AA=year(data_inizio):year(data_fine);
num_gg=daysact(data_inizio, data_fine);
num_anni=year(data_fine)-year(data_inizio)+1;
for i=1:length(AA),giorniano(i)=yeardays(AA(i));end
L=0; N_mesi=12;
Pmatrix=zeros(8784,num_anni);

for k=1:N_mesi
    lambda=par(k,1);
```

## Lampiran 5. Lanjutan

```
beta=par(k,2);
ni=par(k,3);
eta=par(k,4);
csi=par(k,5);
num_ore=(par(k,6)*num_anni);
dim_tot      = ceil(num_ore.*lambda);
t_att        = exprnd(1/lambda,dim_tot,1);
while sum(t_att)<num_ore
dim_tot=round(dim_tot*1.1);
t_att=exprnd(1/lambda,dim_tot,1); end
num_celle    = poissrnd(ni,dim_tot,1);
t_orig_celle = exprnd(1/beta,sum(num_celle),1);
int_celle    = exprnd(1/csi,sum(num_celle),1);
dur_celle    = exprnd(1/eta,sum(num_celle),1);
t_inizio     = cumsum(t_att);

Plh=zeros((round(sum(t_att))+10*round(mean(t_att))),1);

t_att=round(t_att);
dur_celle=(dur_celle);
dur_celle1=ceil(dur_celle);
t_orig_celle=round(t_orig_celle);
t_inizio=round(t_inizio)+1;
int_celle=(int_celle);

jj=1;
for i=1:dim_tot
    for j=1:num_celle(i)
        t=(t_inizio(i)+t_orig_celle(j+jj-1));
        Plh(t:t+(dur_celle1(j+jj-1))-
1)=Plh(t:t+(dur_celle1(j+jj-1))-1)+...
(int_celle(j+jj-1)*dur_celle(j+jj-
1))./(dur_celle1(j+jj-1));
        end;
        jj=jj+num_celle(i);
    end;
    Plh(num_ore+1:length(Plh))=[];
Pmatrix(L+1:L+par(k,6),:)=reshape(Plh,par(k,6),num_anni);
L=L+length(Plh)/num_anni;
end
Pmatrix(1417:1440,find(giornianno==365))=NaN;
PP=Pmatrix(:);
PP(isnan(PP))=[];
save Psim.txt PP -ascii -tabs
```

## Lampiran 5. Lanjutan

### Metode disagregasi curah hujan bulan Juli 2016

```
function hasil=disag2(hari,Psim,jam)
yt_duga=Psim(4369:5112)';
zi=hari(183:213)';
zi_duga=zeros(1,31);
yt_topi=zeros(1,744);
zi_topi=zeros(1,31);
z=zeros(1,31);

in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    zi_duga(k)=zi_duga(k)+yt_duga(in);
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    if zi(k)==0, yt_topi(in)=0;
    else
    yt_topi(in)=yt_duga(in)*zi(k)/zi_duga(k);
    end
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    zi_topi(k)=zi_topi(k)+yt_topi(in);
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

hasil=[yt_topi];
end
```

## Lampiran 5. Lanjutan

### Metode disagregasi curah hujan bulan Januari 2017

```
function hasil=disagjan(hari,Psim,jam)

yt_duga=Psim(1:744)';
zi=hari(1:31)';
zi_duga=zeros(1,31);
yt_topi=zeros(1,744);
zi_topi=zeros(1,31);
z=zeros(1,31);
in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    zi_duga(k)=zi_duga(k)+yt_duga(in);
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    if zi(k)==0, yt_topi(in)=0;
    else
        yt_topi(in)=yt_duga(in)*zi(k)/zi_duga(k);
    end
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

in=1;
for k=1:31
for s=1:24
    zi_topi(k)=zi_topi(k)+yt_topi(in);
    in=in+1;
    if in==745, break, end
end
end

hasil=[yt_topi];
end
```