

BAB II

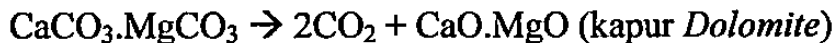
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah setiap metode buatan untuk menambah kekuatan tanah, mengurangi susutnya, dan memastikan bahwa tanahnya tidak akan bergerak (Kamus Lengkap Teknik Sipil, 1993). Stabilisasi tanah sangat perlu dilakukan pada tanah yang bersifat sangat lepas, mudah tertekan, indeks konsistensi yang tidak sesuai, dan sifat lain yang tidak diinginkan. Teknik stabilisasi tanah sering dilakukan untuk meningkatkan kekuatan tanah dan sifat-sifat geoteknik lainnya seperti plastisitas, porositas, dan kemampuan. Stabilisasi tanah biasanya dilakukan pada konstruksi tanah dasar bendungan, konstruksi timbunan, jalan raya, badan jalan, dan lain sebagainya. Stabilisasi tanah dapat dilakukan baik secara teknis maupun kimia. Usaha perbaikan tanah secara teknis dapat dilakukan dengan cara tradisional maupun modern. Perbaikan tanah secara tradisional dilakukan dengan menambahkan pasir atau batu pada tanah tanpa usaha pemadatan, ditumbuk secara tradisional, maupun dengan memberikan cerucuk kayu seadanya pada permukaan secara vertikal (Afriani, 2008). Perbaikan secara modern yaitu dengan menggunakan alat berat seperti mesin gilas atau perkuatan dengan menggunakan geosintetik. Stabilisasi tanah secara kimiawi yaitu mencampur bahan tambahan pada tanah seperti semen, kapur, abu sekam padi, *fly ash*, dan lain sebagainya. Usaha pencampuran tanah dengan bahan aditif ini perlu persiapan yang efisien dan hemat.

B. Kapur

Kapur adalah hasil pembakaran dari batu gamping dengan temperatur yang sangat tinggi. Batu gamping yang dapat dijadikan sebagai kapur harus tersusun lebih dari 50% mineral *calcium carbonate* (CaCO_3). Standar yang dikembangkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (AP-42, 1995) menyebutkan bahwa kapur dihasilkan dari batuan yang tersusun dari mineral *Dolomite* (mengandung mineral Magnesium MgCO_3 sebanyak 30-45%). Secara kimia, proses untuk menghasilkan kapur dapat dituliskan sebagai berikut (AP-42, 1995) :



Istilah kapur mengandung tiga pengertian, yaitu kalsium karbonat (CaCO_3) untuk keperluan pertanian, kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang terhidrasi atau kapur padam atau *slaked lime*, dan kalsium oksida (CaO) yang disebut kapur tohor atau *quick lime*. Kapur padam dihasilkan dari reaksi antara kapur tohor dan air. Kapur ini akan menimbulkan reaksi kimia dengan tanah lempung. Sebagai bahan stabilisasi biasanya digunakan kapur padam dan kapur tohor. Beberapa permasalahan yang diakibatkan *quick lime* adalah terjadinya korosi pada peralatan dan bagi pelaksana sangat berbahaya karena kulit pelaksana dapat terbakar. Oleh karena itu dalam pelaksanaan stabilisasi, *slake lime* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) lebih sering digunakan sebagai bahan stabilisasi. Dengan cara pemadaman yang sempurna dapat dihasilkan kapur padam yang berupa butiran-butiran yang sangat halus dan

C. Karung Plastik

Kehidupan manusia tidak akan pernah terlepas dari sampah. Keberadaan sampah merupakan hasil dari pemenuhan kebutuhan manusia. Sampah disebut juga limbah adalah semua bentuk limbah yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang umumnya berupa padatan dan dianggap tidak lagi bermanfaat atau berguna. Istilah limbah padat atau sampah mencakup seluruh jenis sampah baik yang bersifat heterogen seperti sampah rumah tangga dan sampah dari aktivitas komersial, maupun sampah yang bersifat homogen dari kegiatan industri tertentu.

Menurut Mohajit (2001), sampah industri merupakan salah satu jenis sampah atau limbah padat yang dihasilkan dari aktivitas atau kegiatan industri dan secara tipikal meliputi sampah *rubbish*, abu, limbah bongkaran dari konstruksi bangunan, dan limbah bahan berbahaya dan beracun. *Rubbish* meliputi limbah padat yang bisa terbakar maupun yang sukar terbakar atau yang tidak mudah membusuk seperti plastik, kertas, karton, karet, gelas, seng, besi, dan lain-lain. Limbah padat sebagian besar merupakan limbah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, sehingga apabila limbah ini sudah menumpuk akan dikhawatirkan keberadaannya di alam karena akan mengakibatkan pencemaran (Mohajit, 2001).

Plastik yang merupakan salah satu limbah padat dapat didaur ulang sebagai bahan plastik dalam bentuk lain. Di bidang konstruksi, plastik juga telah dimanfaatkan di bidang perkuatan tanah seperti serat karung plastik. Karung plastik yang berbahan dasar *polypropylene* (PP) relatif tidak dapat terurai bila dibuang sebagai sampah. Perkuatan tanah dengan menggunakan serat ini

didasarkan pada kekuatan geser antara fiber dan partikel-partikel tanah. Serat sintetis tersebut merupakan bahan yang mempunyai regangan putus lebih tinggi dibandingkan dengan regangan runtuh tanah. Dengan demikian perkuatan bekerja dari regangan rendah sampai regangan runtuh tanah dan setelah regangan runtuh tanah dilampaui, perkuatan masih mampu memberikan tegangan tarik sehingga bisa mencegah keruntuhan yang mendadak (McGown, dkk, 1978). Plastik yang tersusun dari bahan-bahan berupa *polypropylene (PP)*, *polyethylene (PE)* dan *high-density polyethylene (HDPE)* mempunyai kekuatan yang cukup sebagai bahan campuran untuk perkuatan tanah (Widianti, dkk, 2008).

D. Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Penambahan bahan-bahan kimia pada tanah bertujuan untuk menambah daya dukung tanah, mengurangi kemampatan dan air tanah. Pencampuran kapur dengan tanah adalah salah satu metode perbaikan tanah dan telah dikenal sebagai salah satu bahan stabilisasi tanah yang baik, terutama bagi stabilisasi tanah lempung yang memiliki sifat kembang-susut yang besar.

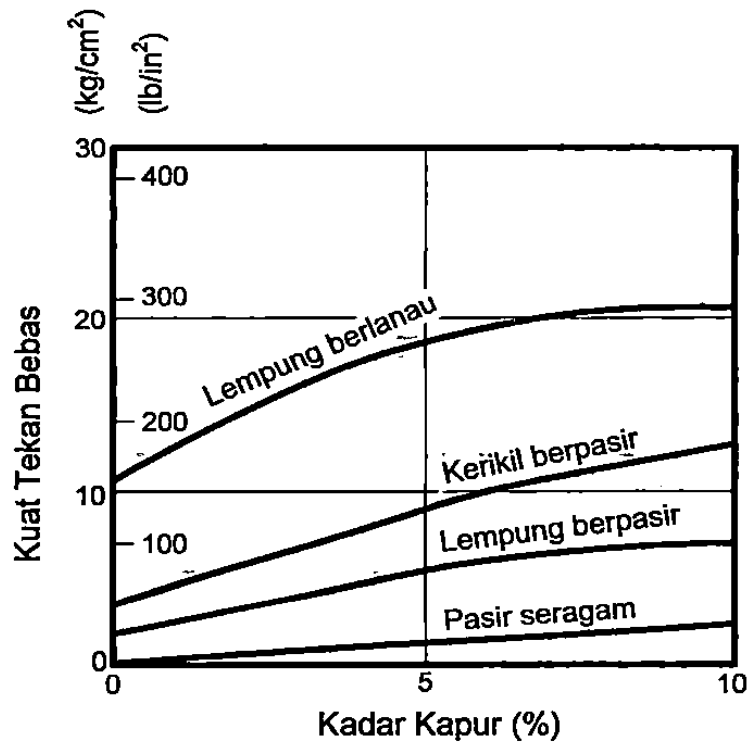
Menurut Little (1999), dengan distabilisasi menggunakan kapur, tanah dalam jangka waktu panjang akan semakin kuat dan stabil. Kekuatan tanah dapat diperoleh selama bertahun-tahun jika prosedur desain diikuti dengan baik, dan stabilisasi kapur dapat secara signifikan mengurangi potensi kerusakan permanen pada tanah. Tanah dengan kembang susut yang tinggi yang lebih dikenal dengan “tanah mengembang”, umumnya mengandung kadar lempung *montmorillonite* yang cukup tinggi, akan tetapi sifat kembang-susut tersebut akan banyak berkurang bahkan dapat dihilangkan bila tanah tersebut dicampur dengan kapur

(Ingles dan Metcalf, 1972). Little (1999) menyatakan bahwa kapur yang kaya dengan ion-ion Ca, Mg, dan sebagian kecil Na biasanya dipakai untuk bahan stabilisasi tanah untuk mengurangi sifat mengembang dari tanah, mengurangi plastisitas tanah, dan meningkatkan daya dukung tanah (Afriani, 2008).

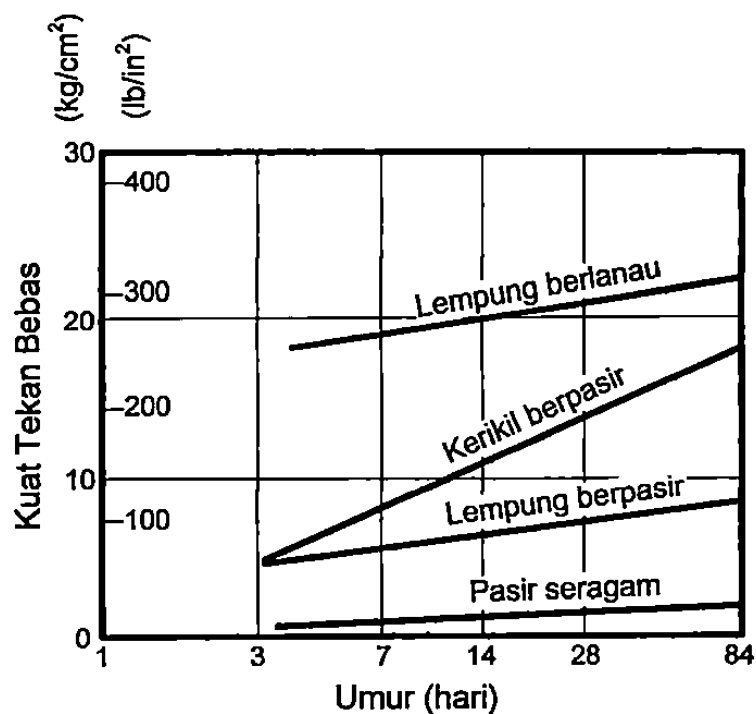
Reaksi kimia yang terjadi antara kapur dan tanah lempung oleh Ingless dan Metcalf (1972) dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan kecepatan reaksinya, yaitu :

1. Proses cepat, berupa pertukaran ion langsung Ca^+ yang diserap oleh tanah lempung diikuti flokulasi lempung menjadi gumpalan-gumpalan butir kasar yang gembur dan berpengaruh terhadap menurunnya nilai indeks plastisitas (PI). Proses ini lebih dikenal dengan “modifikasi (*modification*)” (National Lime Association, 2004).
2. Pengerasan akibat proses kimia yang relatif lambat berupa proses hidrasi. Proses ini diikuti terbentuknya kalsium silikat, seperti pengerasan semen dan prosesnya berlangsung terus sampai beberapa bulan, yang dinamakan proses pozzolanisasi yang diformulasikan dalam campuran kalsium, silikat, atau aluminat terhadap tanah lempung. Proses pozzolanisasi terjadi setelah proses modifikasi dan berlangsung lama, sehingga pada proses ini terjadi “stabilisasi (*stabilization*)” (National Lime Association, 2004).

Ingless dan Metcalf (1972) juga menyatakan bahwa kuat tekan bebas untuk beberapa jenis tanah terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu dan



Gambar 2.1. Pengaruh kadar kapur padaam (*hydrated lime*) terhadap kekuatan beberapa jenis tanah pada umur 7 hari dan suhu 25°C (Ingless dan Metcalf, 1972)



Gambar 2.2. Pengaruh umur pemberian kapur terhadap kekuatan beberapa jenis tanah dengan stabilisasi 5% kapur padaam (Ingless dan Metcalf, 1972)

Perbaikan tanah dengan kapur didasarkan pada reaksi *pozzolanic* yang terjadi antara kapur dengan tanah. Silika dan Alumina pada tanah akan bereaksi dengan kalsium pada kapur sehingga dengan adanya reaksi akan terjadi perbaikan terhadap struktur tanah. Reaksi *Pozzolanic* dapat berlangsung sepanjang tahun bahkan sampai 10 tahun selama kapur cukup tersedia dan pH tetap tinggi di atas 10 (*National Lime Association*, 2001). Kekuatan yang diperoleh dari campuran tanah kapur tergantung pada tingkat reaktivitas *pozzolanic* yang dihasilkan. Tingkat reaktivitas tanah-kapur bervariasi pada jenis tanah yang berbeda (Little, 1996). Namun jika tanah memiliki kandungan sulfat yang tinggi maka pencampuran tanah dengan kapur tidak dapat memberikan perkuatan bahkan mengakibatkan sifat kembang tanah semakin tinggi karena pencampuran tersebut menghasilkan *ettringite* dan *thaumasite* yaitu jenis mineral tanah yang memiliki sifat mengembang yang lebih besar dari *montmorillonite*. Pada tahun pertama dan kedua, kelakuan tanah seperti pada peristiwa stabilisasi kapur pada umumnya (tanah membaik, daya dukung menjadi tinggi), tetapi setelah dua tahun sifat tanah dan kembang susutnya justru menjadi jauh lebih buruk daripada sifat tanah asli semula (Mitchell, 1986).

Chen (1983) mengusulkan penambahan kapur sebesar 2-8% dari berat total campuran. Selain itu, penambahan 3% dari berat total campuran juga didasarkan pada penelitian Muntohar (2003). Supriyono (1997) (dalam Rais, 2004), melakukan kajian dengan kapur yang menunjukkan bahwa waktu pemeraman yang mempengaruhi kekuatan bahan adalah selama 4-7 hari. Selanjutnya penelitian oleh Basma dan Tuncer (1991) menunjukkan bahwa tanah lempung

dengan potensi pengembangan yang tinggi dan dengan tekanan mengembang sebesar 2,6 kPa dapat berkurang sampai 1,7 kPa karena penambahan kapur 10%. Bahkan tekanan pengembangan dapat dikurangi sampai 0 kPa dengan penambahan kapur 4% dengan waktu perawatan selama 28 hari.

Doty dan Alexander (1978) mengevaluasi kekuatan yang diperoleh dari stabilisasi kapur dengan 12 tanah yang berbeda dan menemukan bahwa perawatan selama 7 hari dengan suhu 30⁰ C sama hasilnya dengan perawatan selama 28 hari dengan suhu 23⁰ C. Kekuatan dari semua jenis tanah bertambah dan beberapa jenis tanah memperoleh kekuatan lebih dari 10 MPa dengan masa perawatan selama 360 hari. Kekuatan yang signifikan diperoleh pada masa perawatan antara 180 sampai 360 hari.

Little (1998) mengukur kuat tarik tak langsung pada campuran tanah kapur dengan masa perawatan selama 7 hari dan suhu 38⁰ C pada 9 jenis tanah yaitu 1 jenis tanah Colorado, 1 jenis tanah Arizona, 4 jenis tanah California, 1 jenis tanah Texas dan 2 jenis tanah Utah. Hasilnya menunjukkan pengurangan kadar air campuran secara signifikan dan penambahan kekuatan tarik tak langsung dari 400kPa sampai 1500 kPa. Perendaman terhadap sampel dilakukan selama 24 jam sebelum diuji.

Stabilisasi tanah dengan mencampurkan kapur mengakibatkan terjadinya transformasi dan penggumpalan partikel lempung, sehingga membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar. Akibat reaksi tersebut akan memudahkan dalam pelaksanaan pemadatan (Ingles & Metcalf, 1972). Berdasarkan uraian diatas

penambahan kapur akan mempengaruhi sifat sifat fisik tanah. Ingles dan Metcalf

(1972) memberi kriteria pemberian kapur dalam campuran yang ditunjukkan pada

Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kandungan *hydrated lime*

Jenis tanah	Modifikasi	Stabilisasi
<i>Fine crushed rock</i>	2%-3%	-
<i>Well graded clay gravels</i>	1%-3%	3%
<i>Sand</i>	-	-
<i>Sand clay</i>	-	5%
<i>Silty clay</i>	1%-3%	2%-4%
<i>Heavy clay</i>	1%-3%	3%-8%
<i>Very heavy clay</i>	1%-3%	3%-8%
<i>Organic soils</i>	-	-

Sumber : Ingles dan Metcalf (1972)

E. Perkuatan Tanah dengan Inklusi Serat Karung Plastik

Beberapa penelitian seperti Maher, dkk (1994), Nataraj, dkk (1997), Ziegler, dkk (1998), Cai, dkk (2006), Ikizler, dkk (2009) menunjukkan bahwa perkuatan tanah dengan penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan tanah. Nataraj, dkk (1997) melakukan penelitian tentang kekuatan dan deformasi perkuatan tanah dan pasir dengan menggunakan *fibrillated fibers* dengan variasi penambahan serat sebesar 0,1% dan 0,3% dari berat campuran. Sampel yang diuji dibuat dengan variasi diameter yaitu 33 mm, 70 mm, dan 100 mm dan panjang masing-masing adalah 72 mm, 140 mm dan 117 mm. Kekuatan tanah bertambah seiring dengan bertambahnya diameter benda uji dari 33 mm sampai 70 mm. Namun untuk diameter 100 mm kekuatannya lebih rendah dari benda uji dengan diameter 70 mm. Secara signifikan serat menambah kuat tekan maksimum tanah dan pasir. Penambahan serat pada tanah dan pasir menambah sudut gesek dan nilai kohesi.

Kekuatan yang meningkat dari tanah dan pasir dengan penambahan serat...

kadar air. Nilai CBR juga mengalami perbaikan dengan pemakaian serat sebagai perkuatan. Nataraj, dkk (1997) menyarankan bahwa *polypropylene fibrillated fibers* yang digunakan untuk pengujian tanah yaitu dengan panjang 25 mm dan kadar serat optimum kurang lebih 0,3% dari berat total campuran.

Ziegler, dkk (1998) melakukan penelitian tentang efek penambahan serat polimer terhadap pengembangan retak pada tanah lempung. Pengujiannya menggunakan serat polimer yang berukuran panjang 25 mm, lebar 2,5 mm, dan tebal 0,25 mm dengan kadar serat 0%, 0,1%, 0,3%, dan 1% dari berat total campuran. Hasil pengujian menunjukkan inklusi serat pada tanah lempung menambah kuat tarik dan membentuk sifat daktil yang tidak terdapat pada tanah tanpa serat. Kadar serat 0,3% dari berat total campuran memberikan nilai kuat tarik tertinggi. Maher, dkk (1994) menyimpulkan inklusi serat menambah kuat tekan maksimum, kuat tarik belah, indeks kekerasan, dan konduktivitas hidraulik dari tanah lempung *Kaolinite*.

Untuk mengurangi kerapuhan campuran tanah, maka Cai, dkk (2006) mengkaji tentang pengaruh penambahan serat *polypropylene* dan kapur pada tanah lempung. Kajian ini menggunakan serat dengan variasi kadar serat yaitu 0,05%, 0,15%, dan 0,25% dari berat total campuran dan variasi kadar kapur yaitu 2%, 5%, dan 8% dari berat total campuran. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tekan tanpa batas, uji kuat geser langsung, dan uji kembang susut. Hasil pengujian menunjukkan kadar serat, kadar kapur, dan durasi perawatan sangat mempengaruhi sifat teknis dari campuran tanah-kapur-serat. Penambahan kadar kapur mengakibatkan peningkatan nilai CBR dan nilai CBR pada tanah lempung

gesek internal dari tanah lempung. Di lain pihak, kadar kapur yang bertambah mengurangi potensi kembang susut tanah. Jumlah kadar serat yang bertambah mengakibatkan kekuatan tanah dan potensi penyusutan meningkat, tetapi mengurangi potensi pengembangan. Masa perawatan yang lebih lama juga memperbaiki parameter stabilisasi tanah yaitu kuat tekan tanpa batas dan kuat geser tanah.

Pengaruh proporsi serat (dalam persen), panjang serat dan proporsi semen yang dicampur dalam tanah terhadap kekuatan geser dan kekuatan tarik (*split-tensile strength*) juga dikaji oleh Consoli, dkk (2002). Kajian ini menggunakan serat PET (*polyethylene terephthalate*) yang dibentuk dari limbah botol plastik untuk memperkuat tanah pasir yang distabilisasi dengan semen. Proporsi serat dibuat dalam variasi 0,1%-0,9% dari berat total campuran, sedangkan panjang serat direncanakan 12 mm, 24 mm dan 36 mm yang dicampurkan dalam tanah pasir yang distabilisasi dengan 3%-7% semen. Hasil kajian menyimpulkan bahwa perkuatan dengan serat PET meningkatkan kuat geser tanah baik tanpa distabilisasi maupun tidak distabilisasi dengan semen. Perilaku getas tanah pasir yang distabilisasi dengan semen menjadi berkurang dengan adanya inklusi serat PET.

Hisyam (2000) meneliti pengaruh serat karung plastik terhadap parameter kuat geser tanah lempung. Pengujian awal yang dilakukan berupa uji batas-batas konsistensi, uji distribusi ukuran butir, uji berat jenis, uji pemadatan dan uji geser langsung yang dilakukan pada tanah asli. Sedangkan pengujian pokok yang dilakukan adalah uji pemadatan, uji geser lempung, uji dilatasi, uji kompresi

variasi kadar serat dan ukuran serat karung plastik. Panjang serat karung plastik yang digunakan adalah 0,5 cm, 1 cm, dan 2 cm. Persentase serat karung plastik yang digunakan adalah sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% terhadap berat kering tanah lempung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada benda uji campuran serat karung plastik dengan panjang 0,5 cm terjadi peningkatan 65,95% dari kuat geser tanah asli, benda uji campuran serat dengan panjang 1 cm terjadi peningkatan 44,24% dari kuat geser tanah asli, dan benda uji campuran serat dengan panjang 2 cm terjadi peningkatan 61,05% dari kuat geser tanah asli. Peningkatan kuat geser tanah terbesar terjadi pada benda uji dengan panjang serat 0,5 cm dan kadar serat 2% dari berat total campuran.

Sobhan dan Mashnad (2003) telah melakukan pengamatan tentang perilaku tanah, dengan campuran semen, kapur, dan abu sekam padi yang diperkuat dengan potongan-potongan plastik yang diperoleh dari botol plastik air minum bekas. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kuat tarik, dan kuat lentur dari bahan-bahan tersebut serta menentukan keefektifan dari potongan plastik yang mampu meningkatkan kekuatan dari bahan-bahan tersebut. Pengujian kuat tarik (*split test*) dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi diameter pada benda uji terhadap besarnya kuat tarik yang diperoleh. Untuk mengukur akibat dari perkuatan, pengujian besarnya indek kekerasan pun diusulkan. Usulan tersebut dipakai karena dengan menggunakan serat plastik sebagai perkuatan dimungkinkan mampu meningkatkan kekuatan. Benda uji yang diperkuat dengan serat 0,25% dan 0,5% dari berat total campuran dan dicampur dengan 10% semen

total campuran menunjukkan penambahan kekuatan yang signifikan dari perilaku regangan dan tegangan kuat tariknya.

F. Uji Kuat Tarik Belah

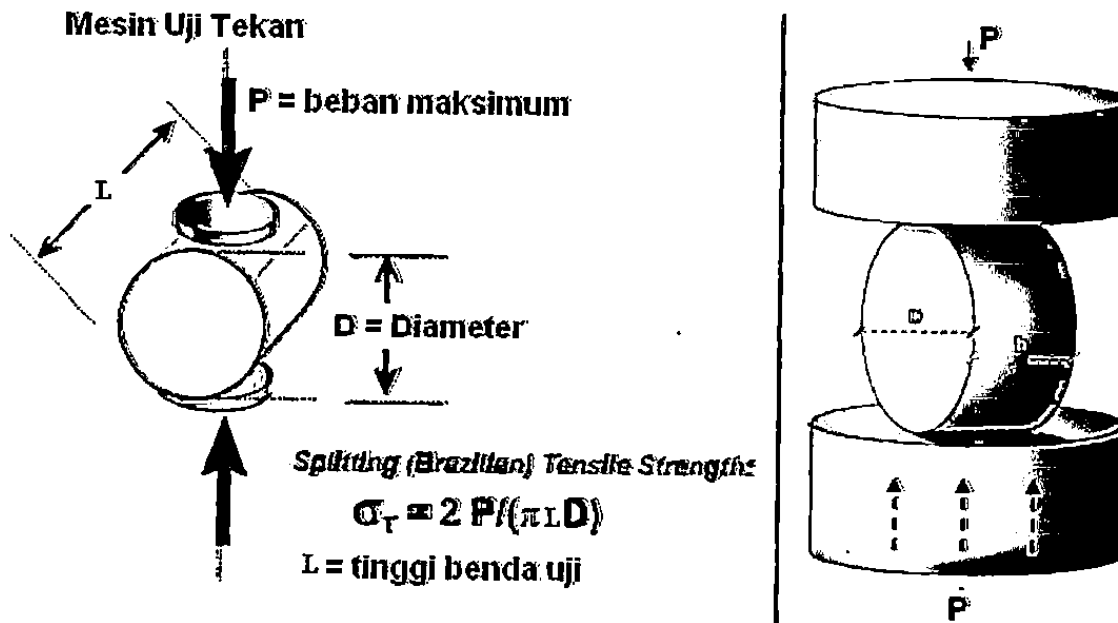
Uji kuat tarik belah pada tanah kohesif penting sekali dilaksanakan dalam perencanaan perkerasan dan struktur lainnya (Ramanathan dan Raman, 1973). Pengujian tarik belah merupakan uji tekan sederhana yang membutuhkan penekanan sepanjang diameter vertikal pada benda uji silinder antara dua pelat. Pengujian ini telah dikembangkan oleh Carneiro dan Barcellos pada tahun 1953 sebagai uji tarik pada material yang rapuh (Ramanathan dan Raman, 1973). Berdasarkan teori elastisitas, pembebanan ini menghasilkan kuat tarik maksimum yang seragam sepanjang diameter yang menyebabkan keruntuhan pada silinder dengan pembelahan (Bazant, 1991). Konfigurasi pembebanan ini mengakibatkan tegangan tarik yang relatif seragam, tegak lurus dengan arah pembebanan sepanjang diameter vertikal benda uji, yang pada akhirnya menyebabkan keruntuhan (*failure*) pada benda uji yang ditandai dengan terjadinya retakan. Timoshenko (1951) menyatakan kekuatan tarik belah atau *tensile split strength* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1). Skema pengujian seperti digambarkan pada Gambar 2.3.

$$\sigma = \frac{2.P}{A} \max$$

P_{max} = Pembebanan maksimum pada saat runtuh (N)

L = Tinggi rata-rata dari benda uji (mm)

D = Diameter dari benda uji (mm)



Gambar 2.3. Skema pengujian kuat tarik belah (Tolosa, dkk, 2005)

Berbagai penelitian tentang pengaruh ukuran benda uji terhadap kuat tarik belah menunjukkan bahwa besarnya kuat tarik belah tergantung pada diameter (Bazzant, 1991). Pengujian oleh Sabnis dan Mirza (1979), Chen dan Yuan (1980), Ross, Thompson, dan Tedesco (1989), menyimpulkan kuat tarik belah bertambah sesuai dengan berkurangnya ukuran diameter.

Yamamoto dan Miyake (1982) mengkaji tentang pengaruh ukuran benda uji terhadap kuat tekan tanpa batas pada beton. Hasilnya menunjukkan bahwa kuat tekan tanpa batas pada beton meningkat dengan meningkatnya ukuran diameter.

pengujian ini, ada dua ukuran yang digunakan yaitu benda uji yang memiliki rasio ukuran $L/D = 2$ dan benda uji yang memiliki diameter konstan yaitu 40 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa *unconfined compressive strength* bertambah dengan besarnya ukuran benda uji