

## **BAB II**

### **FAKTOR PENYEBAB TERJADINYA PENURUNAN PERMUKAAN TANAH**

#### **2.1 Morfologi dan Klasifikasi Lapisan Tanah**

Tanah menempati ruang antara atmosfer (lapisan udara) dan litosfir (lapisan batu-batuan yang menyusun bumi) serta berbatasan juga dengan hidrosfir (lapisan air). Dikarenakan tanah adalah tempat tumbuhnya tanaman dan hewan maka tanah dapat juga dimasukkan kedalam biosfir. Tanah merupakan sistem tiga dimensi dengan sifat dan ciri yang mencerminkan pengaruh dari (1) iklim, (2) vegetasi, hewan dan manusia, (3) topografi, (4) bahan induk tanah dan (5) rentang waktu yang berbeda. Akibat interaksi antara kekuatan fisika, kimia serta biologi pada batu-batuan dan bahan induk tanah maka terbentuklah beragam jenis tanah yang mempunyai sifat dan ciri yang berbeda. Bentuk luar dari tanah yang beragam ini dapat diamati dilapangan [5].

Ilmu yang mempelajari bentuk dan sifat-sifat tanah yang dapat diamati dan dipelajari di lapangan disebut morfologi tanah. Pengamatan bentuk luar tanah (morfologi) dilakukan dilapangan dengan cara menggali lobang didalam tanah yang disebut profil tanah. Pada dinding profil tanah akan terlihat lapisan-lapisan tanah yang mempunyai warna yang berbeda dan sejajar dengan permukaan tanah. Lapisan-lapisan tanah ini disebut horison, yang merupakan bentuk fisik tanah yang pertama kali diamati dilapangan. [5]

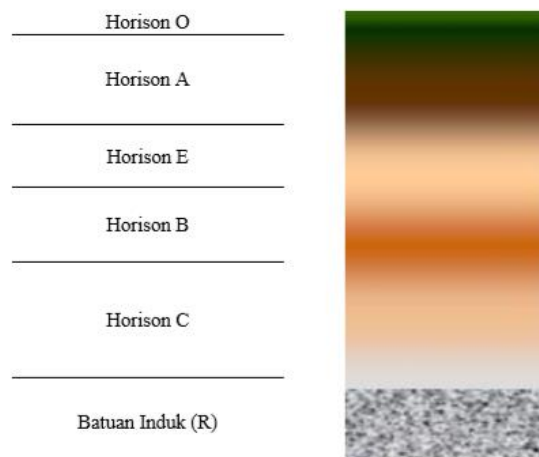
Bentuk lainnya yang dapat diamati adalah warna, tekstur, konsistensi, struktur, kutan, konkresi dan nodul, pori-pori tanah dan batas horison. Berdasarkan hasil pengamatan morfologi tanah di lapangan ini maka didapatkan bentuk fisik tanah yang sama atau berbeda antara satu tanah dengan tanah lainnya [5].

##### **2.1.1 Pembentukan Lapisan Tanah**

Horison adalah suatu lapisan tanah yang terletak hampir paralel (sejajar) dengan permukaan tanah, mempunyai ketebalan minimal dan

dibedakan berdasarkan warna, tekstur, struktur, konsistensi dan sifat-sifat lainnya yang dapat diamati di lapangan. Horizonisasi merupakan suatu proses yang menyebabkan bahan induk terdiferensiasi menjadi profil tanah dengan sejumlah horison [5]. Berdasarkan letaknya, horison penciri tanah dibagi dua yaitu horison permukaan tanah bagian atas (epipedon) dan horison bawah permukaan tanah [5]. Sedangkan berdasarkan bahan penyusunnya, horison tanah dibedakan atas horison organik tanah (O) dan horison mineral tanah (yang terdiri dari horison A, B, C dan R). Topografi batas horison dibagi menjadi empat kelas yaitu [5]:

1. Rata, jika batas horison hampir datar;
2. Berombak, jika batas horison membentuk lengkungan berulang dan teratur;
3. Tidak teratur, batas horison membentuk lengkungan berulang yang tidak teratur; sedangkan
4. Patah, jika batas horison terputus atau memotong horison lainnya yang di atas atau di bawah. [5]

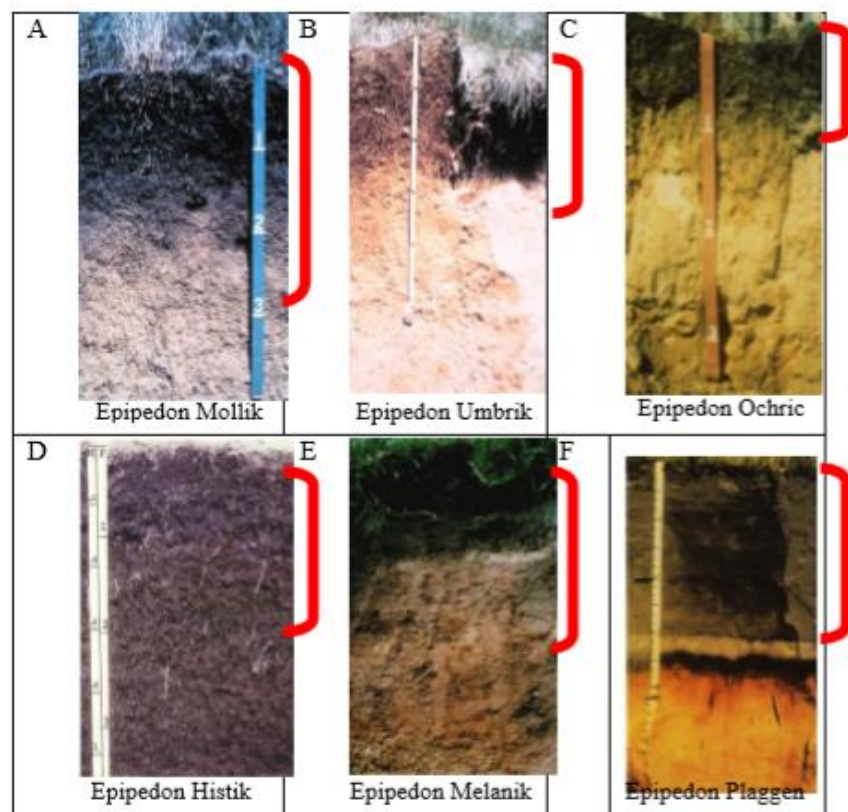


Gambar 2.1. Susunan horizon utama pada suatu profil tanah

( [5] )

Lapisan batuan induk merupakan lapisan yang terdiri atas berbagai batuan padat, sehingga sangat sulit ditembus oleh air dan akar tanaman. Karakteristik bebatuan pada lapisan ini cenderung cukup rapuh dan mudah

pecah, sehingga memungkinkan terjadinya penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah, dan biasanya terjadi di daerah yang berkapur [3]. Epipedon adalah horison diagnostik yang terbentuk di permukaan tanah dan struktur batuanannya telah hancur. Epipedon berwarna cukup gelap akibat dekomposisi bahan organik ataupun telah mengalami eluviasi. Epipedon bukan merupakan horizon A saja tetapi dapat juga meliputi horizon B-iluvial jika tanah masih berwarna gelap oleh bahan organik. Epipedon penciri yang dapat dijumpai pada tanah dapat berupa epipedon antropik, folistik, histik, melanik, mollik, okrik, plaggen dan umbrik. [5]



Gambar 2.2. Perbedaan morfologi beberapa epidon penciri

(Soil survey staff, 1999 [5])

Horison-horison ini terbentuk di bawah permukaan tanah. Horison bawah-permukaan ini dapat digolongkan sebagai horizon agrik, albik, argillik, kalsik, kambik, duripan, fragipan, glossik, gypsik, natrik, orstein, oksik, petrokalsik, petrogypsik, placik, salik, sombrik, dan spodik [5].

Klasifikasi tanah adalah ilmu yang mempelajari cara-cara membedakan sifat-sifat tanah satu sama lain dan mengelompokkan tanah kedalam kelas-kelas tertentu berdasarkan atas kesamaan sifat yang dimiliki [5]. Sistem klasifikasi tanah yang dibuatlah oleh para ahli survey dan klasifikasi tanah (*Soil Survey Staff*) Amerika Serikat dengan nama Taksonomi Tanah (*Soil Taxonomy*) dapat dikatakan lebih maju dan lengkap bila dibandingkan dengan sistem klasifikasi tanah dari negara lainnya. Taksonomi merupakan gabungan 2 kata yaitu *taxis* dan *nomos* yang berasal dari Bahasa Yunani. *Taxis* berarti susunan sedangkan *nomos* adalah hukum atau aturan. Jadi taksonomi tanah berarti aturan tentang tanah yang disusun secara sistematis [5]. Departemen Pertanian Amerika Serikat (United States Department of Agriculture/ USDA) telah menyusun suatu sistem klasifikasi yang dinamakan Taksonomi Tanah (*Soil Taxonomy*). Untuk mengklasifikasikan tanah, sistem Taksonomi Tanah menggunakan dua kategori yaitu kategori tertinggi dan terendah. Urutan kategori ini adalah: Ordo, Subordo, Great Group, Subgroup, Famili dan Serie. Indonesia mengeluarkan sistem klasifikasi tanah sendiri yang dibuat pertama kali oleh Dudal dan Suprptocharjo (1957) dan Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor tahun 1982. Pada waktu dilaksanakannya kongres ilmu tanah se Indonesia tahun 2011, disepakati untuk menyusun Sistem Klasifikasi Tanah Indonesia. Sistem klasifikasi tanah yang dibuat oleh Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor tahun 1982 merupakan pengembangan dan modifikasi dari sistem klasifikasi tanah yang dibuat oleh Dudal Dan Suprptocharjo tahun 1957 dan 1961. Sistem yang dibuat oleh Dudal dan Suprptocharjo digunakan untuk keperluan survey tanah di Indonesia. Sistem ini mirip dengan sistem klasifikasi Amerika Serikat tahun 1937 serta sistem Thorp dan Smith tahun 1949. Modifikasi sistem klasifikasi tanah Indonesia juga dilakukan setelah dikeluarkannya sistem klasifikasi tanah FAO/UNESCO pada tahun 1974. Dalam sistem klasifikasi tanah PPT-Bogor dikenal 20 golongan tanah yaitu Organosol, Litosol, Ranker, Rendzina, Grumosol, Gleisol, Aluvial, Regosol, Koluvial, Arenosol, Andosol, Latosol, Brunizem, Kambisol, Nitosol, Podsolik, Mediteran, Planosol, Podsol, Oksisol [5].

## 2.2 Cekungan Air Tanah

Menurut Keputusan Presiden No. 25 Tahun 2011 Tentang Penetapan Cekungan Air Tanah (CAT), wilayah daratan Indonesia dibagi menjadi daerah CAT dan Bukan (Non) CAT atau CAT Tidak Potensial. [6]

Wilayah groundwater merupakan cekungan air tanah (*groundwater basin*) yang terbagi dalam air tanah bebas yaitu air tanah yang berada atau di dalam akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan air tanah tertekan yaitu air tanah yang berada atau di dalam akuifer tertekan (*confine aquifer*). Sedangkan soilwater adalah air di dekat permukaan tanah atau di daerah *soil zone* (umumnya) tempat akar tanaman mencari dan mendapatkan air. [6]

Dari data geologi yang ada keberadaan cekungan air tanah (CAT) umumnya terjadi pada jaman kuarter yang terdiri atas *Pleistocene Epoch* dan *Holocene Epoch*. Ada beberapa CAT di Indonesia yang terjadi pada sebelum zaman kuarter tersebut. Pada zaman ini dan zaman sebelumnya diyakini manusia belum ada. Proses kejadian manusia hingga seperti saat kita hidup ini mengalami suatu evolusi mulai dari Homo Habilis lalu Homo Erectus dan menjadi homo Sapiens. Zona di bawah zona *soil water* adalah zona tengah (*intermediate vsdose zone*). Meskipun sebagian besar pada zona ini bergerak ke bawah, namun sebagian ada yang tertahan tetapi tidak dapat diambil. Pada daerah lembah (daerah basah), zona ini sangat sedikit atau bahkan tidak ada. Kemungkinan kecil air mengalir semuanya melewati zona tengah pada daerah kering dan sebagian kecil air mencapai muka air tanah (*groundwater*) karena perkolasi aliran dari *soil water*. [6]

Di daerah CAT air mengalir di dalam tanah baik di tanah dangkal maupun di tanah dibawahnya. Di *groundwater zone* air mengalir pada akuifer baik akuifer bebas (*unconfined aquifer*) maupun akuifer tertekan *confined aquifer*. Di daerah *discharge area* dari *unconfined aquifer* yaitu tempat air tanah keluar atau daerah lepasan air tanah dalam satu sistem pembentukan air tanah pada kondisi tertentu bisa menyatu dengan *soil zone*. Dengan kata lain pada kondisi topografi tertentu *soil water* (di tanah dangkal) menyatu dengan *groundwater*. *Groundwater zone* ini disebut sebagai cekungan air tanah (CAT). Air juga mengalir di daerah Non-CAT baik di dalam tanah maupun di permukaan tanah. Di dalam tanah daerah Non-CAT

air mengalir hanya di daerah aliran air karena tidak ada. Di permukaan tanah daerah CAT maupun Non-CAT air mengalir sebagai aliran permukaan (*run-off*) di daerah aliran sungai dan di sistem sungainya. [6]

### 2.3 Penurunan Permukaan Tanah

Penurunan muka tanah didefinisikan sebagai penurunan tanah relatif terhadap suatu bidang referensi tertentu yang dianggap stabil. Penurunan muka tanah dapat terjadi secara perlahan atau juga terjadi secara mendadak. Banyak kejadian penurunan muka tanah berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan muka tanah yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun untuk penurunan muka tanah yang bersifat secara perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah, biasanya terjadi di daerah yang berkapur [3].

Penurunan tanah dapat terjadi baik secara lokal maupun regional. Kondisi tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor penyebab, antara lain sebagai berikut [3]:

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas penambangan). [3]

Beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah yaitu:

1. Pengambilan air tanah yang berlebihan.
2. Penurunan karena beban bangunan.
3. Konsolidasi alamiah lapisan tanah.
4. Gaya-gaya tektonik.
5. Ekstraksi gas dan minyak bumi.
6. Penambangan bawah tanah.
7. Ekstraksi lumpur.
8. Patahan kerak bumi.
9. Kontraksi panas bumi di lapisan litosfer. [7]

### **2.3.1 Parameter Penurunan Permukaan Tanah (*Land subsidence*)**

Penurunan muka tanah dapat disebabkan oleh proses alami maupun proses antropogenik (ulah manusia). Penurunan tanah alami terjadi baik dari pemuatan sedimen isostatik maupun pepadatan alami endapan holosen dari aktivitas tektonik dan vulkanik. Penurunan muka tanah akibat proses antropogenik dihasilkan dari proses seperti pengambilan cairan, penggalian (terowongan konstruksi atau pertambangan), perubahan drainase air permukaan, dan pemuatan sedimen. Faktor ulah manusia cenderung memiliki dampak yang lebih besar dalam fenomena penurunan tanah daripada faktor alami. Semakin cepat cairan diekstraksi, semakin cepat pula penurunan level muka air tanah dan semakin cepat terjadi penurunan muka tanah. Pola spasialnya bervariasi dari tambal sulam hingga skala besar, hingga korelasinya dengan penggunaan lahan. Pengerukan tanah menginduksi penurunan tanah dengan karakteristik yang mirip dengan pengambilan air tanah akan tetapi bedanya merupakan hasil dari aktivitas penambangan dan terowongan. Perubahan drainase air permukaan, seperti reklamasi lahan, urbanisasi, dan kegiatan pertanian, menciptakan penurunan melalui mekanisme yang sama seperti penurunan oleh pepadatan alami. [4].

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka bobot untuk setiap parameter pendukung *land subsidence* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Skor/Bobot *Land Subsidence* Provinsi Lampung

Parameter	Bobot
Perubahan penutup lahan	40%
Penggunaan air tanah	40%
Jenis tanah	20%

### 2.3.1.1 Tutupan Lahan

Penutupan lahan menggambarkan konstruksi vegetasi dan buatan yang menutup permukaan lahan [8]. Penutupan lahan (*land Cover*) merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung sistem kehidupan pada suatu kawasan, semakin baik jenis penutupan lahan atau vegetasi hutannya maka dapat diasumsikan bahwa kawasan tersebut memiliki nilai keanekaragaman hayati yang tinggi. Perubahan penutupan lahan, baik yang diakibatkan oleh aktifitas manusia maupun berubah secara alami di nilai sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas lingkungan, keanekaragaman hayati dalam mendukung kehidupan pada suatu kawasan [9]. Kondisi tutupan lahan berpengaruh terhadap penyebab penurunan muka tanah. Maka diperlukan identifikasi tutupan lahan pada wilayah penelitian. Jenis tutupan lahan yang paling berpengaruh terhadap penurunan muka tanah diantaranya adalah kawasan industri, pelabuhan, lahan pemupukan, perkantoran, fasilitas pendidikan dan olahraga, serta fasilitas kesehatan dan perumahan mewah. [10]

Tinjauan pengaruh beban bangunan terhadap laju penurunan tanah dilakukan dengan melakukan analisis geospasial terhadap kondisi tutupan lahan. Untuk memberikan penilaian terhadap pengaruh beban bangunan terhadap penurunan muka tanah maka perlu ditetapkan suatu nilai sebagai skala pembebanan [10]. Dalam menghitung skala pembebanan langkah - langkah yang dilakukan adalah:

1. Melakukan identifikasi tutupan lahan dalam radius 500 m dari titik pantau penurunan muka tanah sebagai berikut:



- Industri terdiri dari kawasan industri, pelabuhan, terminal, dan lahan penumpukan;
  - Perdagangan dan jasa terdiri dari perkantoran, ruko, pertokoan, fasilitas pendidikan dan olahraga, fasilitas kesehatan dan perumahan mewah;
  - Pemukiman;
  - Lahan terbuka terdiri dari rawa/tambak, lahan kosong, dan laut. [10]
2. Memberikan bobot nilai dari masing - masing jenis tutupan lahan yang sudah ditentukan yaitu industri = 4, perdagangan dan jasa = 3, pemukiman = 2 dan lahan kosong = 1. [10]
  3. Menentukan persentase luasan lahan dari masing masing jenis tutupan lahan. [10]
  4. Menghitung skala pembebanan dari masing - masing jenis tutupan lahan yaitu dengan mengalikan persentase luasan lahan dengan bobot nilai. [10]
  5. Skala pembebanan total dihitung dengan menjumlahkan skala pembebanan dari masing - masing jenis tutupan lahan. Skala pembebanan dibagi menjadi 3 yaitu rendah (skala 1 - 2), sedang (skala 2 - 3) dan tinggi (skala 3 - 4) [10].

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap tutupan lahan di Provinsi Lampung, maka skor parameter perubahan penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 2.2 hingga Tabel 2.7.

Tabel 2.2. Bobot/Skor perubahan penutup lahan lokasi industri

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Lokasi industri - Lokasi Industri	0,40
Lokasi industri - Perdagangan dan Jasa	0,35
Lokasi industri - Pemukiman	0,30
Lokasi industri - Perkebunan/Pertanian	0,25
Lokasi industri - Lahan kosong	0,20
Lokasi industri - Hutan	0,15

Tabel 2.3. Bobot/Skor perubahan penutup lahan perdagangan dan jasa

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Perdagangan dan jasa - Lokasi Industri	0,35
Perdagangan dan jasa - Perdagangan dan Jasa	0,30
Perdagangan dan jasa - Pemukiman	0,25
Perdagangan dan jasa - Perkebunan/Pertanian	0,20
Perdagangan dan jasa - Lahan kosong	0,15
Perdagangan dan jasa - Hutan	0,10

Tabel 2.4. Bobot/Skor perubahan penutup lahan pemukiman

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Pemukiman - Lokasi Industri	0,30
Pemukiman - Perdagangan dan Jasa	0,25
Pemukiman - Pemukiman	0,20
Pemukiman - Perkebunan/Pertanian	0,15
Pemukiman - Lahan kosong	0,10
Pemukiman - Hutan	0,05

Tabel 2.5. Bobot/Skor perubahan penutup perkebunan/pertanian

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Perkebunan/Pertanian - Lokasi Industri	0,30
Perkebunan/Pertanian - Perdagangan dan Jasa	0,25
Perkebunan/Pertanian - Pemukiman	0,20
Perkebunan/Pertanian - Perkebunan/Pertanian	0,15
Perkebunan/Pertanian - Lahan kosong	0,10
Perkebunan/Pertanian - Hutan	0,05

Tabel 2.6. Bobot/Skor perubahan penutup lahan lahan terbuka

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Lahan kosong - Lokasi Industri	0,25
Lahan kosong - Perdagangan dan Jasa	0,20
Lahan kosong - Pemukiman	0,15
Lahan kosong - Perkebunan/Pertanian	0,10

Lahan Kosong - Lahan kosong	0,05
Lahan kosong - Hutan	0

Tabel 2.7. Bobot/Skor perubahan penutup lahan hutan

Jenis Penutup	Bobot/Skor
Hutan - Lokasi Industri	0,20
Hutan - Perdagangan dan Jasa	0,15
Hutan - Pemukiman	0,10
Hutan - Perkebunan/Pertanian	0,05
Hutan - Lahan kosong	0,03
Hutan - Hutan	0

### 2.3.1.2 Penggunaan Air Tanah

Perkembangan penduduk dan peningkatan taraf hidup mengakibatkan kebutuhan akan air bersih meningkat, untuk memenuhi kebutuhan pokok akan air maka penyedotan air tanah secara berlebihan, Banyaknya sumur pompa menjadi salah satu penyebab mempercepat penurunan permukaan tanah sehingga tanpa disadari bahwa tanah yang kita pijak makin lama makin turun. Untuk mencegah penurunan tanah akibat pemompaan yakni dengan mengetahui kondisi struktur tanah di lokasi pompa sehingga dapat di atur jumlah maksimal debit air yang dipompa dan sebaran sumur pompa pada suatu daerah. Jika jumlah total pengambilan air tanah dari suatu sistem akuifer melampaui jumlah rata-rata imbuhan, maka akan terjadi penurunan muka air tanah secara menerus serta pengurangan cadangan air tanah dalam akuifer. Jika ini hal ini terjadi, maka kondisi demikian disebut pengambilan berlebih (*over exploitation*), dan penambangan air tanah terjadi. [2]

Penggunaan sumberdaya air untuk kegiatan industri umumnya digunakan untuk proses produksi, pendinginan, pembuangan limbah. Kawasan industri cenderung memilih menggunakan air tanah oleh karena PDAM tidak mampu memenuhi permintaan industri. Disamping itu, lokasi

industri yang bertepatan di atas CAT menjadi pendorong bagi mereka untuk memanfaatkan potensi yang ada. Disamping biaya yang lebih murah, kontinuitasnya lebih terjamin [11].

Kawasan industri merupakan kawasan yang paling banyak menggunakan airtanah untuk melakukan proses produksi. Pengambilan airtanah terjadi karena adanya pengaruh dari pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin tinggi, hal ini mengakibatkan kebutuhan akan air semakin besar. Kebutuhan air yang besar mendorong manusia untuk mencari pengganti air sungai yang merupakan sumber utama air bersih mulai tercemar oleh berbagai macam limbah. [12]

Salah satu penyebab berkurangnya volume air tanah adalah dikarenakan penggunaan untuk keperluan rumah tangga yang terjadi di area pemukiman yang cukup padat. Berikut tabel sebagian fakta berkaitan dengan masalah kekeringan air tanah dan banjir bandang di Provinsi Yogyakarta yang dijadikan sebagai salah satu referensi dalam menentukan besaran bobot/ skor yang diberikan. [13]

Tabel 2.8. Masalah Kekeringan Air Tanah dan Banjir Bandang

No.	Masalah	Penyebab	Sumber
1	Air tanah di jogja turun 30 cm per tahun	Ruang resapan berkurang karena permukiman baru	ESDM DIY Harian Jogja 21/9/2014
2	Sumur mengering di Yogyakarta	Industri Hotel mengambil air berlebihan	ESDM DIY Bara news.co 21/9/2014
3	Kualitas dan Kuantitas Air Terus Turun di Jogja	Lahan sawah menjadi permukiman dan sumur resapan limbah terlalu dekat dengan sumur	PSLH UGM, Harian Umum Pelita 21 September
4	20% resapan hilang	Resapan berubah fungsi menjadi permukiman	Jogjasiaga bencana 9 Juli 2013
5	Sumur kering Jogja	Air tanah tersedot hotel	Tribun
6	Banjir bandang Jogja	Hilangnya resapan menjadi permukiman dan rusak oleh erupsi	Jogjasiaga bencana 3 Januari 2012
7	5-7 siswa Hanyut Akibat Banjir Bandang di Yogyakarta	Sungai Bedog banjir mendadak karena hilangnya resapan.	NetNews
8	50 Ribu Jiwa di Yogyakarta Terancam Banjir	Tingginya curah hujan	BPBD DIY (Tempo.com)

(Sumber: [13])

Berdasarkan contoh Tabel 2.8 dapat diambil sebuah hipotesa bahwasannya penggunaan air tanah di Kawasan industry serta pemukiman berdampak besar terhadap menurunnya muka air tanah.

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap pola penggunaan air tanah di Provinsi Lampung, maka skor parameter penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.9. Bobot/skor penggunaan air tanah

Jenis Kegiatan	Bobot/Skor
Industri	0,40
Rumah tangga	0,30
Tambak	0,25
Pertanian/Perkebunan	0,20
Lainnya	0

### 2.3.1.3 Litologi

Litologi merupakan deskripsi batuan pada singkapan berdasarkan karakteristiknya, seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butir sinonim dengan petrografi. Dalam sumber berbeda litologi diartikan sebagai deskripsi batuan pada singkapan berdasarkan karakteristiknya seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butirnya [14]. Litologi merupakan karakteristik fisik dari batuan. Batuan itu sendiri merupakan gabungan mineral sejenis atau tidak sejenis seperti: granit, marmer, serpih atau tubuh materi mineral yang tidak dapat dipisah-pisahkan seperti obsidian atau materi organik padat seperti batubara [14]. Dalam sudut pandang geologi, batuan tidak harus keras dan kompak. Lumpur, pasir, dan tanah liat termasuk batuan [14]. Berdasarkan kondisi fisik batuan dalam kaitannya dengan kemampuan batuan untuk menyimpan air tanah, terdapat dua jenis lapisan yang dapat menyimpan air tanah, yaitu akuifer (*Aquifer*) dan Akiklud (*Aqiclude*). Akuifer adalah lapisan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan air dalam jumlah yang ekonomis, contohnya pasir, kerikil, batu pasir. Sedangkan akiklud adalah lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan dalam jumlah yang berarti, misalnya lempung, serpih, tuf halus, lanau. [15]

Proses kompresi atas tanah/stratum tanah oleh beban struktur sehingga terjadi pengecilan angka pori (void ratio ( $e$ )) diikuti dengan keluarnya air dengan menampakkan pemadatan (wujud penurunan, *settlement* struktur tanah) dapat dikatakan sebagai konsolidasi. [15]

Pengamatan tanah kohesif jenuh air menerima beban penurunan yang terjadi dapat disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu [15]:

1. Penurunan seketika (penurunan elastis) terjadi pada saat beban diberikan dan diterima oleh air pori sehingga timbul tegangan air pori pada tanah berpermeabilitas rendah untuk sementara tidak ada air pori yang terdisipasikan (tanah dalam kondisi *undrained*) tanah akan terdeformasi tanpa mengalami perubahan volume, sehingga deformasi vertikal (penurunan) akan diikuti pengembangan ke arah lateral.
2. Penurunan konsolidasi (primer) terjadi bersamaan dengan terdisipasinya air pori. Akibat penurunan yang terjadi disertai dengan perubahan volume. Tegangan air pori diteruskan ke partikel tanah menjadi tegangan efektif tanah. Kecepatan terjadinya konsolidasi tergantung kecepatan keluarnya air pori, yang merupakan fungsi permeabilitas tanah dan batas-batas drainase. [15]
3. Penurunan sekunder dan penurunan jangka panjang yang terjadi setelah seluruh tegangan air pori terdisipasi dan tegangan efektif tanah konstan. Deformasi ini terjadi akibat efek rangkak (*drained creep*). [15]

Besarnya ketiga macam penurunan tergantung pada jenis tanah, kompresibilitas tanah, sejarah tegangan (*stress history*), besar dan kecepatan pembebanan dan perbandingan luas bidang pembebanan terhadap ketebalan tanah kompresif [15].

Berdasarkan data litologi yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 terdapat 19 jenis batuan penyusun endapan dengan penjelasan sebagai berikut:

- Batu alluvial merupakan endapan sekunder hasil rombakan batuan di permukaan yang telah terbentuk sebelumnya. Endapan terdiri dari material lepas berupa lempung, pasir, bongkahan andesit, granit, dan batusabak. [16]. Terjadinya *land subsidence* disebabkan akibat material penyusun wilayah berupa klastika halus (alluvium) yang mengalami normal konsolidasi [15]
- Batu breksi merupakan endapan karbonat yang terbentuk akibat pelarutan kalsium karbonat.
- Batuan konglomerat memiliki fragmen pembentuk yang terdiri dari material membundar berukuran 2->256 mm, dimana material tersebut merupakan fragmen batuan lain yang tertransportasi, terendapkan, dan tersemenkan menjadi lapisan/endapan baru.
- Batu lempung merupakan batuan yang bersifat plastis saat basah dan tidak lulus air (*impermeable*).
- Batu pasir umumnya bersifat poros dan lulus air (*permeable*) yang memiliki tekstur berbutir halus-sedang.
- Batu serpih merupakan batu yang mudah pecah pada bidang perlapisan serta memiliki tekstur yang berbutir halus dan berlapis tipis.
- Batuan beku intrusi merupakan batuan yang terbentuk akibat aktivitas magma yang terjadi di bagian kawah magma maupun akibat pembekuan magma jauh didalam bumi, batuan ini biasanya berbentuk kristal.
- Batugamping terumbu merupakan bagian dari batuan sedimen dimana pembentukannya terjadi akibat kompaksi dari material batuan beku, batuan sedimen lain dengan ukuran yang beragam.
- Batuan lava merupakan batuan gunung api hasil pembekuan magma.
- Batuan metamorf merupakan batuan beku atau batuan sedimen yang termalihkan (terubah) di dalam bumi akibat tekanan dan

temperatur yang sangat tinggi yang mengakibatkan perubahan sifat fisik dan kimia dari batuan asal.

- Batuan piroklastik merupakan batuan hasil dari aktivitas vulkanik gunung api. [14]

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap data litologi di Provinsi Lampung, maka skor parameter litologi dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.10. Bobot/Skor jenis batuan

Jenis Batuan	Bobot/Skor
Batu alluvial	0,20
Batu lempung	0,20
Batu pasir	0,15
Batu serpih	0,15
Breksi vulkanik	0,10
Lava intermediet	0,10
Lava mafik	0,10
Metamorf kuarsit	0,10
Metamorf marmet	0,10
Metamorf metasedimen	0,10
Metamorf sekis	0,10
Piroklastik	0,10
Batu breksi	0,10
Batu Konglomerat	0,10
Batugamping terumbu	0,05
Batuan beku intrusi mafik	0,05
Batuan beku intrusi felsik	0,05
Batuan beku intrusi granitoid	0,05
Batuan beku intrusi intermediet	0,05

## 2.4 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melihat penurunan muka tanah yaitu dengan melakukan pengukuran GNSS secara berkala di titik yang sama.



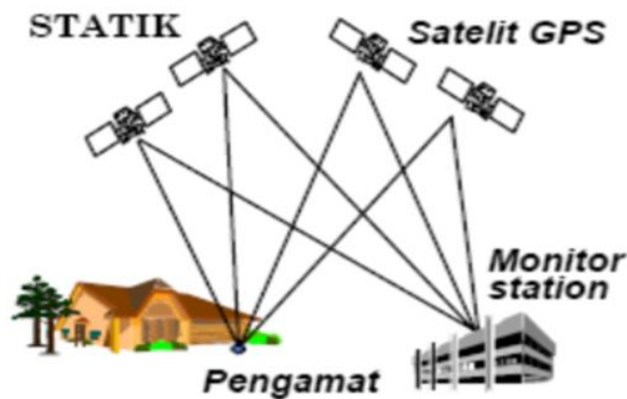
Penentuan lokasi titik pemantauan/pengamatan penurunan muka tanah mempertimbangkan jarak dengan *benchmark* yang sudah ada sebelumnya (stasiun SUGAR dan InaCORS) tidak saling berdekatan, titik tersebut merupakan lahan umum/bukan milik pribadi, serta memiliki kesalahan *multipath* yang cenderung kecil. [17]

GNSS merupakan teknologi yang digunakan untuk menentukan posisi atau lokasi (lintang, bujur dan ketinggian) serta waktu dalam satuan ilmiah di bumi. Satelit akan mentransmisikan sinyal radio dengan frekuensi tinggi yang berisi data waktu dan posisi yang dapat diambil oleh penerima yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasi tepat mereka di permukaan bumi. [17]

Survei GNSS pada prinsipnya bertumpu pada metode-metode penentuan posisi statik secara diferensial dengan menggunakan data fase. Pengamatan satelit GNSS umumnya dilakukan *baseline* per-*baseline* selama selang waktu tertentu dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya [17].

Ada tiga macam tipe *receiver* dalam metode GNSS, yaitu: tipe navigasi (*handheld*), tipe geodetik *single frequency* dan tipe geodetik *dual frequency* [17]. Dalam studi geodinamika seperti penurunan muka tanah menggunakan metode *static differential*. Berikut efektivitas dari metode *static differential* sangat tergantung pada faktor-faktor, sebagai berikut:

1. Jarak antara titik referensi dengan titik yang akan ditentukan posisinya (*baseline*), dimana semakin pendek *baseline* semakin efektif pengamatan yang dilakukan terhadap satelit yang sama antar titik-titik *baseline*.
2. Lama pengamatan yang dilakukan, dimana semakin lama pengamatan akan semakin banyak data posisi yang diterima oleh *receiver* dari satelit.
3. Strategi pengolahan data, dimana dalam studi potensi gempa bumi biasanya dilakukan dengan menggunakan *software* ilmiah seperti GAMIT dan *Bernesse* [17].



Gambar 2.3 Metode *Static Differential* [17]

Dalam melakukan pengamatan menggunakan GNSS terdapat kesalahan bias dan sumber kesalahan. Berikut bias dan sumber kesalahan pada pengamatan GNSS adalah:

1. Kesalahan orbit satelit, merupakan kesalahan pada letak/posisi orbit satelit yang dimana tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya.
2. *Cycle slips*, merupakan kesalahan ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang yang diterima karena data pengamatan sinyal oleh *receiver* terputus oleh hal tertentu.
3. *Multipath*, merupakan kesalahan pada lintasan yang melalui dua atau lebih karena efek pantulan benda-benda di sekitar pengamat.
4. Ambiguitas fase, merupakan kesalahan jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh *receiver*.
5. Kesalahan jam satelit dan *receiver*, merupakan kesalahan penyimpangan pada sistem waktu satelit.
6. Kesalahan antenna, merupakan kesalahan yang terjadi perbedaan lokasi antara pusat fase dan pusat geometris antenna yang menyebabkan kesalahan jarak ukuran.
7. Refraksi troposfer, merupakan kesalahan pada lapisan dari atmosfer yang akan menyebabkan kesalahan terhadap hasil ukuran jarak.
8. Refraksi ionosfer, merupakan kesalahan atas dari atmosfer yang akan menyebabkan sinyal pada *pseudorange* melambat sehingga mempengaruhi ukuran jarak dari pengamat ke satelit. [17]

#### 2.4.1 Kriteria lokasi pemasangan *benchmark*



Gambar 2.4. Contoh *Benchmark*

Bench Mark adalah titik yang telah mempunyai koordinat fixed, dan direpresentasikan dalam bentuk monumen/patok di lapangan. Benchmark memiliki fungsi penting pada kegiatan survey, yaitu sebagai titik ikat yang mereferensikan posisi obyek pada suatu sistem koordinat global. [18]

Dalam pembuatan *benchmark* terdapat kriteria lokasi yang harus terpenuhi yang bertujuan agar mendapatkan hasil pengamatan yang teliti. Beberapa kriteria tersebut secara urut adalah sebagai berikut [19]:

- Punya ruang pandang langit yang bebas ke segala arah diatas elevasi 15 derajat dari horizon sehingga sinyal dari satelit dapat langsung diterima oleh antenna *GNSS*.
- Jauh dari obyek/benda yang mudah memantulkan sinyal *GNSS*, untuk meminimalkan atau mencegah terjadinya multipath yang merupakan merupakan fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antena *GNSS* melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda, tentunya faktor ini akan mengurangi keakuratan dari hasil pengukuran. [19]
- Jauh dari kabel listrik tegangan tinggi ataupun obyek bermedan elektromagnetik yang kuat yang dapat mendistorsi sinyal dari *GNSS* yang merupakan geombang elektromagnetik.

- Kondisi struktur tanah yang stabil yang bertujuan untuk menghindari terjadinya pergeseran alat ukur saat melakukan pengukuran sehingga mendapatkan hasil pengukuran yang teliti
- Mudah dicapai (lebih baik dengan kendaraan bermototr).
- Sebaiknya ditempatkan di tanah milik negara.
- Titik harus ditempatkan pada lokasi dimana monument/pilar tidak mudah terganggu atau rusak, baik akibat gangguan manusia, binatang maupun alam
- Penempatan titik pada suatu lokasi juga harus memperhatikan rencana penggunaan lokasi yang bersangkutan di masa depan
- Titik-titik harus dapat dikaitkan ke minimal satu titik yang telah diketahui koordinatnya
  - Pendefinisian datum
  - Penjagaan konsistesnsi dan homogenitas dari datum dan ketelitian titik-titik dalam jaringan [20]

## **2.5 Sistem Informasi Geografis**

Sistem informasi geografis merupakan suatu system pengolahan data spasial berbasis computer yang dirancang sebagai sarana pengolahan data spasial. Sistem ini mampu menangkap mengecek mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisis, serta menampilkan data yang secara spasial merepresentasikan keadaan bumi terhadap objek-objek yang ada diatas permukaan bumi. Sisitem ini mampu mengintegrasikan operasi-operasi yang umum pada database seperti query serta analisis statistic dengan kemampuan visualisasi dan analisis unik yang dimiliki oleh kegiatan pemetaan. Hal inilah yang membedakan SIG dengan system informasi lainnya yang membuatnya menjadi sangat berguna bagi berbagai kalangan yang dapat digunakan untuk menjelaskan kejadian, merancang strategi yang akan dilakukan, serta memprediksi apa yang terjadi. [21]

### 2.5.1 Metode skoring

Model (sistem) skoring atau *Weighted Linear Combination* (WLC) digunakan untuk merepresentasikan tingkat kedekatan, keterkaitan, atau beratnya dampak tertentu pada suatu fenomena secara spasial. Setiap parameter masukan seperti penutup lahan, penggunaan air tanah serta jenis batuan akan diberikan skor dan kemudian akan dijumlahkan untuk memperoleh tingkat keterkaitan. Hasil akhir dari sistem skoring adalah mengklasifikasikan tingkat keterkaitan parameter keluaran. [21]

Metode WLC mengasumsikan bahwa bobot setiap faktor tidak sama. Pada penelitian ini bobot faktor ditentukan dengan metode analytical hierarchy process (AHP). AHP adalah metode untuk mengukur derajat kepentingan antar faktor dengan meminta pendapat ahli. Ukuran kepentingan antar faktor/subfaktor diboboti dengan selang dari 1 – 9. Konsistensi jawaban diukur dengan logika transitif dimana jika faktor  $x_1$  = konstrain pada faktor/sub faktor ke- $j$  1 dinilai lebih penting dari  $x_2$  dan  $x_2$  lebih penting dari  $x_3$ , maka  $x_1$  harus lebih penting dari  $x_3$ . Ukuran konsistensi dihitung dengan persamaan berikut. [22].

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) nomor 2 tahun 2012 terdapat tiga kelas bahaya, yaitu kelas bahaya rendah, kelas bahaya sedang, dan kelas bahaya tinggi.

Tabel 2.11. Kelas kerentanan gerakan tanah Provinsi Lampung

Zona Ancaman	Kelas	Nilai	Bobot	Skor
Gerakan Tanah Sangat Rendah, Rendah	Rendah	1	100%	0,33
Gerakan Tanah Menengah	Sedang	2		0,67
Gerakan Tanah Tinggi	Tinggi	3		1,00

(Perka BNPB nomor 2 tahun 2012)