

THIXOTROPIC PHENOMENON IN SENSITIVE CLAY

Ahmad Marzuki^{1*}

^{1,2} Lecturer of Civil Engineering of Politeknik Negeri Banjarmasin
e-mail: *¹amarzuki99@yahoo.co.id (corresponding author)

Abstract

The prediction of pile ultimate bearing capacity is done by theoretical and actual approach where the theoretical approach is done by processing the examination data of soil parameters in the field and or in the laboratory. The actual bearing capacity approach was carried out in the field by directly testing the supportability of the pile against its decline. The bearing capacity values of the 2 (two) approaches are not always the same, due to differences in soil parameters conditions during pre-embedment and during embedment. The differences occurred due to differences in the level of disturbance of soil bearing parameters to application load and time function.

Some experiments in the field (Herman Wahyudi, 1999) show that soil bearing capacity gradually increases with time or in other words soil strength partially tends to return to its bearing capacity before it is being disturbed or called as thixotropic event. Observation of thixotropic events in clays, especially sensitive clays, is important to give an alleged approximation of the existence of more power of sensitive clays after being disturbed rather than of sensitive clay forces that ignore the thixotropic influence. Understanding the role of thixotropy is very helpful in the approach of Safety Factor values to calculate the bearing design that affects the economic aspects and the ease of implementation in the field and determines the waiting time required after and before the foundation is burdened by the above structure in order to obtain optimal bearing capacity. .

Key words— Carrying capacity, Sensitive clay, Thixotropic

FENOMENA THIXOTROPIC PADA LEMPUNG

Ahmad Marzuki^{1*}

^{1,2} Lecturer of Civil Engineering of Politeknik Negeri Banjarmasin
e-mail: *¹amarzuki99@yahoo.co.id (corresponding author)

Abstrak

Prakiraan daya dukung ultimit tiang dilakukan dengan pendekatan teoritis dan aktual dimana pendekatan teoritis dilakukan dengan mengolah data pemeriksaan parameter tanah di lapangan dan atau di laboratorium. Pendekatan daya dukung aktual dilakukan di lapangan dengan menguji langsung kemampuan dukung tiang terhadap penurunannya. Nilai daya dukung dari 2 (dua) pendekatan tersebut tidak selalu sama, hal ini disebabkan perbedaan kondisi parameter tanah pada saat pra-pemancangan dan saat pemancangan. Terjadi perbedaan kondisi tersebut karena perbedaan tingkat gangguan parameter dukung tanah terhadap beban aplikasi dan fungsi waktu.

Beberapa eksperimen di lapangan (Herman wahyudi,1999) memperlihatkan bahwa daya dukung tanah lambat laun bertambah seiring dengan bertambahnya waktu atau dengan kata lain kekuatan tanah cenderung akan kembali sebagian ke keadaan daya dukung sebelum diganggu atau disebut peristiwa thixotropic. Pengamatan peristiwa thixotropic pada lempung, khususnya lempung sensitive sangatlah penting untuk memberi pendekatan dugaan tentang adanya kekuatan lebih dari lempung sensitive setelah diganggu daripada kekuatan lempung sensitive yang mengabaikan pengaruh thixotropic. Pemahaman tentang peranan thixotropi sangat membantu dalam

pendekatan nilai-nilai Safety Factor untuk menghitung daya dukung desain yang berpengaruh pada aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan dilapangan dan menentukan waktu tunggu jika diperlukan setelah pelaksanaan pondasi dan sebelum pondasi dibebani oleh struktur diatasnya agar mendapatkan daya dukung yang optimal.

Kata kunci— Daya dukung, Sensitive, Thixotropic

I. PENDAHULUAN

Pada tanah lempung yang terendapkan, secara alami akan mengalami pengurangan kekuatan tekanan bila tanah tersebut mengalami kerusakan secara structural (disturbed) tanpa adanya perubahan kadar air (kadar air tetap). Sifat berkurangnya kekuatan tanah akibat adanya suatu kerusakan structural pada tanah tersebut disebut sensitivity. Sensitivity dapat ditentukan dari perbandingan antara kekuatan tanah yang masih asli (undisturbed) dengan kekuatan dari tanah yang sama setelah mengalami kerusakan (disturbed):

$$St = \frac{q_{u \text{ undisturbed}}}{q_{u \text{ disturbed}}}$$

TABEL I
Klasifikasi Sensitivitas Tanah Lempung

Inensitive	St 1.0
Slightly sensitive clays	1-2
Medium sensitive clays	2-4
Very sensitive clays	4-8
Slightly quick clays	8-16
Medium quick clays	16-32
Very quick clays	32-64
Extra quick clays	> 64

Sumber : Rosenqvist (1953)

Dari tabel 1, terlihat untuk lempung sensitive nilai St mencapai 8 (very sensitive clays), berarti pengurangan kekuatannya mencapai 8 kali dari kondisi awal (undisrurbed) atau:

$$St = \frac{q_{u \text{ undisturbed}}}{q_{u \text{ disturbed}}} = 8$$

$$q_{u \text{ disturbed}} = 1/8 \text{ } q_{u \text{ undisturbed}}$$

atau dengan kata lain, kekuatan tanah setelah diganggu (rusak) hanya 1/8 kali dari kekuatan awal.

Jika setelah terjadi kerusakan tanah, sampai tanah dibiarkan tidak terusik kembali dan tanpa terjadi perubahan kadar air, maka tanah tersebut lambat laun akan pulih kembali kekuatannya. Fenomena ini disebut Thixotropy . Dengan kata lain thixotropy merupakan proses pulihnya kembali kekuatan tanah yang melemah akibat kerusakan structural sebagai fungsi dari waktu. Setelah hilangnya kekuatan tanah tersebut terjadi, secara perlahan kekuatan tanah akan dapat kembali /hampir (sebagian) kepada kondisi semula apabila tanah tersebut dibiarkan saja (kondisi rest). Ditinjau dari system suspensi koloidal , peristiwa thixotropi adalah peristiwa transformasi gel-sol-gel karena pengetrapan energi yang dipengaruhi oleh proses isothermal. Karena itu pengamatan peristiwa thixotropi pada lempung ,khususnya lempung sensitive sangatlah penting untuk memberi pendekatan dugaan tentang adanya kekuatan lebih dari lempung sensitive setelah diganggu daripada kekuatan lempung sensitive yang mengabaikan pengaruh thixotropi, sehingga fenomena thixotropi pada lempung sensitive dan korelasinya terhadap aspek makro dan mikro menjadi penting untuk diperhatikan.

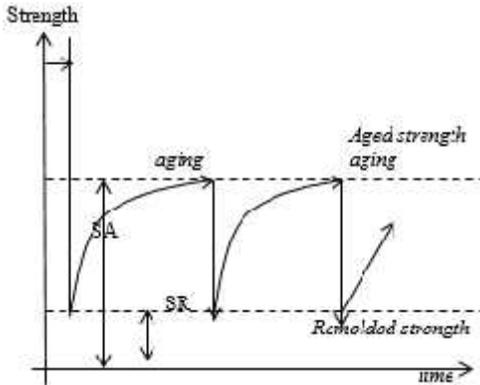
II. METODE PENELITIAN

Sebagian tanah pada kenyataannya hanya mengalami Thixotropy sebagian atau parsial, ini berarti bahwa hanya sebagian dari kekuatan tanah yang hilang akibat kerusakan, yang akan kembali sesuai dengan fungsi waktu.

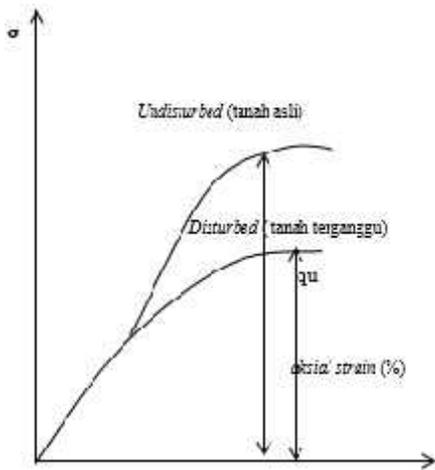
$$\text{Thixotropy strength ratio} = \frac{\epsilon A}{SR}$$

Dimana : $\frac{SA}{SR} = \frac{qu(t)}{qu(\text{compacted}, t=0)}$

Sedangkan kehilangan kekuatan tanah yang lainnya terjadi selama adanya pengrusakan dari struktur tanah asli. Hal ini dapat dilihat dalam gambar 1 berikut:



Gambar. 1. Perilaku Thixotropy Sebagian



Gambar. 2. Stress Strain Disturbed - Undisturbed Soil

Jadi korelasi sensitivity (St) dengan thixotropy adalah bahwa St tergantung pada perilaku thixotropy. Jika perilaku tanah adalah thixotropy penuh, maka:

$$St = \text{thixotropy strength ratio}$$

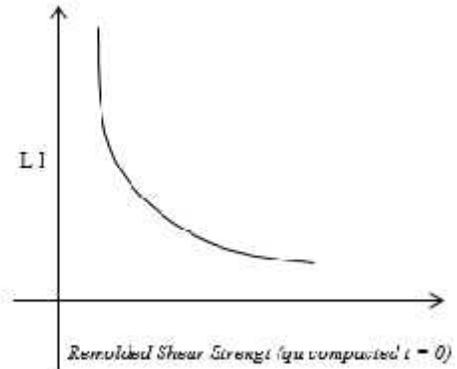
$$= \frac{qu(\text{undisturbed})}{qu(\text{disturbed})} = \frac{qu(t)}{qu(\text{compacted } t=0)}$$

Jika perilaku tanah adalah thixotropy sebagian (partikel), maka:

$$St > \text{thixotropy Strength Ratio}$$

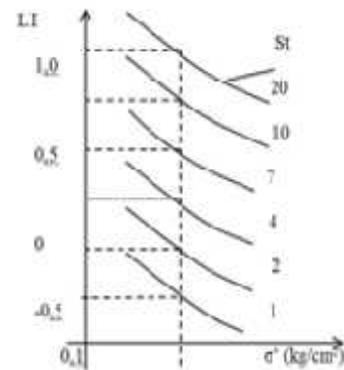
$$> \frac{qu(\text{undisturbed})}{qu(\text{disturbed})} > \frac{qu(t)}{qu(\text{compacted } t=0)}$$

Mitchell (1976) memberikan gambaran hubungan antara Remolded Shear Strength dengan liquidity Index (LI) seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar. 3. Hubungan Antara Remolded Shear Strength dengan Liquidity Index (LI)

Hubungan antara Sensitivity (St), Liquidity Index (LI) dan tegangan efektif (σ') dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar. 4. Hubungan Antara Sensitivity (St), Liquidity Index (LI) Dan Tegangan Effektiv (σ')

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat :

- Untuk suatu nilai tegangan efektif yang tetap (konstan), maka jika sensitivity (St) naik, LI akan naik dan jika LI naik maka remolded shear strength (q_u compacted $t = 0$) akan turun sehingga thixotropy strength ratio akan naik
- Jika thixotropy strength rasionya turun, maka sensitivitynya juga akan turun.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

FENOMENA THIXOTROPI LEMPUNG SENSITIV DITINJAU DARI ASPEK MAKRO

Beberapa parameter aspek makro yang ditinjau adalah ; kohesi (c), batas cair (WL) dan sudut geser dalam

Peranan kohesi (c) pada thixotropi lempung sensitive

Pada kasus pemancangan tiang pada lempung sensitive sangat dipengaruhi oleh variasi nilai kohesi yang terjadi pada; keadaan asli, saat pemancangan $t = 0$, dan setelah pemancangan selesai (diam, $t > 0$), hal ini tentu akan mempengaruhi nilai daya dukung ; Q_u total dari tiang pancang yang mengandalkan lekatan.

$$Q_u \text{ total} = Q_{ul} + Q_{uf}$$

$$= f \cdot (A \cdot L) + Q_{u,est}$$

$$= (\alpha \cdot c)(A \cdot L) + Q_{u,est}$$

dimana

Q_{ul} = daya dukung ultimit

Q_{uf} = daya dukung lekatan

$Q_{u,est}$ = daya dukung ujung

α = factor adesi tiang

c = kohesi

Di sini terlihat bahwa nilai c akan menentukan besarnya daya dukung tiang, sedangkan pada peristiwa thixotropi nilai c menjadi bervariasi sesuai fungsi waktu dan keadaan (t dan cara pemancangan), yaitu :

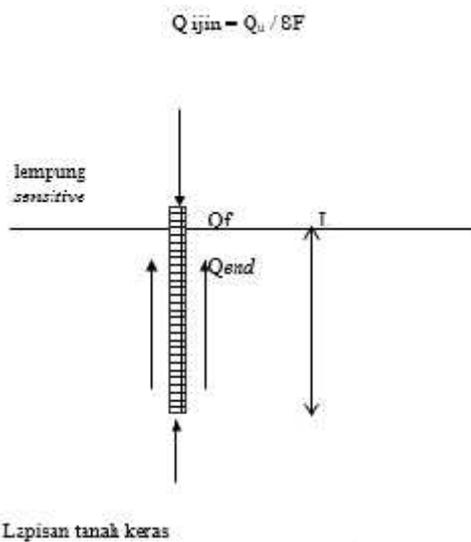
- Kohesi saat undisturbed, c_0 , pemancangan (gangguan) belum dilaksanakan
- Kohesi saat disturbed/diganggu, $c_t = 0$, pemancangan berlangsung
- Kohesi saat diam/ pulih, $c_{rest} t > 0$, pemancangan telah selesai

Hubungan ketiga kondisi ini adalah sebagai berikut ;

kohesi awal > kohesi pulih > kohesi diganggu.

$$c_0 > c_{rest} (t > 0) > c_t = 0$$

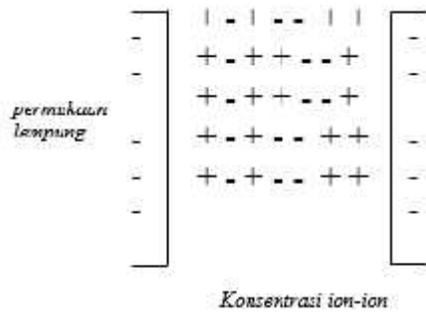
sehingga, $Q_{u0} > Q_{u,est} > Q_{u,t=0}$



Gambar. 5. Single Pile Friction

Kondisi ini terjadi karena fenomena kohesi pada lempung terjadi karena adanya interaksi mineral lempung dengan air, dimana kation H berinteraksi dengan anion pada permukaan lempung, konsentrasi ion-ion antara permukaan solid lempung akan terganggu/ terpisah untuk beberapa waktu (t) pada saat gangguan (energi) diterapkan, sehingga memperlemah ikatan partikel lempung dan mengakibatkan gaya kohesi (V_A) juga mengecil karena jarak partikel (d) bertambah besar.

$$F_{clay} = V_A = \left[\frac{A}{48\pi} - \frac{1}{d^3} + \frac{1}{(d + \delta)} - \frac{2}{(d + \delta/2)^2} \right]$$



Gambar. 6. Distribusi Ion Pada Permukaan Lempung Menurut Konsep Difuse Doble Layer

Tapi konsentrasi ion-ion lambat laun akan ‘mencoba’ kembali ke-keadaan keseimbangan awal, sehingga nilai c akan meningkat dan jelas Q juga akan naik, sehingga:

$$Q_{d1} > Q_{d2} > Q_{d3} = 0$$

Sehingga jelas, bahwa fenomena thixotropi juga dipengaruhi oleh fenomena kohesi pada lempung.

Pengaruh WL, WP pada fenomena thixotropi lempung sensitive.

Untuk suatu tegangan efektif yang tetap, jika LI naik maka sensitivitas juga akan naik, dan ratio strength thixotropi akan turun, sedangkan LI dipengaruhi oleh besarnya nilai WL, sebagai berikut:

$$LI = \frac{W_n - WP}{WL - WP}$$

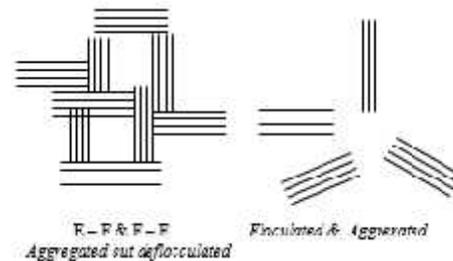
Dari rumusan di atas, terlihat jika WL naik/ besar, untuk WP yang tetap maka LI akan turun dan sensitivitas mengecil, dan ratio strength thixotropi akan naik, berarti dengan variasi WL untuk berbagai lempung sensitive akan mempengaruhi ratio strength thixotropinya, sebagai contoh; untuk lempung sensitive dengan $St = 8$ (very sensitive clays), ratio strength thixotropinya lebih kecil daripada lempung sensitive dengan $St = 2$ (slightly sensitive clays).

Pengaruh sudut geser dalam pada fenomena thixotropi lempung St .

Pada lempung sensitive nilai sudut geser dalam tidaklah terlalu signifikan menyumbang besarnya daya dukung, biasanya nilai sudut geser dalam berperan pada jenis tanah pasir atau lempung dengan plastisitas rendah.

FENOMENA THIXOTROPI LEMPUNG SENSITIVE DITINJAU DARI ASPEK MIKRO

Asosiasi partikel pada lempung sensitive dengan WL yang besar (dibanding dengan slightly) cenderung face to face and edge to face, aggregated and flocculated, apabila diterapkan energi mekanik, maka asosiasinya ‘mungkin’ akan berubah paralel atau face to face deflocculated, karena masuknya air ke-interlayer (terjadi perpindahan air mikro pori pada kadar air yang tetap) yang mengakibatkan translasi layer pada saat energi diterapkan, sehingga saat energi dihilangkan perlahan maka asosiasi partikel akan mencoba kembali ke-posisi semula karena adanya interaksi ion-ion pada difusi double layer. Analisa ini akan lebih valid dengan eksperimental dibantu dengan alat SEM dan TEM (gambar 7)



Gambar. 7. Asosiasi Partikel Lempung dalam Suspense (MITCHELL J.K:” Fundamentals of Soil Behaviour” John Wiley & Sons, Inc, 1976)

Spesifik Surface

Bila lempung sensitive diberikan gangguan maka jarak (d) partikel akan membesar dan gaya kohesi akan melemah/ kecil, kondisi ini dapat dilihat dari rumus gaya kohesi sebagai berikut:

- Rumus cohesion force in clay yang dinyatakan oleh Casimir & Bolder (1948):

$$F_{clay} = VA = \left[\frac{A}{48\pi} - \frac{1}{d^2} + \frac{1}{(d+\delta)} - \frac{2}{(d+\delta)^2} \right]$$

Dimana :

$d = \frac{1}{2}$ Jarak antar partikel

$\delta =$ tebal plate = diameter partikel (bentuk *spheres*).

$A =$ konstanta van der waal: ($10^{-11} - 10^{-14}$ ergs).

Dan rumusan ini dapat kita korelasikan dengan Spesifik Surface – Liquid Indeks – Sensitivitas – Ratio Thixotropi, yaitu

- Rumus Spesifik Surface (Ss) adalah :

$$S_s = \frac{\text{Luas permukaan butiran solid}}{1 \text{ unit satuan berat}} \quad (\text{m}^2/\text{gr})$$

Jika butiran berbentuk *spheres*, maka luas permukaan butiran solid = $4 \pi r^2$ (14)

dimana : $r = \frac{1}{2} \delta$

sehingga : Luas = $4 \pi (1/2 \delta)^2 = \pi \delta^2$

Maka : $S_s = \pi \delta^2 / 1$,

$$\delta = \sqrt{S_s / \pi}$$

$$F_{clay} = VA = \left[\frac{A}{48\pi} - \frac{1}{d^2} + \frac{2}{(d+\sqrt{S_s/\pi})} - \frac{1}{(d+0,5\sqrt{S_s/\pi})^2} \right]$$

dimana :

$d = \frac{1}{2}$ jarak partikel

$S_s =$ Specific Surface (m^2/gr)

$A =$ Konstanta van der waals ($10^{-11} - 10^{-14}$ ergs).

Misalkan, $\frac{A}{48\pi d^2} = 5$ dan $d = 2$

Dengan $S_s = 50$ diperoleh $F_{clay} = -4,90$
 Dengan $S_s = 15$ diperoleh $F_{clay} = -4,72$

Jika dilihat bahwa jika S_s semakin kecil, maka F_{clay} akan besar. Demikian pula sebaliknya, jika S_s semakin besar, maka F_{clay} nya akan mengecil. Hal ini terbukti bahwa jika S_s nya besar, maka ukuran butir akan semakin kecil,

Jika S_s nya besar, maka ukuran butir akan semakin kecil dan Liquid limit akan besar, berarti pula Liquid Indeks akan kecil dan sensitivitas juga kecil, sehingga q_u compacted $t=0$ akan besar dan berarti ratio strength thixotropinya kecil.

ASPEK PRAKTIS DI LAPANGAN

Pada kasus tiang pancang dalam tanah kohesif jenuh air, kenaikan tegangan air pori dapat menurunkan shear resistance tanah disekitarnya hingga 15 s/d 30 %,

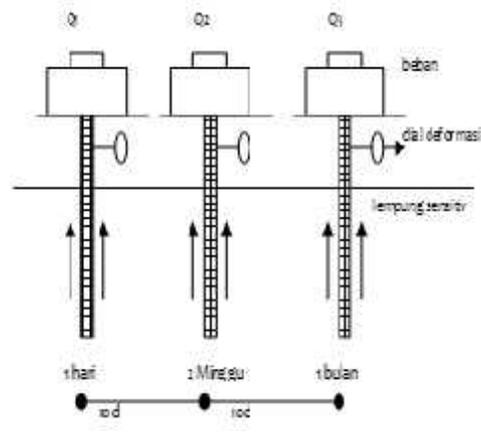
Untuk pulih kekuatan semula, memerlukan waktu yang bervariasi tergantung dari jenis tanah dan cara eksekusi tiang pondasinya seperti yang ditunjukkan pada table II.

TABEL. II
Variasi Waktu Pulih Kekuatan Tanah

Type tanah Type pondasi	Pasir Padat	Lanau dan pasir lepas jenuh air	Lempung
Tiang dibor	1 bulan	1 bulan	1 bulan
Tiang Pancang	8 hari	20 hari	1 bulan

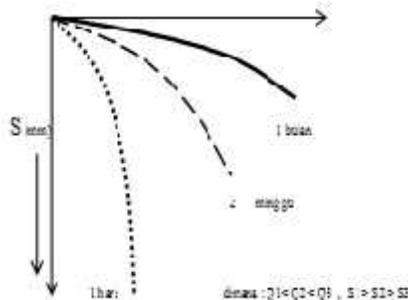
(Sumber : Herman Wahyudi, 1999)

Untuk mengetahui nilai thixotropi terhadap fungsi waktu, dapat dilakukan eksperimen dilapangan dengan static loading test dengan mengamati beban dan deformasi axial pada jenis tanah yang sama, dengan ilustrasi pada gambar 8 sebagai berikut.



Gambar. 8. Static Loading Test

Pengamatan beban (penambahan) dan deformasi axial dilakukan tiap 24 jam, dan pada waktu pengamatan tertentu ; 1 hari, 2 minggu, 1 bulan dari pemancangan, kita buat hubungan antara beban-penurunan:



Gambar. 9. Hubungan Beban-Penurunan-Waktu

Dari gambar 9 terlihat bahwa ada peningkatan kemampuan menahan beban sesuai fungsi waktu, atau kekuatan tanah yang terganggu sejak pemancangan berangsur pulih seiring dengan waktu.

IV KESIMPULAN

Peristiwa Thixotropi pada lempung sensitive adalah pulihnya kekuatan tanah tersebut setelah diganggu, sesuai dengan fungsi waktu. Fenomena thixotropi ini ternyata dipengaruhi langsung oleh aspek makro dan mikro yang saling berkait erat, sehingga secara analisa teoritis kita dapat menguraikan perilaku thixotropi pada lempung sensitive, apalagi ditunjang dengan eksperimental korelasi makro dan mikro untuk fenomena ini.

Dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi pondasi pada lempung sensitive, pemahaman tentang peranan thixotropi sangat membantu dalam :

a. Pendekatan nilai-nilai Safety Factor untuk menghitung daya dukung, Q desain yang berpengaruh pada aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan dilapangan.

b. Menentukan waktu tunggu (jika diperlukan) setelah pelaksanaan pondasi dan sebelum pondasi dibebani oleh struktur di atasnya, untuk mendapatkan daya dukung yang optimal.

REFERENSI

- Mitchell J.K, (1976). Fundamentals of Soil Behaviour. John Wiley & Sons, Inc.
- Wahyudi H, (2002). Korelasi Mikro-Makro Pada Mekanika Tanah Lempung. Kumpulan artikel Ilmiah, ITS Surabaya.
- Wahyudi H, (1999). Daya Dukung Pondasi Dalam. Diktat Kuliah. ITS Surabaya.
- Wahyudi H, (1996). Perilaku Mikroskopis Tanah. Diktat Kuliah ITS Surabaya.