

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Ikhtisar

Dalam tinjauan pustaka ini secara garis besar akan diuraikan mulai dari kajian terhadap hasil penelitian terdahulu yang mempunyai sisi korelasi dengan penelitian yang akan dilakukan dalam disertasi ini sehingga tidak terjadi duplikasi dengan penelitian terdahulu.

Dari hasil penelitian terdahulu dibedakan dalam aspek kajian geologi teknik/air tanah dan *land subsidence* (amblesan). Aspek geologi teknik terkait karakteristik sedimentasi dan beberapa parameter geologi teknik pada titik–itik uji dan potongan/sayatan jalur penghubung titik uji, tidak sampai dalam dimensi ruang. Pada penelitian amblesan lebih mengkaji pada aspek besar amblesan pada titik uji.

Dari pengkajian penelitian terdahulu maka dapat diketahui kebaruan dari kajian penelitian yang akan dilakukan, baik dari aspek tujuan penelitian, metoda maupun hasil yang diperoleh.

Dari ketersediaan data serta representativitas data berdasar teori – teori karakteristik proses geologi dapat dilakukan pengkajian karakteristik geologi teknik dalam dimensi ruang, bukan hanya pada jalur sayatan dua dimensi dan akan dapat disusun peta geologi teknik strata daya dukung lahan serta besar dan lama waktu amblesan.

Dari tinjauan pustaka akan dikaji teori tentang proses terjadinya lahan dimuka bumi secara alami yang menentukan karakteristik dari massa tanah pembentuk hamparan lahan.

Karakteristik nya akan ditentukan dari bentuk dan ukuran butir serta gradasi, kandungan air, tingkat kepadatan serta kondisi massa tanah pada stratifikasi lapisannya.

Massa tanah secara mikroskopis dapat dilihat terdiri dari 3 (tiga) fase : butir tanah, rongga butir yang dapat diisi air dan atau udara. Kondisi gradasi butiran, kandungan air dan ruang pori udara dalam tanah sangat berpengaruh terhadap karakteristik sifat fisik/sifat indeks, sifat teknis dan sifat hidrolis. Ketiga karakteristik geologi teknik ini akan menentukan kapasitas daya dukung tanah pembentuk hamparan lahan.

Kemampuan daya dukung lahan akan diukur dari 2 (dua) aspek yaitu : kemampuan terhadap menahan beban tanpa terjadi keruntuhan dan ketahanan terhadap amblesan dengan besaran dan waktu dibawah batas toleransi amblesan pada beban batas kapasitas daya dukung lahan tanpa terjadi keruntuhan.

Karakteristik geologi teknik pada sistem stratifikasi lapisan–lapisan tanah bawah permukaan lahan yang akan diteliti dengan dukungan teori, kompilasi dan analisa data sekunder, uji insitu pengeboran, SPT (standart penetrasi test), sondiring, coring, sampling, pengamatan dan analisa uji insitu. Pengujian laboratorium terhadap sampel undisturbed untuk mengukur dan menganalisa parameter karakteristik tanahnya.

Dari data–data dapatan sekunder maupun hasil pengujian lapangan dan laboratorium pada titik–titik uji yang jumlah dan sebarannya representatif pada daerah penelitian dilakukan perhitungan dan analisa indikator daya dukung dan besar serta waktu amblesan lahan, pemetaan strata daya dukung dan besar juga lama waktu amblesan pada daerah penelitian.

Dari peta dapatan ini akan menjadi instrumen evaluasi kesesuaian pemanfaatan ruang dengan kemampuan lahan pada peta tata ruang yang sudah ada. Peta dapatan ini dapat juga

sebagai indikator utama dalam penentuan kemampuan lahan pada pedoman penentuan daya dukung lingkungan hidup dalam penataan ruang wilayah.

Indikator utama dalam penentuan kemampuan lahan ini juga merupakan kebaruan dalam penelitian ini sebagai basis pengambilan kebijakan penataan ruang maupun perencanaan pembangunan infrastruktur.

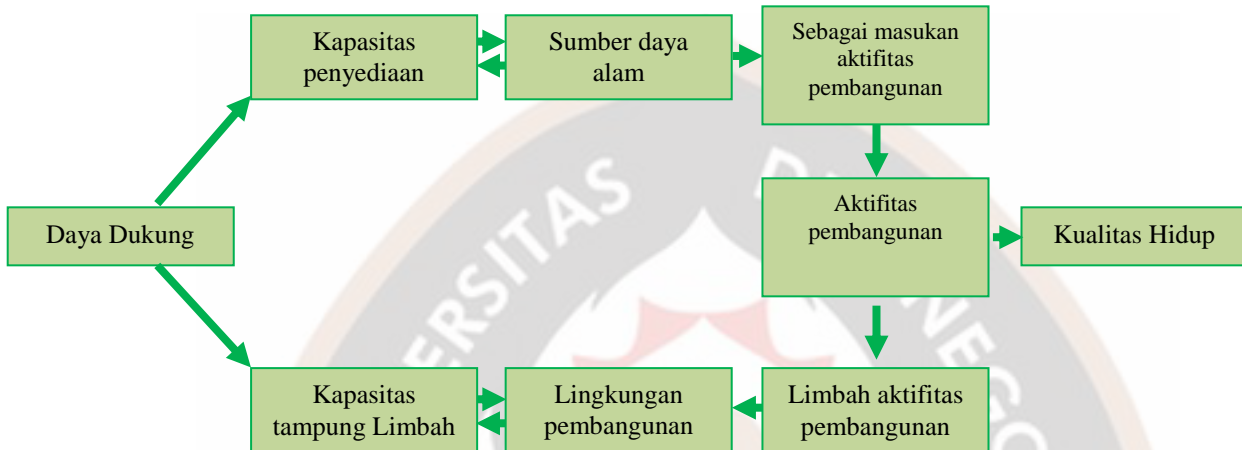
## **2.2. Daya Dukung Lingkungan Hidup**

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan peri kehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Daya dukung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya (Pemerintah Republik Indonesia, 2009).

Pengukuran daya dukung lingkungan hidup digunakan metode mengetahui kapasitas lingkungan alam dan sumber daya untuk menopang aktifitas manusia yang memanfaatkan ruang/tanah, guna kelangsungan eksistensi hidupnya. Nilai besaran kapasitas lingkungan alam dan sumber daya pada suatu ruang/tanah ditentukan karena kondisi dan karakteristik sumber daya yang ada dalam hamparan tanah/ruang tersebut.

Besaran kapasitas lingkungan hidup dan sumber daya akan menjadi pembatas dalam penggunaan ruang yang sesuai. Daya dukung lingkungan hidup terdapat 2 komponen yakni, kapasitas penyediaan dan kapasitas tampung limbah, sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 17 tahun 2009 tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup Dalam Penataan Ruang Wilayah (**Gambar 2.1**).

Diagram mekanisme dua komponen daya dukung lingkungan yaitu kapasitas penyediaan dan kapasitas tampung limbah sebagai berikut :



**Gambar 2.1 Diagram Komponen Daya Dukung**

Kapasitas sumber daya alam sangat tergantung pada kemampuan/daya dukung lahan, ketersediaan lahan dan kebutuhan lahan, ketersediaan dan kebutuhan air.

Daya dukung lingkungan hidup terbatas pada penyediaan sumber daya alam yang berkaitan dengan kemampuan/daya dukung lahan sebagai faktor utama pada ketersediaan dan kebutuhan lahan juga ketersediaan dan kebutuhan air.

Kemampuan sumber daya alam tergantung pada kemampuan, ketersediaan dan kebutuhan akan lahan dan air sehingga daya dukung lingkungan hidup berdasarkan tiga pendekatan:

- a. Kemampuan lahan untuk alokasi pemanfaatan ruang;
- b. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan;
- c. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air.

Penggunaan ruang disuatu wilayah sesuai dengan lingkungan hidup dan sumber daya, pemanfaatan ruang harus memperhatikan kemampuan/daya dukung lahan. Penentuan daya

dukung lingkungan hidup dijadikan sebagai acuan dalam penyusunan rencana tata ruang wilayah.

### **2.3. Tata Ruang Wilayah**

Pengertian ruang adalah wadah yang meliputi ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai satu kesatuan wilayah tempat manusia dan makhluk hidup lain, melakukan kegiatan dan memelihara kelangsungan hidupnya (Pemerintah Republik Indonesia, 2007).

Tata ruang merupakan wujud struktur ruang yakni susunan pusat-pusat pemukiman dan sistem jaringan prasarana dan sarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan sosial-ekonomi masyarakat yang secara hirarki memiliki hubungan fungsional. Pola ruang adalah distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukan ruang untuk budidaya.

Pengertian wilayah adalah ruang yang merupakan kesatuan geografis beserta segenap unsur terkait yang batas dan sistemnya ditentukan berdasarkan aspek administratif dan atau aspek fungsional.

Jadi tata ruang wilayah dapat diartikan sebagai wujud struktur dan pola ruang wilayah. Penataan ruang wilayah dilakukan berjenjang dan komplementer dari penataan ruang wilayah nasional, wilayah provinsi, dan wilayah kabupaten kota.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 15 tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang maksud penataan ruang adalah suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Pelaksanaan penataan ruang adalah upaya pencapaian tujuan penataan ruang melalui pelaksanaan

perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Perencanaan tata ruang adalah suatu proses untuk menentukan struktur ruang dan pola yang meliputi penyusunan dan penetapan tata ruang. Pemanfaatan ruang adalah upaya untuk mewujudkan struktur ruang dan pola ruang sesuai dengan rencana tata ruang melalui penyusunan dan pelaksanaan program beserta pembiayaannya. Sedangkan pengendalian pemanfaatan ruang adalah upaya untuk mewujudkan tertib tata ruang (Pemerintah Republik Indonesia, 2010).

Rencana tata ruang wilayah (RTRW) kota adalah rencana tata ruang yang bersifat umum dari wilayah kota, yang merupakan penjabaran dari RTRW provinsi dan yang berisi tujuan, kebijakan, strategi penataan ruang wilayah kota, rencana struktur wilayah kota, rencana pola ruang wilayah kota, penetapan kawasan strategis kota, arahan pemanfaatan ruang wilayah kota, dan ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang wilayah kota (Kementerian PUPR, 2009).

Rencana pola ruang wilayah kota adalah rencana distribusi peruntukan pola ruang wilayah kota yang meliputi ruang untuk fungsi lindung dan budidaya yang dituju sampai dengan akhir masa berlakunya RTRW kota yang memberikan gambaran pemanfaatan ruang wilayah kota hingga 20 (dua puluh) tahun mendatang.

#### **2.4. Tata Ruang Kota Semarang**

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum no : 17/PRT/M/2009 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota, fungsi RTRW diantaranya adalah sebagai acuan penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah (RPJPD) dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), sebagai acuan dalam pemanfaatan ruang/pengembangan wilayah kota dan sebagai acuan lokasi investasi dalam wilayah kota yang dilakukan pemerintah, masyarakat dan swasta, serta dasar pengendalian pemanfaatan ruang

dalam penataan/pengembangan wilayah kota yang meliputi penetapan peraturan zonasi, perijinan, pemberian insentif dan disinsentif serta pengenaan sanksi. Yang kesemua dari fungsi tersebut diatas mempunyai manfaat yang utama adalah menjamin terwujudnya tata ruang wilayah kota yang berkualitas (Kementerian PUPR, 2009).

Pada rencana pola ruang wilayah kota sebagai rencana distribusi peruntukan ruang dalam wilayah kota ditegaskan tata ruang diantaranya sebagai alokasi ruang untuk berbagai kegiatan sosial ekonomi masyarakat dan kegiatan pelestarian lingkungan dalam wilayah kota, dan sebagai dasar pemberian ijin pemanfaatan ruang pada wilayah kota.

Rencana pola ruang wilayah kota dirumuskan berdasar daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup wilayah kota dan kebutuhan ruang untuk pengembangan kegiatan sosial ekonomi dan lingkungan dan dalam perumusan rencana pola ruang juga memperhatikan mitigasi bencana pada wilayah kota.

Ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang wilayah kota, pedoman penyusunan rencana tata ruang wilayah kota juga sebagai alat pengendali pengembangan kota, menjaga kesesuaian pemanfaatan ruang dengan rencana tata ruang, mencegah dampak pembangunan yang merugikan kepentingan umum.

Untuk memaksimalkan tingkat validitas dan komprehensivitas penyusunan tata ruang wilayah kota, data mengenai kondisi fisik/lingkungan dan sumber daya alam menjadi sangat penting. Satu diantara data yang sangat signifikan terkait daya dukung lingkungan adalah daya dukung lahan.

Peraturan Daerah Kota Semarang no 14 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031 , pasal 10 (1) Rencana pembagian Wilayah Kota (BWK) sebagaimana dalam Pasal 9 ayat (2) a terdiri atas a). Bagian Wilayah Kota (BWK) I meliputi

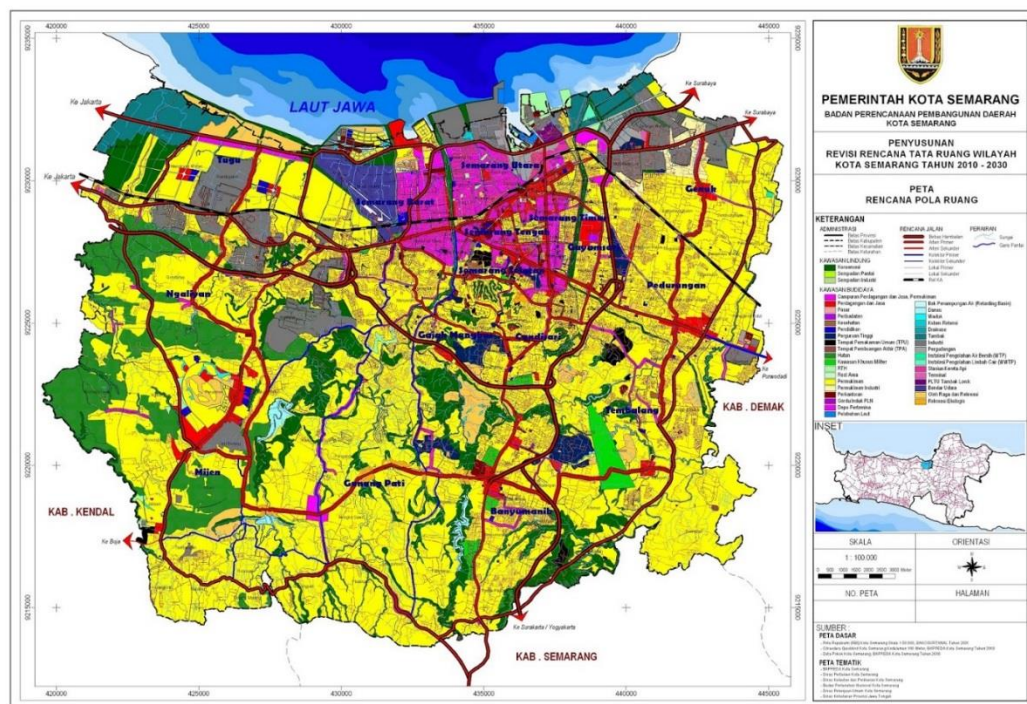
Kecamatan Semarang Tengah, Kecamatan Semarang Timur dan Kecamatan Semarang Selatan dengan luas kurang lebih 2.223 (dua ribu dua ratus dua puluh tiga) hektar; b). BWK II meliputi Kecamatan Candisari dan Kecamatan Gajahmungkur dengan luas kurang lebih 1.320 (seribu tiga ratus dua puluh) hektar; c). BWK III meliputi Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Utara dengan luas kurang lebih 3.522 (tiga ribu lima ratus dua puluh dua) hektar; d). BWK IV meliputi Kecamatan Genuk dengan luas kurang lebih 2.738 (dua ribu tujuh ratus tiga puluh delapan) hektar; e). BWK V meliputi Kecamatan Gayamsari dan Kecamatan Pedurungan dengan luas kurang lebih 2.622 (dua ribu enam ratus dua puluh dua) hektar; f). BWK VI meliputi Kecamatan Tembalang dengan luas kurang lebih 4.420 (empat ribu empat ratus dua puluh) hektar; g). BWK VII meliputi Kecamatan Banyumanik dengan luas kurang lebih 2.509 (dua ribu lima ratus sembilan) hektar; h). BWK VIII meliputi Kecamatan Gunungpati dengan luas kurang lebih 5.399 (lima ribu tiga ratus Sembilan puluh sembilan) hektar; i). BWK IX meliputi Kecamatan Mijen dengan luas kurang lebih 6.213 (enam ribu dua ratus tiga belas) hektar; dan j). BWK X meliputi Kecamatan Ngaliyan dan Kecamatan Tugu dengan luas kurang lebih 6.393 (enam ribu tiga ratus Sembilan puluh tiga) hektar (Pemerintah Kota Semarang, 2011a). **(Gambar 2.2)**

Rencana pengembangan fungsi BWK meliputi : a). perkantoran, perdagangan dan jasa di BWK I, BWK II, BWK III; b). pendidikan kepolisian dan olah raga di BWK II; c). transportasi udara dan transportasi laut di BWK III; d). industri di BWK IV dan BWK X; e). pendidikan di BWK VI dan BWK VIII; f). perkantoran militer di BWK VII; dan g). kantor pelayanan publik di BWK IX.

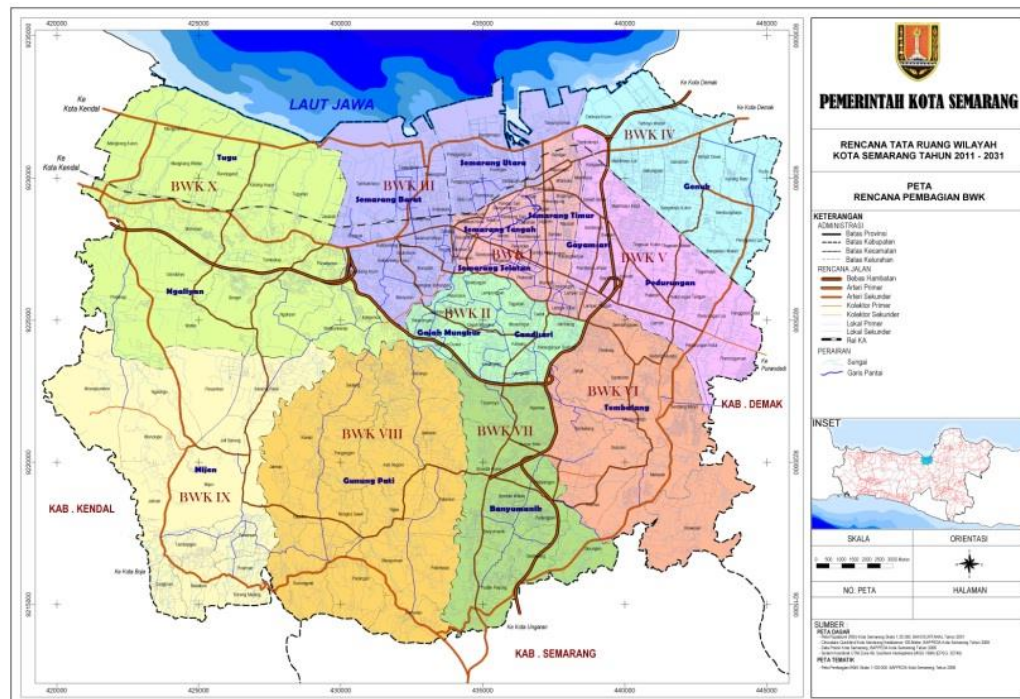
Buchori *et al.* (2018) melaporkan bagaimana perencanaan tata ruang meminimalkan risiko orang dan meningkatkan ketahanan mereka, telah memperhitungkan bahaya hidro-



meteorologi Kota Semarang di Jawa utara. Analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk memprediksi kerentanan yang diakibatkan oleh efek gabungan dua proses, yaitu kecenderungan penurunan tanah dan peningkatan permukaan laut. Lebih lanjut, dengan memaparkan peta kerentanan saat ini dan proyeksi ke tahun 2031 dengan rencana penggunaan lahan kota dalam jangka waktu yang sama, hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar daerah dengan antisipasi banjir dan genangan adalah kawasan perumahan, industri, dan komersial, yang menunjukkan bahwa saat ini rencana tata guna lahan belum memperhitungkan bahaya secara memadai (Buchori, *et al.*, 2018).



SEKOLAH PASCASARJANA



**Gambar 2.2. Peta Rencana Pola Ruang Semarang 2011 – 2031  
(Sumber Perda Tata Ruang Kota Semarang 2014)**

Suroso and Firman (2018) menyimpulkan bahwa perencanaan tata ruang diharapkan untuk memfasilitasi adaptasi perubahan iklim dengan mengarahkan pengembangan spasial dan infrastruktur di masa depan menjauh dari zona yang terpapar bahaya terkait iklim. Penelitian ini mengkonfirmasi pemahaman itu dengan memetakan efek dari berbagai rencana tata ruang di pantai utara Jawa, Indonesia. Pertama, studi ini memetakan tingkat bahaya pesisir untuk tahun dasar 2010 menggunakan model genangan berbasis GIS. Hamparan dalam GIS menunjukkan pengaruh rencana tata ruang untuk tahun proyeksi 2030. Memungkinkan untuk menghitung kerugian ekonomi dari perkembangan yang direncanakan. Studi menunjukkan bahwa rencana tata ruang provinsi saat ini berkecenderungan konversi penggunaan lahan di sepanjang pantai utara Jawa terus terjadi di masa depan. Secara signifikan mengurangi kapasitas regional menangani paparan terhadap genangan pantai. Analisis ini juga menunjukkan bahwa total area 55.220 ha lahan rawan genangan, terdiri dari kawasan lindung (1488 ha), tambak ikan

(32.916 ha) dan lahan pertanian (20.814 ha), direncanakan akan dikonversi menjadi industri (13.399 ha) dan pemukiman (41.821 ha). Dengan demikian, area-area ini juga rentan terhadap genangan pada tahun 2030, berpotensi menyebabkan kerugian finansial besar. Rencana tata ruang yang dikeluarkan oleh pemerintah nasional dan provinsi untuk mengatur penggunaan lahan di masa depan di pantai utara Jawa belum mengintegrasikan tindakan terhadap bahaya yang terkait dengan kenaikan permukaan laut global. Sementara itu, banyak perkembangan yang ada telah dipengaruhi oleh genangan pantai. Studi kasus menunjukkan bahwa rencana tata ruang tidak mengurangi paparan terhadap bahaya banjir pantai, bahkan dapat meningkatkan risiko bahaya terkait iklim dan menyebabkan kerugian ekonomi yang lebih tinggi. Temuan ini memberikan perspektif yang berbeda tentang peran perencanaan tata ruang untuk adaptasi perubahan iklim (Suroso and Firman, 2018).

## **2.5. Daya Dukung Lahan**

Pengertian lahan menurut peraturan menteri negara lingkungan hidup nomor 17 tahun 2009 tentang pedoman penentuan daya dukung lingkungan hidup dalam penataan ruang wilayah adalah suatu wilayah daratan yang ciri-cirinya merangkum semua tanda mengenai biosfir, atmosfir, tanah, geologi, timbulan (relief), hidrologi, populasi tumbuhan, dan hewan, serta hasil kegiatan manusia masa lalu dan masa kini yang bersifat mantap atau mendaur (Kementerian Lingkungan Hidup, 2009).

Lahan merupakan wujud struktural pada pemanfaatan ruang yang direncanakan, yang meliputi pola lokasi, sebaran pemukiman, tempat kerja (perdagangan dan perkantoran), industri, tempat rekreasi, pola penggunaan lahan.

Tujuan utama tata lahan lingkungan dalam penataan ruang adalah:

- a. Terselenggaranya pemanfaatan ruang berwawasan lingkungan yang berlandaskan Wawasan Nusantara dan Ketahanan Nasional.
- b. Terselenggaranya pengaturan pemanfaatan ruang kawasan lindung dan kawasan budidaya.
- c. Tercapainya pemanfaatan ruang yang berkualitas.

Penataan lahan lingkungan merupakan salah satu sisi yang menjadi kesatuan tiga sisi tata ruang yakni ruang daratan/lahan, ruang lautan dan ruang udara.

Penyusunan rencana tata ruang selalu harus dilandasi pemikiran perspektif menuju ke keadaan pada masa depan yang didambakan, bertitik tolak dari data, informasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang dapat dipakai, serta memperhatikan keragaman wawasan kegiatan tiap sektor.

Menurut Undang-Undang republik Indonesia nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang pasal 19, pasal 22, pasal 25, dan menurut Peraturan Pemerintah nomor 15 tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang pasal 25, pasal 27, pasal 32, pasal 35, Pemerintah–Pemerintah provinsi–Pemerintah Kabupaten/Pemerintah kota harus menyusun rencana tata ruang wilayah (RTRW) sesuai tingkatan dengan memperhatikan daya dukung lingkungan hidup (Pemerintah Republik Indonesia, 2007)(Pemerintah Republik Indonesia, 2010).

Penentuan daya dukung lingkungan hidup diukur dengan mengetahui kapasitas lingkungan alam dan sumber daya guna mendukung kehidupan manusia yang berada dalam ruang tersebut untuk eksistensi hidupnya.

Besar kapasitas tersebut diatas dipengaruhi keadaan dan karakteristik sumber daya dalam hamparan ruang yang ada mencakup:

- a. Kemampuan lahan untuk alokasi pemanfaatan ruang;
- b. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan;

- c. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air;

Supaya pemanfaatan ruang dalam wilayah sesuai kapasitas lingkungan hidup dan sumber daya maka harus memperhatikan kemampuan lahan.

Kemampuan lahan/daya dukung lahan sebagai faktor utama dalam penentuan daya dukung lingkungan hidup, karena 2 faktor lain yakni perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan dan air tidak akan pernah terwujud jika daya dukung lahan tidak stabil.

Daya dukung lahan saat ini berdasarkan kemampuan lahan untuk pertanian dan ditinjau berdasar kategori :

- a. Klasifikasi kemampuan lahan;
- b. Kemampuan lahan dalam tingkat kelas;
- c. Kemampuan lahan dalam tingkat sub-kelas;
- d. Kemampuan tanah dalam tingkat unit pengelolaan (Sesuai Lampiran Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor: 17 tahun 2009 tanggal 22 Mei 2009 Tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Dalam Penataan Ruang Wilayah).

Daya dukung lahan adalah kemampuan lahan yang merupakan karakteristik lahan yang mencakup sifat-sifat tanah, topografi, drainase, dan kondisi lingkungan hidup lain untuk mendukung kehidupan atau kegiatan pada suatu hamparan lahan.

Stabilitas daya dukung/kemampuan lahan tidak cukup hanya diukur dari 4 aspek diatas, tetapi terdapat faktor utama kemampuan lahan yakni, aspek karakteristik geologi teknik yaitu karakteristik massa tanah pembentuk hamparan lahan yang menjadi faktor penentu seluruh stabilitas kemampuan lahan.

Gejala nyata terjadi adalah bahwa lahan/wilayah akibat proses alami maupun rekayasa manusia mengalami amblesan/penurunan, menjadi penyebab gagalnya daya dukung/kemampuan lahan dan rusaknya lingkungan. Yang mana gejala ini lebih pada persoalan terkait stratigrafi massa tanah bawah permukaan lahan/karakteristik geologi teknik.

## **2.6. Rekayasa Stabilitas Daya Dukung Lahan**

Rekayasa adalah suatu proyeksi tentang apa yang dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu. Rekayasa merupakan spesifikasi dari tujuan yang ingin dicapai, cara-cara yang akan ditempuh untuk mencapai tujuan itu bedasar fakta fenomena hari ini dan kemarin.

Cakupan pengertian tersebut diatas mengandung muatan makna:

- a. Rekayasa melibatkan proses penetapan keadaan masa depan yang diinginkan.
- b. Keadaan masa depan yang diinginkan itu kemudian dibandingkan dengan keadaan sekarang, sehingga dapat dilihat kesenjangannya.
- c. Untuk menutup kesenjangannya itu perlu dilakukan rekayasa/usaha-usaha.
- d. Usaha yang dilakukan untuk menutup kesenjangan itu dapat beraneka ragam dan merupakan alternatif yang mungkin ditempuh.
- e. Pemilihan alternatif yang paling baik dalam arti total serta dilakukan tahap proses mengembangkan/mencari alternatif dan memilih/menyaring alternatif.
- f. Alternatif yang dipilih itu harus dirinci sehingga dapat menjadi pedoman dalam pengambilan keputusan apabila dilaksanakan.

Dengan demikian rekayasa stabilitas daya dukung lahan adalah proses pemikiran dengan cara tertentu tentang stabilitas daya dukung lahan yang akan dilakukan waktu kedepan berbasis fakta dan fenomena hari ini dan kemarin untuk mencapai tujuan keamanan produk perencanaan.

Mengingat hal itu tipe desain rekayasa harus sesuai dengan karakteristik tanah dasar agar terwujud tipe desain rekayasa yang efektif, memenuhi asas dasar : kuat, bermanfaat/ sesuai dengan fungsi dan ekonomis.

Untuk mewujudkan tipe desain rekayasa yang efektif perlu dilakukan analisis rasional pada tahap survey, investigasi, desain, pelaksanaan, pengoperasian dan perawatan. Dalam setiap tahapan proses pelaksanaan pembangunan diperlukan manajemen yang optimal agar goal tepat mutu, tepat waktu, dan tepat biaya terwujud.

Dalam proses penentuan tipe desain rekayasa yang dipilih agar efektif perlu dilakukan analisis dengan kerangka pendekatan aspek waktu, mutu dan biaya yang menyangkut analisis tingkat kebutuhan, waktu pengerjaan, dampak lingkungan, penggunaan bahan, metode pengerjaan, penggunaan peralatan kerja, sumber daya manusia, biaya, evaluasi/monitoring, dan manajemen pelaksanaan.

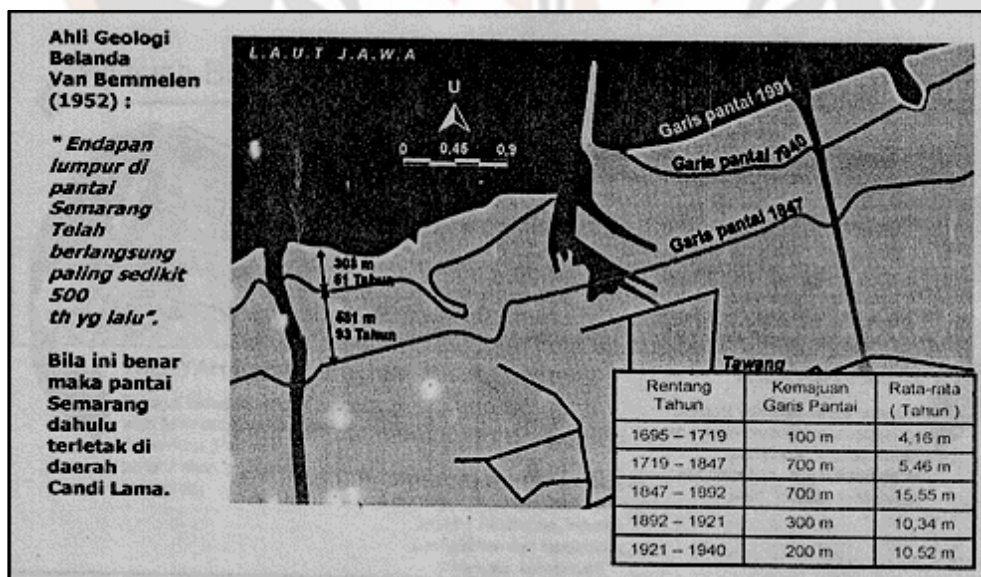
## **2.7. Proses Sedimentasi Lahan Kota Semarang**

Proses geomorfologi pembentukan tanah daerah wilayah Kota Semarang. Plain/dataran terdapat di wilayah Semarang bawah-dataran pantai/bekas dataran pantai : daerah Tanah Mas, Tambak Lorok, Bandarharjo, Kaligawe, bekas rawa : Simpang Lima, Singosari. Plateau/perbukitan terdapat di wilayah Bendan Duwur, Tinjomoyo, Gunungpati, Sekaran, Manyaran, Daerah Candi, Gombel.

Proses pertumbuhan pembentukannya dapat dikategorikan dalam kurun waktu antara  $\pm$  tahun 500–900, antara tahun 900–1500 dan antara tahun 1500–1700. Pada tahun  $\pm$  500–900 merupakan tahap sebelum dataran aluvial, Semarang masih meliputi dataran tinggi Candi yang merupakan kaki gunung Ungaran di pantai Utara. Pantai Semarang meliputi daerah Mrican, Mugas, Gunung sawo, sebelah barat Gajah Mungkur, Karang Kumpul atas, Sampangan di batas

sungai Kaligarang terus menyeberang ke Wotgandul, Simongan, (wilayah Gedung Batu dan Karang Nongko) membelok ke barat sepanjang perbukitan Krapyak sampai Jarakah. Pada kurun tahun 900–1500 adalah masa pembentukan dataran aluvial, sedimen dibentuk berdasarkan endapan yang berasal dari lereng bukit Ungaran melalui Kali Kreo, kali Kripik, Kaligarang.

Pada masa ini telah dikenal perdukuhan dengan penghuninya di dataran aluvial terutama di sepanjang Kali Semarang : Gisikdrono, Tirang Ampel, Jurang Suru, Labu Api, Tinjomoyo, Wotgaleh, Gajah Mungkur, Sejonilo dan Gedung Batu. Pada kurun tahun 1500–1700 adalah masa pembentukan embrio Kota Semarang hingga sekarang, pada awal tahun  $\pm$  1500 garis pantai Semarang telah sampai di sekitar jalan R.Patah, Kaligawe, Pengapon, Poncol, Kampung Cina Bubakan, Kampung Melayu Darat (**Gambar 2.3**) (Pemerintah Kota Semarang, 1981).



**Gambar 2.3. Stadia Perkembangan Garis Pantai (Tahun 1847 – 1991)**  
(Peraturan Daerah Nomor 5 Tahun 1981)



## 2.8. Analisis Karakteristik Tanah Sebagai Pendukung Beban

Seluruh bangunan yang berada di muka bumi ini akan selalu menapak di atas tanah dasar sebagai pendukungnya. Suatu konstruksi akan berdiri tetap tegak kalau tanah dasar di bawahnya cukup kuat untuk mendukungnya. Beban bangunan akan selalu dilimpahkan pada tanah dasar pendukung bangunannya. Agar supaya kedudukan bangunan cukup kokoh di dalam tanah, tanahnya harus cukup kuat menahan gaya-gaya yang akan menimbulkan pergeseran dan pelesakan, atau dapat dikatakan bahwa tanah harus mempunyai daya dukung cukup besar. Untuk mendapatkan daya dukung yang besar dalam artian mampu menahan beban - beban kerja secara aman, dituntut adanya stabilitas tanah dasar.

Berkaitan tentang stabilitas tanah dasar tidak bisa terlepas dari sifat-sifat tanah dan perilaku tanah jika terbebani serta sifat tanahnya apabila mendapat pengaruh-pengaruh seperti iklim, air. Tanah yang dimaksudkan disini adalah mencakup semua endapan alam dari lempung (*clay*) sampai berangkal (*boulder*). (Terzaghi and Peck, 1987) memberi definisi tentang tanah adalah kumpulan (agregat) butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air.

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa diantara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik (Craig, 1989).

Dari aspek teknis, tanah secara umum dapat diklasifikasikan secara rinci adalah sebagai berikut :

- a. Berangkal (*boulder*), diameter butiran > 20 cm.
- b. Kerakal (*cobblestone*), diameter butiran 8 - 20 cm.
- c. Kerikil (*gravel*), diameter butiran 2 mm - 8 cm.
- d. Pasir kasar (*coarse sand*), diameter butiran 0,6 mm - 2 mm.
- e. Pasir sedang (*medium sand*), diameter butiran 0,2 mm - 0,6 mm.
- f. Pasir halus (*fine sand*), diameter butiran 0,06 mm - 0,2 mm.
- g. Lanau (*silt*), diameter butiran 0,02 mm - 0,06 mm.
- h. Lempung (*clay*), diameter butiran < 0,002 mm.

Ada beberapa versi klasifikasi tanah antara lain pada (Tabel 2.1.) :

**Tabel 2.1. Versi Klasifikasi Tanah**

	Atterberg 1905 (mm)	M.I.T 1931 (mm)	ASTM (mm)	USCS (mm)	AASHTO (mm)
Lempung	< 0.002	< 0.002	< 0.005	< 0.005	< 0.002
Silt	0.002 – 0.02	0.002 – 0.06	0.005 – 0.05	0.005 – 0.05	0.05 – 0.002
Pasir Sangat halus	-	-	-	0.05 – 0.1	-
Pasir sedang	0.02 – 0.2	0.06 – 0.2	0.05 – 0.25	0.1 – 0.25	-
Pasir	-	-	-	0.25 – 0.5	0.05 – 2.0
Pasir Kasar	0.2 – 2.0	0.6 – 2.0	0.25 – 2.0	0.5 – 1.0	-
Kerikil Halus	-	-	-	1.0 – 2.0	-
Kerikil	> 2.0	> 2.0	-	> 2.0	2.0 – 75.0

Keterangan:

MIT : Massachusetts Institute of Technology

USCS : Unified Soil Classification System

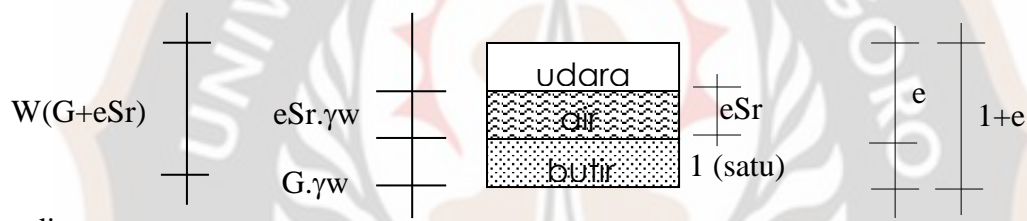
AASHTO : American Association for State Highway and Transportation Official

ASTM : American Society for Testing and Material

Dari semua jenis macam tanah tersebut di atas secara umum terdiri dari 3 (tiga) bagian bahan, yakni butir tanah serta air dan udara yang terdapat dalam ruang antara butir-butiran, atau biasa dikatakan tanah memiliki 3 (tiga) fase yakni, fase padat (*solid*), fase cair (*liquid*) dan fase

udara (*air*). Kalau kenyataan tanah ada kalanya merupakan komposisi dari 2 (dua) fase yakni tanah yang benar-benar kering terdiri dari partikel padat dan udara pengisi pori atau tanah yang jenuh sempurna (*fully saturated*) juga terdiri 2 (dua) fase yaitu partikel padat dan air. Sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari 3 (tiga) fase yaitu partikel padat, udara pori dan air pori.

Dalam kaitannya dengan sifat tanah khususnya sifat fisis maka hubungan antara fase mencakup berat isi, kadar air dan angka pori harus terdefinisi secara jelas. Untuk memberi definisi hubungan antar fase secara rinci digunakan diagram fase seperti pada **Gambar 2.4:**



dimana :

- $\gamma_w$  = berat isi air
- $e$  = angka pori
- $Sr$  = derajat kejenuhan
- $G$  = berat jenis
- $1$  = satu satuan

**Gambar 2.4. Diagram Fase Tanah (Craig, 1989)**

Dari diagram fase dapat dikembangkan formula-formula :

Kadar air  $w = (e.Sr. \gamma_w)/(G.\gamma_w) = (e.Sr)/G \dots\dots\dots (2.1)$

Berat isi  $\gamma = \gamma_w(G + e.Sr)/(1 + e) \dots\dots\dots(2.2)$

$\gamma = \gamma_w.(G + wG)/(1 + e)$

$\gamma = \gamma_w.G (1 + w)/(1 + e)$

Angka pori  $e = [\gamma_w.G (1 + w)/ \gamma] - 1 \dots\dots\dots (2.3)$

Berat isi kering  $\gamma_d = \gamma/(1 + w) \dots\dots\dots (2.4)$

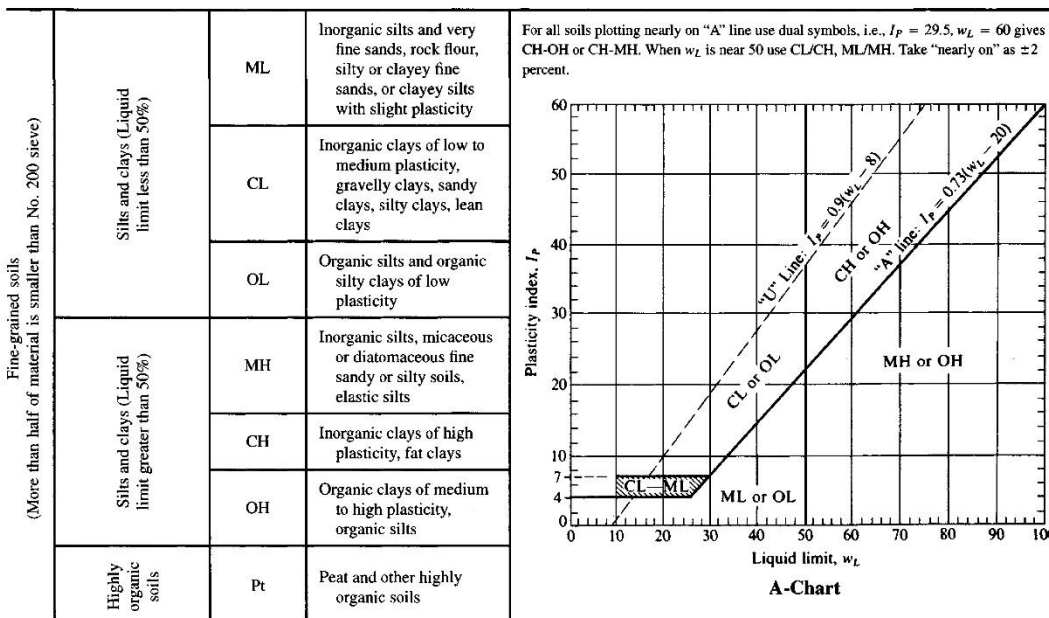
Porositas  $n = e/(1 + e) \dots\dots\dots (2.5)$

## 2.9. Klasifikasi Tanah Butir Kasar dan Butir Halus

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Butir Kasar dan Butir Halus

Unified soil classification [Casagrande (1948)]

Major divisions		Group symbols	Typical names	Laboratory classification criteria
Coarse-grained soils	GW (gravel)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$ between 1 and 3



**Tabel 2.2 bagian atas**, adalah tabel klasifikasi tanah berbutir kasar (ukuran > dari 0,074 mm lebih dari separo bahan), yang disebut kerikil (lebih dari separo bagian kasar berukuran > dari 4,76 mm), yang disebut pasir (lebih dari separo bagian kasar berukuran < dari 4,76 mm). Kerikil dibagi dua adalah kerikil bersih/sedikit atau tak ada butiran halus dengan simbol kelompok GW (kerikil bergradasi baik) dan kelompok GP (kerikil bergradasi jelek) dan yang tergolong kerikil dengan butiran halus cukup banyak diberi simbol GM (kerikil berlanau, campuran kerikil–pasir, lanau) dan GC (kerikil berlempung, campuran kerikil–pasir, lempung). Pasir dibagi dua adalah pasir bersih/sedikit atau tak ada butiran halus dengan simbol SW (pasir bergradasi baik) pasir berkerikil, sedikit atau tak ada butiran halus dan SP (pasir bergradasi jelek) pasir berkerikil sedikit atau tak ada butiran halus dan yang tergolong pasir dengan butiran halus cukup banyak diberi simbol SM (pasir berlanau, campuran pasir–lanau) dan SC (pasir berlempung, campuran pasir–lempung) dan seterusnya berdasar kriteria klasifikasi hasil uji laboratorium.

**Tabel 2.2 bagian bawah**, adalah tabel klasifikasi tanah berbutir halus (lebih dari separo bahan berukuran < 0,074 mm), yang disebut lanau dan lempung (batas cair LL kurang dari 50 %) terbagi dalam simbol kelompok ML (lanau tak organik, pasir sangat halus, debu batuan, pasir berlanau, pasir halus berlempung, lanau berlempung plastisitas kecil), dan kelompok simbol CL (lempung tak organik plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berlanau, lempung bersih), dan kelompok simbol OL (lanau organik, lempung berlanau organik plastisitas rendah). Yang disebut lanau dan lempung (batas cair LL lebih besar dari 50 %) terbagi dalam simbol kelompok MH (lumpur tak organik, tanah berlanau atau tanah berpasir halus diatomit atau silikat, lanau elastik), simbol kelompok CH (lempung tak organik

yang mempunyai plastisitas tinggi, lempung gemuk), dan simbol kelompok OH (lempung organik plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik).

Tanah yang sangat organik (Pt) gambut dan tanah organik tinggi dan seterusnya kriteria sesuai hasil uji laboratorium.

## **2.10. Pengaruh Gradasi Ukuran Butir Pada Sifat Tanah**

Sifat dan perilaku tanah jika dibebani banyak tergantung kepada ukuran-ukuran butir tanah. Oleh karenanya analisis pengukuran besar butiran dari jenis tanah sangat diperlukan.

Di dalam teknik tanah secara garis besar diadakan pembedaan antara tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Dari kedua kelompok tipe tanah ini mempunyai spesifikasi sendiri-sendiri menyangkut cara diskripsinya, analisis perhitungan kekuatan/kestabilan, dan perilaku tanah berbutir halus terhadap pembebanan akan berbeda dengan perilaku tanah berbutir kasar.

Besarnya ukuran butir tanah biasanya digambarkan pada grafik lengkung gradasi (*grading curve*) atau grafik lengkung pembagian butir, dimana dari sini dapat jelas diketahui batas antara tanah berbutir halus dan kasar. Namun kondisi nyata sering suatu macam tanah tertentu terdiri dari butir-butir yang termasuk beberapa golongan, yaitu kerikil sering mengandung pasir, pasir ada kalanya mengandung silt atau lempung.

Dari kondisi semacam itu maka dalam teknik tanah secara spesifik dikelompokkan dalam tipe gradasi butiran yaitu :

- a. Gradasi rapat (*well graded*) adalah tanah yang ukuran butirannya dibagi rata antara yang kasar sampai yang kecil.

- b. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah bilamana semua ukuran butiran hampir sama.
- c. Gradasi senjang (*poorly graded*) adalah bilamana ada kekurangan atau kelebihan salah satu ukuran butir tertentu.

Analisis selanjutnya sesuai dengan tipe tanah yaitu berbutir kasar dan halus adalah menyangkut sifat pengenal, sifat mekanis dan sifat hidrolis tanah.

Dalam analisis sifat pengenal tercakup analisis berat volume massa tanah, gradasi butiran, porositas tanah, angka pori, kandungan air, specific gravity, derajat kejenuhan, kerapatan relatif (khusus untuk butir kasar) dan analisa plastisitas.

Analisis sifat mekanis mencakup analisis konsistensi dan sensitifitas tanah, tekanan tanah dan regangan, pertahanan terhadap geser, kepadatan Proctor dan CBR.

Analisis sifat hidrolis adalah analisis rembesan

Dari hasil ketiga pokok analisis sifat tanah tersebut di atas akan didapatkan parameter-parameter tanah sesuai dengan tipe pokok butiran tanah (butir halus atau butir kasar). Dari parameter-parameter ini diadakan korelasi antar parameter sehingga didapatkan indikasi sifat stabilitas tanah. Stabilitas tanah diartikan sebagai suatu kondisi yang mempunyai ketahanan terhadap keruntuhan geser tanah.

Tentang keruntuhan geser ini Craig (1989) memberi definisi, bilamana suatu titik pada sembarang bidang dari suatu massa tanah yang memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya, maka keruntuhan akan terjadi pada titik tersebut. Keruntuhan geser dalam tanah adalah akibat gerak relatif antara butirnya, dan bukan karena butirnya sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah tergantung kepada gaya-gaya yang bekerja antara butirnya.

Berkaitan dengan ini (Bowles, 1997) menyatakan, kegagalan tanah adalah suatu kombinasi gelindingan partikel dan sorongan partikel. Hal ini menimbulkan kekuatan geser tanah yang berlawanan dengan kekuatan kompresif atau kekuatan panteng (*tensile strength*). Kekuatan geser melibatkan parameter-parameter kekuatan tanah yang mempunyai kohesi  $c$  dan sudut geser dalam. Dengan demikian kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri dari dua bagian (komponen) yakni :

1. Bagian yang bersifat kohesi ( $c$ ) yang tergantung kepada macam tanah dan kepadatan butirnya serta kadar air.
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

Kekuatan geser tanah disuatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal pada bidang tersebut pada titik yang sama, sehingga :

$$S = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Berdasarkan dari konsep Terzaghi, tegangan geser pada suatu tanah hanya dapat ditahan oleh tegangan partikel-partikel padatnya. Kekuatan geser tanah dapat juga dinyatakan sebagai fungsi dari tegangan normal efektif sebagai berikut:

$$S = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi' \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

$S$  = kekuatan geser

$c'$  = kohesi pada tegangan efektif

$\phi'$  = sudut geser dalam pada tegangan efektif



Parameter  $c'$  dan  $\phi'$  nilainya akan tergantung daripada tipe butir kasar atau butir halus. Nilai  $c'$  pada butir kasar adalah 0 (nol) karena butir kasar tidak mempunyai kohesi, sedangkan nilai  $\phi'$  untuk butir kasar terutama tergantung kepada kepadatan dan gradasinya. Sedangkan nilai  $c'$  pada butir halus tergantung pada derajat "*over consolidation*", pada tanah butir halus yang derajat "*over consolidation*" nya besar nilai  $c'$  makin besar. Dan nilai  $\phi'$  pada butir halus akan tergantung kepada besarnya fraksi lempung (bagian berat dari butir-butir tanah yang lebih halus dari 0,002 mm), dimana makin besar fraksi lempung maka makin kecil nilai  $\phi'$ .

### **2.11. Pengaruh Air Pada Sifat Tanah dan Amblesan Tanah**

Karena tanah selalu merupakan komposisi dari fase-fase sebagaimana di atas dengan sifat hubungan yang telah diformulasikan maka dapat ditarik pengertian bahwa semua tanah akan selalu dapat ditembus air.

Craig (1989) menyatakan semua jenis tanah lulus air (*permeable*), dimana air bebas mengalir melalui ruang-ruang kosong (pori-pori) yang terdapat diantara butiran-butiran tanah. Tekanan pori diukur relatif terhadap tekanan atmosfer, dan permukaan lapisan tanah yang tekanannya sama dengan tekanan atmosfer dinamakan muka air tanah atau permukaan freatik.

Dalam kaitannya dengan kedudukan muka air tanah yang sangat penting artinya dalam stabilitas maupun daya dukung, Craig lebih lanjut mengatakan di bawah muka air tanah, tanah diasumsikan jenuh, walaupun sebenarnya tidak demikian karena adanya rongga-rongga udara. Dengan demikian tingkat kejenuhan tanah biasanya dibawah 100%. Tinggi muka air tanah berubah-ubah sesuai dengan keadaan iklim, tetapi dapat juga berubah karena pengaruh dari adanya kegiatan konstruksi.

Perilaku berubah-ubah kedudukan muka air tanah akibat keadaan iklim akan membawa variasi nilai pada kandungan air alami pada tanah (Putranto, 2013). Sudah ditegaskan terdahulu bahwa semua diposit tanah alami mengandung air bebas di dalam rongga-rongganya. Setelah periode kering yang panjang maka jumlah air mungkin sangat kecil didekat permukaan tanah, akan tetapi segera setelah hujan maka rongga-rongga tersebut hampir terisi penuh. Didalam daerah atas maka kandungan air alami dan kekuatan tanah adalah gejala transien.

Hal yang penting dari kondisi muka air tanah yang selalu berubah-ubah dan membawa akibat variasi nilai pada kandungan air alami adalah hubungan dengan kelakuan tanah jika mendapat beban-beban kerja ataupun stabilitas tanah.

Untuk mengungkap hubungan ini dapat dipakai analisis bahwa tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah yang membatasi pori-pori yang mana pori-pori tersebut mengandung air dan atau udara. Dalam kaitannya dengan tegangan yang biasa kita pahami, masing-masing partikel padat dan air dapat dianggap tidak kompresibel, sedangkan udara dalam tanah sangat kompresibel.

Dari analisis di atas dapat dimengerti bahwa mekanisme kerja tanah jika mendapat beban kerja, maka tegangan geser yang terjadi (sejajar arah gaya) akibat beban dapat ditahan oleh kerangka partikel padat tanah dengan memanfaatkan gaya-gaya yang timbul karena persinggungan antar partikel. Sedangkan tegangan normal (tegak lurus arah gaya) ditahan oleh gaya-gaya antar partikel pada kerangka tanah. Jika kembali pada asumsi semula tanah dalam kondisi jenuh sempurna, maka air pori akan mengalami kenaikan tekanan karena ikut menahan tegangan normal.

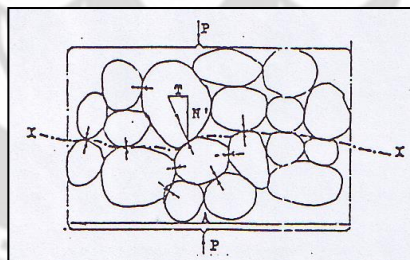
Tentang besar pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah, (Terzaghi and Peck, 1987) mengemukakan prinsip tegangan efektif yang hanya berlaku untuk kondisi tanah jenuh (*full saturated*) adalah sebagai berikut :

1. Tegangan normal total ( $\sigma$ ) pada bidang didalam tanah, yaitu gaya persatuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal).
2. Tekanan air pori ( $\mu$ ) yaitu tekanan air pengisi pori-pori diantara partikel-partikel padat.
3. Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalkan hanya melalui kerangka tanah saja.

Formulasi hubungan ke tiga tegangan diatas adalah :

$$\sigma = \sigma' + \mu \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk dapat memahami alur pikir secara prinsip dari formulasi hubungan ketiga tegangan diatas, dipakai model pada **Gambar 2.5** :



**Gambar 2.5. Interpretasi Tegangan Efektif (Craig, 1989)**

**SEKOLAH PASCASARJANA**

Ditinjau sebuah bidang X-X pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik-titik singgung antara partikel. Bidang X-X yang bergelombang dalam skala besar tersebut sama dengan bentuk bidang yang sebenarnya, karena ukuran partikel tanah relatif kecil. Sebuah gaya

normal P yang bekerja pada bidang A akibat dari beban roda kendaraan, sebagian ditahan oleh gaya-gaya antar partikel dan sebagian oleh tekanan pada air pori.

Gaya-gaya antar partikel pada seluruh tanah, baik besaran maupun arahnya sangat acak, akan tetapi pada setiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang X–X dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang X–X yang sebenarnya. Komponen normal dinyatakan dengan N dan komponen tangensial dengan T. Tegangan normal efektif diinterpretasikan sebagai jumlah seluruh komponen N' didalam luas A, dibagi dengan luas A yakni :

$$\sigma' = \Sigma (N')/A \dots\dots\dots (2.9)$$

Tegangan normal total adalah:

$$\sigma = P/A \dots\dots\dots (2.10)$$

Jika diantara partikel-partikel diasumsikan terdapat titik singgung, maka tekanan air pori akan bekerja pada bidang seluas A. Agar dapat tercapai hukum keseimbangan pada arah normal terhadap X–X:

$$P = \Sigma(N' + \mu A) \dots\dots\dots (2.11)$$

atau dapat diformulasikan :

$$P/A = \Sigma N'/A + \mu \dots\dots\dots (2.12)$$

Ini berarti :

$$\sigma = \sigma' + \mu \dots\dots\dots (2.13)$$

Besar tekanan air pori sama pada semua arah dan bekerja pada seluruh permukaan partikel tetapi volume partikel disini tidak mengalami perubahan. Dan dalam hal ini tekanan air poripun tidak menyebabkan partikel-partikel saling tertekan satu sama lainnya.

Dalam kondisi tanah normal tanpa ada beban kerja di atasnya (akibat bangunan atau roda kendaraan dan lain-lain), maka tegangan efektif vertikal pada suatu bidang X–X yang ada adalah akibat dari berat tanah sendiri di atas bidang X–X.

Model yang digunakan seperti **Gambar 2.6** :



**Gambar 2.6. Efek Muka Air Tanah Terhadap Tegangan Efektif (Wesley, 1989)**

Dari model ini dapat diformulasikan :

Tegangan vertikal total pada bidang X–X pada kedalaman Z sama dengan berat seluruh material (partikel padat + air) persatuan luas di atas kedalaman tersebut, sehingga :

$$\sigma_{v_{x-x}} = \gamma_{sat} \cdot Z \text{ ----> } \gamma_{sat} = \text{berat isi tanah basah.}$$

Pada model di atas kondisi muka air tanah berada pada permukaan tanah (setiap saat dapat berubah), sedangkan karena pori-pori di antara partikel-partikel padat saling berhubungan sehingga lulus air, maka tekanan air pori setiap kedalaman akan sama dengan tekanan hidrostatik, sehingga :

$$\mu_{x-x} = \gamma_w \cdot Z \text{ ----> } \gamma_w = \text{berat isi air}$$

Maka jika dikembalikan kepada formulasi hubungan ketiga tegangan menurut Terzaghi :

$$\sigma_v = \sigma_v' + \mu \text{ dan berarti :}$$

Tegangan efektif vertikal :

$$\sigma_v' = \sigma_v - \mu$$

$$\sigma_v' = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z = \gamma' Z \dots\dots\dots (2.14)$$

Persoalan selanjutnya adalah bagaimana reaksi tegangan efektif terhadap perubahan tegangan total yang dimungkinkan karena adanya penambahan beban-beban kerja diatas tanah.

Dalam menganalisis persoalan ini ada dua kondisi yang menjadi titik tolak pembahasan, yakni kondisi dimana regangan lateral tidak terjadi dan perubahan volume hanya terjadi pada arah vertikal saja. Kondisi seperti tersebut diatas dapat dipakai sebagai asumsi pada kejadian perubahan tegangan vertikal total pada tanah yang luasnya jauh lebih besar dibandingkan dengan tebal lapisan tanah. Sedang kondisi yang kedua adalah kondisi dimana regangan lateral terjadi atau tidak sama dengan nol.

Pada kondisi yang pertama pada suatu tanah yang jenuh sempurna mengalami kenaikan tegangan vertikal total karena adanya penambahan beban kerja. Mula-mula diasumsikan tekanan air pori konstan pada suatu nilai yang sesuai dengan posisi muka air tanah. Nilai awal ini disebut sebagai tekanan air pori statik. Apabila tegangan total bertambah besar, partikel-partikel padat segera mencoba membentuk posisi barunya yang akan saling berdekatan satu sama lain dengan cara menggelinding atau menggelincir dari posisi semula. Akan tetapi karena kondisi air bersifat tidak kompresibel dan tanah mendapat tekanan secara lateral, maka tidak akan terjadi susunan posisi partikel seperti diatas sehingga besarnya gaya-gaya antar partikelpun tidak akan bertambah. Karena air pori menahan perubahan posisi partikel, tekanan air pori akan lebih besar dari tekanan statik segera setelah tegangan total bekerja. Kenaikan tekanan air pori akan sama dengan kenaikan tegangan vertikal yang artinya kenaikan tegangan vertikal total ditahan seluruhnya oleh air pori. Kondisi yang pertama ini akan berbalik mutlak dengan kondisi yang kedua yaitu kondisi dimana regangan lateral tidak sama dengan nol, karena pada kondisi ini mungkin terjadi penyusunan kembali partikel-partikel akibatnya

akan terjadi kenaikan tegangan vertikal efektif dengan segera dan kenaikan tekanan air pori akan lebih kecil dari kenaikan tegangan vertikal total (dimungkinkan ada air yang keluar dari pori-pori tanah).

Dari peristiwa-peristiwa diatas perlu diketahui bahwa kenaikan tekanan air pori menimbulkan gradien tekanan pada air pori yang mengakibatkan aliran transien air pori menuju batas aliran bebas pada lapisan tanah. Aliran ini akanberlanjut terus sampai tekanan air pori sama dengan suatu nilai yang dipengaruhi oleh posisi muka air tanah statik atau tunak.

Craig (1989) dalam kaitan kenaikan tekanan air pori memberi definisi, kenaikan tekanan air pori diatas nilai tunak disebut tekanan air pori berlebihan (*excess pore water pressure*). Penurunan tekanan air pori berlebihan ke kondisi tunak disebut desipasi dan jika hal ini telah seluruhnya terjadi tanah dikatakan berada dalam kondisi terdrainase (*drained*). Sebelum terjadi desipasi tekanan air pori berlebihan, tanah dikatakan berada dalam kondisi tak terdrainase (*undrained*).

Analisis diatas yakni perubahan tegangan total akibat penambahan beban kerja dilanjutkan dengan analisis pengurangan tegangan normal total, maka kesempatan untuk terjadinya penambahan volume sangat terbatas, hal ini disebabkan karena penyusunan kembali partikel akibat kenaikan tegangan total sangat tidak berkebalikan dengan jika peristiwanya pada pengurangan tegangan normal total. Pada peristiwa kenaikan tegangan vertikal efektif yang menyebabkan kenaikan gaya-gaya antar partikel, akan terjadi sedikit regangan elastis pada partikel tanah, khususnya disekitar daerah singgung dan jika pada tanah tersebut terdapat mineral lempung, tanah tersebut akan melentur, dan disamping itu akibat kenaikan gaya-gaya antar partikel air yang terserap pada partikel mineral lempung akan mengalami kompresi. Jika tanah mengalamipenurunan tegangan normal, kerangka tanah cenderung mengembang sampai

batas tertentu, khususnya pada tanah dengan proporsi partikel mineral lempung yang cukup besar. Sebagai akibatnya tekanan air pori berlebihan bernilai negatif, dan secara bertahap tekanan air pori akan naik menuju kondisi tunak dimana terjadi aliran ke dalam tanah yang disertai dengan penurunan tegangan normal efektif dan penambahan volume. Proses ini yang terjadi pada tanah permeabilitas rendah umumnya disebut dengan pemuaian (*swelling*).

Dari analisis tersebut di atas menjadi jelas pengaruh dari kedudukan muka air tanah dan implikasinya terhadap kandungan air tanah, tegangan efektif, tekanan air pori, gradien tekanan air pori, aliran transien, desipasi, kondisi drained dan undrained tanah serta pengurangan volume dan pemuaian volume.

Lebih ekstrim dalam kaitannya dengan kandungan air tanah dan implikasinya terhadap kondisi *drained* dan *undrained* pada tanah (Bowles, 1997) menegaskan, air di dalam tanah mempengaruhi tanah-tanah kohesip secara merugikan dengan mereduksi kohesi karena pelembehan, dan dapat menyebabkan pengembangan volume (*bulking*) tanah-tanah tak berkohesi yang bergantung pada banyaknya air yang terdapat di dalam tanah tersebut. Jika terdapat cukup air untuk mengembangkan tekanan air pori maka mungkin terdapat reduksi yang nyata di dalam komponen dari kekuatan geser.

Namun demikian dalam hubungannya dengan sifat stabilitas tanah, pengaruh-pengaruh di atas belum mampu secara langsung berpengaruh terhadap stabilitas tanah dan masih sangat dipengaruhi pula oleh struktur gradasi butiran tanahnya.

## SEKOLAH PASCASARJANA

### **2.12. Stabilitas Daya Dukung Tanah/Lahan**

Stabilitas daya tanah/lahan diartikan sebagai kemampuan tanah untuk menahan beban kerja tanpa terjadi keruntuhan akibat menggeser. Oleh pembebanan tegangan di dalam tanah

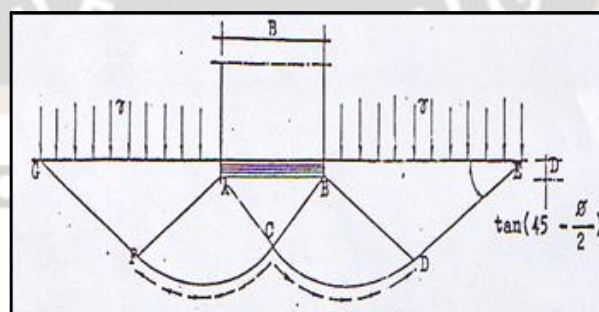


meningkat, mula-mula tanah memadat karena desipasi tekanan air pori. Jika beban bertambah besar akan timbul retak-retak didalam tanah sampai tercapai suatu saat yang kekuatan tanahnya mencapai batas. Kalau batas kekuatan dilampaui, tanahnya pecah dan oleh bebannya terdesak kesamping. Peristiwa tersebut dikatakan bahwa batas keseimbangan tanahnya atau batas daya dukungnya, yakni daya dukung terhadap keseimbangan dilampaui. Memadatnya tanah menyebabkan konstruksi turun (*deformasi*). Kalau beban bertambah besar konstruksi sekonyong-konyong melesak banyak dan cepat dikatakan bahwa daya dukung tanahnya terhadap perubahan bangun (pelesakan) dilampaui.

Jadi stabilitas tanah dapat tercapai jika batas keseimbangan tanah (daya dukung tanah) dan batas keseimbangan pelesakan (daya dukung pelesakan) tidak dilampaui.

Batas keseimbangan ini tergantung dari pada kekuatan geser tanah. Kekuatan geser tanah dipakai untuk menghitung batas keseimbangan tanah (daya dukung) yang dapat dijadikan suatu indikasi apakah kegagalan tanah disebabkan karena terlampauinya kapasitas dukung atau sebab lain.

Salah satu teori dari daya dukung dikemukakan oleh (Terzaghi and Peck, 1987) untuk tipe konstruksi dangkal berdasarkan pada asumsi bahwa kekuatan geser tanah seperti yang telah diuraikan diatas, dengan model fisik keruntuhan sebagai berikut pada **Gambar 2.7** :



**Gambar 2.7. Keruntuhan dibawah Telapak Menerus (Bowles, 1997)**

Asumsi dasar pada model keruntuhan ini adalah bahwa bidang kontak tidak licin sehingga gesekan antara dasar bidang kontak dengan tanah cukup tinggi, sehingga bagian ABC bergerak kebawah bersama telapak (bidang kontak dengan tanah dasar), sedangkan bagian BCD merupakan daerah *radial shear* serta BDE merupakan daerah tekanan tanah pasif.

Dari teori ini menghasilkan formula umum daya dukung :

$$q = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot (N_q) + \gamma \cdot B \cdot N_\gamma / 2 \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

- q = daya dukung keseimbangan
- B = lebar telapak (bidang kontak)
- D = dalam penanaman telapak (bidang kontak)
- $\gamma$  = berat volume tanah
- c = kohesi
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung yang besarnya tergantung dari  $\phi$

Dari formula tersebut diatas tampak jelas bahwa sifat tanah yang berpengaruh terhadap daya dukung adalah berat volume tanah ( $\gamma$ ), konstanta kekuatan geser c dan  $\phi$  yang mana parameter-parameter tersebut sangat ditentukan oleh kedudukan muka air tanah yang berpengaruh terhadap kandungan air tanah dan struktur gradasi dari butirannya.

### 2.13. Konsolidasi dan Penurunan Konsolidasi

Semua tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan didalam kerangka tanah. Regangan disebabkan penggulingan, penggeseran, atau penggelinciran dan terkadang kehancuran partikel-partikel tanah pada titik kontak serta distorsi elastis.

Lapisan tanah yang mengalami tambahan beban di atasnya air pori mengalir dari lapisan tersebut dan volume tanah menjadi kecil, terjadi konsolidasi, dan lapisan tanah menurun (*settle*).

Konsolidasi berlangsung satu jurusan vertikal, karena lapisan yang terkena tambahan beban tidak dapat bergerak jurusan horizontal tertahan tanah sekelilingnya. Pengaliran air pori berjalan terutama dalam jurusan vertikal saja, disebut konsolidasi satu jurusan (*one dimensional consolidation*), dimana perhitungan konsolidasi selalu berdasar teori ini.

Ada dua hal yang perlu diketahui dalam penurunan :

- besar penurunan yang terjadi,
- laju penurunan.

Penurunan pada tanah lempung terjadi agak besar, sedangkan tanah pasir penurunan akan kecil dan berjalan cepat, sehingga pada saat pembangunan selesai, penurunan juga dianggap selesai.

### **Kondisi *normally consolidated* dan *over consolidated***

Dua istilah penting untuk menggambarkan sifat dari lapisan lempung endapan (*sedimentary clays*). Lapisan semacam tersebut setelah mengalami pengendapannya akan mengalami konsolidasi dan penurunan akibat tekanan dan lapisan–lapisan mengendap di atasnya. Lapisan–lapisan di atasnya lama kelamaan bisa jadi hilang karena sebab–sebab geologi, erosi, terkeruk. Lapisan–lapisan bawah pada suatu saat dalam sejarah geologinya pernah mengalami konsolidasi akibat tekanan yang lebih tinggi dari kondisi sekarang. Lapisan–lapisan semacam ini disebut *over consolidated*, sedang lapisan yang belum pernah mengalami tekanan lebih tinggi di atasnya dari pada tekanan sekarang disebut *normally consolidated*.

### Hasil pengujian konsolidasi pada lempung.

Contoh tanah tidak asli dicampur air (*slurry sample*), ditambah beban di atasnya bertahap, dengan memperbolehkan konsolidasi berjalan sampai selesai setiap penambahan beban, tebal contoh tanah akan menurun akibat konsolidasi dan besarnya penurunan dapat ditentukan pada setiap saat.

Dari pembacaan ini angka pori juga dapat dihitung jika kadar air semula sampel diketahui. Dengan begitu dapat dibuat grafik penurunan dan angka pori terhadap tegangan (**Gambar 2.8**)

Tegangan ditambah mencapai  $P_0$  didapatkan garis AB hampir lurus, garis konsolidasi asli (*virgin consolidation curve*). Pada saat lapisan–lapisan lempung mengendap dilapangan proses yang sama akan berjalan dan bilamana tegangan dan penurunan ditentukan maka diperoleh grafik seperti garis AB.

Bila tegangan dikurangi menjadi  $P_1$  tebal contoh tanah menjadi tebal menurut garis BC, demikian juga dilapangan kalau proses pengendapan berhenti dan tegangan di atas lebih kecil karena beban berkurang, tanah mengikuti garis BC.

Jika tegangan ditambah menjadi  $P$ , didapat garis CDE. Garis DE merupakan terusan AB yaitu ABE (garis konsolidasi asli).

Persamaan yang biasa dipakai garis AE adalah sebagai berikut :

1. pada contoh tidak asli yang dicampur air sehingga menjadi cair (*Slurry sample*)

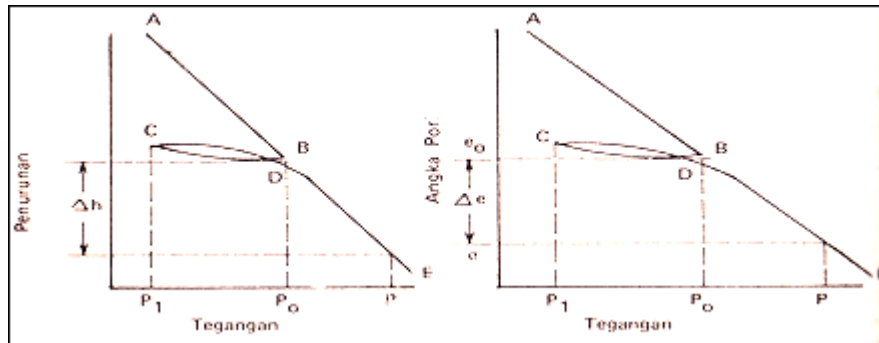
$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{C} \log e \frac{P}{P_0} \quad (\text{Wesley 1989}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$\Delta h$  = penurunan akibat tambahan tegangan dari  $P_0$  menjadi  $P$

$h$  = tebalnya contoh

C = konstanta



Gambar 2.8. Percobaan Konsolidasi Pada Contoh Tidak Asli

$$C_c = \frac{e_0 - e}{\log_{10} \frac{P}{P_0}} \quad (\text{Wesley 1989}) \dots\dots\dots (2.17)$$

Yaitu

$$e_0 - e = C_c \log_{10} \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

$e_0$  = angka pori pada tegangan  $P_0$

$e$  = angka pori pada tegangan  $P$

$C_c$  = compression index

2. pada contoh yang *normally consolidated* (Gambar 2.9)

$$\frac{\Delta h}{h} \text{ atau } \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

$\Delta h$  = penurunan akibat tambahan tegangan dari  $P_0$  menjadi  $P$

$h$  = tebalnya contoh di laboratorium

$e_0$  = angka pori pada tegangan  $P_0$ , yaitu angka pori asli

$e$  = angka pori pada tegangan  $P$

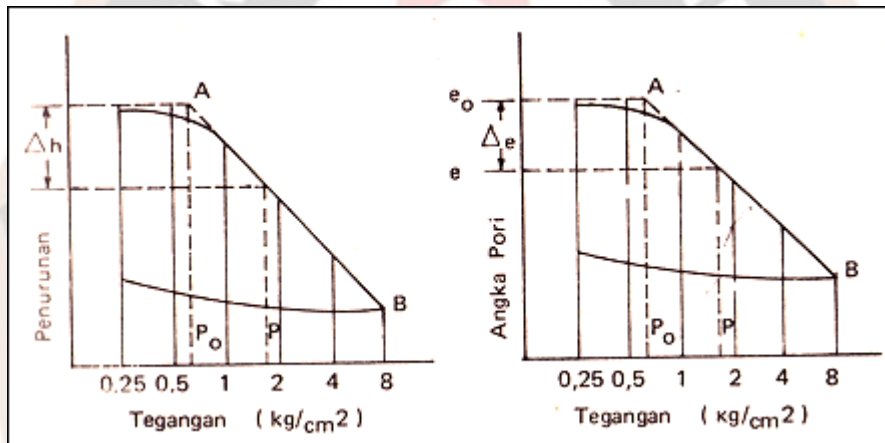
Dengan demikian penurunan ( $s$ ) pada lapisan setebal  $H$  adalah sebesar :

$$s = \frac{\Delta h}{h} H \dots\dots\dots (2.20)$$

atau

$$s = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana :  $\Delta e = e - e_0 \dots\dots\dots (2.22)$



**Gambar 2.9. Percobaan Konsolidasi Pada Contoh *Normally Consolidated***

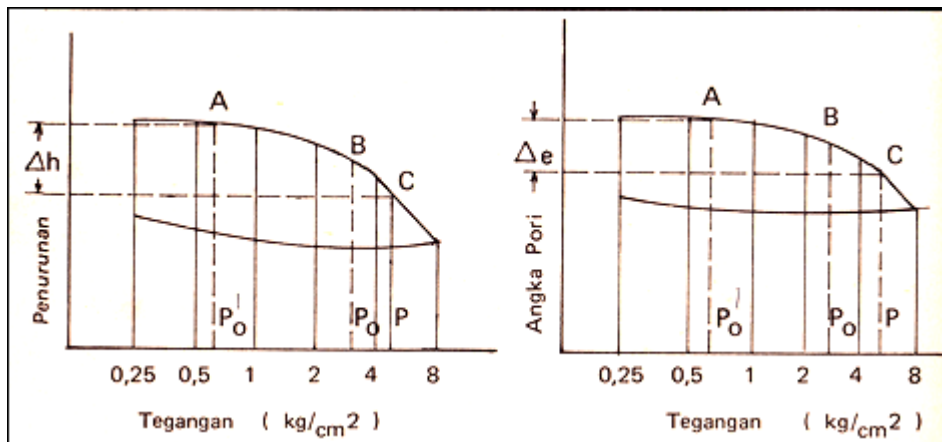
Karena dalam penurunan dalam hal ini ialah garis konsolidasi asli maka kedua rumus ini

dapat diubah menjadi :

$$s = \frac{\Delta h}{h} H = \frac{H}{C} \log e \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{dan } s = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H = \frac{H}{1 + e_0} Cc \log 10 \frac{P}{P_0} \quad (\text{Wesley 1989}) \dots\dots\dots (2.24)$$

3. pada contoh yang *Over consolidated* (Gambar 2.10)



Gambar 2.10. Percobaan Konsolidasi Pada Contoh *Over Consolidated*

$$s = \frac{\Delta h}{h} H = \frac{\Delta e}{1+e_0} H \dots\dots\dots (2.25)$$

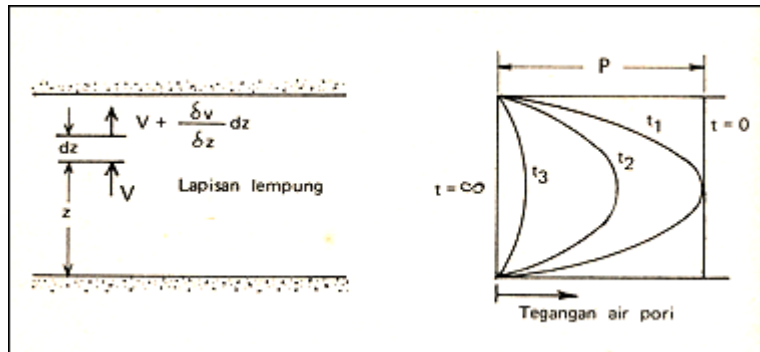
4. pada *Residual Soil*

$$s = \frac{\Delta h}{h} H = \frac{\Delta e}{1+e_0} H \dots\dots\dots (2.26)$$

**Kecepatan/laju Penurunan.**

Untuk kecepatan/laju penurunan tergantung dua faktor :

- Daya rembesan air tanah (*permeability*), yang menentukan kecepatan air mengalir dari tanah.
- Compressibility tanah, yang menentukan banyaknya air yang harus mengalir.



**Gambar 2.11. Teori Konsolidasi (Wesley, 1989)**

Jika lapisan tanah diberi tambahan tegangan  $P$  maka tegangan saat awal akan dipikul seluruhnya oleh air pori, tegangan air pori naik  $P$ . Pengaliran air segera terjadi dan tegangan air pori mulai menurun pada waktu  $t_1$ ,  $t_2$  dan  $t_3$ , tegangan bernilai seperti **Gambar 2.11**. Akhirnya tegangan pori akan menjadi sama seperti sebelum tambahan tegangan.

Rumus yang berlaku selama konsolidasi berlangsung (Terzaghi) berasumsi :

1. Derajat kejenuhan tanah 100%.
2. Tidak terjadi perubahan isi pada air atau butir tanah.
3. Konsolidasi, yaitu pengaliran air serta perubahan isi berlangsung pada satu jurusan saja, yaitu jurusan vertikal.
4. Rumus Darcy berlaku.
5. Tegangan total dan tegangan air pori dibagi rata pada setiap bidang horisontal.

$$\frac{\Delta V}{V} = - m_v P'$$

dimana  $\Delta V$  = perubahan isi  
 $V$  = isi  
 $P'$  = perubahan tegangan efektif



### Penentuan Harga Koefisien Konsolidasi Cv

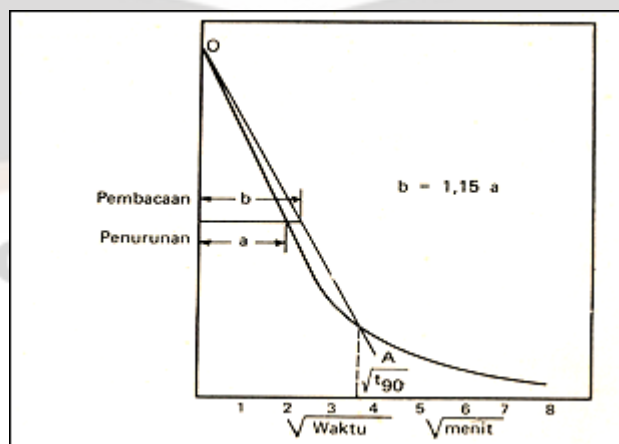
Percobaan konsolidasi dilakukan dengan menambahkan beban pada setiap 24 jam. Setiap kali beban ditambah, pembacaan penurunan diambil pada jangka waktu 0,25; 1; 4; 9; 16 menit dan seterusnya, sesudah beban diberikan. Dengan demikian kita dapat membuat grafik penurunan terhadap akar dua waktu, seperti pada **Gambar 2.12**

Grafik ini dipakai untuk menghitung harga Cv (*coefficient of consolidation*). Harga Cv ini harus kita hitung dari bagian grafik laboratorium yang mengikuti garis teoritis. Pada umumnya, garis dari percobaan tidak menyimpang dari garis teoritis sebelum tercapai 90% dari *primary consolidation*.

Karena itu harga  $t_{90}$  ini biasanya dipakai untuk menghitung Cv. Cara mendapat  $t_{90}$  dapat dilihat pada Gambar. Garis OA digambar dengan mengambil jarak  $b=1,15a$ . Titik perpotongan garis OA ini dengan garis laboratorium adalah  $t_{90}$ .

$$t_{90} = 0.848 H^2 / C_v \dots\dots\dots (2.27)$$

$$C_v = 0.848 H^2 / t_{90} \dots\dots\dots (2.28)$$



**Gambar 2.12. Cara Mendapat Harga  $t_{90}$  Dari Hasil Laboratorium**

Perhitungan Kecepatan Penurunan di Lapangan :

$$t = \frac{T H^2}{C_v} \quad (\text{Wesley 1989}) \dots\dots\dots (2.29)$$

## **2.14. Stabilitas Daya Dukung Lahan Berbasis Karakteristik Geologi Teknik**

### **2.14.1 Analisis Perhitungan Daya Dukung Lahan**

Besarnya daya dukung lahan/tanah tergantung pada sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis tanahnya (Subarkah, 1979). Untuk mengetahui sifat-sifat diatas dilakukan pengujian dilapangan dengan sondir maupun pengeboran. Dari sondir didapatkan nilai konus resistensi  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan lokal friksi ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan total friksi ( $\text{kg/cm}^1$ ), sedangkan dari pengeboran dapat dilakukan diskripsi stratigrafi lapisan tanah, jenis tanah/batuan, pengambilan sampel tanah asli dan terganggu, nilai N SPT (jumlah pukulan dalam 3x penetrasi 15 cm), kedudukan Muka Air Tanah (MAT). Dari nilai indikator  $q_c$ ,  $f_r$ , dan N SPT dapat diketahui konsistensi massa tanah lempung dan kerapatan relatif massa tanah pasir.

Dari sampel-sampel tanah pemboran dilakukan penelitian laboratorium mengenai sifat indeks (nilai angka-angka parameter yang memberi indikator sifat tanah), sifat-sifat fisis dan mekanisnya, serta sifat-sifat hidrolis yaitu : analisa butir, berat isi ( $\text{gram/cm}^3$ ), berat jenis ( $\text{gram/cm}^3$ ), batas-batas plastisitas (%), kadar air asli (%), kekuatan desak bebas  $q_u$  ( $\text{kg/cm}^2$ ), sensitivitas, kohesi ( $\text{kg/cm}^2$ ), sudut geser (derajat), indeks kompresi, koefisien konsolidasi.

Dengan melakukan analisis data yang didapat dari penelitian lapangan dan laboratorium didapat kepastian mengenai sifat, kelakuan, dan kekuatan tanahnya sehingga dapat menentukan daya dukung lahan/tanah.

Daya dukung lahan lingkungan dikatakan stabil jika memenuhi standart stabilitas dalam dua hal :

- a) Stabil terhadap beban, tanah kuat menopang beban yang bekerja:

Daya dukung tanah > (lebih besar) tegangan akibat beban.

$$Q_{all} = c.N_c + \gamma_1.D.f. N_q + 0,5.\gamma_2.B.N_\gamma \quad (\text{Terzaghi}) \dots\dots\dots (2.30)$$

$Q_{all}$  adalah variabel tergantung.

$c$  (kohesi),  $\gamma$  (berat volume tanah),  $B$  (satuan bidang kontak),  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  (faktor daya dukung Terzaghi tergantung sudut ketahanan geser tanah  $\Phi$ ) adalah variabel bebas.

Persamaan Terzaghi sebagai usulan pertama yang konservatif, saat sekarang banyak digunakan persamaan Meyerhof dan Hansen karena lebih mampu memperhitungkan faktor bentuk tapak dan faktor kedalaman serta efek beban miring.

Meyerhof – Hansen untuk tapak square :

$$Q_{all} = 1,2 c N_c + \gamma_1 D N_q + 0,4 \gamma_2 B N_\gamma \dots\dots\dots (2.31)$$

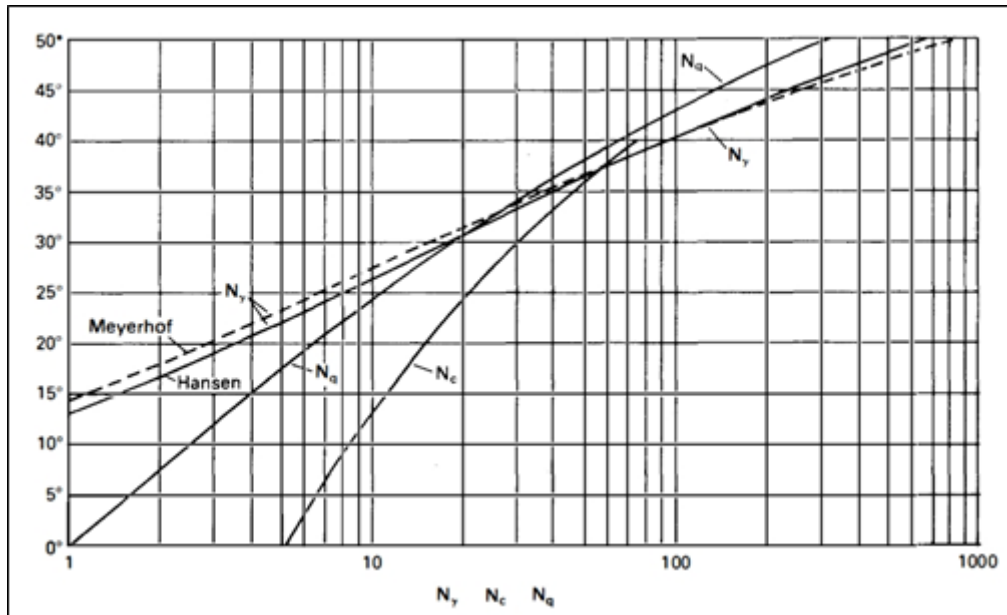
Dengan memperhitungkan efek over burden / kedalaman :

$$Q_{ult} = 1,2 c N_c + \gamma_1 D (N_q - 1) + 0,4 \gamma_2 B N_\gamma \dots\dots\dots (2.32)$$

$$Q_{all} = \gamma_1 D + Q_{ult} / SF \dots\dots\dots (2.33)$$

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  digunakan nilai – nilai Meyerhof – Hansen (Craig, 1989)

**Gambar 2.13.** dibawah ini :



**Gambar 2.13. Grafik Faktor Daya Dukung (Craig, 1989)**

Menggunakan data N SPT daya dukung lahan dapat dihitung (Meyerhof 1957)

$$Q_{all} = N/F (K_d) (1,5) \dots\dots\dots (2.34)$$

B = satu satuan < 1,20 m

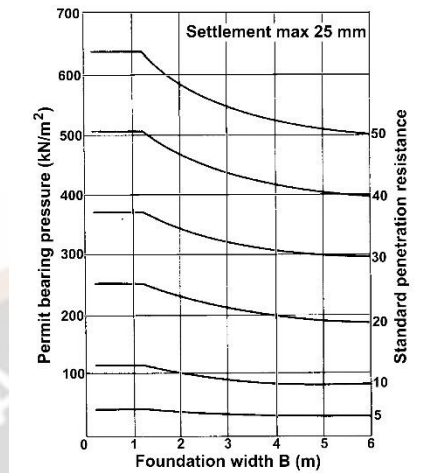
$$K_d = 1 + 0,33 D_f/B < 1,33$$

Faktor koreksi Meyerhof = 1,5

N/F menggunakan grafik Terzaghi dan Peck – Hubungan N SPT dengan Daya Dukung

Ijin, sebagai berikut **Gambar 2.14** :

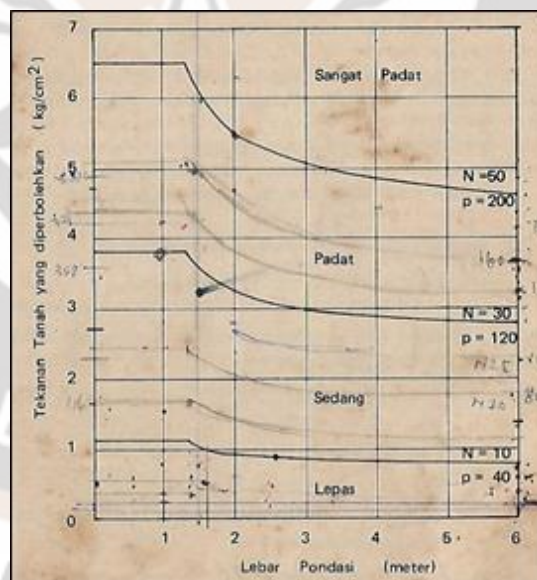
SEKOLAH PASCASARJANA



**Gambar 2.14. Grafik Daya Dukung Ijin Dari N SPT (Craig, 1989)**

Menggunakan data sondir/tahanan konus  $q_c$  (Wesley, 1989)

N/F menggunakan grafik Wesley–Hubungan N SPT dan  $q_c$  dengan Daya Dukung Ijin, sebagai berikut **Gambar 2.15:**



**Gambar 2.15. Grafik Daya Dukung Ijin Dari Tekanan Conus (Wesley, 1989)**

b) Stabil terhadap amblesan, tanah kuat/tidak ambles menopang beban yang bekerja

Amblesan/pelesakan tanah < (lebih kecil) pelesakan yang ditoleransi.

Perhitungan Penurunan/amblesan.

$$S = M_v \cdot D_p \cdot H \dots\dots\dots (2.35)$$

S adalah pelesakan/amblesan merupakan variabel tergantung.

$M_v$  (koefisien kompresibilitas volume tanah),  $D_p$  (tambahan tegangan akibat beban),  $H$  (tebal/tinggi lapisan yang berpotensi ambles/melesak), adalah merupakan variabel bebas.

$$D_p = Q_{all} - q_0 \dots\dots\dots (2.36)$$

$Q_{all}$  = tegangan tanah ijin ( $\text{kg/cm}^2$ ) pada titik tinjau.

$q_0$  = tegangan efektif awal ( $\text{kg/cm}^2$ ) pada titik tinjau

$H$  = tebal tanah potensi ambles/penurunan.

Menurut Buisman De Beer bahwa tambahan/kenaikan tegangan pada deposit kompresibel yang dalam, pengaruh terjadi sampai pada dimana kedalaman ( $H = D_p / 0,1 q_0$ ) (Sanglerat, 1972a)

### 2.14.2. Analisis Perhitungan Lama Waktu Penurunan/Amblesan

Lama waktu amblesan/penurunan diukur :

$$T_v = C_v \cdot T / (H)^2 \dots\dots\dots (2.37)$$

$$T = T_v \cdot (1/2 H)^2 / C_v \dots\dots\dots (2.38)$$

T adalah lama waktu amblesan (detik) merupakan variabel tergantung.

$T_v = 0,848$  faktor waktu (ditetapkan) untuk derajat konsolidasi 90%.

$C_v$  = koefisien konsolidasi (data uji konsolidasi)  $\text{cm}^2/\text{detik}$ .

$C_v$  koefisien konsolidasi merupakan variabel bebas.

$H = \frac{1}{2} H$  (lapisan tanah terbuka/dobel drainase).

$$S = M_v D_p H \dots\dots\dots (2.39)$$

$$M_v = a_v / 1 + e_o$$

$$a_v = e - e_o / P_1 - P_o$$

$$e - e_o = C_c \cdot \text{Log } 10 P_1/P_o$$

$$a_v = ( C_c \cdot \text{Log } 10 P_1 / P_o ) : P_1 - P_o$$

$$S = [ \{ ( C_c \cdot \text{Log } 10 P_1 / P_o ) : D_p \} : 1 + e_o ] D_p \cdot H$$

$$S = \{ ( C_c \cdot \text{Log } 10 P_1 / P_o ) : 1 + e_o \} \cdot H \dots\dots\dots (2.40)$$

## 2.15. Kriteria Karakteristik Tanah Pada Pemetaan

Kriteria dasar yang digunakan untuk mendiskripsikan karakteristik/sifat fisis dan teknis tanah dalam pemetaan mengacu pada hubungan antar parameter-parameter tanah yang memberikan indikasi sifat stabilitas tanah dikemukakan secara spesifik oleh (Sanglerat, 1972b) dan yang lain sebagai dalam tabel berikut: **Tabel (2.3, 2.4)**. Pemetaan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Arc GIS 10.3.

**Tabel 2.3 Hubungan Antar Parameter- Parameter Tanah Berbutir Kasar**

Tingkat kepadatan	Kepadatan Relatif	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	Tekanan $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	SPT
sangat lepas	< 0,2	< 30	< 20,4	< 9
Lepas	0,2 – 0,4	30 - 35	20,4 - 45,9	9 - 10
agak padat	0,4 – 0,6	35 - 40	45,9 - 132,6	10 - 30
Padat	0,6 – 0,8	40 - 45	132,6 - 224,4	30 - 50
sangat padat	> 0,8	> 45	> 224,4	> 50

Sumber : *The Penetrometer and Soil Exploration – Guy Sanglerat, 1972*

Sedang korelasi parameter untuk tanah berbutir halus dikemukakan oleh Sanglerat sebagai berikut :

**Tabel 2.4 Hubungan Antar Parameter – Parameter Tanah Berbutir Halus**

Kondisi	SPT	Tekanan $qu$ ( $kg/cm^2$ )
sangat lunak	< 2	< 0,25
Lunak	2 - 4	0,25 - 0,5
agak lunak	4 - 8	0,5 - 1
agak keras	8 - 15	1 - 2
Keras	15 - 30	2 - 4
sangat keras	> 30	4 - 8,5

Wesley (Tabel 2.5 dan 2.6) mengemukakan korelasi parameter-parameter tanah sesuai kondisi Indonesia (pengalaman di Indonesia) sbb :

Untuk tanah berbutir kasar :

**Tabel 2.5**

**Korelasi Parameter-Parameter Tanah Berbutir Kasar Sesuai Kondisi Indonesia**

Tingkat Kepadatan	Kepadatan Relatif
Lepas	0,00 - 0,33
Sedang	0,33 - 0,67
Padat	0,67 - 1,00

Sumber : Wesley, 1989

Untuk tanah berbutir halus :

**Tabel 2.6**

**Korelasi Parameter-Parameter Tanah Berbutir Halus Sesuai Kondisi Indonesia**

Kondisi	Tekanan $qu$ ( $kg/cm^2$ )
sangat lunak	0,25
Lunak	0,25 - 0,50
Teguh	0,50 - 1,00
Kenyal	1,00 - 4,00
sangat keras	> 4,00

Sumber : Wesley, 1989

Kriteria parameter sifat fisis dan teknis yang memberikan indikasi sifat tanah menurut Kezdi dan Sanglerat (dikorelasikan) Tabel 2.7 adalah sbb :

**Tabel 2.7 Kriteria Parameter Sifat Fisis Dan Teknis**

Parameter (kuantitatif)				Sifat Tanah (kualitatif)	
Kepadatan Relatif	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	Tekanan $qc$ ( $kg/cm^2$ )	$qu$ ( $kg/cm^2$ )	Butir halus >50 lolos #0,074	Butir kasar <50 lolos #0,074
< 0,2	< 30	< 20,4	< 0,5	sangat lunak ke lunak	sangat lepas
0,2 - 0,4	30 - 35	20,4 - 45,9	0,5 - 1,0	agak lunak	Lepas
0,4 - 0,6	35 - 40	45,9 - 132,6	1,0 - 4,0	agak keras ke keras	agak padat
0,6 - 0,8	> 40	> 132,6	4,0 - 8,5	sangat keras	padat ke sangat padat

Sumber : Kezdi – Sanglerat, 1972 dikorelasikan



## 2.16. Implikasi Amblesan Lahan Terhadap Degradasi Lingkungan

Lahan/tanah sebagai lingkungan fisik dimana seluruh aktifitas manusia dalam mencukupi kebutuhan hidup membutuhkan ruang, sehingga ketersediaan lahan yang stabil (tidak ambles) sangat berpengaruh terhadap aktifitas manusia. Beberapa kajian penelitian dibawah ini dapat secara jelas ditarik kesimpulan bahwa sangat beresiko dengan adanya fenomena amblesan lahan di Kota Semarang sebagai akibat dari deformasi lahan alami maupun akibat dari rekayasa lingkungan yang tidak berbasis pada akurasi data kemampuan lahan/daya dukung lahan.

Yastika *et al.* (2019) melaporkan penurunan muka tanah merupakan masalah kritis yang harus ditangani oleh kota-kota besar di wilayah pesisir, seperti Semarang. Pemantauan penurunan muka tanah sangat penting untuk memprediksi dan mengurangi bencana yang diakibatkan penurunan tanah. Oleh karena itu, metode pemantauan yang ekonomis dan efektif, yang dapat secara terus menerus memberikan pengukuran yang akurat pada area yang luas, sangat diperlukan. Ditemukan bahwa transisi penurunan muka tanah berbeda tergantung pada lokasi, dan bahwa laju penurunan muka tanah masih meningkat di bagian utara dan timur laut wilayah pesisir (Yastika *et al.*, 2019).

Dalam penelitian Abidin *et al.* (2013) menjelaskan bahwa penurunan tanah di Semarang telah banyak dilaporkan dan dampaknya sudah terlihat dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan perkiraan dari metode survei Leveling, Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Microgravity dan Global Positioning System (GPS), penurunan tanah dengan laju hingga sekitar 19 cm/tahun diamati selama periode 1999 hingga 2011. Hasil yang berasal dari GPS sejak 2008 hingga 2011 menunjukkan bahwa penurunan muka tanah di Semarang memiliki variasi spasial dan temporal, dengan laju rata-rata spasial sekitar 6 hingga 7 cm/tahun dan laju maksimum yang dapat mencapai 14–19 cm/tahun di lokasi tertentu. Wilayah utara

Semarang di sepanjang pantai menunjukkan tingkat penurunan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah selatannya, dan penurunan ini diyakini disebabkan oleh kombinasi konsolidasi alami tanah aluvium muda, ekstraksi air tanah dan beban bangunan dan konstruksi. Dampak amblesan tanah di Semarang dapat dilihat dalam beberapa bentuk, terutama perluasan yang lebih luas dari wilayah (pesisir) banjir, keretakan dan kerusakan bangunan dan infrastruktur, dan peningkatan intrusi air laut darat (Abidin *et al.*, 2013).

Sarah *et al.* (2011) menjelaskan bahwa Kota Semarang di bagian utara hingga timur laut diketahui telah mengalami proses penurunan tanah di beberapa lokasi sejak tahun 1980 an hingga sekarang. Permasalahan amblesan tanah telah menimbulkan kerugian yang cukup besar akibat kerusakan pemukiman, infrastruktur dan masalah lingkungan seperti banjir (rob). Faktor endapan alluvial berumur kuartar yang belum terkonsolidasi sempurna ditengarai sebagai salah satu faktor penting penyebab amblesan tanah di Kota Semarang. Penelitian yang ditulis dalam prosiding bertujuan untuk mengidentifikasi karakter *Over Consolidation Ratio* (OCR) lempung pada lokasi-lokasi uji lapangan di Kota Semarang berdasarkan kondisi geologi teknik bawah permukaannya. Hasil kajian menunjukkan keterdapatannya lapisan lempung tebal dengan konsistensi lunak pada bagian atas endapan dataran Semarang dengan ketebalan berkisar 10-42 m semakin menebal ke arah utara. Lapisan lempung ini memiliki karakteristik belum terkonsolidasi hingga terkonsolidasi normal (nilai  $OCR \leq 1$ ), dengan kompresibilitas lempung cukup tinggi. Delineasi lapisan lempung berdasarkan nilai OCR dapat mencerminkan lokasi-lokasi yang mengalami penurunan tanah di Kota Semarang (Sarah *et al.*, 2011).

Penelitian Soedarsono (2009) menghasilkan bahwa Daerah Semarang bawah mengalami amblesan karena terletak di atas tanah lempung lunak. Amblesan di sebagian kota Semarang umumnya terjadi pada dataran aluvial dengan kedalaman yang berbeda, semakin

keutara umumnya amblesan semakin besar. penyebab amblesan tanah diduga akibat pemampatan endapan aluvial secara alami, pembebanan bangunan, pengurugan tanah dan ekstraksi air tanah melebihi kemampuannya. Amblesan tanah di sebagian Kota Semarang menjadi masalah yang serius karena daerah tersebut umumnya merupakan kawasan permukiman. Akibat amblesan tanah kawasan permukiman menjadi lebih rendah, karena lokasi permukiman sebagian dekat dengan pantai, saat terjadi pasang maka air laut melimpah ke daratan melalui sungai dan saluran drainase selanjutnya menggenang pada permukiman. Penelitian ini memprediksi besar dan lama penurunan lahan pada dataran aluvial akibat pembebanan (tanah urug, gedung dan beban lainnya) serta sifat mekanik tanah. Hasil penelitian yang didapat adalah amblesan tanah dibagi dengan zone antara lain : 0–0,2m, 0,21m–0,4m, 0,41m–0,6m, 0,6m–0,80, dan lebih dari 0,8 m (Soedarsono and Arief, 2009b).

Implikasi amblesan lahan terhadap degradasi lingkungan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- i. Besarnya amblesan lahan dipengaruhi tiga variabel yaitu koefisien kompresibilitas volume tanah, perubahan tegangan dan kedalaman pengaruh tegangan yaitu kedalaman tanah yang berpotensi untuk ambles.
- ii. Amblesan lahan terus berlangsung ketika perubahan tegangan terus meningkat akibat pembebanan lahan.
- iii. Permasalahan terjadi untuk Kota Semarang khususnya bagian kota bawah (Kecamatan Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, Genuk) ketika amblesan terus berlanjut, pada saat tertentu tinggi muka lahan mencapai lebih rendah terhadap permukaan air laut pasang sehingga terjadi rob.

- iv. Perubahan langsung pada sifat fisik alam dan atau hayati terjadi, menyebabkan gangguan kondisi homeostatik alami yang mengakibatkan daya dukung lingkungan menurun, rusaknya kondisi homeostatik, salah satu sebab degradasi lingkungan.
- v. Degradasi lingkungan adalah perubahan langsung atau tidak langsung pada sifat fisik dan atau hayati lingkungan yang mengakibatkan daya dukung lingkungan menurun.
- vi. Penyebab degradasi lingkungan dikelompokkan dalam : pencemaran lingkungan, .pengurangan sumber daya alam, gangguan kondisi homeostatik.
- vii. Gangguan pada kondisi homeostatik mengakibatkan terbentuknya kondisi homeostatik baru atau bahkan rusaknya kondisi homeostatik sehingga proses ekologi penting dan daya dukung kehidupan tidak mampu memulihkan diri.

## **2.17. Sintesa Teori**

Daya dukung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya. Pengukuran daya dukung lingkungan hidup dilakukan dengan metode mengetahui kapasitas lingkungan alam dan sumber daya untuk menopang aktifitas manusia guna kelangsungan eksistensi hidupnya. Nilai besaran kapasitas lingkungan alam dan sumber daya pada suatu ruang/tanah ditentukan karena keadaan dan karakteristik sumber daya yang ada dalam hamparan tanah/ruang tersebut.

Kapasitas sumber daya alam sangat tergantung pada kemampuan/daya dukung lahan, ketersediaan lahan dan kebutuhan lahan, ketersediaan dan kebutuhan air. Penentuan daya dukung lingkungan hidup berdasarkan tiga pendekatan:

- a. Kemampuan lahan untuk alokasi pemanfaatan ruang;
- b. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan;
- c. Perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air.

Penentuan daya dukung lingkungan hidup dijadikan sebagai acuan dalam penyusunan rencana tata ruang wilayah.

Menurut Undang-Undang republik Indonesia nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang pengertian ruang adalah wadah yang meliputi ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang di dalam bumi sebagai satu kesatuan wilayah tempat manusia dan makhluk lain hidup, melakukan kegiatan, dan memelihara kelangsungan hidupnya.

Tata ruang merupakan wujud struktur ruang yakni susunan pusat-pusat pemukiman dan sistem jaringan prasarana dan sarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan sosial-ekonomi masyarakat yang secara hirarki memiliki hubungan fungsional.

Pengertian wilayah adalah ruang yang merupakan kesatuan geografis beserta segenap unsur terkait yang batas dan sistemnya ditentukan berdasarkan aspek administratif dan atau aspek fungsional. Jadi tata ruang wilayah dapat diartikan sebagai wujud struktur dan pola ruang wilayah. Maksud penataan ruang adalah suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang.

Untuk memaksimalkan tingkat validitas dan komprehensivitas penyusunan tata ruang wilayah kota, data mengenai kondisi fisik/lingkungan dan sumber daya alam menjadi sangat

penting. Satu diantara data yang sangat signifikan terkait daya dukung lingkungan adalah daya dukung lahan.

Kemampuan lahan/daya dukung lahan sebagai faktor utama dalam penentuan daya dukung lingkungan hidup, karena 2 faktor lain yakni perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan dan air tidak akan pernah terwujud jika daya dukung lahan tidak stabil.

Daya dukung lahan adalah kemampuan lahan yang merupakan karakteristik lahan yang mencakup sifat-sifat tanah, topografi, drainase, dan kondisi lingkungan hidup lain untuk mendukung kehidupan atau kegiatan pada suatu hamparan lahan.

Stabilitas daya dukung/kemampuan lahan tidak cukup hanya diukur dari 4 aspek diatas, tetapi terdapat faktor utama kemampuan lahan yakni, aspek karakteristik geologi teknik yaitu karakteristik massa tanah pembentuk hamparan lahan yang menjadi faktor penentu seluruh stabilitas kemampuan lahan.

Seluruh bangunan yang berada di muka bumi ini akan selalu menapak di atas tanah dasar sebagai pendukungnya. Suatu konstruksi akan berdiri tetap tegak kalau tanah dasar di bawahnya cukup kuat untuk mendukungnya. Beban bangunan akan selalu dilimpahkan pada tanah dasar pendukung bangunannya. Agar supaya kedudukan bangunan cukup kokoh di dalam tanah, tanahnya harus cukup kuat menahan gaya-gaya yang akan menimbulkan pergeseran dan pelesakan, atau dapat dikatakan bahwa tanah harus mempunyai daya dukung cukup besar.

Sifat dan perilaku tanah jika dibebani banyak tergantung kepada ukuran-ukuran butir butir tanah. Oleh karenanya analisis pengukuran besar butiran dari jenis tanah sangat diperlukan. Di dalam teknik tanah secara garis besar diadakan pembedaan antara tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Dari kedua kelompok tipe tanah ini mempunyai spesifikasi sendiri-sendiri menyangkut cara diskripsinya, analisis perhitungan kekuatan/kestabilan, dan

perilaku tanah berbutir halus terhadap pembebanan akan berbeda dengan perilaku tanah berbutir kasar.

Dari kondisi semacam itu maka dalam teknik tanah secara spesifik dikelompokkan dalam tipe gradasi butiran yaitu :

- d. Gradasi rapat (*well graded*) adalah tanah yang ukuran butirannya dibagi rata antara yang kasar sampai yang kecil.
- e. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah bilamana semua ukuran butiran hampir sama.
- f. Gradasi senjang (*poorly graded*) adalah bilamana ada kekurangan atau kelebihan salah satu ukuran butir tertentu.

Analisis selanjutnya sesuai dengan tipe tanah yaitu berbutir kasar dan halus adalah menyangkut sifat pengenal, sifat mekanis dan sifat hidrolis tanah.

Dalam analisis sifat pengenal tercakup analisis berat volume massa tanah, gradasi butiran, porositas tanah, angka pori, kandungan air, specific gravity, derajat kejenuhan, kerapatan relatif (khusus untuk butir kasar) dan analisa plastisitas

Analisis sifat mekanis mencakup analisis konsistensi dan sensitifitas tanah, tekanan tanah dan regangan, pertahanan terhadap geser, kepadatan, analisis sifat hidrolis adalah analisis rembesan

Dari hasil ketiga pokok analisis sifat tanah tersebut di atas akan didapatkan parameter-parameter tanah sesuai dengan tipe pokok butiran tanah (butir halus atau butir kasar). Dari parameter-parameter ini diadakan korelasi antar parameter sehingga didapatkan indikasi sifat stabilitas tanah.

Stabilitas daya tanah/lahan diartikan sebagai kemampuan tanah untuk menahan beban kerja tanpa terjadi keruntuhan akibat menggeser. Oleh pembebanan tegangan di dalam tanah

meningkat, mula-mula tanah memadat karena desipasi tekanan air pori. Jika beban bertambah besar akan timbul retak-retak didalam tanah sampai tercapai suatu saat yang kekuatan tanahnya mencapai batas. Kalau batas kekuatan dilampaui, tanahnya pecah dan oleh bebannya terdesak kesamping. Peristiwa tersebut dikatakan bahwa batas keseimbangan tanahnya atau batas daya dukungnya, yakni daya dukung terhadap keseimbangan dilampaui. Memadatnya tanah menyebabkan konstruksi turun (*deformasi*). Kalau beban bertambah besar konstruksi sekonyong-konyong melesak banyak dan cepat dikatakan bahwa daya dukung tanahnya terhadap perubahan bangun (pelesakan) dilampaui.

Jadi stabilitas tanah dapat tercapai jika batas keseimbangan tanah (daya dukung tanah) dan batas keseimbangan pelesakan (daya dukung pelesakan) tidak dilampaui.

Semua tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan didalam kerangka tanah. Regangan disebabkan penggulingan, penggeseran, atau penggelinciran dan terkadang kehancuran partikel-partikel tanah pada titik kontak serta distorsi elastis.

Lapisan tanah yang mengalami tambahan beban diatasnya air pori mengalir dari lapisan tersebut dan volume tanah menjadi kecil, terjadi konsolidasi, dan lapisan tanah menurun (*settle*).

Konsolidasi berlangsung satu jurusan vertikal, karena lapisan yang terkena tambahan beban tidak dapat bergerak jurusan horizontal tertahan tanah sekelilingnya. Pengaliran air pori berjalan terutama dalam jurusan vertikal saja, disebut konsolidasi satu jurusan (*one dimensional consolidation*), dimana perhitungan konsolidasi selalu berdasar teori ini.

Lahan/tanah sebagai lingkungan fisik dimana seluruh aktifitas manusia dalam mencukupi kebutuhan hidup membutuhkan ruang, sehingga ketersediaan lahan yang stabil (tidak ambles) sangat berpengaruh terhadap aktifitas manusia.