

PENGGUNAAN BELERANG DAN ARANG KAYU SEBAGAI BAHAN PERBAIKAN TANAH LAPIS DASAR KONSTRUKSI JALAN

I Gusti Ngurah Wardana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana
gustingurahwardana@yahoo.com

Abstrak: Permasalahan yang timbul apabila studi tanah lempung Desa Pejaten Tabanan distabilisasi dengan campuran belerang dan arang kayu adalah bagaimana pengaruh penambahan belerang dan arang kayu dengan prosentase (%) yang berbeda terhadap nilai-nilai karakteristik tanah lempung Pejaten dan berapa besar prosentase (%) penggunaan belerang dan arang kayu yang optimum sebagai bahan campuran untuk perbaikan tanah lempung Pejaten, Tabanan. Untuk studi ini sampel tanah yang dites, dibuat di laboratorium dengan cara membuat campuran belerang dan arang kayu dengan prosentase yang berbeda, yaitu: 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap berat kering tanah. Perbandingan antara belerang dan arang kayu adalah 50%:50% dari prosentase penambahan campuran yang telah dibuat. Untuk setiap prosentase (%) penambahan campuran belerang dan arang kayu yang dibuat 3 (tiga) buah benda uji. Untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanis dari penelitian ini dilakukan tes ukuran butir, batas-batas atterberg, berat jenis (Gs), tes kepadatan, CBR dan tes kuat tekan bebas (UCT). Hasil tes dan analisa menunjukkan bahwa tanah desa Pejaten termasuk tanah lempung dengan Plastisitas tinggi (CH). Disamping peningkatan berat volume kering dan penurunan kadar air optimum (W_{opt} %), akibat penambahan prosentase belerang dan arang kayu didapatkan nilai CBR Design nilai tertinggi (optimal) yaitu 7,4% pada penambahan prosentase belerang dan arang kayu sebesar 6%. Pada nilai kuat tekan bebas (q_u) dari tanah desa Pejaten mencapai puncaknya yaitu sebesar $3,8 \text{ kg/cm}^2$ pada prosentase penambahan belerang dan arang kayu sebesar 6%.

Kata Kunci: Arang kayu, belerang, kadar air optimum, ukuran butir, perbaikan tanah.

THE USE OF SULFUR AND WOOD CHARCOAL AS A MATERIAL FOR SUBGRADE IMPROVEMENT

Abstract: The problems arising when Pejaten Village clays in Tabanan is stabilized with a mixture of sulfur and charcoal. This includes the effect of additional sulfur and charcoal using a different percentage (%) to the characteristic of Pejaten clays and the optimum percentage (%) of sulfur and charcoal as a compound to get optimum subgrade improvement. In this study, the soil samples were tested in the laboratory by combining sulfur and charcoal using different percentages (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10%) of soil dry weight. A comparison between sulfur and charcoal is 50% of the additional of the mixture. Three specimens were made for each percentage (%) of additional mixture of sulfur and charcoal. In order to obtain the physical and mechanical properties, grain size test, atterberg limit, specific gravity (Gs), compaction test, CBR and unconfined-compression tests (UCT) were conducted. The analysis shows that Pejaten clay is considered to have high plasticity (CH). As with the increase of dry weight volume and the decrease of optimum water content (W_{opt} %), the 6% addition of sulfur and charcoal cause the CBR design values reaching the highest (optimum) value of 7.4%. In addition, the 6% addition of

sulfur and charcoal cause an unconfined-compression test (q_u) of Pejaten clays reaches its maximum of 3.8 kg/cm^2 .

Keywords: wood charcoal, sulfur, optimum moisture content, grain size, soil improvement.

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan suatu konstruksi jalan raya sering dihadapkan pada kondisi alam yang tidak menguntungkan, karena topografi permukaan bumi yang tidak rata sehingga dalam pelaksanaannya akan terjadi galian dan timbunan pada trase jalan. Selain itu sering juga ditemukan kondisi tanah yang kurang baik, di mana kondisi tanah lapis dasar (Sub Grade) tidak memenuhi syarat untuk menerima beban terutama beban lalu lintas pada saat jalan tersebut dioperasikan. Apabila penanganan pada bagian ini kurang baik atau kurang diperhatikan, maka akan lebih mudah terjadi kerusakan pada permukaan jalan tersebut, misalnya jalan akan berlobang, retak-retak atau terjadi *Settlement Differential*.

Bertitik tolak dari permasalahan yang telah diuraikan di atas, maka pada penelitian ini dicoba untuk menitikberatkan stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan bahan campuran belerang (Sulfur) dan arang kayu, dengan harapan penggunaan sulfur dan arang kayu sebagai bahan stabilisasi pada jenis tanah lempung Pejaten ini dapat meningkatkan daya dukung tanah serta dapat mengurangi fluktuasi kadar air tanah sehingga memenuhi syarat sebagai tanah lapis dasar (sub grade) pada konstruksi jalan raya, khususnya di Desa Pejaten Tabanan.

Struktur Tanah Kohesif

Deskripsi lengkap tentang struktur tanah kohesif berbutir halus memerlukan pengetahuan mengenai gaya antar partikel maupun susunan geometrik atau tekstur dari partikel tersebut. Adalah hampir tidak mungkin untuk mengukur gaya antara partikel yang melingkupi partikel-partikel lempung secara langsung, maka tekstur lempung tadi akan merupakan fokus utama dalam studi-studi mengenai tanah ko-

hesif. Dari studi tekstur, perkiraan-perkiraan dadakan untuk penentuan gaya antar partikel. Gaya antar partikel terlihat seolah-olah terbentuk dari tiga jenis aliran listrik yang berbeda:

- ❖ Rekatan ionik : rekatan akibat berkurangnya elektron di bagian luar dari atom-atom yang memebentuk satuan tanah dasar.
- ❖ Rekatan Van Der Wals : rekatan akibat berubah-ubahnya jumlah elektron pada setiap saat pada salah satu bagian dari inti atom.
- ❖ Lain-lain: termasuk rekatan hidrogen dan gaya tarik gravitasi antara dua benda.

Struktur Mineral Lempung

Mineral lempung pada dasarnya terdiri dari susunan dasar seperti silicon, aluminium, oksigen, hydrogen dan beberapa logam lainnya seperti Fe, Mg, Ca, K dan Na. Unsur – unsur tersebut membentuk suatu rangkaian dasar yang terdiri dari lapisan silica tetrahedron dan aluminium octahedron. Pada lapisan silica tetrahedron setiap atom silicon silingkupi oleh empat atom oksigen, sedangkan pada aluminium octahedron setiap atom aluminium (juga bias magnesium) dikelilingi oleh gugus hidroksil (OH) dan atom – atom oksigen. Lapisan-lapisan tersebut lebih dikenal sebagai tetrahedral sheet dan octahedral sheet karena bentuknya yang tipis dan melebar. Sebagai simbulnya tetrahedral sheet disebut juga silica sheet digambarkan sebagai bentuk trapesium memanjang, sedangkan octahedral sheet digambarkan sebagai bentuk empat persegi panjang.

Bila logam utama yang dominan pada octahedral sheet adalah aluminium, maka lapisan tersebut juga sebagai gibbsite sheet dan bila logam utamanya adalah magnesium, maka disebut brucil sheet.

Karakteristik Tanah Lempung Pejaten Tabanan

Desa Pejaten Tabanan berada pada ketinggian antara 100 sampai 150 m di atas permukaan laut, di mana seluruh tanahnya merupakan tanah liat yang berwarna coklat kemerah-merahan serta lengket bila bercampur air oleh karena itu maka Desa Pejaten tidak mempunyai areal pertanian. dengan kondisi tanah yang seluruhnya merupakan tanah liat, apabila hal ini ditinjau dari segi daya dukung tanahnya, sangat kurang menguntungkan, terlebih lagi kalau tanah liat sering terendam air akan berakibat sangat lembek dan cepat mnurun kekuatan daya dukung tanahnya. Secara umum dapat dikatakan bahwa karakteristik tanah Desa Pejaten merupakan campuran tanah liat dengan plastisitas dan kembang susut yang tinggi. (Tesis paca Sarjana, I.B.Ag. Dharmanegara, 1997, UGM).

Stabilisasi Tanah Dasar

Metode stabilisasi tanah (*Soil Stabilization*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan mutu tanah dasar sebelum digunakan. Dengan stabilisasi tanah berarti mencampur tanah dengan suatu bahan tertentu yang berguna untuk mengubah atau memperbaiki mutu tanah asal, sehingga diharapkan akan diperoleh sifat-sifat tanah yang lebih baik sesuai dengan yang dikehendaki perencana.

Dengan pengertian lain stabilisasi tanah adalah usaha memodifikasi sifat dan kelakuan tanah asli dengan menambahkan atau melakukan sesuatu terhadap tanah asli, sehingga terbentuk sifat dan kelakuan tanah yang lebih baik dan memenuhi syarat.

Prinsip-prinsip dasar stabilisasi tanah

Ada tiga cara perbaikan tanah yang umum dilakukan untuk pekerjaan konstruksi jalan raya, (*Kezdi Arpard, Stabilized Earth Road, 1979, hal.22*) yaitu :

❖ **Cara Mekanis**, yaitu perbaikan tanah yang dilakukan tanpa penambahan

bahan-bahan lain. Perubahan sifat-sifat tanah dapat dicapai dengan :

- Mengurangi volume rongga (membuang udara) dari tanah dengan melakukan pemadatan.
- Kadar air yang harus dijaga dalam suatu batas yang konstan, misalnya dengan drainase.
- Perbaikan gradasi, yaitu dengan penambahan fraksi tanah yang masih kurang.

❖ **Cara Fisik**, yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti:

- Hidrasi (proses hidrasi semen yang akan membentuk ikatan antar partikel tanah sehingga campuran semen dengan tanah akan mengeras).
- Penyerapan air (absorpsi) seperti yang terjadi pada stabilisasi dengan kapur.
- Perubahan temperature (seperti pada stabilisasi dengan bitumen, dimana aspal harus dicairkan terlebih dahulu dengan jalan dipanaskan agar dapat tercampur.
- Evaporasi/ penguapan (yaitu dengan penguapan emulsi aspal untuk menguatkan tanah).

❖ **Cara Kimiawi**, yaitu dengan memanfaatkan reaksi-reaksi kimia yang terjadi yang akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat tanah, seperti :

- Pertukaran ion, yaitu dengan menukar reaksi ion antar butir-butir tanah.
- Presefikasi/pengendapan yaitu dengan mncampur dua macam campuran sehingga akan menghasilkan suatu campuran yang baru yang dapat menimbulkan pemadatan pada tanah.
- Polimerisasi/ perubahan bentuk molekul, yaitu dalam kondisi tertentu beberapa zat sederhana dicampur, sehingga akan membentuk zat baru yang memiliki molekul yang lebih besar dan menimbulkan pengaruh pada stabilisasi.

Metode Stabilisasi Tanah

Pada konstruksi jalan raya, perbaikan tanah dasar merupakan stabilisasi tanah dangkal, hal ini memungkinkan digunakannya berbagai macam metode perbaikan, misalnya ditinjau dari segi teknik pencampuran. Metode perbaikan tanah yang lazim digunakan pada konstruksi jalan raya antara lain dapat dilakukan dengan (Suyono Sosrodarsono, 1984 hal.258) :

- Metode pencampuran terpusat : yaitu tanah tersebut dicampur dengan bahan stabilisasi pada suatu tempat, kemudian baru diangkat ke tempat pekerjaan. Kemudian dilakukan pemadatan, untuk itu diperlukan mesin pencampur.
- Metode pencampuran dalam galian : yaitu bahan stabilisasi dicampur dengan tanah pada lobang galian tanah, kemudian diangkut ke tempat pekerjaan. Bahan stabilisasi dapat dipan-cangkan ke dalam tanah dalam bentuk tiang kemudian digali bersama-sama dan dicampur, atau bahan stabilisasi itu ditaburkan di atas tanah sehingga pada penggalian terjadi pencampuran.
- Metode pencampuran di tempat pekerjaan : yaitu tanah dihamparkan di tempat pekerjaan, kemudian ditaburi bahan stabilisasi dan dicampur, atau tanah yang akan distabilisasikan itu digaruk dan dicampur dengan bahan stabilisasi.

Arang kayu sebagai bahan tambahan untuk stabilisasi tanah pada penelitian ini memiliki klasifikasi :

- Warna hitam
- Arang kayu jenis campuran.

Metode Penelitian

Dalam pengumpulan data yang diperlukan, dilakukan penelitian melalui percobaan-percobaan di laboratorium sesuai dengan sampel yang dipakai. Pengambilan material belerang (sulfur) didapat dari Koperasi Kerajinan Industri Belerang "Raksa" Pasuruan, Jatim, yang me-

rupakan hasil dari penambangan belerang (sulfur) yang ada di Gunung Welirang-Pasuruan, Jatim. Dan arang kayu didapat dari hasil pembakaran jenis kayu campuran yang banyak terjual di Kota Denpasar. Sedangkan pengambilan sampel tanah dilakukan di Desa Pejaten Kabupaten Tabanan. Pemilihan lokasi pada daerah/desa ini dilakukan berdasarkan atas kesimpulan dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, di mana seluruh lokasi di Desa Pejaten, Tabanan mempunyai jenis tanah yang sama yaitu jenis tanah liat yang berwarna coklat agak kemerah-merahan dengan plastisitas dan kembang susut tinggi (Tesis Pasca Sarjana, I.B.A Dharmanegara, 1997, UGM). Di samping itu factor lain yang mendukung adalah berdasarkan pengamatan langsung secara visual di lapangan, di mana pada ruas-ruas jalan yang ada di Desa Pejaten banyak yang bergelombang, retak-retak dan berlobang. Berdasarkan data yang ada maka penulis mempunyai asumsi bahwa tanah di Desa Pejaten mempunyai daya dukung yang rendah bila digunakan sebagai sub grade jalan.

Karena semua lokasi di Desa Pejaten mempunyai jenis tanah yang sama maka lokasi pengambilan tanah sampel telah dianggap dapat mewakili jenis tanah Desa Pejaten secara keseluruhan (*Incidental Sampling*). Pengambilan sampel tanah ini dilakukan sampai dengan kedalaman 1,50 meter. Karena untuk sub grade konstruksi jalan berada pada kedalaman 50-100 cm (*Silvia Sukirman, 1992, hal.14*). di mana sampel yang diambil ada dua (2) jenis yaitu sampel tanah asli atau tidak terganggu (*undisturb sample*) dan sampel tanah yang terganggu (*disturbed sample*).

Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat untuk pengujian saat penelitian dilaksanakan di laboratorium, jumlah dan macam benda uji dibuat tergantung dari jenis penelitian yang dilakukan. Benda uji dari bahan sampel tanah yang tidak asli (*disturbed sample*) dibuat dengan penambahan campuran belerang

(*sulfur*) dan arang kayu dengan prosentase (%) penambahan campuran masing-masing : 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah. Di mana untuk setiap prosentase (%) penambahan campuran belerang (*sulfur*) dan arang kayu dibuat tiga (3) buah benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Tanah

Kadar Air Tanah Asli (*W*) %

Berdasarkan dari hasil penelitian yang diperoleh (Tabel 1), di mana akibat dari penambahan campuran sulfur dan arang kayu terhadap tanah lempung Pejaten, kadar air (*W*) yang didapat cenderung menurun/mengecil dari kadar air (*W*) tanah aslinya. Ini berarti apabila jenis tanah Pejaten distabilisasi dengan campuran sulfur dan arang kayu, derajat kekerasan dari tanahnya akan menjadi lebih besar, dalam arti tanah tersebut akan menjadi lebih padat.

Berat Volume Tanah Basah (\square_b)

Dari hasil penelitian berat volume tanah basah (\square_b) ini, didapat angka pori (*e*) untuk tanah asli sebesar 1,490 dan porositas/ volume pori (*n*)-nya sebesar 59,827 %. Di mana setelah tanah Pejaten dicampur dengan campuran sulfur dan arang kayu, terlihat bahwa angka pori (*e*) dan volume pori (*n*)-nya menurun dari nilai (*e*), (*n*) tanah aslinya. Berarti tanah Pejaten setelah dicampur dengan campuran sulfur dan arang kayu, tanahnya menjadi lebih padat karena air yang mengisi pori-pori tanah telah didorong keluar oleh mineral dari campuran sulfur dan arang kayu. Dan pori-pori itu sekarang diisi oleh mineral campuran tersebut, sehingga volume porinya menjadi berkurang.

Berat Jenis Tanah (*Gs*)

Berat jenis tanah (*Gs*)-nya menurun sejalan dengan bertambahnya kandungan campuran sulfur dan arang kayu, hal ini terjadi karena sulfur dan arang kayu sebagai bahan pencampur mempunyai ni-

lai berat jenis (*Gs*) yang lebih kecil dan mineral lempung, khususnya mineral lempung Pejaten, yang termasuk mineral lempung inorganik/anorganik. Jadi dengan bertambahnya prosentase penambahan sulfur dan arang kayu, ini berarti akan mengurangi mineral lempung itu sendiri sehingga akan mengakibatkan berkurangnya nilai berat jenis tanah itu sendiri.

Nilai-nilai Konsistensi Atterberg Tanah Pejaten

Dengan berkurangnya nilai plastisitas tanah lempung maka beberapa sifat lempung yang kurang menguntungkan dipandang dari segi mekanis seperti kembang susut dapat diperbaiki. Karena sesuai dengan sifat-sifat konsistensi dari tanah, di mana semakin besar harga (*IP*) maka rentang dimana tanah berada dalam keadaan plastis akan semakin besar juga. Sedangkan sifat plastisitas tanah selalu berhubungan dengan kadar air atau tanah semakin rentang terhadap perubahan kadar air. Pada Gambar 2 dapat dilihat hubungan nilai Batas Plastis, Batas Cair dan Indeks Plastis dengan prosentase penambahan sulfur dan arang kayu, di mana semakin besar kadar campuran sulfur dan arang kayu, maka harga Indeks Plastis (*IP*) semakin kecil

CBR Laboratorium

Meningkatnya nilai CBR akibat naiknya prosentase campuran sulfur dan arang kayu, hal ini disebabkan karena partikel-partikel tanah terikat antara satu dengan yang lainnya akibat adanya sulfur kayu sehingga terbentuk satu kesatuan tanah yang lebih kuat. Nilai CBR terus bertambah sampai pada kadar campuran sulfur dan arang kayu 6%, kemudian nilai CBR menurun sampai kadar campuran 10% sulfur dan arang kayu. Hal ini disebabkan karena pemakaian sulfur dan arang kayu yang melebihi kadar optimum, sehingga menyebabkan butiran tanah menjadi seragam. Apabila suatu jenis tanah mempunyai bentuk butiran yang seragam, hal itu akan menyebabkan kekuatan

dari campuran tanah menjadi lebih lemah. Sedangkan meningkatnya nilai CBR akibat jumlah pukulan yang meningkat pada pemadatan tanah, hal ini disebabkan karena dengan energy pemadatan yang lebih tinggi, maka volume pori tanah akan semakin kecil dan tanah semakin padat, sehingga bidang kontak antar butiran tanah semakin tinggi yang menyebabkan tegangan efektif () dari tanah menjadi semakin besar.

Test Kekuatan Tekan Bebas [Unconfined Compression Test (UCT)]

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa dengan penambahan prosentase campuran sulfur dan arang kayu sampai pada kadar 6%, dengan kadar air yang sama menyebabkan meningkatnya harga kuat tekan bebas tanah (q_u) sampai puncaknya yaitu sebesar 3,8 kg/cm², kemudian menurun sampai pada kadar campuran 10% sulfur dan arang kayu.

Kesimpulan

Sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini serta didasarkan atas data-data hasil penelitian yang diperoleh selama dilaboratorium sampai dengan analisa data dan pembahasan yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan data-data serta hasil penelitian di laboratorium menurut system klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official), tanah Desa Pejaten Tabanan termasuk dalam kelompok A-7-6 dengan nilai grup indeks = 57 sehingga dapat ditulis A-7-6 (57). Sedangkan menurut system klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System) tanah Desa Pejaten termasuk jenis tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH). Sedangkan sesuai dengan diagram segitiga Mississippi, tanah Pejaten termasuk Campuran Tanah Liat dan Lempung Berlanau.
- Terjadi penurunan nilai Batas Cair (LL) dan peningkatan nilai Batas Plastis (PL) yang mengakibatkan semakin kecilnya nilai Indeks Plastis (IP), sehingga mengakibatkan kembang susut dari tanah tersebut akan bertambah kecil juga, atau tanah lempung Pejaten menjadi kurang sensitive terhadap pengaruh perubahan kadar air. Ini berarti Plastisitas dari tanah lempung Pejaten yang distabilisasi dengan campuran sulfur dan arang kayu akan berkurang. Berkurangnya Plastisitas dari tanah berarti tanah tersebut semakin padat.
- Terjadinya peningkatan nilai Batas Susut(SL) pada tanah lempung Pejaten yang distabilisasi dengan campuran sulfur dan arang kayu. Dan terus mengalami peningkatan mengikuti peningkatan prosentase bahan campuran.
- Penambahan prosentase campuran sulfur dan arang kayu dapat meningkatkan berat volume kering () tanah dan menurunkan kadar air optimum (W_{opt}). Ini berarti antara tanah dengan campuran sulfur dan arang kayu terjadi proses semenisasi yang menyebabkan tanah menjadi lebih padat. Berat volume kering maksimum () yang didapatkan pada campuran sulfur dan arang kayu 6% adalah sebesar 1,360 gr/cm³ dengan kadar air optimum (W_{opt}) sebesar 19%.
- a. Pada test CBR, dengan penambahan kadar campuran sulfur dan arang kayu 6% dengan energy pemadatan sebanyak 56 pukulan, mendapatkan nilai CBR Design tertinggi yaitu 7,40% sehingga memenuhi syarat minimum CBR Design (menurut Bina Marga yaitu sebesar 6%).
- b. nilai kuat tekan bebas (q_u) dari tanah Pejaten setelah dicampur dengan campuran sulfur dan arang kayu mencapai peningkatan de-

ngan puncaknya pada kadar campuran sulfur dan arang kayu 6%, yaitu sebesar 3,8 kg/cm².

c. jadi untuk mencapai nilai-nilai karakteristik tanah yang optimal diperlukan penambahan kadar belerang (sulfur) dan arang kayu sebesar 6% dari berat kering tanah lempung Pejaten, Tabanan.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Kezdi, "**Stabilized Earth Road**", Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1979.
- AASHTO,1982,"**Standard Spesification for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing**",13 th ed.
- ASTM Committee D-18 Standard Methods,"**Procedur for Testing Soils**",1976.
- Braja M. Das, "**Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Reakayasa Geoteknis)**",Penerbit Erlangga,1993.
- Djoko Untung Soedarsono, "**Konstruksi Jalan Raya**", Badan Penerbit Pekerjaan Umum,1993.
- G. Djamiko Soedarmo, S.J.Edy Purnomo," **Mekanika Tanah I**", Penerbit Kanisius, Yogyakarta,1997.
- Ida Bgs. Ag. Dharmanegara, 1997, "**Studi Kasus Pekerja Pendatang di Industri Genteng Rakyat Desa Pejaten Tabanan**", UGM Yogyakarta.
- Joseph E. Bowles, "**Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah,(Mekanika Tanah)**", Penerbit Erlangga,1991.
- Karl Terzaghi Ralph B.Peck," **Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa**",Jilid I, Penerbit Erlangga, 1993.
- L.D.Wesley,"**Mekanika Tanah**",Badan Penerbit Pekerjaan Umum,1997.
- Pentunjuk Perencanaan Tebal Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum,1987.
- Shirley L.H., "**Geoteknik dan Mekanika Tanah (Penyelidikan Lapangan & Laboratorium)**", Penerbit Nova Bandung,1987.
- Silvia Sukirman,"**Perkerasan Lentur Jalan Raya**", Penerbit Nova Bandung,1992.
- Susanto,1997,"**Penggunaan Sulfur dan Arang Kayu sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Expensive**", ITN Malang.
- Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa," **Mekanika Tanah & Teknik Pondasi**",Penerbit PT. Pradnya Paramita Jakarta,1994.