

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Sesar / Patahan

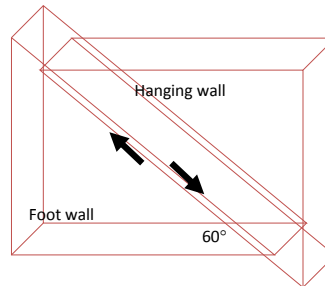
Sesar adalah rekahan disepanjang kerak bumi dimana dua blok batuan bergerak antara satu dengan yang lainnya (USGS, 2010). Bidang kontak antara dua blok batuan tektonik ini disebut bidang sesar (*fault plane*). Bidang sesar terbentuk akibat adanya rekahan yang mengalami pergerakan. Terdapat dua unsur penyusun sesar, yaitu :

1. *Hanging Wall* (atap sesar), yaitu bagian sesar yang terdapat di atas bidang sesar (*fault plane*)
2. *Foot Wall* (alas sesar), yaitu bagian sesar yang terdapat di bawah bidang sesar (*fault plane*)

Berdasarkan pergerakannya, sesar dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Sesar Normal (*Normal Fault*)

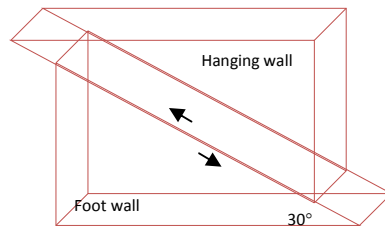
Sesar normal terjadi apabila atap sesar (*hanging wall*) bergerak relatif turun terhadap alas sesar (*foot wall*). Jenis sesar ini memiliki sudut kemiringan (*dip slip*) yang cukup besar. Sudut kemiringan (*dip slip*) adalah sudut yang dibentuk antara bidang sesar dengan bidang horizontal (Rahayu,2010).



Gambar 2.1 sesar normal

2. Sesar Naik (*Thrusting Fault*)

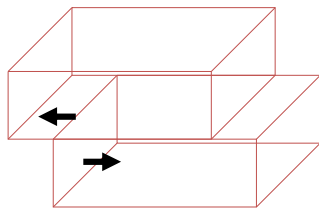
Sesar naik terjadi apabila atap sesar (*hanging wall*) bergerak relatif naik terhadap alas sesar (*foot wall*). Sesar ini ditandai dengan *dip slip* yang kecil. Contoh sesar naik adalah *reverse fault*.



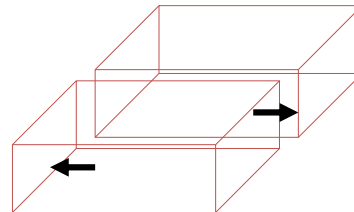
Gambar 2.2 sesar naik

3. Sesar Geser (*Strike Slip Fault*)

Sesar geser (*strike slip fault*) terjadi apabila blok batuan yang terpisah bergerak relatif mendatar (horizontal) pada bidang sesar umumnya tegak (90°). Sesar ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: sesar geser mengiri (*left-lateral strike slip fault*) dan sesar geser menganan (*right-lateral strike slip fault*).



Gambar 2.3 sesar mengiri (*left-lateral strike slip fault*)



Gambar 2.4 sesar menganan (*right-lateral strike slip fault*)

Sesar/patahan dapat berpotensi menimbulkan gempa bumi karena bidang kontak sesar umumnya tidak rata sehingga pada waktu terjadi kontak, blok-blok tektonik yang bertemu pada suatu saat akan mengalami mekanisme saling menahan atau mengunci sehingga kedua blok tertahan dan tidak dapat bergerak. Pada saat itu akan terjadi akumulasi energi akibat adanya dua gaya yang berlawanan arah, arah energi yang terkumpul semakin lama semakin besar sampai pada suatu saat akumulasi energi tidak dapat diimbangi oleh elastisitas dari bidang kontak. Blok-blok yang tadi saling mengunci akan terlepas disertai pelepasan energi yang menjadi gelombang gempa (Rahayu, 2010).

2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran/goncangan dari permukaan bumi yang diikuti pelepasan energi dari dalam kerak bumi (USGS, 2010). Dinamika bumi memungkinkan terjadinya gempa bumi. Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa bumi karena daerah Indonesia merupakan daerah yang amat dinamis dengan pergerakan lempeng dalam berbagai arah, yaitu lempeng Indo-Australia bergerak ke arah Utara-Timur Laut dan lempeng Pasifik bergerak dengan arah Barat Daya.

Berdasarkan *Elastic Rebound Theory*, proses terjadinya gempa yaitu (Krisnanto, 2004):

1. Suatu gempa terjadi apabila lapisan bumi (*litosphere*) patah melalui suatu bidang yang disebut sesar.
2. Sebelum suatu gempa bumi terjadi, biasanya didahului oleh peningkatan regangan elastik secara perlahan-lahan pada kedua sisi sesar.
3. Pada saat gempa terjadi, kedua sisi itu bergeser satu terhadap yang lain dengan arah berlawanan dan besarnya sebanding dengan energi yang bekerja pada sesar.

2.2.1 Jenis gempa bumi

Berdasarkan penyebab terjadinya, gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: gempabumi vulkanik, tektonik, dan akibat proses lainnya.

1. Gempa bumi Vulkanik

Gempabumi vulkanik disebabkan oleh naiknya fluida gunung api (gas, uap, dan magma) menuju ke permukaan (kawah) sehingga mengakibatkan retakan yang menimbulkan getaran di sekitar rekahan dan merambat ke segala arah. Gempabumi ini bersumber dari gunung api yang masih aktif dan pada umumnya berkekuatan kecil (maksimum 2 Skala Richter), dan tidak terasa.

2. Gempa bumi Tektonik

Gempa bumi ini disebabkan aktifitas tektonik di zona batas antar lempeng dan sesar aktif sehingga mengakibatkan getaran yang menyebar ke segala arah. Kekuatan gempa ini dapat mencapai skala besar seperti gempa yang terjadi di Aceh tanggal 26 Desember 2006 yaitu 9.0 Mw.

3. Gempa bumi Akibat Proses Lain

Kejadian gempabumi dapat diakibatkan oleh beberapa proses antara lain runtuhnya batuan di daerah kapur, runtuhnya terowongan tambang dan longsoran bawah tanah. Kejadian-kejadian tersebut dapat menimbulkan getaran tanah. Kekuatan gempabumi ini tergantung dari volume dan jenis material runtuh atau longsoran.

2.2.2 Parameter Gempa Bumi

Beberapa parameter gempa bumi yang sering digunakan untuk menggambarkan karakteristik dari suatu gempa adalah sebagai berikut (Krisnanto, 2004):

1. Gelombang Gempa

Saat gempa bumi terjadi, energi yang dilepaskan merupakan akumulasi energi akibat gesekan lempeng yang terjadi secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Saat batuan tidak dapat lagi menahan gaya yang ditimbulkan akibat gesekan lempeng tersebut, maka energi yang terakumulasi akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang elastik yang menjalar ke segala arah. Penjalaran ini dirasakan di permukaan bumi sebagai suatu getaran dengan kecepatan tertentu. Besarnya kecepatan ini tergantung dari kerapatan dan elastisitas batuan yang dilalui.

Gelombang seismik dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang ini terdiri dari dua gelombang yang berbeda sifatnya, yaitu gelombang tekan (gelombang primer) dan gelombang geser (gelombang sekunder). Gelombang tekan (*p-wave*) merambat secara longitudinal ke segala arah dengan pola gerakan searah dengan perambatan gelombang. Sedangkan gelombang geser (*s-wave*) merambat secara tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang dan lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P (gelombang P merambat sekitar dua kali lebih cepat).

b. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan mempunyai frekuensi lebih rendah dibandingkan *body-wave*. Gelombang ini merambat sepanjang permukaan bumi dan menyebabkan gerakan tanah yang sangat besar pada permukaan bumi. Gelombang permukaan sering terdeteksi pada gempa dangkal. Karena gelombang ini memiliki frekuensi rendah, durasi yang panjang dan amplitudo

yang besar, maka gelombang ini dapat menyebabkan kerusakan besar. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

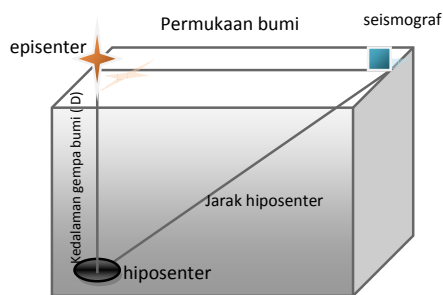
2. Energi Gempa

Energi gempa didefinisikan sebagai suatu parameter yang menyatakan besarnya energi gempa yang dilepaskan selama terjadinya gempa dengan durasi tertentu dari fokus gempa.

3. Hiposenter dan Episenter

Hiposenter dan episenter dari suatu gempa merepresentasikan lokasi terjadinya suatu gempa. Hiposenter atau fokus gempa adalah suatu titik dimana energi elastik pertama kali dilepaskan yang menimbulkan terjadinya gempa. Episenter adalah proyeksi hiposenter pada permukaan tanah. Jarak dari hiposenter ke titik yang diamati di permukaan tanah disebut jarak fokus (jarak hiposenter) sedangkan jarak dari episenter ke titik yang diamati di permukaan tanah disebut jarak episenter. Berdasarkan kedalaman hiposenter, gempa bumi dapat digolongkan menjadi gempa dangkal (kedalaman fokus 0-70 km), gempa menengah (kedalaman fokus 70-200 km), dan gempa dalam (kedalaman fokus lebih dari 200 km).

Gambar 2.5 menampilkan hubungan antara episenter, hiposenter dan pusat gempabumi.



Gambar 2.5 hubungan antara episenter, hiposenter dan pusat gempabumi

4. Durasi Gempa

Durasi gempa adalah parameter empirik yang menyatakan lama terjadinya suatu gempa.

5. Magnitudo Gempa

Magnitudo gempa adalah suatu besaran tanpa satuan yang merepresentasikan energi yang dilepaskan oleh suatu gempa. Besar kecilnya magnitudo gempa ditentukan berdasarkan besar kecilnya amplitudo gelombang seismik.

6. Intensitas Gempa

Intensitas gempa adalah deskripsi kualitatif dari efek suatu gempa yang terjadi pada suatu lokasi tertentu. Intensitas gempa ditentukan berdasarkan kerusakan yang terjadi dan reaksi dari orang-orang pada lokasi terjadinya gempa. Besaran yang umum dipakai di Indonesia untuk menyatakan intensitas guncangan gempa secara kualitatif atau hanya berdasarkan pengamatan deskriptif adalah skala Mercalli atau MMI (*Modified Mercally Intencity*) (Zulfakriza, 2010). Skala MMI ditunjukkan pada tabel 2.1 :

Tabel 2.1 skala intensitas gempa dari Modified Mercalli Scale

Skala MMI	Intensitas yang dirasakan
IV	Pada siang hari akan terasa oleh banyak orang dalam ruangan, di luar ruangan hanya sedikit yang bisa merasakan. Pada malam hari sebagian orang bisa terbangun.
V	Dirasakan hampir oleh semua orang. Pada malam hari sebagian besar orang yang sedang tidur akan terbangun, barang di atas meja terjatuh, plesteran tembok retak, barang-barang yang tidak stabil akan roboh, pendulum jam dinding akan berhenti.
VI	Dirasakan oleh semua orang, banyak orang ketakutan/panik sehingga berhamburan keluar ruangan, banyak perabotan yang berat bergeser, plesteran dinding retak dan terkelupas, cerobong asap pabrik rusak
VII	Semua orang berhamburan keluar ruangan, kerusakan terjadi pada bangunan yang desain konstruksinya jelek, kerusakan sedikit sampai sedang terjadi pada bangunan dengan desain konstruksi biasa. Bangunan dengan konstruksi yang baik tidak mengalami kerusakan yang berarti.
VIII	Kerusakan luas pada bangunan dengan desain yang jelek, kerusakan berarti pada bangunan dengan desain biasa dan sedikit kerusakan pada

	bangunan dengan desain yang baik. Dinding panel akan pecah dan lepas dari frame-mya, cerobong asap pabrik runtuh, perabotan yang berat akan terguling, pengendara mobil terganggu.
IX	Kerusakan berarti pada bangunan dengan desain konstruksi yang baik, pipa bawah tanah putus, timbul keretakan pada tanah.
X	Sejumlah bangunan kayu dengan desain yang baik rusak, sebagian besar bangunan tembok rusak termasuk fondasinya. Retakan pada tanah akan semakin banyak, tanah longsor pada tebing-tebing sungai dan bukit, air sungai akan melimpas di atas tanggul.

2.2.3 Tahap-Tahap Gempa Bumi

Gempa bumi biasanya akan menyebabkan kerak bumi di sekitarnya terdeformasi, baik dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Dalam suatu siklus terjadinya gempa bumi, proses deformasi dapat dibagi menjadi beberapa tahapan (Abidin, Sarsito, 2006) yaitu:

- Tahap interseismik
Tahap interseismik merupakan tahap awal suatu siklus gempa bumi. Pada tahapan ini energi dari dalam bumi menggerakkan lempeng, dan energi mulai terakumulasi di bagian-bagian lempeng tempat biasa terjadinya gempa bumi (batas antar lempeng dan sesar).
- Tahap pre-seismik
Tahap ini merupakan sesaat sebelum terjadinya gempa bumi.
- Tahap ko-seismik (*co-seismic*)
Tahap koseismik merupakan tahapan ketika gempa utama terjadi. Deformasi koseismik adalah deformasi kerak bumi yang diakibatkan oleh gempa utama dan gempa-gempa susulannya yang besar. Deformasi ini umumnya merupakan deformasi horizontal dan deformasi vertikal, dan besar deformasinya sebanding dengan besar magnituda gempanya.
- Tahap pasca-seismik (*post-seismic*)
Tahap pascaseismik merupakan tahap dimana sisa-sisa energi terlepas secara perlahan dan dalam waktu yang lama sampai kondisi kembali ke tahap kesetimbangan baru.

2.3 GPS (*Global Positioning System*)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Position System*). Sistem ini dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, serta kontinu di seluruh dunia. Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu:

1. Segmen angkasa (*space segment*)

Segmen ini terdiri dari satelit-satelit. Satelit GPS bisa dianalogikan sebagai stasiun radio di angkasa yang dilengkapi dengan antena-antena untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. Sinyal-sinyal tersebut selanjutnya diterima oleh receiver GPS di/dekat permukaan bumi, dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, waktu, serta parameter-parameter turunan lainnya. Satelit pada dasarnya terdiri dari (Abidin,2007):

- *Solar panel*

Setiap satelit GPS mempunyai dua sayap yang dilengkapi dengan sel-sel pembangkit tenaga matahari (*solar panel*) yang merupakan sumber energi untuk satelit.

- *Komponen internal*

Setiap satelit akan dilengkapi dengan empat jam atom yang berketelitian tinggi, pembangkit sinyal, peralatan untuk mengontrol ‘tingkah laku’ (*attitude*) satelit, serta sensor-sensor untuk mendeteksi peledakan nuklir dan lokasinya.

- *Komponen eksternal*

Komponen eksternal satelit GPS yaitu beberapa antena yang digunakan untuk menerima dan memancarkan sinyal-sinyal ke dan dari satelit GPS.

2. Segmen Sistem Control (*control system segment*)

Segmen ini terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit. Segmen ini berfungsi untuk mengontrol dan memantau operasional semua satelit GPS dan memastikan bahwa semua satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Tugas utama dari segmen sistem kontrol GPS adalah (Abidin,2007):

- Secara kontinu memantau dan mengontrol sistem satelit,
- Menentukan dan menjaga waktu sistem GPS,

- Memprediksi ephemeris satelit serta karakteristik jam satelit,
- Secara periodik meremajakan (*update*) *navigation message* dari setiap satelit, dan
- Melakukan manuver satelit agar tetap berada dalam orbitnya, atau melakukan relokasi untuk menggantikan satelit yang tidak sehat, seandainya diperlukan.

3. Segmen Pemakai (*user segment*)

Segmen ini terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS. Alat penerima sinyal GPS (*GPS receiver*) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal dari satelit GPS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan, waktu maupun parameter turunan lainnya. Komponen utama dari suatu receiver GPS secara umum adalah (Abidin, 2007): antena dengan pre-amplifier, pemroses sinyal, pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, unit pengontrolan receiver dan pemrosesan (*user and external communication*), catu daya, memori serta perekam data.

2.3.1 Kesalahan dan Bias

Dalam perjalanannya dari satelit hingga mencapai antena di permukaan bumi, sinyal GPS akan dipengaruhi oleh beberapa kesalahan dan bias (Abidin, 2007), seperti:

1. Kesalahan ephemeris (orbit)

Kesalahan ephemeris adalah kesalahan dimana orbit satelit yang dilaporkan oleh ephemeris satelit tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya. Dengan kata lain, posisi satelit yang dilaporkan tidak sama dengan posisi satelit yang sebenarnya. Kesalahan ephemeris tersebut kemudian akan mempengaruhi ketelitian dari koordinat titik-titik (absolut maupun relatif) yang akan ditentukan. Ada beberapa cara yang dapat diaplikasikan untuk mereduksi efek kesalahan orbit, yaitu:

- Dengan menerapkan metode *differential positioning*
- Dengan memperpendek panjang *baseline*
- Memperpanjang interval waktu pengamatan
- Menentukan parameter kesalahan orbit dalam proses estimasi
- Menggunakan informasi orbit yang lebih teliti, seperti *Ultra Rapid Ephemeris*, *Rapid Ephemeris* atau *Precise Ephemeris*.

2. Bias ionosfer

Sinyal dari satelit GPS yang terletak kira-kira 20.000 km di atas permukaan Bumi, harus melalui lapisan ionosfer untuk sampai ke antena di permukaan bumi. Ion-ion bebas (elektron) dalam lapisan ionosfer akan mempengaruhi propagasi sinyal GPS. Dalam hal ini ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi dan kekuatan sinyal GPS yang melaluinya. Efek ionosfer terbesar adalah pada kecepatan sinyal, karena akan langsung mempengaruhi nilai ukuran jarak dari pengamat ke satelit. Ionosfer akan memperlambat *pseudorange* sehingga ukuran jarak menjadi lebih panjang dan mempercepat *fase* sehingga ukuran jarak menjadi lebih pendek. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mereduksi efek ionosfer ini, yaitu:

- Dengan menggunakan data GPS dua frekuensi (L1 dan L2)
- Melakukan pengurangan (*differencing*) data pengamatan
- Memperpendek panjang *baseline*
- Melakukan pengamatan pada pagi atau malam hari
- Menggunakan model prediksi global ionosfer
- Menggunakan parameter koreksi yang dikirim oleh sistem *Wide Area Differential GPS* (WADGPS).

3. Bias troposfer

Selain melalui lapisan ionosfer, sinyal GPS juga harus melewati lapisan troposfer. Pada lapisan ini temperatur menurun dengan membesarnya ketinggian. Ketika melalui lapisan troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal GPS. Efek utama dari troposfer berpengaruh pada kecepatan, atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak.

4. Multipath

Multipath adalah fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antena GPS melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda (satu sinyal merupakan sinyal langsung dari satelit ke antena, sedangkan sinyal lain adalah sinyal-sinyal yang tidak langsung yang dipantulkan oleh benda-benda di sekitar antena).

Efek multipath dapat mempengaruhi hasil ukuran *pseudorange* maupun *carrier phase*. Efek multipath pada data *pseudorange* jauh lebih besar dibandingkan efeknya pada data fase.

5. Ambiguitas fase (*Cycle Ambiguity*)

Ambiguitas fase dari pengamatan fase sinyal GPS adalah jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh *receiver* GPS. Ambiguitas fase merupakan bilangan bulat. Untuk dapat menentukan harga bilangan bulat dari ambiguitas fase tidak mudah, terutama bila dilakukan sambil bergerak (*on-the-fly*). Secara umum ada tiga aspek yang harus diperhitungkan dalam proses resolusi ambiguitas, yaitu: eliminasi kesalahan dan bias dari data pengamatan, geometri satelit, serta teknik resolusi ambiguitas itu sendiri.

6. *Cycle-slip*

Cycle-slip adalah ketidak-kontinuan jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati. Hal ini disebabkan *receiver* yang digunakan “terputus” saat melakukan pengamatan sinyal.

7. Pergerakan dari pusat fase antena

Pusat fase antena adalah pusat radiasi yang sebenarnya dan merupakan titik referensi yang digunakan dalam pengukuran sinyal secara elektronis. Titik sumber radiasi yang ideal akan mempunyai muka fase gelombang berbentuk bola serta pusat fase yang tetap. Karena satelit GPS selalu bergerak, maka pusat fase antena pun akan berubah dari waktu ke waktu.

8. Imaging

Imaging adalah suatu fenomena yang melibatkan benda konduktor yang berada dekat dengan antena. Radiasi dari antena akan menimbulkan arus induksi pada benda konduktor yang reflektif, sehingga benda tersebut akan membangkitkan pola radiasi tertentu sehingga seolah-olah menjadi antena tersendiri yang dapat dilihat sebagai bayangan (*image*) antena yang sebenarnya.

2.3.2 Pemantauan Aktivitas Sesar dengan Teknologi GPS

Aktivitas sesar yang dapat memicu terjadinya gempa bumi serta dapat menimbulkan banyak korban, baik korban jiwa maupun materi, merupakan salah satu alasan perlu dilakukannya pemantauan terhadap aktivitas sesar sehingga diharapkan dampak dari gempa dapat direduksi. Dengan memanfaatkan teknologi GPS, kita dapat melihat karakteristik dinamika geometrik di sekitar sesar dan dijadikan parameter dalam penentuan model aktivitas sesar.

Prinsip penentuan aktivitas sesar dengan menggunakan survei GPS adalah dengan cara menempatkan beberapa titik di beberapa lokasi yang dipilih, kemudian ditentukan koordinatnya secara periodik dengan menggunakan metode survei GPS.

Data yang diperoleh dari pengamatan survei GPS kemudian diolah dan dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak dan strategi yang sesuai untuk mendeteksi pergeseran akibat adanya aktivitas sesar.

Karakteristik pergeseran sesar yang diperoleh dari survei GPS di sesar yang diamati, kemudian diintegrasikan dengan informasi seismisitas, informasi histori aktivitas sesar dan informasi yang diperlukan lainnya untuk membuat model potensi gempa bumi. Selanjutnya model ini diharapkan dapat membantu upaya pemantauan potensi bahaya gempa.

2.4 Deformasi

2.4.1 Definisi Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu materi. Deformasi juga didefinisikan sebagai perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi baik secara absolut (ditinjau dari perilaku materi itu sendiri) maupun secara relatif (ditinjau dari materi lain) dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat gaya yang bekerja terhadap materi tersebut (Kuang, 1996).

2.4.2 Parameter - Parameter Deformasi

Parameter dasar dari deformasi dalam ruang tiga dimensi terdiri atas translasi rigid body, rotasi rigid body (translasi dan rotasi relatif dari suatu blok terhadap blok yang lainnya), tensor regangan dan diferensial rotasi.

Hubungan antara pergeseran yang terjadi dengan parameter-parameter deformasi dapat dinyatakan dengan model matematika berikut ini:

$$d = \begin{bmatrix} u(x, y, z; t - t_0) \\ v(x, y, z; t - t_0) \\ w(x, y, z; t - t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_u(x, y, z; t - t_0)e \\ B_v(x, y, z; t - t_0)e \\ B_w(x, y, z; t - t_0)e \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.1)$$

atau dapat juga ditulis:

$$d_{u, v, w}(x, y, z, t-t_0) = B_{u, v, w}(x, y, z, t-t_0) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

$d_{u, v, w}$: komponen vektor pergeseran titik (x, y, z) dalam arah $u(x)$, $v(y)$ dan $w(z)$ antar epoch t dan t_0

$B_{u, v, w}$: matriks desain

e : vektor koefisien parameter-parameter deformasi.

Matriks parameter e terdiri atas translasi, rotasi dan regangan (normal dan geser).

Matriks e dapat dihitung dengan:

$$e = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.3)$$

Jenis regangan (normal dan geser) dapat diperoleh dari tensor deformasi non-translasi yang diturunkan dari teori elastisitas tentang tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) suatu materi tiga dimensi.

Secara keseluruhan parameter-parameter deformasi dalam tiga dimensi dapat dilihat pada tabel 2.2 ini:

Tabel 2.2 Parameter-Parameter Deformasi

Sumbu	X	Y	Z
Translasi	a_x	a_y	a_z
Rotasi	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right)$	$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)$	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$
Regangan Normal	$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$	$\epsilon_x = \frac{\partial v}{\partial y}$	$\epsilon_x = \frac{\partial w}{\partial z}$
Sumbu	x-y	y-z	x-z
Rotasi	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right)$	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)$
Regangan Geser	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$	$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$

Parameter-parameter dasar deformasi inilah yang selanjutnya dicari dan diestimasi dari suatu objek yang terdeformasi menggunakan aktivitas survei deformasi secara geodetik.

2.4.3 Survei Deformasi dengan Metode Geodetik

Pada Tugas Akhir ini, penulis hanya membahas survei deformasi dengan metode geodetik. Survei deformasi dengan metode geodetik bertujuan untuk menentukan status geometrik dari deformasi yang terjadi dan informasi tentang respon materi yang terdeformasi sebagai akibat gaya yang bekerja terhadapnya. Sedangkan pengamatan dan informasi status fisik dari adanya deformasi dipelajari dalam bidang Geologi dan Geofisika melalui metoda-metoda keilmuannya. Status fisik yang diperoleh akan menjadi awal bagi kegiatan survei deformasi dalam bidang Geodesi.

Status geometrik yang dihasilkan dinyatakan dalam parameter-parameter deformasi yang akan menyatakan tipe deformasi, yaitu kontinu, tidak kontinu dan episodik dengan kecepatan linier atau mengalami percepatan.

Secara umum pengukuran deformasi dapat digolongkan menjadi tiga skala yaitu:

- Global, misalnya variasi rotasi bumi, pergerakan kutub bumi, pergerakan relatif antar lempeng
- Regional, misalnya pergerakan di dekat perbatasan lempeng (zona sesar transform, zona subduksi, zona obduksi dan zona pemekaran samudera).
- Lokal, misalnya aktifitas inflasi-deflasi vulkanologi, deformasi struktur buatan manusia (gedung, bangunan) atau *subsidence* suatu kota

2.4.4 Analisis Geometrik Deformasi

Analisis deformasi bertujuan untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu. Parameter-parameter deformasi ini didapat dari hasil pergeseran koordinat titik objek dari pengamatan yang dilakukan secara berkala.

Secara garis besar, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam analisis deformasi yaitu:

1. Penyelenggaraan kerangka dasar serta penentuan metode pengukuran yang tepat
2. Pengolahan serta analisis data
3. Analisis nilai pergeseran yang terjadi pada benda terdeformasi
4. Penentuan model deformasi yang tepat

Analisis geometrik dilakukan jika kita hanya tertarik pada status geometrik (ukuran dan dimensi) dari objek terdeformasi. Dengan menggunakan data hasil pengamatan, geodetik terhadap efek-efek respon suatu materi terhadap gaya yang bekerja padanya, maka disusun model matematik yang mewakili jenis deformasi.

Analisis geometrik terdiri dari dua jenis:

1. Pergeseran

Analisis pergeseran merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari perataan data pengamatan pada kala yang berbeda.

2. Regangan

Analisis regangan merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data pengamatan geodetik langsung atau menggunakan data regangan yang diperoleh dari data pengamatan geodetik perubahan posisi.

Selisih hasil pengamatan dua epoch (t_0 dan t) akan memberikan nilai vektor pergeseran d , dimana besaran-besaran pengamatan (L) dan vektor pergeseran mempunyai hubungan fungsional sebagai berikut:

$$L(t) = L(t_0) + dL(dx, dy, dz, t-t_0) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan 2.4 merupakan tipe analisis geometrik pergeseran. Selanjutnya untuk mendapatkan tipe analisis geometrik regangan, persamaan di atas diuraikan menjadi tiga bagian sesuai dengan jenis-jenis deformasi, yaitu translasi (T), rotasi (ω), dan regangan (ϵ), sebagai berikut :

$$L(t) = L(t_0) + T + (\omega + \epsilon) L(x, y, z, t_0) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana $d(dx, dy, dz, t-t_0) = T + (\omega + \epsilon) L(x, y, z, t_0)$ merupakan komponen pergeseran yang dapat diuraikan dalam deret polinomial:

$$\begin{aligned} d_x &= a_x + \epsilon_{xx}x + \epsilon_{xy}y + \epsilon_{xz}z + \omega_{xy}y + \omega_{xz}z \\ d_y &= a_y + \epsilon_{xy}x + \epsilon_{yy}y + \epsilon_{yz}z - \omega_{xy}y + \omega_{yz}z \\ d_z &= a_z + \epsilon_{xz}x + \epsilon_{yz}y + \epsilon_{zz}z - \omega_{xz}y - \omega_{yz}y \quad \dots\dots\dots(2.6) \end{aligned}$$

Untuk memecahkan parameter-parameter deformasi yang tidak diketahui tersebut, deret polinomial di atas dituliskan dalam bentuk matriks persamaan berikut:

$$d_{u,v,w}(x, y, z, t-t_0) = B_{u,v,w}(x, y, z, t-t_0) e \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana parameter-parameter deformasi yang tersusun dalam matriks e dapat diperoleh dengan hitung perataan sebagai berikut:

$$e = (B^T P B)^{-1} B^T P d \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Model geometrik deformasi dapat dinyatakan dalam model empirik dan model analitik. Model empirik menguraikan status geometrik deformasi menggunakan uraian persamaan matematis, seperti deret polinomial yang

telah disebutkan di atas. Model analitik merupakan metoda interpolasi yang ditujukan untuk memperoleh gambaran sebaran deformasi permukaan internal-eksternal bumi, baik dalam arah vertikal maupun horisontal.

2.5 Potensi Bahaya Gempa

Gempa bumi adalah salah satu bencana yang dapat menimbulkan dampak kerugian yang sangat besar. Wilayah Jawa Barat tergolong rawan gempa bumi, khususnya di wilayah pesisir selatan. Karena dikawasan lepas pantai selatan Jawa Barat terdapat zona subduksi aktif, pertemuan dua lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Di wilayah ini juga terdapat patahan (sesar) Cimandiri. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, sesar Cimandiri merupakan sesar aktif. Sesar aktif adalah bidang/zona rekahan pada kerak bumi, dimana bagian bumi di kedua sisi rekahan tersebut bergerak relatif terhadap satu dengan yang lainnya. Catatan sejarah kejadian gempa bumi memberikan informasi tentang aktivitas suatu patahan. Data sejarah kegempaan juga sangat penting untuk mengetahui tingkat potensi gempa dari suatu patahan/sesar. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu analisis untuk memprediksi potensi bahaya gempa agar dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan bila terjadi gempa di sekitar sesar Cimandiri, apalagi kawasan ini merupakan kawasan padat penduduk.

Pada Tugas Akhir ini, potensi bahaya gempa pada sesar Cimandiri dihitung dengan menggunakan metoda deterministik. Metoda deterministik merupakan cara analisis yang hanya mengambil satu kejadian gempa maksimum yang kredibel sebagai dasar analisis, yang terdiri dari 4 langkah (Irsyam, 2008) :

1. Identifikasi dan karakterisasi semua sumber gempa yang berpotensi menghasilkan *ground motion* yang signifikan.
2. Penentuan parameter jarak sumber gempa ke lokasi kajian untuk setiap sumber gempa
3. Seleksi gempa yang diperkirakan akan menghasilkan guncangan terbesar dengan cara membandingkan guncangan yang dihasilkan gempa pada jarak dan lokasi tertentu atau dikenal dengan istilah *controlling earthquake*.
4. Mendefinisikan karakter dari resiko gempa pada wilayah kajian, seperti percepatan puncak, kecepatan puncak dan ordinat respon spektrum.

Hasil analisis dengan metode deterministik memberikan kontribusi terbesar yang berada pada kisaran jarak dan magnitudo tertentu.

Ada tiga parameter utama yang menentukan besarnya kontribusi suatu sesar aktif terhadap potensi bahaya kegempaan di suatu wilayah. Parameter itu adalah:

- a. Besar magnitudo/kekuatan dan karakteristik gempa bumi yang dapat terjadi pada sesar tersebut. Kekuatan gempa bumi yang dapat dihasilkan dari suatu sesar aktif dapat dilihat dari sejarah gempa yang pernah terjadi di masa lalu. Magnitudo maksimum dari catatan kegempaan yang pernah terjadi di daerah tersebut dapat dijadikan sebagai magnitudo maksimum jika catatan tersebut cukup lama dibandingkan dengan periode ulang gempa maksimum yang mungkin terjadi.

Bila catatan kegempaan yang ada masih sedikit, maka untuk menentukan magnitudo maksimum dapat menggunakan formula *Well and Coppersmith (1994)*:

$$M_{\max} = 5.08 + 1.16 \log L_f \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana,

M_{\max} = momen *magnitude* (M_w)

L_f = panjang sesar/patahan (*fault*)

- b. Karakteristik *slip-rate* sesar yang terkait dengan periode ulang gempa bumi. Periode ulang suatu gempa pada suatu sesar adalah waktu rata-rata diantara kejadian gempa tersebut. Informasi ini sangat penting untuk evaluasi tingkat bahaya/resiko dari suatu sesar aktif, khususnya dalam menentukan probabilitas kejadian suatu gempa untuk masa datang. Perkiraan periode ulang dapat dianalisis dari sejarah kegempaan yang pernah terjadi di wilayah sesar tersebut. Jika sejarah dan catatan kegempaan yang ada di suatu wilayah masih sedikit, maka untuk menentukan periode ulang gempa di suatu wilayah untuk kejadian magnitudo maksimum dalam kaitannya dengan laju geser (*slip-rate*), dapat menggunakan formula *Well and Coppersmith (1994)*:

$$T_{\max} = \left(\frac{1000}{\text{slip-rate}} \right) 10^{(-5.46 + 0.82 M_{\max})} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana,

M_{\max} = momen magnitudo maksimum (M_w)

T_{\max} = periode ulang kejadian momen magnitudo maksimum (M_w)

c. Nilai percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration/PGA*)

Nilai percepatan tanah maksimum pada suatu titik bergantung pada jarak tiap titik terhadap episenter. Selain itu, bergantung juga pada magnitudo maksimum karena semakin besar magnitudo suatu gempa maka semakin besar pula percepatan gerakan tanahnya. Hal ini dapat dirumuskan:

$$A = 1080 e^{0.5M} / (R+25)^{1.32} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

A= percepatan gerakan tanah (PGA), dalam cm/s^2

M= magnitudo maksimum

R= jarak ke hiposenter (km)