

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Kekeringan

Indonesia sebagai salah satu negara yang beriklim tropis membuat masyarakat memiliki definisi yang luas tentang kekeringan. Kekeringan yang hampir terjadi setiap tahun sekali dipandang oleh masyarakat sebagai bencana alam yang berdampak luas dan bersifat lintas sektor (ekonomi, sosial, kesehatan, pendidikan, dan lain-lain). Secara umum kekeringan didefinisikan sebagai keadaan dimana suplai air berada di bawah kebutuhan air bagi makhluk hidup dan lingkungan dalam periode tertentu. Secara ilmiah kekeringan adalah keadaan di suatu daerah yang kekurangan pasokan air dalam masa yang berkepanjangan (beberapa bulan hingga bertahun-tahun) yang ditandai rendahnya curah hujan di suatu wilayah serta berkurangnya air dalam tanah. Menurut Moreland (1993), kekeringan adalah suatu kondisi dengan tinggi hujan ekstrim sangat kecil atau tidak ada curah hujan untuk kurun waktu yang relatif lama yaitu melebihi waktu musim kemarau. Undang Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana mendefinisikan kekeringan adalah ketersediaan air yang jauh di bawah kebutuhan air untuk kebutuhan hidup, pertanian, kegiatan ekonomi dan lingkungan.

Selain definisi umum tersebut, kekeringan dapat didefinisikan menurut berbagai disiplin ilmu dan kepentingan. Kekeringan memiliki 4 macam definisi kekeringan yaitu secara meteorologis, hidrologis, pertanian dan sosial ekonomi. Adapun definisi kekeringan tersebut adalah sebagai berikut:

##### 1. Kekeringan Meteorologis

Kekeringan meteorologis berasal dari kurangnya curah hujan dan didasarkan pada tingkat kekeringan relatif terhadap tingkat kekeringan normal atau rata-rata dan lamanya periode kering. Perbandingan ini haruslah bersifat khusus untuk daerah tertentu dan bisa diukur pada musim harian dan bulanan, atau jumlah curah hujan skala waktu tahunan. Kekurangan curah hujan sendiri, tidak selalu menciptakan bahaya kekeringan.

##### 2. Kekeringan Hidrologis

Kekeringan hidrologis mencakup berkurangnya sumber-sumber air seperti sungai, air tanah, danau dan tempat-tempat cadangan air. Definisinya mencakup data tentang ketersediaan dan tingkat penggunaan yang dikaitkan dengan kegiatan wajar dari sistem yang dipasok (sistem domestik, industri, pertanian yang menggunakan irigasi). Salah satu dampaknya adalah kompetisi antara pemakai air dalam sistem-sistem penyimpanan air ini.

### 3. Kekeringan Pertanian

Kekeringan pertanian adalah dampak dari kekeringan meteorologi dan hidrologi terhadap produksi tanaman pangan dan ternak. Kekeringan ini terjadi ketika kelembapan tanah tidak mencukupi untuk mempertahankan hasil dan pertumbuhan rata-rata tanaman. Kebutuhan air bagi tanaman, bagaimanapun juga tergantung pada jenis tanaman, tingkat pertumbuhan dan sarana-sarana tanah.

Dampak dari kekeringan pertanian sulit untuk bisa diukur karena rumitnya pertumbuhan tanaman dan kemungkinan adanya faktor-faktor lain yang bisa mengurangi hasil seperti hama, alang-alang, tingkat kesuburan tanah yang rendah dan harga hasil tanaman yang rendah. Kekeringan kelaparan bisa dianggap sebagai satu bentuk kekeringan yang ekstrim, dimana kekurangan banjir sudah begitu parahnya sehingga sejumlah besar manusia menjadi tidak sehat atau mati. Bencana kelaparan biasanya mempunyai penyebab-penyebab yang kompleks sering kali mencakup perang dan konflik. Meskipun kelangkaan pangan merupakan faktor utama dalam bencana kelaparan, kematian dapat muncul sebagai akibat dari pengaruh-pengaruh yang rumit lainnya seperti penyakit atau kurangnya akses dan jasa-jasa lainnya.

Setiap kelompok kekeringan yang telah dijelaskan di atas memiliki intensitas kekeringan dengan kriteria masing-masing sebagai berikut (Khairullah, 2009):

1. Intensitas kekeringan berdasarkan definisi meteorologis adalah sebagai berikut:
  - a. Kering, apabila curah hujan antara 70% - 85% dari kondisi normal (curah hujan di bawah normal)
  - b. Sangat kering, apabila curah hujan antara 50% - 70% dari kondisi normal (curah hujan jauh di bawah normal)
  - c. Amat sangat kering, apabila curah hujan  $< 50\%$  dari kondisi normal (curah hujan amat jauh di bawah normal)
2. Intensitas kekeringan berdasarkan definisi hidrologis adalah sebagai berikut:
  - a. Kering, apabila debit air sungai mencapai periode ulang aliran dibawah periode 5 tahunan.
  - b. Sangat kering, apabila debit air sungai mencapai periode ulang aliran jauh dibawah periode 25 tahunan.
  - c. Amat sangat kering, apabila debit air sungai mencapai periode ulang aliran amat jauh dibawah periode 50 tahunan.

3. Intensitas kekeringan berdasarkan definisi pertanian adalah sebagai berikut:

- a. Kering, apabila  $\frac{1}{4}$  daun kering dimulai pada bagian ujung daun (terkena ringan s/d sedang)
- b. Sangat kering, apabila  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{2}{3}$  daun kering dimulai pada bagian ujung daun (terkena berat)
- c. Amat sangat kering, apabila seluruh daun kering (terkena puso)

## 2.2 Analisa Hidrologi

Data dapat dikatakan *valid* jika memenuhi beberapa kriteria (Soemarto, 1987), yaitu bahwa data itu berada dalam *range*, tidak mempunyai *trend*, homogen dan bersifat acak.

### 2.2.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh dipermukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, *runoff*, dan infiltrasi. Curah hujan kumulatif merupakan jumlah hujan yang terkumpul dalam rentang waktu kumulatif tersebut. Dalam periode musim, rentang waktunya adalah rata-rata panjang musim pada masing-masing Daerah Prakiraan Musim (DPM). Sifat hujan merupakan perbandingan antar jumlah curah hujan selama rentang waktu yang ditetapkan (satu periode musim hujan atau satu periode musim kemarau) dengan jumlah curah hujan normalnya. Sifat hujan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

- a. Di atas normal (AN) : jika nilai curah hujan lebih dari 115% terhadap rata-ratanya.
- b. Normal (N) : Jika nilai curah hujan antara 85%-115% terhadap rata-rata.
- c. Di bawah normal (BN) : jika nilai curah hujan kurang dari 85% terhadap rata-ratanya.

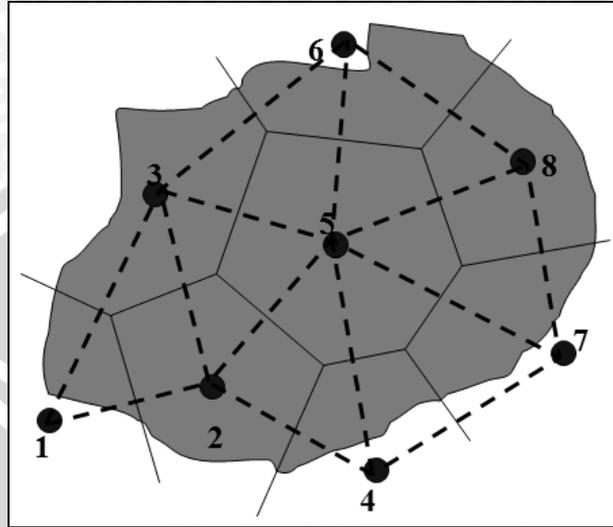
### 2.2.2 Curah Hujan Maksimum Daerah Metode *Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari setiap stasiun (Triatmodjo, 2010 : 33).

Berdasarkan metode *thiessen*, penggambaran dilakukan dengan cara meletakkan titik-titik stasiun pada peta. Kemudian menghubungkan titik setiap stasiun sehingga membentuk jaringan segitiga-segitiga. Pada tiap segitiga dibentuk garis-garis bagi tegak lurus sehingga membentuk polygon-poligon di sekitar stasiun. Sisi-sisi tiap polygon

merupakan batas luas efektif yang diasumsikan untuk stasiun tersebut. Contoh penggambaran metode *thiessen* dapat dilihat pada Gambar 1.2.

Metode *thiessen* banyak digunakan untuk menghitung hujan rerata kawasan pada suatu jaringan stasiun hujan tertentu. Apabila terdapat perubahan jaringan stasiun hujan, seperti pemindahan atau penambahan stasiun, maka harus dibuat lagi polygon yang baru.



Gambar 2.1 Contoh Penggambaran Metode *Thiessen*

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-1)$$

dengan:

$\bar{p}$  = hujan rerata kawasan

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = hujan pada stasiun 1, 2, 3 ..., n

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3 ..., n

### 2.2.3 Pengisian Data Hilang

Untuk keperluan analisa hujan daerah diperlukan data yang lengkap dari masing-masing stasiun. Seringkali pada suatu daerah (DAS) ada pencatatan data hujan yang tidak lengkap atau hilang datanya. Data yang hilang di suatu stasiun dapat dilengkapi jika (Montarcih, 2010):

1. Di sekitarnya ada stasiun penakar hujan (minimal 2) yang lengkap datanya,
2. Stasiun penakar hujan yang datanya hilang diketahui hujan rata-rata tahunnya.

Untuk melakukan pengisian data yang hilang dapat digunakan Metode Perbandingan Normal (*Normal Ratio Method*). Metode ini diperlukan stasiun pembanding, dimana diusahakan stasiun pembanding memiliki elevasi yang tidak jauh berbeda dari stasiun yang akan dikaji. Selain itu, diusahakan yang digunakan sebagai stasiun

pembandingan memiliki jarak yang tidak terlalu jauh dan memiliki data yang cukup lengkap. Rumus Metode Perbandingan Normal (*Normal Ratio Method*) sebagai berikut (Montarcih, 2010):

$$dx = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n di \frac{Anx}{Ani} \quad (2-2)$$

dengan:

$n$  = banyak pos penakar hujan di sekitar  $X$ .

$Anx$  = tinggi hujan rata-rata tahunan di  $X$  (mm).

$Ani$  = tinggi hujan rata-rata tahunan di pos-pos penakar hujan yang dipakai untuk mencari data  $X$  yang hilang (mm).

$X$  = stasiun yang memiliki data tidak lengkap atau hilang.

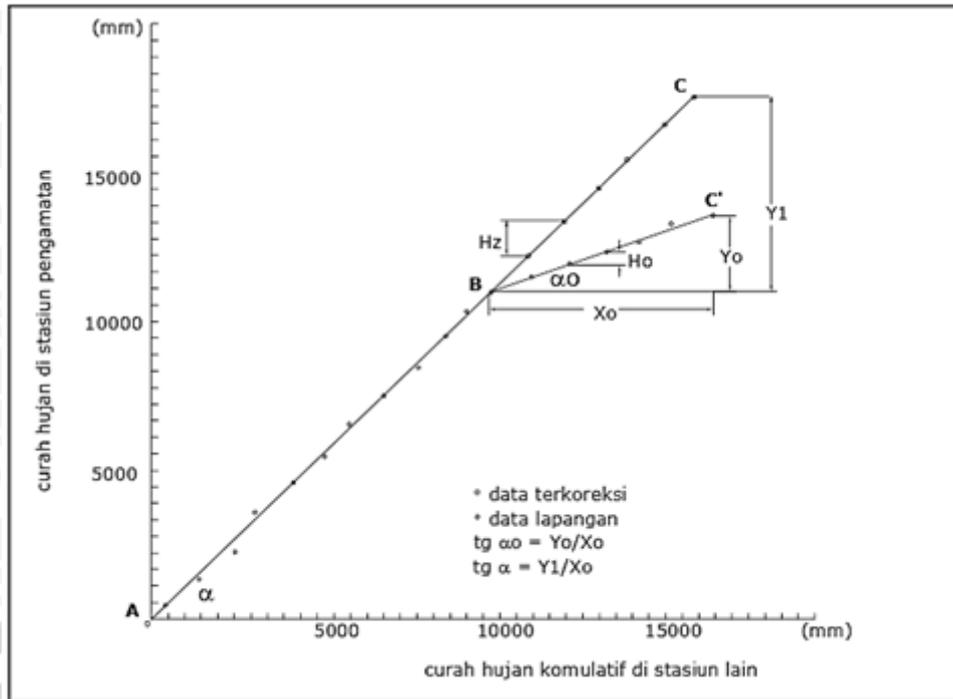
#### 2.2.4 Uji Konsistensi

Uji konsistensi digunakan untuk menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus benar-benar menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan (harus konsisten) (Soewarno, 1995: 23).

Uji konsistensi yang digunakan adalah uji lengkung massa ganda untuk mengetahui dimana letak ketidakkonsistenan suatu data yang ditunjukkan dari penyimpangan garisnya dari garis lurus. Jika terjadi penyimpangan, maka data yang diuji harus dikoreksi dengan perbedaan kemiringan garisnya.

Ketidakkonsistenan suatu data biasanya disebabkan oleh perubahan atau gangguan lingkungan di sekitar tempat penakar hujan dipasang, misalnya penakar hujan terlindung pohon, terletak di dekat gedung tinggi, perubahan cara pemakaran dan pencatatan, pemindahan letak penakar dan sebagainya. Hal tersebut dapat dikoreksi dengan menggunakan lengkung massa ganda. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengakumulasi curah hujan tahunan pada stasiun hujan yang diuji.
2. Mengakumulasi curah hujan tahunan rerata pada stasiun hujan sekitar.
3. Membandingkan harga komulatif curah hujan pada stasiun hujan yang diuji dengan komulatif curah hujan rerata pada stasiun hujan sekitar melalui penggambaran kurva massa ganda.



Gambar 2.2 Lengkung Massa Ganda

Sumber: Soemarto (1987:39)

Dari gambar diatas akan diperoleh garis ABC bila tidak ada perubahan terhadap lingkungan. Tetapi bila pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan maka didapat garis patah ABC'. Apabila terjadi penyimpangan (ABC') maka dikoreksi dengan rumus (Nemec, 1973:179).

$$Tg \alpha = \frac{Y}{X} = \frac{H_z}{X_0} \quad (2-3)$$

$$Tg \alpha_0 = \frac{Y_0}{X_0} = \frac{H_0}{X_0} \quad (2-4)$$

$$H_z = \frac{Tg \alpha}{Tg \alpha_0} \times H_0 \quad (2-5)$$

dengan:

$H_z$  = data curah hujan yang telah di koreksi.

$H_0$  = data curah hujan tahunan hasil pengamatan.

$Tg \alpha$  = kemiringan setelah dikoreksi.

$Tg \alpha_0$  = kemiringan awal.

$A$  = sudut yang dibentuk oleh garis data hujan yang membelok dengan garis sejajar absis. Absis merupakan jumlah rata stasiun yang ada.

### 2.2.5 Uji Statistika Data

Sebelum dilakukan perhitungan dan analisis perlu memastikan keandalan data terlebih dulu. Untuk itu dilakukan pengujian-pengujian secara statistik. Pengujian dilakukan untuk memastikan ketepatannya agar hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk proses lebih lanjut. Untuk studi kali ini pengujian statistik dilakukan dengan 3 tahap, yaitu:

1. Uji Ketiadaan *Trend*.
2. Uji Stasioner.
3. Uji Persistensi.

#### 1. Uji Ketiadaan *Trend*

Deret berkala yang nilainya menunjukkan gerakan yang berjangka panjang dan mempunyai kecenderungan menuju kesatu arah, arah menaik atau menurun disebut dengan pola atau *trend*. Umumnya meliputi gerakan yang lamanya lebih dari 10 tahun. Gerakan jangka panjang dari deret berkala umumnya disebut dengan *trend* sekuler (*secular trend*). *Trend* musim sering disebut dengan variasi musim (*seasonal trend* atau *seasonal variation*) dan hanya menunjukkan gerakan dalam jangka waktu satu tahun saja (Soewarno, 1995: 85).

Apabila dalam deret berkala menunjukkan adanya *trend* maka datanya tidak disarankan untuk digunakan untuk beberapa analisis hidrologi. Apabila deret berkala itu menunjukkan adanya *trend*, maka analisis hidrologi harus mengikuti garis *trend* yang dihasilkan. Ketidakadaan *trend* dapat diuji dengan menggambarkan deret berkala dalam kertas grafik arithmatik dan menggunakan beberapa metode statistik, salah satunya adalah dengan korelasi peringkat metode Spearman.

#### a. Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman

*Trend* dapat dipandang sebagai korelasi antara waktu dengan variat dari suatu variabel hidrologi. Oleh karena itu koefisien korelasinya dapat digunakan untuk menentukan ketidakadaan *trend* dari suatu deret berkala. Salah satu cara adalah dengan menggunakan koefisien korelasi peringkat metode Spearman, yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 87):

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2-6)$$

$$t = KP \left[ \frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{1/2} \quad (2-7)$$

dengan:

$KP$  = koefisien korelasi peringkat dari Spearman.

$n$  = jumlah data.

$dt$  =  $Rt - Tt$ .

$Tt$  = peringkat dari waktu.

$Rt$  = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala.

$t$  = nilai distribusi  $t$ , pada derajat kebebasan  $(n-2)$  untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%).

Uji ini digunakan untuk menentukan apakah variabel waktu dan variabel hidrologi itu saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*). Dalam hal ini yang di uji adalah  $Tt$  dan  $Rt$ .

## 2. Uji Stasioner Data

Menurut Soewarno (1995: 95) uji stasioner dilakukan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan Uji F. Apabila hasil pengujian menunjukkan hipotesis nol ditolak, berarti nilai varian data tersebut tidak homogen. Deret berkala yang tidak homogen berarti deret berkala tersebut tidak stasioner dan tidak perlu dilakukan pengujian lanjutan. Namun apabila nilai varian tersebut stasioner, maka pengujian selanjutnya adalah menguji kestabilan nilai rata-ratanya dengan Uji T. Dengan memperhatikan hasil Uji F dan Uji T maka suatu data dapat digolongkan dalam keadaan stasioner.

### a. Uji F (*Fisher Test*)

Prinsip Uji hipotesis ini adalah membandingkan variansi gabungan antara kelompok sampel dengan varian kombinasi seluruh kelompok.

$$F \text{ hitung} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, (S_1^2 > S_2^2) \quad (2-8)$$

$$F \text{ hitung} = \frac{S_2^2}{S_1^2}, (S_2^2 < S_1^2) \quad (2-9)$$

dengan:

$$S_1^2 = \text{variansi sampel 1} = \frac{n_1 sd_1^2}{n_1 - 1} \quad (2-10)$$

$$S_2^2 = \text{variansi sampel 2} = \frac{n_2 sd_2^2}{n_2 - 1} \quad (2-11)$$

$$\text{Harga } F \text{ kritis} = (n_1 - 1, n_2 - 1) \quad (2-12)$$

dengan:

$n_1$  = jumlah sampel 1.

$n_2$  = jumlah sampel 2.

$H_0$  diterima jika harga  $F$  hitung  $< F$  kritis

$H_0$  ditolak jika harga  $F$  hitung  $> F$  kritis

Tabel 2.1 Nilai kritis ( $f_c$ ) untuk distribusi- $F$

$Dk_2 = v_2$	$Dk_1 = v_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,8	236,8	238,9	240,5
2	18,51	19	19,16	19,25	19,3	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,1
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,5	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,11	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,2	3,09	3,01	2,95	2,9
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3	2,91	2,85	2,8
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,6	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,7	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,9	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,2	2,96	2,81	2,7	2,61	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	4,38	3,52	3,13	2,9	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,1	2,87	2,71	2,6	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,3	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,4	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,8	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,4	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,3
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,6	2,49	2,4	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,2	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24

Dk <sub>2</sub> = v <sub>2</sub>	Dk <sub>1</sub> = v <sub>1</sub>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	4,18	3,33	2,93	2,7	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,95	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,1	2,04
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96

Sumber: Soewarno, (1995:81)

#### b. Uji T

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang dipakai untuk analisis berasal dari populasi yang sama atau tidak. Metode yang digunakan untuk menguji homogenitas adalah Uji T (Montarcih, 2013).

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2-13)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_1 \cdot S_1^2 + n_2 \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2-14)$$

dengan:

$t$  = variable  $t$  terhitung.

$\mu_1$  = rerata dari sampel 1.

$\mu_2$  = rerata dari sampel 2.

$S_1$  = simpangan baku dari sampel 1.

$S_2$  = simpangan baku dari sampel 2.

$n_1$  = ukuran dari sampel 1.

$n_2$  = ukuran dari sampel 2.

Nilai  $t$  terhitung dibandingkan dengan nilai  $t$  kritis ( $t_c$ ). Nilai  $t_c$  dapat dilihat di Tabel *Distribusi Student's t* dengan berdasarkan derajat bebas ( $n$ ) =  $n_1 + n_2 - 2$  dan  $\alpha$  (*Level of Significance*). Apabila  $t$  terhitung  $> t_c$ , maka kedua sampel yang diuji tidak berasal dari populasi yang sama, apabila  $t$  terhitung  $< t_c$ , maka kedua sampel berasal dari populasi yang sama (Montarcih, 2013: 28).

Tabel 2.2 Nilai  $t$  kritis ( $t_c$ ) untuk *distribusi-T*

dk	Derajat Kepercayaan $\alpha$				
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921
17	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898
18	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
inf.	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576

Sumber: Soewarno (1995:77)

### 3. Uji Persistensi

Persistensi (*Persistence*) adalah ketidak tergantungan dari setiap nilai dalam deret berkala. Untuk melaksanakan pengujian persistensi harus dihitung besarnya koefisien korelasi serial. Salah satu metode untuk menentukan koefisien korelasi serial adalah dengan metode Spearman. Koefisien korelasi serial metode Spearman dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 98):

$$KS = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m (di)^2}{m^3 - m} \quad (2-15)$$

$$t = KS \left[ \frac{m-2}{1-KS^2} \right]^{1/2} \quad (2-16)$$

dengan:

$KS$  = koefisien korelasi serial.

$m$  =  $n - 1$ .

$n$  = jumlah data.

$di$  = perbedaan nilai antara peringkat data ke  $X_i$  dan ke  $X_i + 1$ .

$t$  = nilai dari *distribusi-t* pada derajat kebebasan  $m-2$  dan derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5% ditolak, atau 95% diterima).

### 2.3 Metode Analisa Indeks Kekeringan

Menurut Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana (2007), kekeringan meteorologis merupakan proses awal dalam terjadinya kekeringan, sehingga perlu dilakukan analisa untuk mengetahui tingkat kekeringan atau indeks kekeringan yang terjadi. Indeks kekeringan merupakan suatu perangkat utama untuk mendeteksi, memantau, dan mengevaluasi kejadian kekeringan. Hasil analisa tersebut dapat digunakan sebagai peringatan dini akan terjadinya kekeringan yang lebih jauh. Adapun macam – macam analisa indeks kekeringan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. *Precent of Normal*
- b. Desil
- c. *Standardized Precipitation Index (SPI)*
- d. *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*
- e. *Theory of Run*

Dalam studi di Sub DAS Ngasinan Hilir akan dilakukan analisa kekeringan menggunakan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Hasil dari perhitungan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI) akan diklasifikasikan dan disajikan dalam bentuk peta sebaran kekeringan dengan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG).

#### 2.4 Metode *Standardized Precipitation Index* (SPI)

Pada tahun 1993 di Colorado, McKee *et al* mengembangkan perhitungan indeks kekeringan dengan menggunakan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Metode ini merupakan model untuk mengukur kekurangan curah hujan pada berbagai periode berdasarkan kondisi normalnya. Analisis kekeringan meteorologis dengan menggunakan metode SPI ini dapat dilakukan dengan periode waktu bulanan, tiga bulanan dan seterusnya sesuai dengan tujuan dilakukannya analisis. Nilai SPI dihitung menggunakan metode statistik probalistik distribusi gamma. Berdasarkan nilai SPI ditentukan tingkat kekeringan dan kebasahan dengan katagori sebagai berikut:

Tabel 2.3 Klasifikasi SPI

Klasifikasi	Nilai SPI
Amat sangat basah	$> 2,00$
Sangat basah	1,50 - 1,99
Cukup Basah	1,00 - 1,49
Mendekati Normal	( - 0,99 ) - 0,99
Cukup Kering	( -1,00 ) - ( -1,49 )
Sangat kering	( -1,50 ) - ( -1,99 )
Amat sangat kering	$< ( -2,00 )$

Sumber: Mc Kee (1993)

Asumsi yang digunakan dalam metode SPI menggunakan kekeringan meteorologis dan data yang dapat digunakan adalah curah hujan bulanan. Kekeringan meteorologis adalah berkurangnya curah hujan dari keadaan normalnya dalam jangka waktu yang panjang (bulanan, dua bulanan, tiga bulanan, dst). Keuntungan SPI sebagai berikut:

1. Hanya memerlukan data curah hujan bulanan.
2. Dapat dibandingkan dengan daerah yang berbeda keadaan iklimnya.
3. Dapat memberikan peringatan dini kekeringan.
4. Dapat membantu menilai tingkat keparahan kekeringan.

5. SPI lebih sederhana daripada metode yang lain.

Jangka waktu dalam perhitungan SPI:

1. SPI 3 bulanan, memberikan perbandingan curah hujan selama periode 3 bulanan tertentu dengan total curah hujan dari periode 3 bulan yang sama untuk semua tahun yang telah ada data historinya atau *database*. Contoh: Menentukan SPI 3 bulanan yang dihitung akhir bulan Pebruari adalah hasil perbandingan total curah hujan Desember–Januari–Pebruari untuk semua tahun. SPI 3 bulanan dapat mencerminkan kondisi kelembapan jangka pendek dan menengah serta mencerminkan estimasi curah hujan pada suatu musim.
2. SPI 6 bulanan, memberikan perbandingan curah hujan selama periode 6 bulan tertentu dengan total curah hujan dari periode 6 bulan yang sama untuk semua tahun yang telah ada data historinya atau *database*. SPI 6 bulanan mengindikasikan *trend* curah hujan jangka menengah. SPI 6 bulanan dapat sangat efektif menunjukkan curah hujan pada musim yang berbeda. Informasi dari SPI 6 bulanan mungkin juga dapat dikaitkan dengan anomali *streamflows* dan tingkat ketersediaan air di waduk.
3. SPI 9 bulanan, memberikan indikasi pola curah hujan selama skala waktu menengah. Kekeringan biasanya terjadi dalam satu musim atau lebih untuk berkembang lebih jauh. Nilai SPI di bawah -1.5 indikasi untuk mengetahui bahwa dampak kekeringan yang cukup signifikan sedang terjadi di sektor pertanian dan sektor lainnya. Di beberapa negara pola yang ditampilkan peta Indeks Palmer berkaitan erat dengan peta SPI 9 bulanan. Tapi di daerah lain berkaitan erat dengan SPI 12 bulanan. Indeks Palmer di *update* tiap minggu, sedangkan SPI diperbaharui akhir bulan.
4. SPI 12 bulanan, adalah perbandingan curah hujan selama 12 bulan berturut-turut dengan 12 bulan berturut-turut yang sama dari tahun-tahun sebelumnya. SPI pada skala waktu ini mencerminkan pola curah hujan jangka panjang. Skala waktu tersebut adalah kumulatif dari periode-periode sebelumnya yang mungkin dalam kondisi di atas atau di bawah normal. SPI skala ini dapat dikaitkan dengan *streamflows*, kondisi waduk, bahkan kandungan air tanah. Di beberapa negara SPI 12 bulanan paling erat kaitannya dengan Indeks Palmer dan dimungkinkan juga kedua indeks tersebut mencerminkan kondisi yang sama.

Di dalam perhitungan SPI suatu lokasi, dibutuhkan data curah hujan bulanan dengan periode waktu 20 tahun atau lebih (Hayes dkk, 1999). Metode ini merupakan model untuk

mengukur kekurangan atau *deficit* curah hujan pada berbagai periode berdasarkan kondisi normalnya. Perhitungan nilai SPI berdasarkan jumlah sebaran gamma yang didefinisikan sebagai fungsi frekuensi atau peluang kejadian sebagai berikut:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha T(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt \quad (2-17)$$

Nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  diestimasi untuk setiap stasiun hujan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2-18)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2-19)$$

Atau:

$$\alpha = \frac{-2}{S^2} \quad (2-20)$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (2-21)$$

untuk  $x > 0$

untuk  $x = 0$  maka nilai  $G(x)$  menjadi:

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x) \quad (2-22)$$

dengan  $q$  = jumlah kejadian hujan = 0 ( $m$ ) / jumlah data ( $n$ )

Nilai SPI merupakan transformasi dari distribusi gamma ( $G(x)$ ) menjadi standart normal dengan rata-rata 0 (nol) dan perbedaan 1, atau menggunakan rumusan dibawah ini:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (2-23)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (2-24)$$

dengan:

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad \text{untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (2-25)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1,0 - H(x))^2} \right)} \quad \text{untuk } 0 < H(x) \leq 1,0 \quad (2-26)$$

dengan:

$$c_0 = 2,515517$$

$$d_1 = 1,432788$$

$$c_1 = 0,802853$$

$$d_2 = 0,189269$$

$$c_2 = 0,010328$$

$$d_3 = 0,001308$$

## 2.5 ENSO (*El Nino Southern Oscillation*)

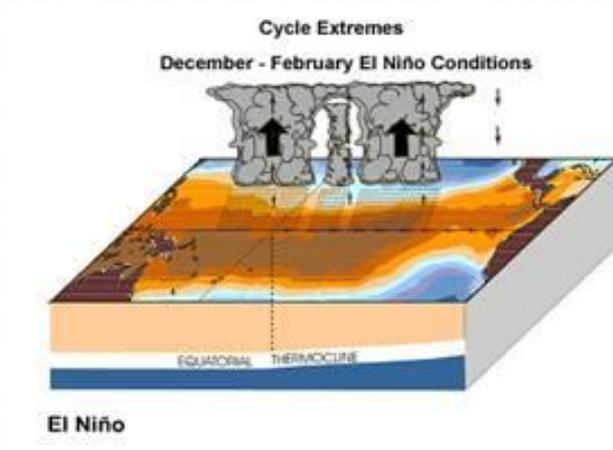
*ENSO (El Nino Southern Oscillation)* adalah gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan Samudera Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya. Gilbert Walker yang mengemukakan tentang El Nino yang dikenal dengan Sirkulasi Walker yaitu sirkulasi angin Timur-Barat di atas Perairan Pasifik Tropis. Sirkulasi ini timbul karena perbedaan temperatur di atas perairan yang luas pada daerah tersebut.

- a) Perairan sepanjang pantai China dan Jepang, atau Carolina Utara dan Virginia, lebih hangat dibandingkan dengan perairan sepanjang pantai Portugal dan California. Sedangkan perairan di sekitar wilayah Indonesia lebih hangat daripada perairan di sekitar Peru, Chile dan Ekuador.
- b) Perbedaan temperatur lautan di arah Timur-Barat ini menyebabkan perbedaan tekanan udara permukaan di antara tempat-tempat tersebut.
- c) Udara bergerak naik di wilayah lautan yang lebih hangat dan bergerak turun di wilayah lautan yang lebih dingin dan itu menyebabkan aliran udara di lapisan permukaan bergerak dari Timur ke Barat. Inilah yang kemudian disebut dengan angin Pasat Timuran.

Fenomena *ENSO* sering dilihat dari kondisi parameter cuaca yaitu adanya perubahan kondisi cuaca di daerah tropis terkait dengan curah hujan tropis, tekanan (Osilasi Selatan) dan angin. Ketiga unsur cuaca ini dapat digunakan untuk parameter kondisi *ENSO*.

### 2.5.1 Proses terjadinya *ENSO (El Nino Southern Oscillation)*

Interaksi laut dan atmosfer membentuk proses kopel di permukaan laut, yang ditandai dengan terjadinya perpindahan energi dan masa. Perpindahan energi dan masa dalam proses neraca energi terjadi dalam bentuk energi radiasi yang menghasilkan energi panas dan momentum berupa friksi di permukaan. Perpindahan energi dalam proses neraca masa terjadi dalam bentuk penguapan dan hujan, perpindahan mineral dan gas.



Gambar 2.3 Proses terjadinya ENSO (*El Niño Southern Oscillation*)

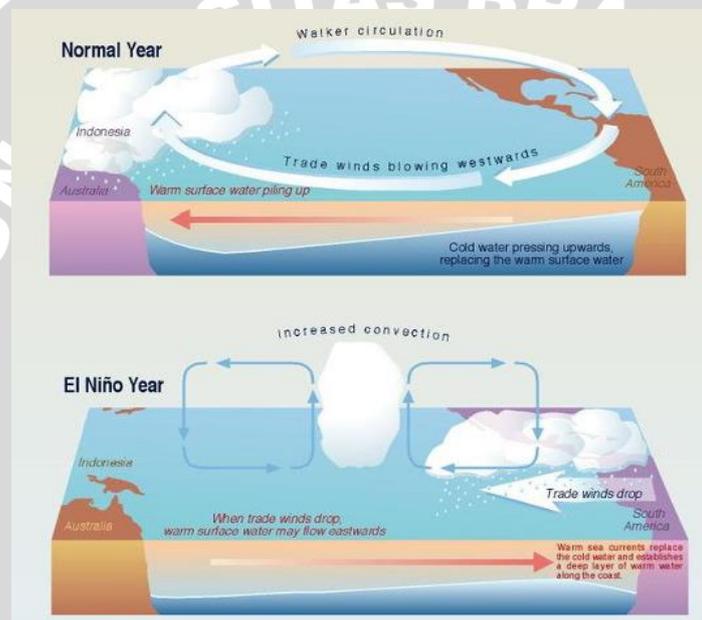
Sumber: WPCL, 2011

Gas-gas yang ada di permukaan mengabsorpsi energi radiasi pada panjang gelombang tertentu, akibatnya terjadi peningkatan temperatur atmosfer dan temperatur air laut. Dalam hal interaksi laut atmosfer, hubungan antara lautan dan atmosfer terjadi dimana laut bertindak sebagai pensuplai uap air terbesar bagi atmosfer. Penguapan terjadi akibat tidak jenuhnya atmosfer oleh uap air serta akibat hangatnya temperatur muka laut. Sebaliknya atmosfer mensuplai energi dan masa dalam bentuk curah hujan dan endapan yang juga melibatkan transfer energi. Ketika permukaan laut mendingin, maka mekanisme di laut akan meresponnya dengan menghasilkan gerak konveksi vertikal yang akan mensuplai panas ke permukaan. Air hangat akan menyembul ke permukaan sedangkan air dingin mengendap ke kedalaman. Proses perubahan temperatur di lautan terjadi jauh lebih lambat daripada di atmosfer, akibatnya lautan cenderung bertahan hangat meskipun titik nadir matahari telah menjauhi garis khatulistiwa. Sewaktu angin bertiup di muka laut, energi di transformasikan dari angin ke permukaan laut. Sebagian dari energi tersebut menjadi gelombang gravitasi permukaan yang mengikuti pergerakan arus permukaan akibat pergerakan angin. Hal yang terakhir ini yang menyebabkan terjadinya arus laut.

Proses transfer energi yang terjadi di permukaan laut pada dasarnya cukup kompleks, karena terkait dengan besaran energi yang terpakai untuk proses terjadinya turbulensi dan besaran energi yang dikonversi menjadi arus. Namun secara umum berlaku bahwa semakin kuat angin bertiup, semakin besar friksi permukaan yang mendorong arus di bawahnya. Pekerjaan angin yang mendorong arus laut ini disebut dengan *wind stress*. Peristiwa dorongan angin terhadap arus laut lebih banyak terjadi pada skala kecil melalui proses turbulensi. Peningkatan kecepatan arus laut dan sebaliknya lebih banyak disebabkan oleh proses turbulensi permukaan. Turbulensi akan mendistribusikan dan menghilangkan energi

gerak dan merubahnya menjadi energi panas melalui viskositas molekular. Hal terakhir inilah yang memberikan kontribusi terhadap suhu muka laut. Selebihnya arus laut diatur oleh kondisi salinitas densitas, suhu dan topografi dasar laut.

Suhu muka laut merupakan salah satu parameter yang merepresentasikan iklim Indonesia. Panasnya suhu muka laut meningkatkan potensi evaporasi, yang berkorelasi dengan curah hujan, dan sebaliknya dinginnya suhu muka laut mengurangi potensi turunnya hujan. Indonesia menerima dampak arus yang mengalir dari lautan Pasifik, dampak El Nino menyebabkan dinginnya lautan Indonesia. Apabila proses dinginnya Pasifik dapat dideteksi lebih awal sebelum mempengaruhi lautan Indonesia, bisa digunakan sebagai prediktor dan sebuah model prediksi.



Gambar 2.4 Fenomena ENSO (*El Niño Southern Oscillation*)

Sumber: Climate Prediction Center-NCEP; NOAA

Posisi geografis Indonesia sangat mempengaruhi kejadian iklim ekstrim, dalam hal ini adalah banjir dan kekeringan. Fenomena yang sangat mempengaruhi iklim di Indonesia adalah ENSO, karena Indonesia terletak di antara dua samudera, yaitu Pasifik dan Hindia. Pada saat fenomena ENSO berlangsung, curah hujan di wilayah Indonesia umumnya akan mengalami penyimpangan (anomali) besar dibanding kondisi normal. Hal ini disebabkan karena pada waktu tekanan di kawasan pasifik (di Tahiti) menurun jauh di bawah tekanan di Darwin, pergerakan udara dari arah timur (Tahiti) ke Darwin (barat) atau angin Pasat Timur akan melemah, sebaliknya dari arah barat ke timur (angin Pasat Barat) menguat sehingga pertemuan ke dua massa udara dari barat dan timur bergeser ke arah pasifik. Pada saat tersebut terjadi arus balik yaitu massa air panas yang ada di lautan pasifik bagian

barat bergerak ke arah timur (Pasifik) sehingga suhu muka laut di kawasan timur semakin panas dan meluas. Kondisi ini selanjutnya akan terus menurunkan tekanan udara, pembentukan awan menjadi lebih aktif pada kawasan timur pasifik sedangkan di kawasan barat pasifik dekat Indonesia menurun.

El Nino merupakan fenomena global yang sangat mempengaruhi hidrometeorologi di daerah Asia Tenggara dan Australia dengan variabilitas curah hujan yang dipengaruhi oleh intensitas El Nino. Kekeringan dan banjir merupakan konsekuensi dari tingginya variabilitas El Nino. Tahun kering di Indonesia akibat terjadinya El Nino dan tahun basah merupakan pengaruh terjadinya La Nina yang intensif (Brumbelow and Georgakakas, 2005; Lim, 1998).

El Nino adalah sesuatu yang alami dan telah mempengaruhi kehidupan di wilayah Samudra Pasifik selama ratusan tahun. Meskipun rata-rata El Nino terjadi setiap tiga hingga delapan tahun sekali dan dapat berlangsung 12 hingga 18 bulan, ia tidak mempunyai periode tetap. Kenyataan ini membuat El Nino sulit diprakirakan kejadiannya pada enam hingga sembilan bulan sebelumnya. Namun demikian secara umum terdapat dua parameter yang biasa digunakan untuk mendeteksi terjadinya El Nino :

#### 1. SOI (Indeks Osilasi Selatan)

SOI adalah nilai indeks yang menyatakan perbedaan Tekanan Permukaan Laut (SLP) antara Tahiti dan Darwin-Australia, secara matematika dirumuskan :

$$SOI = \frac{P_{diff} - P_{diffav}}{SD(P_{diff})} \quad (2-27)$$

Dengan :

$P_{diff}$  = selisih antara rata-rata satu bulan SLP Tahiti dan rata-rata SLP Darwin

$P_{diffav}$  = rata-rata jangka panjang  $P_{diff}$  di bulan yang dimaksud

$SD(P_{diff})$  = Standar Deviasi jangka panjang dari  $P_{diff}$  di bulan yang dimaksud

El Nino dideteksi ketika nilai SOI negatif selama periode yang cukup lama (minimal tiga bulan), sedangkan El Nina dideteksi ketika nilai SOI positif.

Tabel 2.5 Prediksi *El-Nino* atau Normal terhadap Nilai SOI

Nilai SOI (P TAHTI-P DARWIN)	Fenomena Yang Akan Terjadi
Dibawah -10 selama 6 bulan	<i>El Nino</i> Kuat
-5 s/d -10 selama 6 bulan	<i>El Nino</i> lemah - sedang
-5 s/d +5 selama 6 bulan	Normal

Sumber: *Bureau of Meteorology*

Tabel 2.4 Data SOI Tahun 1987-201

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1987	-6.3	-12.6	-16.6	-24.4	-21.6	-20.1	-18.6	-14	-11.2	-5.6	-1.4	-4.5
1988	-1.1	-5	2.4	-1.3	10	-3.9	11.3	14.9	20.1	14.6	21	10.8
1989	13.2	9.1	6.7	21	14.7	7.4	9.4	-6.3	5.7	7.3	-2	-5
1990	-1.1	-17.3	-8.5	-0.5	13.1	1	5.5	-5	-7.6	1.8	-5.3	-2.4
1991	5.1	0.6	-10.6	-12.9	-19.3	-5.5	-1.7	-7.6	-16.6	-12.9	-7.3	-16.7
1992	-25.4	-9.3	-24.2	-18.7	0.5	-12.8	-6.9	1.4	0.8	-17.2	-7.3	-5.5
1993	-8.2	-7.9	-8.5	-21.1	-8.2	-16	-10.8	-14	-7.6	-13.5	0.6	1.6
1994	-1.6	0.6	-10.6	-22.8	-13	-10.4	-18	-17.2	-17.2	-14.1	-7.3	-11.6
1995	-4	-2.7	3.5	-16.2	-9	-1.5	4.2	0.8	3.2	-1.3	1.3	-5.5
1996	8.4	1.1	6.2	7.8	1.3	13.9	6.8	4.6	6.9	4.2	-0.1	7.2
1997	4.1	13.3	-8.5	-16.2	-22.4	-24.1	-9.5	-19.8	-14.8	-17.8	-15.2	-9.1
1998	-23.5	-19.2	-28.5	-24.4	0.5	9.9	14.6	9.8	11.1	10.9	12.5	13.3
1999	15.6	8.6	8.9	18.5	1.3	1	4.8	2.1	-0.4	9.1	13.1	12.8
2000	5.1	12.9	9.4	16.8	3.6	-5.5	-3.7	5.3	9.9	9.7	22.4	7.7
2001	8.4	11.9	6.7	0.3	-9	1.8	-3.7	-8.2	1.4	-1.9	7.2	-9.1
2002	2.7	7.7	-5.2	-3.8	-14.5	-6.3	-7.6	-14.6	-8.2	-7.4	-6	-10.6
2003	-2	-7.4	-6.8	-5.5	-7.4	-12	2.9	-1.8	-2.2	-1.9	-3.4	9.3
2004	-11.6	9.1	0.2	-15.4	13.1	-15.2	-6.9	-7.6	-2.8	-3.7	-8.6	-8
2005	1.8	-28.6	0.2	-11.2	-14.5	2.6	0.9	-6.9	3.9	10.9	-2	0.1
2006	12.7	0.1	13.8	14.4	-9.8	-6.3	-7.6	-15.9	-5.8	-16	-1.4	-3.5
2007	-7.8	-2.7	-1.4	-3	-2.7	5	-5	2.7	1.4	5.4	9.2	14.4
2008	14.1	21.3	12.2	4.5	-3.5	4.2	2.2	9.1	13.5	13.4	17.1	13.3
2009	9.4	14.8	0.2	8.6	-7.4	-2.3	1.6	-5	3.9	-14.7	-6	-7
2010	-10.1	-14.5	-10.6	15.2	10	1.8	20.5	18.8	24.9	18.3	16.4	27.1
2011	19.9	22.3	21.4	25.1	2.1	0.2	10.7	2.1	11.7	7.3	13.8	23
2012	9.4	2.5	2.9	-7.1	-2.7	-10.4	-1.7	-5	2.6	2.4	3.9	-6
2013	-1.1	-3.6	10.5	0.3	8.4	13.9	8.1	-0.5	3.9	-1.9	9.2	0.6
2014	12.2	-1.3	-13.3	8.6	4.4	-1.5	-3	-11.4	-7.6	-8	-10	-5.5

Sumber: *Bureau of Meteorology*

Tabel 2.5 Nilai SOI pada Tahun 1987-2014

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1987	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1988	5	5	2	4	4	6	6	6	6	6	6	6
1989	6	6	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1990	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	1	0	3	5	5	5	5	5	5	5
1992	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	3	3	5	5	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	1	3	0	3	0	5	5	5
1995	5	5	0	2	2	2	0	4	6	6	6	6
1996	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1997	1	1	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5
1998	5	5	2	2	2	4	4	6	6	6	6	6
1999	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2000	6	6	1	1	1	1	0	0	0	4	4	4
2001	6	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
2002	0	0	1	3	3	3	5	5	5	5	5	5
2003	5	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	3	3
2005	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5
2007	5	0	2	2	4	4	4	6	6	6	6	6
2008	6	6	4	4	0	0	0	0	0	0	4	6
2009	6	6	1	1	1	1	1	3	3	3	5	5
2010	5	5	5	2	4	4	6	6	6	6	6	6
2011	6	6	6	0	0	0	0	0	4	6	6	6
2012	6	6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	1	1	3	3	3	3	1	1	1	3	3

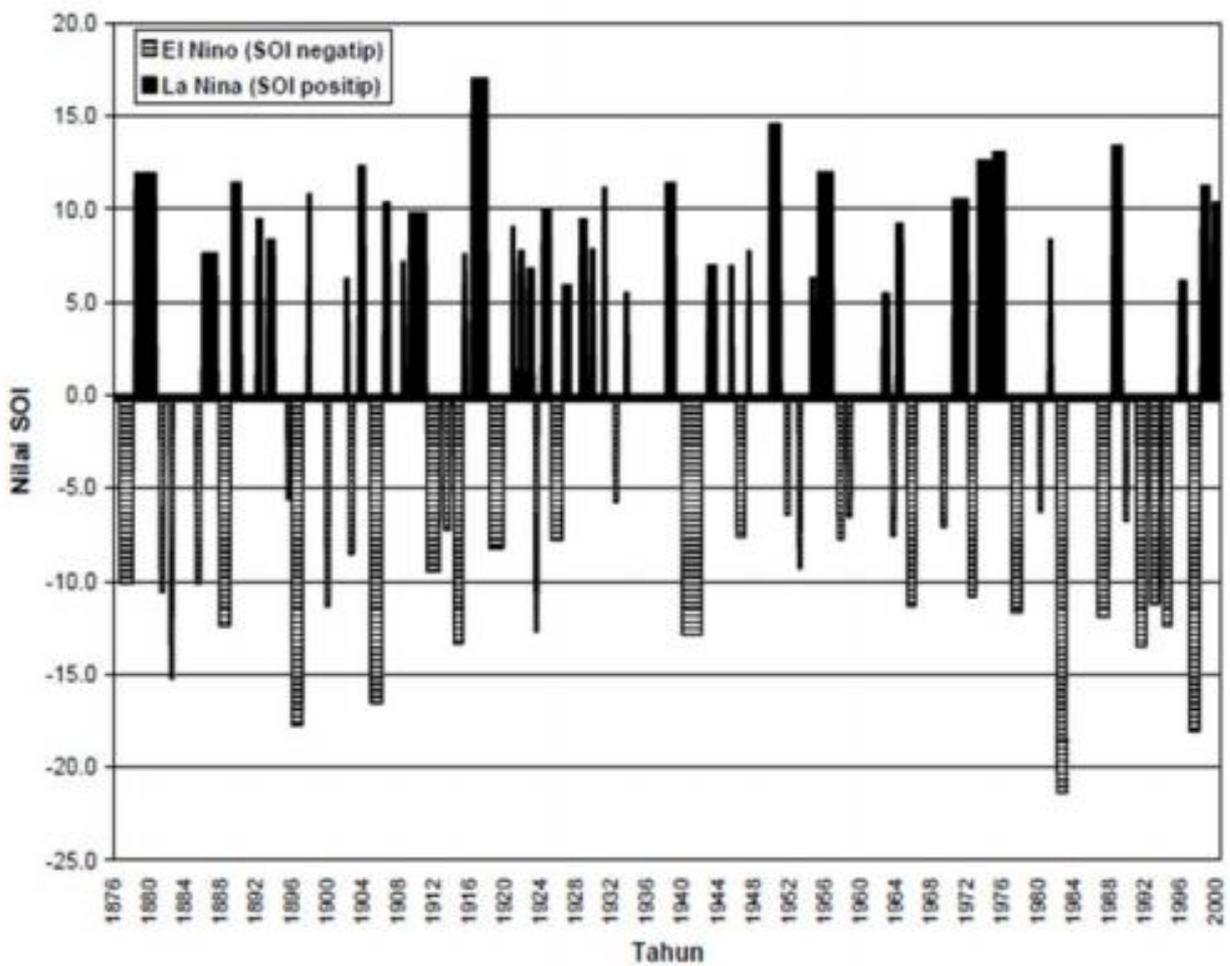
Sumber: *Bureau of Meteorology*

Untuk merubah nilai indeks SOI menjadi status El Nino tahunan maka dilakukan klasifikasi berdasarkan tabel seperti di bawah ini.

Tabel 2.6 Klasifikasi Status Kejadian El Nino

Nilai SOI	Keterangan
0	Netral
1	Siaga El-Nino
2	Siaga La-Nina
3	Waspada El-Nino
4	Waspada La-Nina
5	El-Nino
6	La-Nina

Sumber: *Bureau of Meteorology*

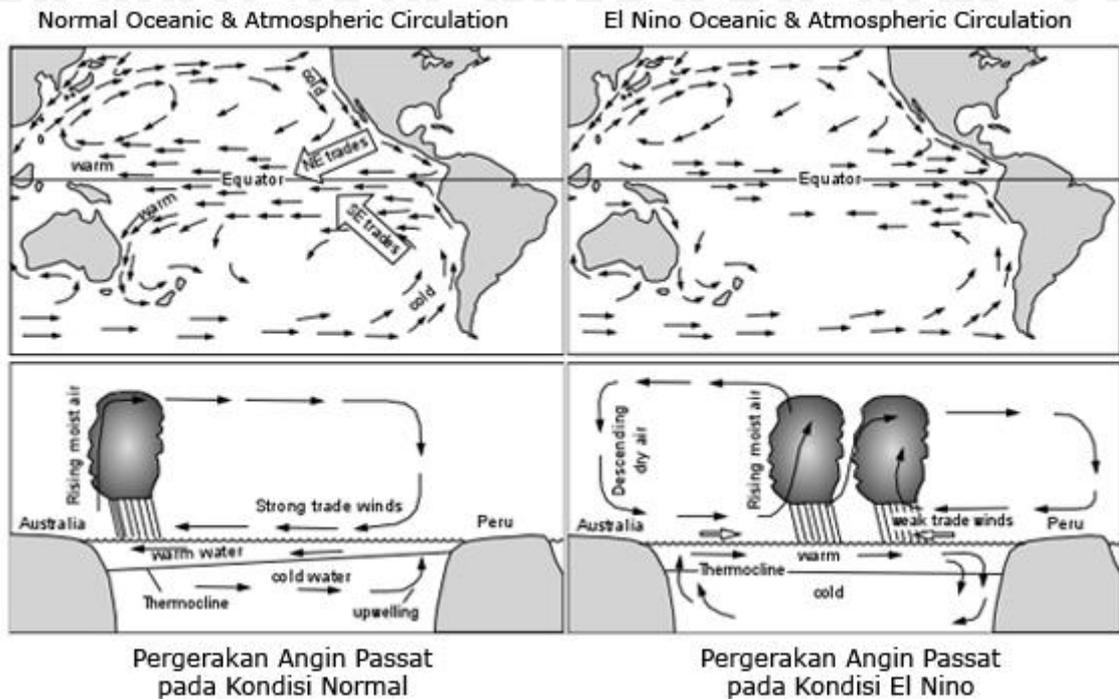


Gambar 2.5 Grafik SOI

Sumber: *Bureau of Meteorology*

## 2. Suhu Muka Laut (SST)

El Nino terutama ditandai dengan meningkatnya suhu muka laut di Pasifik Ekuator, SST ini lebih tinggi dibandingkan dengan rata-ratanya dan penyimpangan di daerah tersebut bernilai positif.



Gambar 2.6 Pergerakan Angin Pasat

Sumber: <http://idkf.bogor.net>

Selama kejadian El Nino, angin pasat timur melemah. Aliran ke Timur berbalik ke arah Barat. Perairan di sekitar Indonesia dan Australia menjadi dingin dan lebih kering.

## 2.6 Sistem Informasi Geografis

### 2.6.1 Definisi Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem ini pertama kali diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1972 dengan nama *Data Banks for Development*. Munculnya istilah Sistem Informasi Geografis seperti sekarang ini setelah dicetuskan oleh *General Assembly* dari *International Geographical Union* di Ottawa Kanada pada tahun 1967. Dikembangkan oleh Roger Tomlinson, yang kemudian disebut *CGIS (Canadian GIS-SIG Kanada)*. *CGIS* digunakan untuk menyimpan, menganalisa dan mengolah data yang dikumpulkan untuk inventarisasi Tanah Kanada (*CLI-Canadian Land Inventory*) yang merupakan sebuah inisiatif untuk mengetahui kemampuan lahan di wilayah pedesaan Kanada dengan memetakan. Sejak saat itu Sistem Informasi Geografis berkembang di beberapa benua terutama Benua Amerika, Benua Eropa, Benua Australia dan Benua Asia. Dalam sejarahnya penggunaan SIG

modern (berbasis komputer, digital) dimulai sejak tahun 1960an. Pada saat itu untuk menjalankan perangkat SIG diperlukan *computer mainframe* khusus dan mahal. Dengan perkembangan komputer PC, kecanggihan CPU dan semakin murahnya memori, sekarang SIG tersedia bagi siapapun dengan harga murah.

Sistem informasi geografi merupakan gabungan dari tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi, dan geografi.

1. Sistem merupakan sekumpulan objek, ide dan hubungannya dalam mencapai tujuan bersama.
2. Sistem informasi merupakan suatu sistem antara manusia dan mesin yang terpadu untuk menyajikan informasi guna mendukung fungsi operasi, manajemen, dan pengambilan keputusan dalam organisasi.
3. Penggunaan istilah informasi geografi mengandung pengertian informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi. Pengetahuan mengenai posisi di mana suatu objek terletak di permukaan bumi dan informasi mengenai keterangan dan posisi yang terdapat di permukaan bumi.

Sampai saat ini belum ada definisi baku tentang SIG. Definisi SIG selalu berkembang, hal ini terlihat dari banyaknya definisi SIG yang muncul. Berikut ini sebagian dari definisi SIG dari para ahli:

1. Burrough (1986), SIG adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk memasukan, menyimpan, mengelola, menganalisis dan mengaktifkan kembali data yang mempunyai referensi keruangan untuk berbagai tujuan yang berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan.
2. Aronoff (1989), SIG adalah suatu sistem berbasis komputer yang memiliki kemampuan dalam menangani data bereferensi geografi yaitu pemasukan data, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan kembali), manipulasi dan analisis data, serta keluaran sebagai hasil akhir (*output*). Hasil akhir (*output*) dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan pada masalah yang berhubungan dengan geografi.
3. Esri (1990), SIG adalah kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, meng*update*, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografi.
4. Purwadhi (1994), mendefinisikan SIG merupakan suatu sistem yang mengorganisir perangkat keras, perangkat lunak, data, serta dapat mendayagunakan sistem penyimpanan, pengolahan, maupun analisis data secara simultan sehingga dapat

diperoleh informasi yang berkaitan dengan aspek keruangan. SIG merupakan manajemen data spasial dan nonspasial yang berbasis komputer dengan tiga karakteristik dasar yaitu mempunyai fenomena aktual (variabel data nonlokasi) yang berhubungan dengan topik permasalahan di lokasi bersangkutan, merupakan suatu kejadian di lokasi dan mempunyai dimensi waktu.

5. Gistut (1994), SIG adalah sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan spasial dan mampu mengintegrasikan deskripsi-deskripsi lokasi dengan karakteristik-karakteristik fenomena yang ditemukan di lokasi tersebut. SIG yang lengkap mencakup metodologi dan teknologi yang diperlukan yaitu data spasial, perangkat keras, perangkat lunak dan struktur organisasi.
6. Foote (1995), SIG adalah sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang tereferensi secara spasial atau koordinat-koordinat geografi.
7. Chrisman (1997), SIG adalah sistem yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data, manusia (*brainware*), organisasi dan lembaga yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan menyebarkan informasi-informasi mengenai daerah-daerah di permukaan bumi.
8. Demers (1997), SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, memeriksa, mengintegrasikan dan menganalisis informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan bumi.
9. Rice (2000), SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memeriksa, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan data-data yang berhubungan dengan posisi-posisi di permukaan bumi.

Dari beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa SIG merupakan sejenis perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan dan menghasilkan informasi geografi beserta atribut-atributnya.

### 2.6.2 Model Data SIG

Data dalam SIG terdiri atas dua komponen yaitu data spasial yang berhubungan dengan geometri bentuk keruangan dan data *attribute* yang memberikan informasi tentang bentuk keruangannya (Chang, 2002).

#### 1. Data Spasial

Data spasial adalah data yang bereferensi geografis atas representasi obyek di bumi. Data spasial pada umumnya berdasarkan peta yang berisikan interpretasi dan proyeksi seluruh fenomena yang berada di bumi. Fenomena tersebut berupa fenomena alamiah

dan buatan manusia. Pada awalnya, semua data dan informasi yang ada di peta merupakan representasi dari obyek di muka bumi.

Sesuai dengan perkembangan, peta tidak hanya merepresentasikan obyek-obyek yang ada di muka bumi, tetapi berkembang menjadi representasi obyek diatas muka bumi (di udara) dan dibawah permukaan bumi. Data spasial memiliki dua jenis tipe yaitu vektor dan *raster*. Model data vektor menampilkan, menempatkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik, garis- garis atau kurva, atau *polygon* beserta atribut- atributnya. Model data *raster* menampilkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan struktur matriks atau *pixel- pixel* yang membentuk *grid*. Pemanfaatan kedua model data spasial ini menyesuaikan dengan peruntukan dan kebutuhannya.

#### a. Data Vektor

Model data vektor adalah yang dapat menampilkan, menempatkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik, garis atau kurva dan *polygon* beserta atribut-atributnya (Prahasta, 2001). Bentuk-bentuk dasar representasi data spasial ini, di dalam sistem model data vektor, didefinisikan oleh sistem koordinat kartesian dua dimensi (x, y).

Di dalam model data spasial vektor, garis-garis atau kurva (busur atau *arcs*) merupakan sekumpulan titik-titik terurut yang dihubungkan (Prahasta, 2001). Poligon akan terbentuk penuh jika titik awal dan titik akhir poligon memiliki nilai koordinat yang sama dengan titik awal. Sedangkan bentuk poligon disimpan sebagai suatu kumpulan *list* yang saling terkait secara dinamis dengan menggunakan *pointer* atau titik.

#### b. Data Raster

Obyek di permukaan bumi disajikan sebagai elemen matriks atau sel-sel *grid* yang homogen. Model data *raster* menampilkan, menempatkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan struktur matriks atau *pixel-pixel* yang membentuk *grid* (Prahasta, 2001). Tingkat ketelitian model data *raster* sangat bergantung pada resolusi atau ukuran pikselnya terhadap obyek di permukaan bumi. *Entity spasial raster* disimpan di dalam *layers* yang secara fungsionalitas di relasikan dengan unsur-unsur petanya (Prahasta, 2001). Satuan elemen data *raster* biasa disebut dengan *pixel*, elemen tersebut merupakan ekstrasi dari suatu citra yang disimpan sebagai *digital number* (DN) (De Bay, 2000).

Meninjau struktur model data *raster* identik dengan bentuk matriks. Pada model data *raster*, matriks atau *array* diurutkan menurut koordinat kolom (x) dan barisnya (y) (Prahasta, 2001). Pengelolaan, pemrosesan dan analisa data spasial biasanya bergantung dengan model datanya. Pengelolaan, pemrosesan dan analisa data spasial memanfaatkan pemodelan SIG yang berdasar pada kebutuhan dan analitiknya. Analitik yang berlaku pada pemrosesan data spasial seperti *overlay*, *clip*, *intersect*, *buffer*, *query*, *union*, *merge* yang mana dapat dipilih ataupun dikombinasikan. Pemrosesan data spasial seperti dapat dilakukan dengan teknik yang disebut dengan *geoprocessing* (ESRI, 2002), pemrosesan tersebut antara lain:

- a. *Overlay* adalah merupakan perpaduan dua *layer* data spasial,
- b. *Clip* adalah perpotongan suatu area berdasar area lain sebagai referensi,
- c. *Intersection* adalah perpotongan dua area yang memiliki kesamaan karakteristik dan kriteria,
- d. *Buffer* adalah menambahkan area di sekitar obyek spasial tertentu,
- e. *Query* adalah seleksi data berdasar pada kriteria tertentu, *union* adalah penggabungan atau kombinasi dua area spasial beserta atributnya yang berbeda menjadi satu, *merge* adalah penggabungan dua data berbeda terhadap *feature* spasial,
- f. *Dissolve* adalah menggabungkan beberapa nilai berbeda berdasar pada atribut tertentu. Pengelolaan, pemrosesan dan analisa data spasial biasanya bergantung dengan model datanya. Pengelolaan, pemrosesan dan analisa data spasial memanfaatkan pemodelan SIG yang berdasar pada kebutuhan dan analitiknya.
- g. Analitik yang berlaku pada pemrosesan data spasial seperti *overlay*, *clip*, *intersect*, *buffer*, *query*, *union* dan *merge*.

## 2. Data Non Spasial (*Attribute*)

Data non spasial adalah data berbentuk tabel dimana tabel tersebut berisi informasi-informasi yang dimiliki oleh obyek dalam data spasial. Data tersebut berbentuk data tabular yang saling terintegrasi dengan data spasial yang ada. Data atribut atau tabular menyimpan informasi tentang nilai atau besaran dari data grafis. Untuk struktur data vektor, data *attribute* tersimpan secara terpisah dalam bentuk tabel. Sementara pada struktur data *raster* nilai data grafisnya tersimpan langsung pada nilai *grid* atau *pixel* tersebut.

### 2.6.3 Komponen SIG

SIG merupakan sistem kompleks yang biasanya terintegrasi dengan lingkungan sistem-sistem komputer yang lain di tingkat fungsional dan jaringan. SIG terdiri dari beberapa komponen berikut (Prahasta, 2001:58).

#### 1. Perangkat keras (*Hardware*)

Perangkat keras SIG adalah perangkat-perangkat fisik yang merupakan bagian dari sistem komputer yang mendukung analisis geografi dan pemetaan. Perangkat keras SIG mempunyai kemampuan untuk menyajikan citra dengan resolusi dan kecepatan yang tinggi serta mendukung operasi-operasi basis data dengan *volume* data yang besar serta cepat. Perangkat keras SIG terdiri dari beberapa bagian untuk memasukkan data, mengolah data, dan mencetak hasil proses. Berikut ini pembagian berdasarkan proses:

- a. *Input data: mouse, digitizer, scanner*
- b. *Olah data: harddisk, processor, RAM, VGA Card*
- c. *Output data: plotter, printer, screening*

#### 2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak digunakan untuk melakukan proses menyimpan, menganalisa, memvisualkan data-data baik data spasial maupun non spasial. Perangkat lunak yang harus terdapat dalam komponen *software* SIG adalah:

- a. Alat untuk memasukkan dan memanipulasi data SIG
- b. *Data Base Management System (DBMS)*
- c. Alat untuk menganalisa data-data
- d. Alat untuk menampilkan data dan hasil analisa

#### 3. Data

Pada prinsipnya terdapat dua jenis data untuk mendukung SIG yaitu data spasial dan data non spasial (*atributte*).

#### 4. Manusia

Manusia merupakan inti elemen dari SIG karena manusia adalah perencana dan pengguna dari SIG. Pengguna SIG mempunyai tingkatan seperti pada sistem informasi lainnya, dari tingkat spesialis teknis yang mendesain, dan mengelola sistem sampai pada pengguna yang menggunakan SIG untuk membantu pekerjaannya sehari-hari.

## 5. Metode

Metode yang digunakan dalam SIG akan berbeda untuk setiap permasalahan. SIG yang baik tergantung pada aspek desain dan aspek *realnya*.

### 2.6.4 Pengolahan Data dengan SIG

#### a. Pemasukan Data

Pemasukan data dalam SIG berupa data grafis, yaitu peta batas administrasi, peta jaringan sungai, peta batas das, peta stasiun debit dan peta tata letak stasiun hujan. Pemasukan data dilakukan dengan cara digitasi. Digitasi dilakukan dengan menelusuri delinasi yang akan dibuat pada peta analog dan dipindahkan ke dalam komputer dengan meja *digitizer*. Langkah-langkah digitasi adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik-titik kontrol dengan maksud agar koordinat pada peta dapat dipindahkan pada sistem koordinat yang dimiliki *digitizer*. Pada studi ini digunakan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*).
2. Digitasi dilakukan dengan menelusuri kenampakan di peta yang berupa titik, garis dan area dengan alat penelusur pada meja *digitizer*. Setiap kenampakan diberikan kode/ ID yang berbeda. Perbedaan kode/ ID ini diberikan untuk mempermudah pemanggilan salah satu penampakkan/ obyek. Setelah proses ini selesai, setiap kenampakkan di peta disimpan dalam bentuk segmen.

### 2.6.5 Analisa Data

Secara umum terdapat dua jenis fungsi analisis dalam SIG yang meliputi fungsi analisis spasial dan fungsi analisis atribut (basis data atribut). Fungsi analisis data atribut terdiri dari sistem pengelolaan basis data/ *Database Management System* (DBMS) dan perluasannya meliputi:

1. Operasi dasar basis data yang mencakup:
  - a. Membuat basis data baru
  - b. Menghapus basis data
  - c. Membuat tabel basis data
  - d. Menghapus tabel basis data
  - e. Mengisi dan menyisipkan data kedalam tabel
  - f. Membaca dan mencari data dari tabel basis data
  - g. Mengubah atau mengedit data yang ada di dalam tabel basis data
  - h. Membuat indeks untuk setiap basis data
2. Perluasan operasi basis data:
  - a. Membaca dan menulis basis data ke dalam basis data lain

- b. Dapat berkomunikasi dengan sistem basis data yang lain, misalnya dengan menggunakan *driver* (ODBC)
- c. Dapat menggunakan bahasa basis data standar SQL
- d. Operasi-operasi atau fungsi analisis lain yang rutin digunakan dalam sistem basis data

Fungsi analisis spasial dari SIG terdiri dari:

1. Klasifikasi: fungsi ini mengklasifikasikan kembali suatu data spasial/ atribut menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu.
2. Jaringan: fungsi ini menunjuk kepada data-data spasial yang berupa titik-titik atau garis-garis sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan.
3. Tumpang susun: fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang menjadi masukannya.
4. *Buffering*: fungsi ini akan menghasilkan data spasial baru yang berbentuk poligon atau *zone* dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukannya.
5. *3D analysis*: fungsi ini terdiri dari sub-bab fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang tiga dimensi.
6. *Digital image processing*: fungsi ini dimiliki SIG yang berbasiskan *raster*.

#### b. Keluaran Data

Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan pengguna. Keluaran data terdiri dari tiga bentuk yaitu cetakan, tayangan, dan data digital.

Bentuk cetakan dapat berupa peta, maupun tabel yang dicetak dengan media kertas, film, atau media lain. Bentuk tayangan berupa tampilan gambar di monitor komputer. Keluaran data dalam bentuk data digital berupa *file* yang dibaca oleh komputer yang lain ataupun untuk menghasilkan cetakan lain ditempat. Keluaran data pada studi ini berupa peta-peta tematik yang meliputi struktur data dalam format vektor dan *raster/ grid*. Peta-peta tematik tersebut dicetak dengan menggunakan *printer*.

## 2.7 Peta Sebaran Kekeringan

### 2.7.1 Metode Interpolasi

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui (Wikipedia, 2008). Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbuatlah peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah (*Gamma Design Software*, 2005). Sebelum melakukan

interpolasi biasanya terjadi *error* dikarenakan kesalahan menentukan metode *sampling* data, kesalahan dalam pengukuran dan kesalahan dalam analisa di laboratorium. Berikut akan dijelaskan penggunaan metode IDW untuk interpolasi.

### 2.7.2 Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW)

Merupakan metode *deterministic* yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya (NCGIA, 1997). Metode ini memiliki asumsi bahwa setiap titik *input* mempunyai pengaruh yang bersifat lokal yang berkurang terhadap jarak. Metode IDW umumnya dipengaruhi oleh *inverse* jarak yang diperoleh dari persamaan matematika. Pada metode interpolasi ini kita dapat menyesuaikan pengaruh relatif dari titik-titik sampel. Nilai *power* pada interpolasi IDW ini menentukan pengaruh terhadap titik-titik masukan (*input*), dimana pengaruh akan lebih besar pada titik-titik yang lebih dekat sehingga menghasilkan permukaan yang lebih detail. Pengaruh akan lebih kecil dengan bertambahnya jarak dimana permukaan yang dihasilkan kurang detail dan terlihat lebih halus. Jika nilai *power* diperbesar berarti nilai keluaran (*output*) sel menjadi lebih terlokalisasi dan memiliki nilai rata-rata yang rendah. Penurunan nilai *power* akan memberikan keluaran dengan rata-rata yang lebih besar karena akan memberikan pengaruh untuk area yang lebih luas. Jika nilai *power* diperkecil, maka dihasilkan permukaan yang lebih halus. Bobot yang digunakan untuk rata-rata adalah turunan fungsi jarak antara titik sampel dan titik yang diinterpolasi (Philip & Watson, 1982). Fungsi umum pembobotan adalah *inverse* dari kuadrat jarak, dan persamaan ini digunakan pada metode *Inverse Distance Weight* yang dirumuskan dalam formula berikut ini (Azpurua & Ramos, 2010):

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \omega_i z_i \quad (2-28)$$

dengan:

$i = 1, 2, 3, \dots, N$

$Z_i =$  nilai ketinggian data yang ingin diinterpolasi sejumlah  $N$  titik

$\omega_i =$  bobot

$$\omega_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=0}^n h_j^{-p}} \quad (2-29)$$

dengan:

$p =$  nilai positif yang dapat diubah-ubah yang disebut dengan parameter *power* (biasanya 2)

$h_j =$  jarak dari sebaran titik ke titik interpolasi

$$h_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad (2-30)$$

dengan:

$(x, y)$  = koordinat titik interpolasi

$(x_i, y_i)$  = kordinat untuk setiap sebaran titik

Fungsi peubah *weight* bervariasi untuk keseluruhan data sebaran titik sampai pada nilai yang mendekati nol dimana jarak bertambah terhadap sebaran titik.

Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai *isotropic*. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini (Watson & Philip, 1985). Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan. Menurut Pramono (2004). Hasil dari interpolasi ini tergantung dari:

- Seberapa kuat sebuah titik data yang diketahui mempengaruhi daerah disekitarnya (*ArcGIS: Power*)
- Jumlah titik disekitarnya yang digunakan untuk menghitung rata-rata nilai.
- Ukuran piksel atau *raster* yang dikehendaki.