PENERAPAN METODE EKSPONEN HURST DAN *BOX COUNTING* PADA KASUS CURAH HUJAN

SKRIPSI

Oleh

Anjung Fiqri Zakaria
NIM 121810101065

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016

PENERAPAN METODE EKSPONEN HURST DAN *BOX COUNTING* PADA ANALISIS CURAH HUJAN

PROPOSAL SKRIPSI

disusun guna memenuhi salah satu persyaratan pada progam pendidikan strata satu (S1) Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Oleh

Anjung Fiqri Zakaria
NIM 121810101065

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan puji syukur yang tak terhingga pada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Anis Idayati, Ayahanda Suhadi, serta adik Riza Riski Sukma Rini yang senantiasa mendoakan, memberi dukungan, semangat serta kasih sayang yang tulus
2. Keluarga besar mbah Rukmini dan Nur Idayati yang selalu memberi motivasi, doa dan dukungan
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai Perguruan Tinggi yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kasih dan kesabaran
4. Saudaraku seperjuangan angkatan 2012 (Bathics ’12) yang selalu memberikan bantuan dan motivasi
5. Alamamater tercinta Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember, SMA N 1 Purwoharjo, SMP N 1 Muncar, SD N 5 Sumberberas dan TK ABA

MOTTO

"Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah" [1]

"Orang-orang yang sukses telah belajar membuat diri mereka melakukan hal yang harus dikerjakan ketika hal itu memang harus dikerjakan, entah mereka menyukai atau tidak" [2]

---

[1] Thomas Alva Edison

[2] Aldus Huxley

PERNYATAAN

Saya yang beranta tangan di bawah ini:

Nama : Anjung Fiqri Zakaria

NIM : 121810101065

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: "Penerapan Metode Eksponen Hurst dan *Box Counting* pada kasus Curah Hujan" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2016

Yang menyatakan,

Anjung Fiqri Zakaria

NIM 121810101065

SKRIPSI

PENERAPAN METODE EKSPONEN HURST DAN *BOX COUNTING* PADA KASUS CURAH HUJAN

Oleh
Anjung Fiqri Zakaria
121810101065

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Kusbudiono, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Penerapan Metode Eksponen Hurst dan *Box Counting* pada kasus curah hujan" telah diuji dan disahkan pada:

Hari :

Tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,	Sekretaris,
Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si	Kusbudiono, S.Si., M.Si
NIP. 196908281998021001	NIP. 197704302005012001
Anggota I,	Anggota II,
Drs. Rusli Hidayat, S.Si., M.Si	Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si, M.Si
NIP. 196610121993031001	NIP. 197407192000121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Jember,

Drs. Sujito, PhD

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Penerapan metode eksponen Hurst dan *box counting* pada kasus curah hujan; Anjung Fiqri Zakaria, 121810101065; 2016; 60 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Dampak dari curah hujan diantaranya banjir, tanah longsor, angin putting beliung dan terganggunya sistem transportasi udara. Berdasarkan hal tersebut diperlukan studi tentang perilaku pergerakan curah hujan. Studi ini dilakukan agar perubahan curah hujan dapat diprediksi sehingga dapat membantu pemerintah maupun masyarakat dalam hal mitigasi bencana alam akibat curah hujan yang tinggi. Untuk meneliti hal tersebut dalam skripsi ini menggunakan metode eksponen Hurst dan *box counting*. Metode eksponen Hurst merupakan metode untuk menganalisa data runtun waktu. Sedangkan metode *box counting* adalah metode dengan perhitungan kotak. Dari nilai dimensi fraktal ini digunakan sebagai indikator untuk menguji kemungkinan dapat terprediksinya pola dinamika suatu data.

Data yang digunakan adalah data curah hujan dalam penelitian yang sebelumnya telah digunakan oleh Cahyani (2016) dan Aryani (2014) yaitu data curah hujan dibebrapa daerah pulau Lombok tahun 2008-2012 dan curah hujan stasiun Tanggul Kabupaten Jember tahun 2005-2015. Dalam skripsi Aryani (2014) dijelaskan bahwa dari lima kota di pulau Lombok, daerah Puyung, Sekotong, Tanjung bersifat *anti-persistence*, sedangkan daerah Cakranegara dan Sembalun bersifat *persistence*. Daerah Tanjung memiliki dimensi fraktal paling tinggi yaitu sebesar 1,789 sehingga pola data curah hujan di daerah ini sangat fluktuatif sedangkan Sembalun memiliki dimensi fraktal paling rendah yaitu sebesar 1,369 sehingga fluktuatif pola data curah hujannya sangat rendah. Ratri (2015) meneliti tentang penerapan metode *box counting* untuk identifikasi telapak tangan. Dari dua

puluh citra uji, yang berhasil diidentifikasi dengan benar adalah tujuh belas citra telapak tangan, dimana tiga belas diantaranya masuk pada kategori BA (benar dan ada) dan lainnya masuk di kategori BT (benar dan tidak ada) sedanglan untuk tiga citra telapak tangan uji sisanya diidentifikasi dengan salah. Persentase keberhasilan yang dihasilkan adalah 85%. Dari kedua metode ini akan digunakan pada penerapan kasus curah hujan yang nantinya bisa memprediksi pola pergerakan curah hujan.

Hasil analisa dengan bantuan progam Matlab yaitu menghasilkan nilai dimensi fraktal pada 5 stasiun yaitu untuk metode eksponen Hurst sebagai berikut 1,853, 1,6131, 1,7932, 1,7235, dan 1,9774. Hal ini menunjukkan pola pergerakan curah hujan pada 5 stasiun tersebut bersifat *anti-persistence* yang artinya pada bulan-bulan tertentu memiliki curah hujan yang tinggi namun pada bulan-bulan berikutnya curah hujan yang terjadi sangat rendah. Sedangkan berdasarkan metode *box counting*, 4 stasiun yaitu Puyung, Sekotong, Sembalun, dan Tanjung bersifat *persistence* yang artinya bila curah hujan pada bulan-bulan tertentu sangat tinggi maka pada bulan-bulan berikutnya akan cenderung memiliki curah hujan yang tinggi pula ataupun sebaliknya, sedangkan pada stasiun Tanggul bersifat *anti-persistence* yang artinya pada bulan-bulan tertentu memiliki curah hujan yang tinggi namun pada bulan-bulan berikutnya curah hujan yang terjadi sangat rendah.

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam matematika, fraktal merupakan sebuah kelas bentuk geometri kompleks yang umumnya mempunyai dimensi pecahan. Sebuah konsep yang pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan Felix Hausdorff pada tahun 1918. Bentuk-bentuk fraktal bersifat menyerupai diri (*self-similar*) artinya setiap bagian kecil dalam sebuah fraktal dapat di pandang sebagai replikasi skala kecil dari bentuk keseluruhan. Fraktal berbeda dengan gambar-gambar klasik sederhana atau geometri Euclid seperti bujur sangkar, lingkaran, bola dll. Fraktal dapat digunakan untuk menjelaskan banyak objek yang bentuknya tak beraturan atau fenomena alam yang secara spasial tak seragam, seperti bentuk pantai atau lereng gunung. Istilah fraktal (*fractal*) berasal dari kata Latin *fractus* (terpenggal atau patah) dan diperkenalkan oleh matematikawan kelahiran Polandia yaitu Benoit B. Mandelbrot.

Seperti halnya benda-benda geometri yang lain, fraktal juga memiliki dimensi. Dimensi fraktal pada umumnya dinyatakan dengan bilangan bukan bulat, yakni bilangan pecahan. Dimensi fraktal merupakan sebuah pola yang bersifat rekursif yang setiap bagiannya mirip dengan bagian keseluruhan pada suatu objek geometri. Didalam dimensi fraktal terdapat beberapa metode diantaranya metode *box counting* dan eksponen Hurst. Kedua metode tersebut bisa digunakan untuk menghitung dimensi fraktal yang bentuknya berupa data runut waktu. Salah satu penerapannya dapat digunakan untuk menganalisis curah hujan.

Menurut Ningsih (2011) hujan adalah butir-butir air atau kristal yang keluar dari awan yang sampai ke permukaan bumi. Sedangkan curah hujan yaitu jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Beberapa peristiwa yang sering terjadi akibat curah hujan tinggi diantaranya adalah banjir, tanah longsor, angin puting beliung dan terganggunya sistem transportasi udara. Berdasarkan hal tersebut diperlukan studi tentang perilaku pergerakan curah hujan. Studi ini dilakukan agar perubahan curah hujan dapat diprediksi sehingga dapat membantu permerintah maupun masyarakat dalam hal mitigasi bencana alam akibat curah hujan yang tinggi.

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian terkait topik tersebut. Diantaranya adalah Aryani (2014) meneliti tentang aplikasi metode eksponen Hurst dalam analisis fraktal curah hujan bulanan di beberapa daerah pulau Lombok tahun 2008-2012. Aryani meneliti di lima kota di pulau Lombok dengan hasil daerah Puyung, Sekotong, Tanjung bersifat *anti-persistence*, sedangkan daerah Cakranegara dan Sembalun bersifat *persistence*. Daerah Tanjung memiliki dimensi fraktal paling tinggi yaitu sebesar 1,789 sehingga pola data curah hujan di daerah ini sangat fluktuatif sedangkan Sembalun memilik dimensi yang paling rendah yaitu sebesar 1,369 sehingga fluktuasi pola data curah hujan di daerah ini juga rendah. Selanjutnya Ratri (2015) meneliti tentang penerapan metode *box counting* untuk identifikasi telapak tangan. Dari dua puluh citra uji, yang berhasil diidentifikasi dengan benar adalah tujuh belas citra telapak tangan, dimana tiga belas diantaranya masuk pada kategori BA (benar dan ada) dan lainnya masuk di kategori BT (benar dan tidak ada) sedanglan untuk tiga citra telapak tangan uji sisanya diidentifikasi dengan salah. Persentase keberhasilan yang dihasilkan adalah 85%.

Pada skripsi ini, peneliti mencoba membahas mengenai penerapan metode eksponen Hurst dan metode *box counting* pada analisis curah hujan. Pada penelitian sebelumnya oleh Aryani, hanya menggunakan metode eksponen Hurst sebagai metode untuk menganalisa curah hujan. Pada penelitian ini untuk menganalisa curah hujan menggunakan dua metode yaitu metode eksponen Hurst dan *box counting*. Untuk data yang digunakan adalah data curah hujan stasiun Tanggul Kabupaten Jember tahun 2005-2015 dan data curah hujan di beberapa daerah pulau Lombok tahun 2008-2012.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalahnya adalah:

a. Bagaimana penerapan metode eksponen Hurst dan *box counting* pada kasus curah hujan
b. Bagaimana pola pergerakan data curah hujan pada setiap stasiun

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka data pada penelitian ini adalah:

a. Data curah hujan stasiun Tanggul Kabupaten Jember tahun 2005-2015
b. Data curah hujan di beberapa daerah pulau Lombok tahun 2008-2012

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini yaitu:

a. Menunjukkan penerapan dari metode eksponen Hurst dan *box counting* pada kasus curah hujan
b. Memberikan prediksi pergerakan curah hujan pada setiap stasiun

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

a. Menambah pengetahuan dibidang matematika khususnya fraktal
b. Membantu pemerintah dan masyarakat dalam mitigasi bencana alam
c. Memberi motivasi pada penulis untuk meneliti dengan metode dimensi fraktal yang lain

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fraktal

Istilah fraktal diperkenalkan pertama kali oleh Benoit Mnadelbrot pada tahun 1977 dalam bukunya yang berjudul "*The Fractal Geometry of Nature*". Penemuan Mandelbrot tentang geometri fraktal tersebut merupakan salah satu penemuan yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan ilmu matematika pada pertengahan abad dua puluh. Konsep dasar fraktal sebenarnya sudah ditemukan jauh sebelum Mandelbrot. Ide dasar mengenai keserupaan diri sudah ditulis oleh Leibnizt, Kant, Lichtenberg, Cantor, dan Hausdorff (Evertsz, 1995).

Menurut Benoit Mandelbrot, kata fraktal berasal dari bahasa latin *fractus* yang artinya patah, pecah, dan tidak teratur. Fraktal adalah suatu objek yang memiliki kemiripan yang sama dengan dirinya sendiri pada skala yang berbbeda, dimana bagian yang lebih kecil pada sebuah objek akan mirip dengan objek tersebut apabila dilihat secara keseluruhan (Putra, 2009).

Fraktal mempunyai dua ciri khas, yaitu *self-similarity* dan *infinite detail*. *Self similarity* merupakan keadaan objek yang dibangun secara berulang dengan mengganti suatu gambar dengan yang sebangun, tetapi berukuran lebih kecil dari asalnya. Artinya sekecil apapun gambar tersebut apabila diperbesar hasilnya akan sama. Sedangkan *infinite detail* merupakan objek fraktal yang memiliki bentuk dasar yang seakan-akan tidak habis-habis apabila diperhatikan. Contohnya kurva Koch apabila diperbesar dengan generasi yang tak terhingga akan mempunyai ketidakrataan yang sama (Santosa, 1994).

Fraktal menurut keserupaan dirinya terbagi menjadi tiga macam, yaitu serupa diri secara persis, serupa diri sebagian, dan serupa diri secara statistik. Serupa diri secara persis memiliki struktur fraktal yang sangat identik di segala skala. Karakteristik seperti ini biasanya terjadi pada bentuk fraktal yang terdefinisi secara matematika seperti Koch *snowflake* dan segitiga Sierpinski. Karakteristik yang kedua adalah serupa diri sebagian. Fraktal jenis memiliki keserupaan diri yang tidak terlalu mirip jika skalanya diubah. Contoh dari fraktal jenis tersebut adalah himpunan Mandelbrot. Jenis yang ketiga adalah serupa diri secra statistik. Keserupaan dirinya bersifat statistik pada skala tertentu, jenis ini memiliki tingkat serupa diri yang paling lemah (Subiantoro, 2005).

2.1.1 Fraktal Alami

Fraktal alami adalah fenomena fraktal yang terdapat di alam. Beberapa contoh fraktal alami terdapat pada daun pakis dan kembang kol romawi seperti pada Gambar 2.1.

(a)

(b)

Gambar 2.1. (a) Kembang kol romawi dan (b) Pakis

Beberapa contoh diatas merupakan fraktal alami yang terdapat di alam, contoh-contoh diatas memiliki sifat rekursif yang bisa dilihat dengan mudah yaitu dengan mengambil satu cabang dari suatu pohon dan akan terlihat bahwa cabang tersebut adalah miniatur dari pohonnya secara keseluruhan (tidak sama persis, tetapi mirip).

(a)

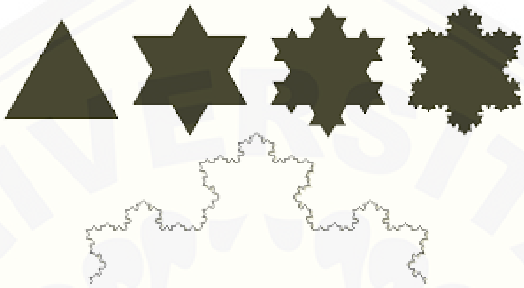
(b)

Gambar 2.2. (a) Pola garis pantai dan (b) Kerang

Pada Gambar 2.2 diatas merupakan contoh lain dari fraktal alami, pada gambar (b) yaitu kerang yang memiliki pola melingkar dari berukuran kecil hingga besar, terlihat pola berukuran kecil memiliki kemiripan hingga pola berukuran besar.

2.1.2 Fraktal Buatan

Contoh fraktal buatan adalah gambar matematika secara murni dengan enam simetri lipat seperti kepingan salju alami. Fraktal ini bersifat meyerupai dirinya, dalam arti bahwa bentuk ini terdiri atas tiga bagian identik, masing-masing pada gilirannya tersususn dari empat bagian dan secara persis merupakan bentuk secara keseluruhan dalam skala kecil (Nawira, 2016).



Gambar 2.3. Kurva Bongkahan Salju Koch

Dimensi fraktal dapat digambarkan dengan melihat sebuah contoh khusus misalnya kurva bongkahan salju yang didefeneisikan oleh Helge Von Koch pada tahun 1904 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sebuah fraktal kurva salju Koch dibentuk dengan membuat penambahan secara terus menerus bentuk yang sama pada sebuah pada sebuah segitiga sama sisi. Penambahan dilakukan dengan membagi sisi-sisi segitiga menjadi tiga sama panjang dan membuat segitiga sama sisi baru pada tengah-tengah setiap sisi luar. Jadi, setiap frame menunjukkan lebih banyak kompleksitas, namun setiap segitiga baru dalam bentuk tersebut terlihat persis seperti bentuk semula. Refleksi bentuk yang lebih besar pada bentuk-bentuk yang lebih kecil merupakan karakteristik semua fraktal (Azmi, 2013).

Berbagai himpunan lainnya dapat dibangun dengan menggunakan prosedur rekursif (berulang). Sebagai contoh pada Gambar 2.4 segitiga Sierpinski diperoleh dengan metode rekursi, dimana pada segitiga utama tiap sisi-sisinya dibagi dua untuk membuat titik-titik baru, kemudian dari ketiga sisi yang terbentuk, saling dihubungkan menjadi sebuah segitiga yang lebih kecil sehingga terbentuk 3 segitiga di pinggir dan satu segitiga paling besar ditengah, demikian seterusnya untuk segitiga-segitiga yang terletak di pinggir atau sudut segitiga besar dilakukan proses serupa (Falconer, 2013).

Gambar 2.4. Segitiga Sierpinski

Struktur lain yang sangat rumit yaitu himpunan Julia yang berasal dari fungsi kuadrat tunggal $f(z) = z^2 + c$, untuk c konstan yang sesuai. Meskipun himpunan tidak sepenuhnya menyerupai diri sendiri seperti dalam arti himpunan Cantor dan kurva Koch, itu adalah semi-menyerupai diri sendiri dalam porsi kecil dari himpunan dapat dipebesar dan kemudian terdistorsi halus bertepatan dengan sebagian besar dari himpunan (Falconer, 2003). Gambar 2.5 merupakan struktur dari himpunan Julia

Gambar 2.5. Himpunan Julia

2.2 Dimensi Fraktal

Dimensi menurut Euclid berbeda dengan dimensi menurut fraktal. Seperti yang kita ketahui bersama, dalam dimensi Euclidean titik merupakan dimensi nol, garis merupakan dimensi satu, bidang merupakan dimensi dua, dan ruang merupakan dimensi tiga. Namun, pada dimensi fraktal kita mengenal dimensi pecahan seperti dimensi 2,7 dan dimensi 1,5 (Azmi, 2013). Dimensi fraktal pada umumnya dinyatakan dengan bilangan bukan bulat, yakni berupa bilangan pecahan. Yang dimaksud dengan dimensi fraktal yaitu sebuah pola yang bersifat rekursif yang setiap bagiannya mirip dengan bagian keseluruhan pada suatu objek geometri (Sekawati, 2013).

Terdapat dua konsep dimensi yang berkaitan dengan karakteristik objek fraktal yaitu dimensi topologi dan dimensi Hausdorff. Dimensi topologi dilambangkan dengan D_τ dan dimensi Hausdorff dilambangkan dengan *D*. Dimensi topologi ini sesuai dengan dimensi menurut Euclid, yakni nilainya selalu berupa bilangan bulat. Besarnya dimensi topologi suatu objek di ruang vektor R^n adalah bilangan bulat antara 0 dan *n* (Mandelbrot, 1983).

Suatu fraktal didefinisikan sebagai himpunan yang mana dimensi Hausdorff Besicovitch lebih kuat lebih kuat dari pada dimensi topologinya. Dengan kata lain dimensi pada fraktal merupakan dimensi Hausdorff, yang memiliki nilai bukan bilangan bulat. Dimensi Hausdorff dilambangkan dengan *D*, banyaknya subunit atau subsegmen hasil iterasi dari suatu objek fraktal dilambangkan dengan *N*. Sedangkan panjangnya subsegmen tersebut dilambangkan dengan *r*. Sehingga hubungan antara *D*, *N*, dan *r* dinyatakan dengan persamaan $N = (\frac{1}{r})^D$ (Mandelbrot, 1983). Dengan mengambil logaritma dari kedua ruas, maka dapat dicari dengan persamaan (2.1)

$$D = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{r})} \tag{2.1}$$

2.3 Metode Box Counting

Menurut Klinkenberg (1994) dimensi fraktal dapat dihitung dengan metode perhitungan kotak (*box counting*). Metode *box counting* banyak digunakan untuk menentukan dimensi fraktal dari banyak fenomena yang berbeda, sebelum aplikasi dalam penelitian fraktal, *box counting* terutama digunakan untuk menentukan dengan cepat area tidak teratur fitur kartografi. Karena bisa diterapkan dengan efektivitas sama dengan himpunan titik, fitur linear, daerah dan volume, metode perhitungan kotak merupakan sarana yang banyak digunakan untuk menenrukan dimensi fraktal. Metode ini juga dikenal sebagai grid atau metode perhitungan sel reticular.

Metode *box counting* dimotivasi oleh gagasan menentukan ruang mengisi sifat-sifat kurva. Didalam pendekatan, kurva ditutupi dengan koleksi daerah elemen (kotak persegi), dan jumlah elemen dari ukuran yang diberikan dihitung untuk melihat berapa banyak kotak yang diperlukan untuk menutupi kurva sepenuhnya. Sebagai ukuran dari elemen daerah mendekati nol, luas area tertutup oleh unsur-unsur daerah akan bertemu dengan ukuran kurva (Tricot, 1995).

Metode *box counting* sering dikenal sebagai metode perhitungan kotak. Langkah pertama bekerja dengan metode ini adalah dengan mengambil citra objek fraktal. Dari citra yang dihasilkan tersebut, kemudian dibagi-bagi menjadi beberapa kotak dengan berbagai variasi ukuran (*r*). Jika sebuah garis dibagi menjadi beberapa bagian yang sama, maka setiap bagian memiliki rasio $s = \frac{1}{N}$ (Mulyadi, 2013).

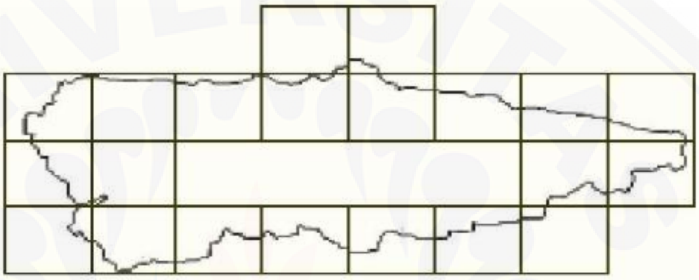
Menurut Sampurno (2011) metode *box counting* merupakan salah satu metode yang umumnya telah dikenal untuk menghitung dimensi fraktal suatu citra. Untuk menghitung dimensi dari himpunan *S* dalam ruang R^n atau dalam ruang metrik *(X,d)*, suatu fraktal diletakkan pada suatu luasan bidang kotak. Selanjutnya dihitung dengan seberapa banyak kotak yang diperlukan untuk menutup seluruh bagian fraktal tersebut. Kemudian untuk menghitung dimensi *box counting* ini dihitung kembali banyaknya jumlah kotak yang berubah ketika ukuran kotak tersebut diperkecil hingga panjang sisi ε mendekati 0.

Terdapat beberapa metode untuk menentukan dimensi fraktal. Salah satunya metode yang dapat digunakan untuk menentukan dimensi fraktal adalah metode *box counting*. Metode *box counting* sering dikenal sebagai metode perhitungan kotak. Metode ini membagi suatu objek menjadi beberapa bagian kotak dengan berbagai variasi ukuran. Langkah-langkah bekerja dengan metode *box counting* adalah sebagai berikut:

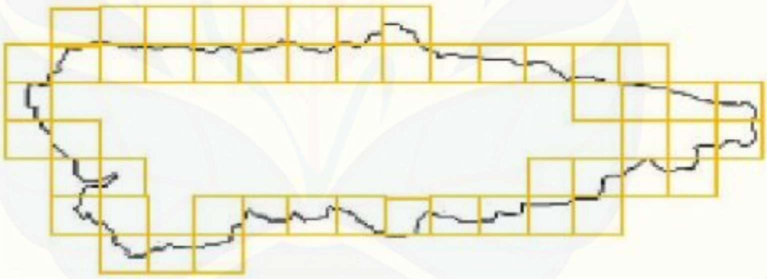
a. Mengambil citra suatu objek fraktal yang akan dihitung dimensinya
b. Membagi citra tersebut ke dalam kotak-kotak dengan variasi ukuran yang berbeda *s*
c. Menghitung banyaknya kotak yang berisi bagian objek pada citra *N*
d. Menghitung besarnya dimensi *D* dengan persamaan (2.2) (Putra, 2009):

$$D(s) = \frac{log N(s)}{log \frac{1}{s}} \tag{2.2}$$

Pada gambar 2.6 merupakan ilustrasi untuk metode *box counting* dalam menghitung garis pantai. Gambar (a) menunjukkan pembagian kotak dengan *s* sebesar $\frac{1}{8}$ dari ukuran awal dan jumlah kotak terisi *N* sebanyak 21 kotak. Sehingga nilai dimensi fraktal dengan ukuran *s* sebebsar $\frac{1}{8}$ adalah 1,486478. Sedangkan untuk gambar (b), ukuran s adalah $\frac{1}{16}$ dengan jumlah kotak terisi *N* sebanyak 52 kotak. Berdasarkan pembagian kotak dengan ukuran tersebut, dihasilkan dimensi fraktal sebebsar 1,42511.



(a)



(b)

Gambar 2.6. Pembagian kotak pada metode *box counting*

2.4 Metode Eksponen Hurst

Metode Eksponen Hurst pertama kali dikenalkan oleh H.E.Hurst (1951). Metode ini terbukti dapat digunakan untuk menganalisa data runtun waktu dengan sangat baik. Nilai Eksponen Hurst berada dalam rentang antara 0 dan 1. Dari nilai eksponen ini akan ditentukan nilai dimensi fraktal suatu data runtut waktu. Dimensi fraktal yang telah dihitung akan digunakan sebagai indikator untuk menguji kemungkinan dapat terprediksinya pola dinamika suatu data (Mandelbrot, 1982).

Nilai Ekponen Hurst dihitung dengan cara melihat tingkat kebergantungan nilai rasio perbandingan panjang jangkauan suatu data (*R*) terhadap nilai standar deviasi data pada rentang tersebut (*S*) yang dievaluasi untuk masing-masing nilai rentang (*n*). Nilai komponen *n* didapatkan dengan membagi total panjang data (*N*) dengan beberapa pembagi tetap ($n = \frac{N}{2}, \frac{N}{4}, \ldots$). Hurst menemukan bahwa skala perbandingan nilai (*R/S*) meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *n* melalui suatu hubungan (Selvi dan Selvaraj, 2011):

$$\left(\frac{R(n)}{S(n)}\right) = cn^H \quad (2.3)$$

dimana :

R : panjang jangkauan data

S : standar deviasi

n : panjang rentang data dimana $n = \{N/2, N/4, \ldots\}$ dengan *N* jumlah total data

c : konstanta

H : nilai eksponen Hurst

Melalui persamaan (2.3) untuk mendapatkan nilai eksponen Hurst (*H*) didapatkan dengan cara mengeplot nilai log (*R/S*) terhadap masing-masing nilai log (*n*). Kemiringan garis regresi dari kurva linear ini diaproksimasi sebagai nilai *H* sehingga nilai ini akan berada pada rentang antara 0 dan 1.

Kale dan Butar (2011) mengatakan bahwa analisis $R/_S$ yang digunakan pada data runtun waktu untuk mengestimasi nilai Eksponen Hurst. Jika data runtun waktu berdistribusi normal maka nilai estimasi Eksponen Hurst juga berdistribusi normal. Prosedur estimasi melibatkan tiga langkah dasar yaitu :

a. Menghitung total kumulatif pada setiap titik waktu (Kale and Butar, 2011)

$$\Gamma_{N,k} = \sum_{i=1}^{k}(F_i - \mu_N) \text{, untuk } 0 < k \leq N \quad (2.4)$$

dengan F_i = nilai runtun waktu pada waktu ke-i

μ_N = rata-rata data

N = jumlah data

Selisih antara maksimum kumulatif dan minimum kumulatif, dinotasikan dengan R, (Kale and Butar, 2011)

$$R = Maks(\Gamma_{N,k}) - Min(\Gamma_{N,k}) \quad (2.5)$$

dengan $Maks(\Gamma_{N,k})$ = nilai maksimum pada $(\Gamma_{N,k})$

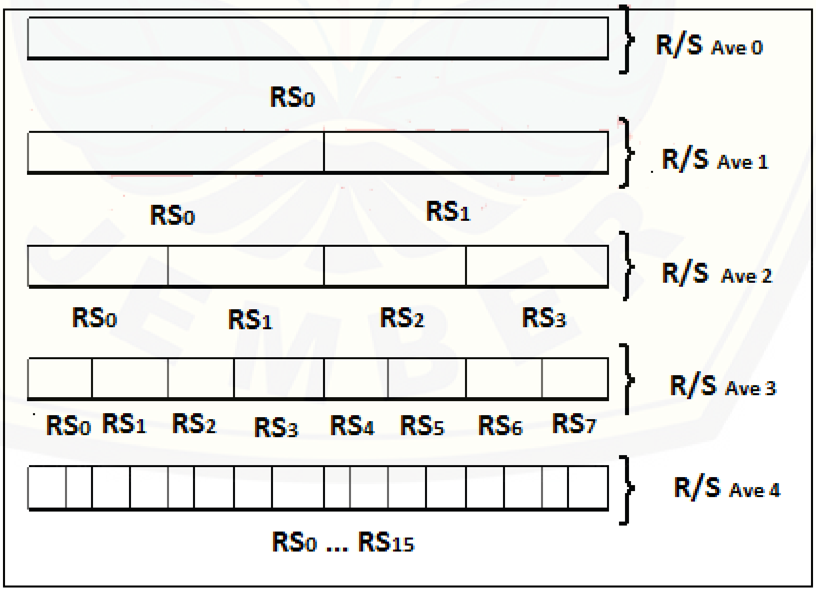
$Min(\Gamma_{N,k})$ = nilai minimum pada $(\Gamma_{N,k})$

Kemudian menghitung standar deviasi, sebagai berikut (Kale dan Butar, 2011):

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(F_i - \mu_N)^2} \quad (2.6)$$

Terakhir menghitung nilai $\frac{R}{S}$

b. Selanjutnya menghitung nilai (R/S) untuk $N = \frac{N}{2}$. Nilai R/S dihitung sesuai dengan langkah pertama untuk dua segmen. Kemudian menghitung nilai rata-rata R/S. Kita akan mengulangi prosedur untuk interval berturut-turut lebih kecil selama kumpulan data membagi setiap segmen menjadi dua dan menghitung nilai R/S untuk setiap segmen. Langkah selanjutnya menghitung R/S rata-rata. Perhitungan dapat terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7. Proses analisis R/S untuk estimasi Eksponen Hurst

c. Nilai Eksponen Hurst diestimasi dengan memplot nilai-nilai $log(R/S)$ dengan $log(N)$. Kemiringan garis regresi dari kurva linear ini diaproksimasi sebagai nilai Eksponen Hurst seperti persamaan berikut (Vàcha, 2007):

$$log\left(\frac{R}{S}\right) = log(c) + H\,log(N) \tag{2.7}$$

dengan c adalah konstanta, dan H adalah nilai Eksponen Hurst.

Menurut Barbulescu (2007), berdasarkan nilai eksponen Hurst suatu data runut waktu dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Eksponen Hurst yang bernilai 0,5 (H=0,5) menunjukkan bahwa data runut waktu tersebut bersifat acak

b. Eksponen Hurst yang bernilai antara 0 dan 0,5 $(0 \leq H < 0{,}5)$ menunjukkan bahwa data runut waktu tersebut bersifat *anti-persistence* dimana meningkatnya nilai data pada suatu waktu tertentu akan cenderung diikuti oleh menurunnya nilai data pada waktu berikutnya dan sebaliknya.

c. Eksponen Hurst yang bernilai antara 0,5 dan 1 $(0{,}5 < H \leq 1)$ menunjukan bahwa data runut waktu tersebut bersifat *persistence* dimana meningkat atau menurunnya amplitudo nilai data pada suatu waktu tertentu akan cenderung diikuti oleh data berikutnya.

Hubungan antara nilai eksponen Hurst dengan dimensi fraktal dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Voss, dkk, 1985):

$$D = 2 - H \tag{2.8}$$

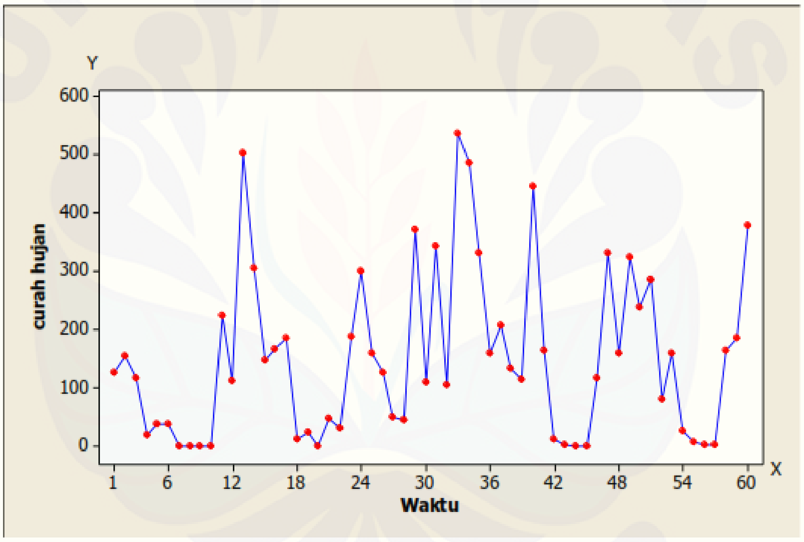
dimana:

D: dimensi fraktal

H: nilai eksponen Hurst

Bersesuaian dengan nilai Eksponen Hurst diatas maka jika dimensi fraktal suatu data runut waktu bernilai 1,5 dapat diartikan bahwa proses perubahan nilai data setiap waktunya bersifat acak. Pada kasus seperti ini tidak ada hubungan antara perubahan nilai dan perubahan waktu (nilai data tak bergantung waktu). Jika ini terjadi maka dapat disimpulkan bahwa proses dinamika perubahan datanya tidak dapat diramalkan. Jika nilai dimensi fraktal suatu data runut waktu berada pada rentang 1 dan 1,5 maka proses dinamika perubahan datanya menjadi mungkin untuk diramalkan. Semakin dekat nilai dimensi fraktal ini ke nilai 1 maka semakin mungkin untuk diramalkan. Nilai dimensi fraktal pada rentang ini menunjukan bahwa data runut waktu tersebut bersifat *persistence*, artinya arah perubahan nilai data pada waktu terentu akan cenderung diikuti oleh data berikutnya. Jika dimensi fraktal berada pada rentang antara 1.5 dan 2 maka dapat disimpulkan bahwa proses pergerakan nilai data bersifat *anti-persistence*, artinya penurunan nilai data pada waktu tertentu akan cenderung diikuti peningkatan nilai pada waktu berikutnya dan sebaliknya (Rangarajan dan Sant, 2004).

Dian (2014) melakukan penelitian menggunakan data curah hujan kota Cakranegara tahun 2008-2012. Gambar 2.8 merupakan grafik curah hujan bulanan di daerah Cakranegara.

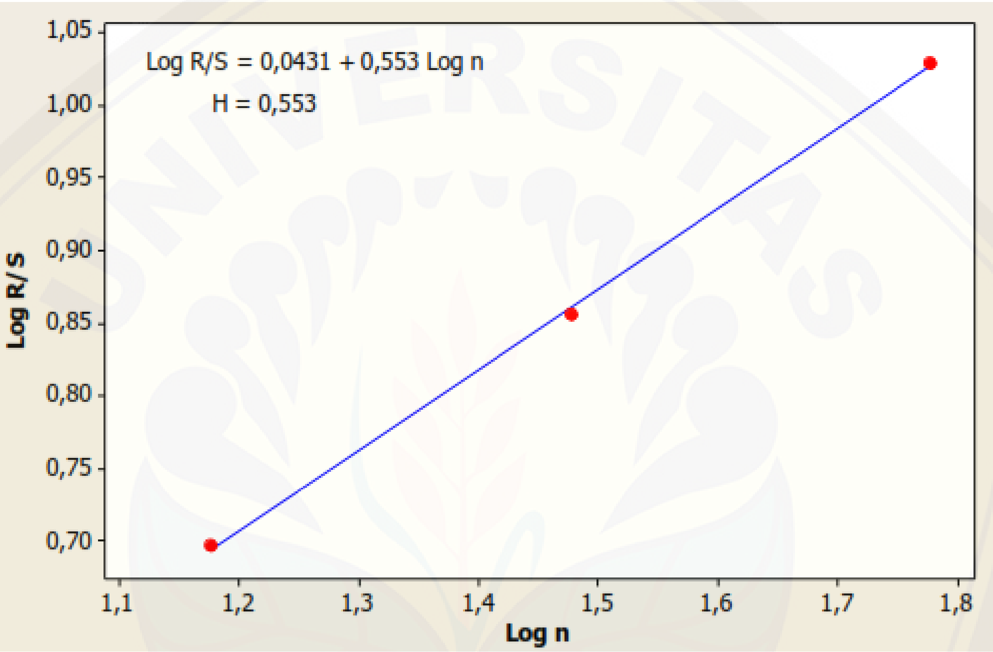


Gambar 2.8. Grafik curah hujan daerah Cakranegara

Untuk mendapatkan nilai eksponen Hurst diperoleh dengan cara memplot nilai-nilai $\log(\frac{R}{S})$ dengan $\log(N)$. Berikut nilainya dirangkum pada tabel 1. Kemiringan garis regresi dari kurva linear ini diaproksimasi sebagai nilai H yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Tabel 2.1. Nilai analisis R/S untuk estimasi *H* di daerah Cakranegara

Interval (N)	Log (N)	Log (R/S)
60	1,778	1,029
30	1,477	0,855
15	1,176	0,696



Gambar 2.9. Perhitungan nilai kemiringan sebagai eksponen Hurst (*H*)

Berdasarkan Gambar 2.9 diperoleh persamaan regresi sebagai berikut $\log(R/_S) = 0{,}0431 + 0{,}553\log(\mathrm{N})$. Kemiringan dari garis regresi yang diaproksimasi sebagai nilai *H* diperoleh sebesar 0,553, untuk menghitung dimensi fraktal menggunakan persamaan (2.4) sehingga diperoleh nilai dimensi fraktal sebesar 1,447. Maka dapat disimpulkan bahwa data curah hujan daerah Cakranegara memilik sifat *persistence* dengan nilai eksponen Hurst sebesar 0,553 (*D*=1,447) artinya meningkat atau menurunnya nilai data pada suatu waktu tertentu akan cenderung diikuti oleh data berikutn

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penelitian yang sebelumnya telah digunakan oleh Cahyani (2016) dan Aryani (2014). Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan stasiun Tanggul Kabupaten Jember dan data curah hujan di beberapa kota di pulau Lombok tahun 2008-2012.

Tabel 3.1. Data curah hujan stasiun Tanggul tahun 2005-2015

TH	BULAN											
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES
2005	157	386	239	264	0	50	79	0	0	156	267	514
2006	171	158	274	343	139	0	0	0	0	0	199	290
2007	175	362	405	182	182	201	40	0	0	67	174	628
2008	454	235	367	166	60	0	0	0	0	320	326	403
2009	270	176	174	113	223	0	61	0	13	112	256	197
2010	351	284	360	391	351	171	182	95	436	207	331	167
2011	396	209	181	364	164	0	0	0	0	156	275	246
2012	448	333	163	312	52	0	55	0	0	71	250	288
2013	342	263	68	244	207	132	142	0	0	62	402	491
2014	217	191	156	135	76	50	4	0	0	0	342	374
2015	127	322	191	362	187	64	4	0	0	0	85	279

(Sumber : Dinas Pengairan Kabupaten Jember)

Tabel 3.2. Data curah hujan beberapa kota di pulau Lombok

POS HUJAN PUYUNG												
TH	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2008	208	263	296	207	124	0	4	28	63	150	509	252
2009	252	211	271	100	154	0	22	0	100	63	88	53
2010	317	125	249	152	250	224	177	81	329	261	243	308
2011	340	139	229	364	160	18	20	0	0	176	241	187
2012	322	105	157	38	31	0	14	0	0	35	227	242
POS HUJAN SEKOTONG												
2008	93	194	180	196	132	36	0	5	8	86	243	106
2009	373	349	110	106	40	18	63	0	81	26	53	48
2010	457	305	87	184	102	29	56	7	114	223	253	331
2011	317	349	199	166	90	0	17	0	25	79	133	129
2012	405	212	385	69	149	0	0	0	0	12	214	228
POS HUJAN SEMBALUN												
2008	150	277	419	192,3	158	12	0	2	14	31	100	73
2009	133	429	140	40	34	8	0	0	7	36	26	266
2010	612	293	266	240	245	32	73	40	100	251	202	502
2011	712	409	521	378	246	5	3	0	0	0	165	384
2012	837	457	828	15	90	0	16	0	0	10	54	394
POS HUJAN TANJUNG												
2008	261	261	228	98	45	30	12	9	14	31	86	186
2009	461	475	249	32	101	0	0	0	4	35	4	54
2010	282	130	119	105	216	5	90	15	27	154	62	316
2011	492	383	263	115	130	34	2	0	0	16	228	164
2012	272	143	523	67	11	0	15	0	0	40	123	318

(Sumber : Stasiun Klimatologi Kediri, Lombok Barat, NTB)

Keterangan:

CH= Curah Hujan

Curah hujan diukur dalam satuan milimeter (mm)

Curah hujan 1 $mm = 1\ Liter/m^2$

Curah hujan 2 $mm = 2\ Liter/m^2$, dst

Jumlah CH:

$0 - 100\ mm =$ Kategori rendah

$101 - 200\ mm =$ Kategori menengah

$201 - 300\ mm =$ Kategori Tinggi

$> 300mm =$ Kategori sangat tinggi

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan analsis curah hujan adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini adalah mempelajari mengenai metode eksponen Hurst, metode *box counting* yang didapat dari berbagai sumber baik berupa buku, artikel, maupun jurnal yang diperoleh melalui internet.

b. Analisis Data

Pada analisis data penelitian kali ini ada dua yaitu metode eksponen Hurst dan *box counting*. Untuk metode eksponen Hurst yaitu

1) Data yang telah dipilih untuk penelitian yaitu data runtun waktu dibuat grafik
2) Melakukan analisis *R/S* untuk mengestimasi nilai eksponen Hurst
3) Memplot nilai-nilai $\log(\frac{R}{S})$ dengan $\log(N)$
4) Membuat persamaan regresi linier sederhana berdasarkan nilai-nilai $\log(\frac{R}{S})$ dengan $\log(N)$
5) Nilai eksponen Hurst (*H*) diperoleh berdasarkan kemiringan dari garis regresi yang diaproksimasi
6) Dimensi fraktal didapat sesuai dengan persamaaan (2.8)

Untuk metode *box counting* :

1) Data yang telah dipilih untuk penelitian yaitu data runtun waktu dibuat grafik
2) Grafik tersebut selanjutnya dibagi kedalam kotak-kotak dengan variasi ukuran yang berbeda
3) Selanjutnya menghitung banyaknya kotak yang berisi bagian objek pada citra
4) Besarnya dimensi fraktal *D* dapat dihitung sesuai persamaan (2.2)

c. Perancangan Progam

Pada langkah ini menggunakan *sofware* MatLab 2009a dan melakukan perancangan desain GUI (*Graphic User Interface*) seperti tata letak tombol-tombol untuk tiap proses yang dibutuhkan serta tata letak *properties* pendukung progam yang lainnya.

d. Pembuatan Progam

Pembuatan progam dilakukan guna menerapkan metode eksponen Hurst dan *box counting* pada kasus curah hujan dengan bantuan software Matlab. *Output* dari progam merupakan dimensi fraktal yang mana nantinya digunakan untuk memprediksi pola pergerakan curah hujan.

e. Simulasi Progam

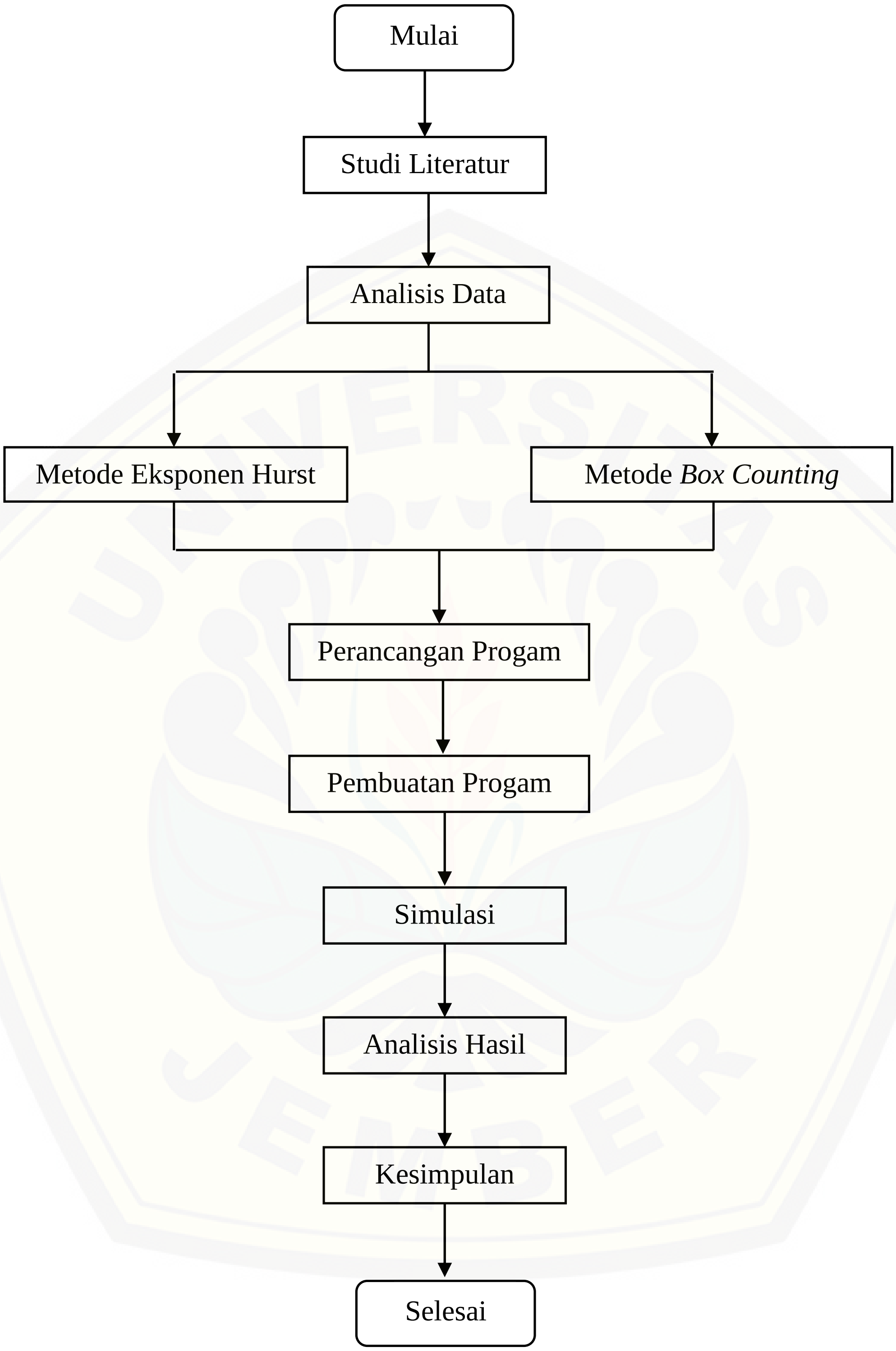
Simulasi progam dilakukan dengan menggunakan beberapa data yang telah dipilih. Selanjutnya data yang dipilih di simulasikan sesuai metode eksponen Hurst dan *box counting*.

f. Analisis Hasil

Analasis hasil pada peneltitan ini yaitu nilai dimensi fraktal pada setiap *output* pada progam metode eksponen Hurst dan *box counting* digunakan untuk memprediksi pola pergerakan pola curah hujan.,

g. Kesimpulan

Membuat kesimpulan berdasarkan analisis hasil yang telah dilakukan



Gambar 3.1 Langkah-langkah peneltian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

a. Berdasarkan metode eksponen Hurst pada stasiun Puyung, Sekotong, Sembalun, Tanjung, dan Tanggul pola pergerakan curah hujan pada stasiun tersebut bersifat *anti-persistence* yang artinya pada bulan-bulan tertentu memiliki curah hujan yang tinggi namun pada bulan-bulan berikutnya curah hujan yang terjadi sangat rendah.

b. Berdasarkan metode *box counting* pada stasiun Puyung, Sekotong, Sembalun, dan Tanjung pola pergerakan curah hujan bersifat *persistence* yang artinya bila curah hujan pada bulan-bulan tertentu sangat tinggi maka pada bulan-bulan berikutnya akan cenderung memiliki curah hujan yang tinggi pula ataupun sebaliknya sedangkan pada stasiun Tanggul pola pergerakan curah hujan bersifat *anti-persistence* yang artinya pada bulan-bulan tertentu memiliki curah hujan yang tinggi namun pada bulan-bulan berikutnya curah hujan yang terjadi sangat rendah.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini memiliki kekurangan dalam hal jumlah rentang data, hal ini mengakibatkan pada metode eksponen Hurst terbatas hanya pada $N/4$ pada estimasi eksponen Hurst. Sehingga untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan rentang data yang memungkinkan untuk estimasi pada $\frac{N}{8}, \frac{N}{18}, \frac{N}{32}$ dst. Pada proses menghitung besarnya dimensi fraktal pada *box counting*, banyaknya kotak pembagi(s) pada objek fraktal terbatas pada $\frac{1}{512}$. Hal ini bisa mempengaruhi keakuratan dalam mengestimasi nilai dimensi fraktal. Untuk penelitian selanjutnya banyaknya kotak pembagi bisa diperbesar sampai $\frac{1}{2^n}$, dimana $n = 1,2,3,4, \ldots$,dst.

DAFTAR PUSTAKA

Azmi, M.P. 2013. Dimensi Fraktal. *Journal Mathematical Education*. **11**(1). 1-2.

Barbulescu, A., Serban, C., Maflei, C. 2007. Evaluation of exponent for precipitation time series, *latest Trends on Computers*. 2:590-595.

Evertsz, C. J. G., Peitgen H. O., dan Voss R. F. 1995. *Fractal Geometry and Analysis*. Singapore: World Scientific.

Falconer, Kenneth. 2003. *Fractal Geometry Mathematical Foundations and Applications*. England: John Wiley dan Sons Ltd.

Kale, M. and Butar, F. B. 2011. Fractal Analysis of Time Series and Distribution Properties of Hurst Eksponent. *Journal of Mathemathical Sciences and Mathematics Education*. **5**(1).

Klinkenberg, Brian. 1994. A Review of Method Used to Determine the Fractal Dimension of Linear Features. *Journal Mathematical Geology*. **26**(1): 12.

Mandelbrot, B. B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W.H Freeman and Company.

Mulyadi, M. I., Isnanto, R. R., dan Hidayatno, A. 2013. Sistem Identifikasi Telapak Tangan Menggunakan Ekstraksi Ciri Berbasis Dimensi Fraktal. *TRANSIENT*. ISSN 2302-9927. **2**(3).

Nawira. 2016. *Analisis Statistik dan Dimensi Fraktal Sinyal Suara Jantung (Phonocardiogram)*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.

Ningsih; Nuryanto. 2011. Pengembangan Teknik Bioretention dalam Mengatasi Limpasan Air Hujan. Proceeding PESAT (Psikologi Ekonomi, Sastra, Arsitektur dan Sipil). ISSN:1858-255. **4**(1).

Putra, K. G. D. 2009. Sistem Verifikasi Biometrika Telapak Tangan dengan Meteode Dimensi Fraktal dan Lacunarity. *Teknologi Elektro*. **8**(2): 1-6.

Rangarajan, G. dan Sant, D. A. 1997. A Climate Pedictability Index and Its Applications. *Geophysical research letter*. **24**: 1239-1242.

Sampurno, J. 2011. Analisis Fraktal Curah Hujan Bulanan Kota Pontianak Dengan Metode Eksponen Hurst. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. **1**(3): 128-131.

Santosa, P. I. 1994. *Grafika Komputer dan Antarmuka Grafis Teknik Penyusunan Progam Aplikasi Berbasis Grafis yang Profesional*. Yogyakarta: Andi Offset.

Sekawati, L. 2013. Teknik Penggambaran Bentuk dan Citra Alamiah Berbasis Dimensi Fraktal. *Makalah IF2120 Matematika Diskrit – Sem. 1 2012/2013*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Selvi, S., Tamil, Selvaraj, R., Samuel. 2011. *Fractal Dimension Analysis of Northeast Monsoon of Tamil Nadu*. Universal Journal of Environmental Research and Technology. **1**(2): 219-221

Subagyo. 1986. *Forecasting Konsep dan Aplikasi*. Yogyakarta: BPFE

Subiantoro, N. 2005. *Penentuan Dimensi Objek Fraktal dengan Metode Box Counting*. Skripsi. Jember. Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.

Tricot, C. 1995. *Curves and Fractal Dimension*. Springer Verlag. New York.

LAMPIRAN

Lampiran A. Skrip progam eksponen Hurst

```
function [interval lon lors xy xkuad a b
D]=exponen_hunst(data,ave)
n=length(data);
y=1;
for j=1:ave
    w=1;
    t=zeros(1,1);T=zeros(1,1);RS=zeros(1,1);
    g=(n/y);
    nbaru=(n/y);
    interval(j)=nbaru;
    %PEMBAGIAN DATA
    for i=1:y
        dat=data(w:g);
        Mn=sum(dat)/length(dat);
        t(1)=dat(1)-Mn;
        T(1)=(t(1))^2;
        jml=T(1);
        for z=2:nbaru
            w=w+1;
            t(z)=(t(z-1)+dat(z))-Mn;
            T(z)=(t(z))^2;
            jml=jml+T(z);
        end
        w=w+1;
        g=g+nbaru;
        %STANDART DEVIASI
        R=max(t)-min(t);
        S=sqrt(jml/(nbaru-1));
        RS(i)=R/S;
    end
    %EKSPONENT HUNST
    Ave(j)=sum(RS)/y;
    lon(j)=log10(interval(j));
    lors(j)=log10(Ave(j));
    y=2^(j);
end
xy=lon.*lors;
xkuad=lon.*lon;
y=lors;
x=lon;
a=(sum(y)*sum(xkuad)-(sum(x)*sum(xy)))/(ave*sum(xkuad)-
(sum(x))^2);
b=(ave*sum(xy)-(sum(x)*sum(y)))/(ave*sum(xkuad)-(sum(x))^2);
D=2-b;
```

Lampiran B. Skrip *box counting*

```
L=str2double(get(handles.edit2,'string'));
    L=2^L;
    [m n]=size(b);
    T=L;
    lbr=floor(n/L);
    tinggi=floor(m/T);
    t=1;r=0;yy=0;in=0;
    for j=1:T
        op=1;
        for i=1:L
            yy=yy+1;
            mat=b(t:tinggi*j,op:lbr*i);
            op=op+lbr;
            cek=cek1(mat);
            if cek==1
                in=in+1;
                r=r+1;
                Dx(in)=yy;
                Dy(in)=-(log10(r)/log10(1/L));
            end
        end
        t=t+tinggi;
    end
    D=-(log10(r)/log10(1/L));
    plot(Dx,Dy,'s-','linewidth',1);
    set(handles.axes1,'Color',[1 1 1],'XColor',[0 0
0],'YColor',[0 0 0]);
    set(handles.axes1,...
            'xgrid','on','ygrid','on');
    xlabel('r box
size','fontname','cambria','fontsize',11,'fontweight','bold')
    ylabel('log (N)/log
(1/r)','fontname','cambria','fontsize',11,'fontweight','bold')
    title('Box Counting','fontname','cambria','fontsize',11)
    set(handles.text2,'string',['Dimensi Fraktal : '
num2str(D)])
    set(handles.uitable1,'data',[Dx' Dy'],'columnname',[{'Nomor
Kotak Yang Terisi'},{'Nilai Dimensi Fraktal'}],...
        'rowname','numbered','columnwidth',{140,120});
end
```

Lampiran C. Nilai dimensi fraktal Puyung dengan metode *box counting*

Puyung	
pembagi kotak(2^n)	Dimensi Fraktal
1	2
2	1,8502
3	1,8306
4	1,7472
5	1,6524
6	1,5762
7	1,5215
8	1,4906
9	1,4711

Lampiran D. Nilai dimensi fraktal Sekotong dengan metode *box counting*

Sekotong	
pembagi kotak(2^n)	Dimensi Fraktal
1	2
2	2
3	1,8716
4	1,7719
5	1,6689
6	1,5969
7	1,5232
8	1,4922
9	1,4707

Lampiran E. Nilai dimensi fraktal Sembalun dengan metode *box counting*

Sembalun	
pembagi kotak(2^n)	Dimensi Fraktal
1	2
2	1,9037
3	1,8088
4	1,7297
5	1,6175
6	1,5621
7	1,5075
8	1,4808
9	1,4606

Lampiran F. Nilai dimensi fraktal Tanjung dengan metode *box counting*

Tanjung	
pembagi kotak(2^n)	Dimensi Fraktal
1	2
2	1,9534
3	1,8908
4	1,7443
5	1,6598
6	1,5869
7	1,5232
8	1,4922
9	1,4707

Lampiran G. Nilai dimensi fraktal Tanggul dengan metode *box counting*

Tanggul	
pembagi kotak(2^n)	Dimensi Fraktal
1	2
2	1,9534
3	1,8908
4	1,8607
5	1,7955
6	1,7201
7	1,6639
8	1,6227
9	1,5898