

Evaluasi Potensi Likuefaksi Sebelum dan Setelah Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Analitik Youd dan Idriss (2001) di Daerah Yogyakarta

NAZIFA NURUL KHAIURNNISA¹, DESTI SANTI PRATIWI²

1. Mahasiswa, Institut Teknologi Nasional Bandung
2. Dosen, Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : nazifa.nurul@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Likuefaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan geser tanah akibat peningkatan tekanan air pori berlebih yang disebabkan oleh beban siklik (beban gempa), yang dapat menimbulkan kerusakan serius pada infrastruktur. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta, untuk mengevaluasi potensi likuefaksi sebelum dan sesudah perbaikan tanah menggunakan metode dynamic compaction, menggunakan metode analitik yang dikembangkan oleh Youd dan Idriss (2001) untuk menghitung safety factor (SF). Data penelitian diperoleh dari uji Standard Penetration Test (SPT) pada sepuluh titik borlog, lima sebelum perbaikan dan lima setelah perbaikan. Hasil menunjukkan bahwa potensi likuefaksi terbesar terdapat pada lapisan tanah pada kedalaman 0–6 meter dengan nilai $SF < 1$ sebelum perbaikan. Setelah dilakukan dynamic compaction, terjadi peningkatan SF sebesar 44%–514%. Kesimpulannya, dynamic compaction terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan tanah dan mengurangi risiko likuefaksi di lokasi penelitian.

Kata kunci: Likuefaksi, Dynamic Compaction, Safety Factor, Gempa Bumi, Youd dan Idriss

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di wilayah cincin api Pasifik yang merupakan pertemuan tiga lempeng aktif, yaitu Lempeng Indonesia-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Kondisi ini menyebabkan wilayah Indonesia sangat rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, dan tsunami. Aktivitas tektonik yang tinggi menyebabkan frekuensi dan intensitas gempa cukup besar. Selain berpotensi merusak infrastruktur, gempa juga dapat memicu fenomena geoteknik berbahaya, salah satunya adalah likuefaksi. Likuefaksi adalah kondisi di mana tanah jenuh air kehilangan kekuatan gesernya akibat meningkatnya tekanan air pori saat terjadi beban siklik seperti gempa bumi. Fenomena ini menyebabkan tanah yang awalnya padat berubah perilaku menjadi cairan yang dapat mengakibatkan keruntuhan, penurunan, dan kemiringan struktur di atasnya bahkan dapat menimbulkan korban jiwa. Risiko likuefaksi di Indonesia semakin tinggi karena banyaknya daerah dengan tanah lepas dan kejenuhan air yang tinggi, salah satunya wilayah Yogyakarta yang terletak di zona gempa tingkat 4 dari 6 zona gempa di Indonesia. Evaluasi potensi likuefaksi dilakukan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) yang menunjukkan kekuatan dan kepadatan tanah melalui nilai N-SPT. Tanah dengan nilai N-SPT rendah memiliki risiko likuefaksi yang tinggi sehingga dibutuhkan metode perbaikan tanah untuk

meningkatkan kepadatan dan kekuatan tanah tersebut. Salah satu metode yang efektif adalah *dynamic compaction*, yaitu metode perbaikan tanah dengan menjatuhkan beban berat dari ketinggian tertentu ke permukaan tanah guna menghasilkan energi tumbukan. Penggunaan metode ini dapat meningkatkan kepadatan, kekakuan, serta daya dukung tanah (Han, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis potensi likuefaksi sebelum dan sesudah perbaikan tanah dengan *dynamic compaction* pada wilayah Yogyakarta, sekaligus mengevaluasi efektivitas metode tersebut dalam meningkatkan kekuatan tanah.

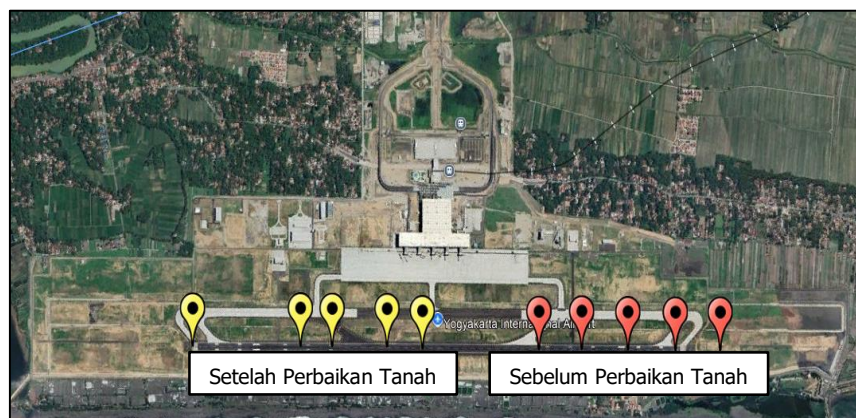
2. METODOLOGI

Pada metodologi penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Penelitian diawali dengan tahapan rumusan masalah dimana tahapan ini dilakukan rumusan dan batasan dari permasalahan yang dibahas. Kemudian tahapan kajian Pustaka yaitu mencari referensi literatur dari berbagai sumber yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Berikutnya tahapan pengumpulan data dalam tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk mengevaluasi potensi likuefaksi menggunakan metode analitik Youd dan Idriss (2001). Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil penyelidikan di lapangan berupa SPT sebanyak lima titik *borelog* sebelum dan lima titik *borelog* setelah perbaikan tanah, serta data gempa percepatan puncak tanah (PGA) sebesar 0,5 yang diperoleh dari peta deagregasi bahaya gempa Indonesia (2017). Tahap berikutnya adalah menganalisis potensi likuefaksi dengan metode analitik Youd dan Idriss (2001), baik pada kondisi sebelum maupun sesudah perbaikan tanah, untuk memperoleh nilai *safety factor* (SF). Hasil perhitungan tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut dalam pembahasan, hingga diperoleh kesimpulan dan saran sebagai keluaran akhir penelitian.

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta, dengan menggunakan sepuluh titik borlog. Lima titik untuk kondisi tanah sebelum perbaikan yang berada di sisi timur area studi (ditandai warna merah) dan lima titik untuk kondisi setelah perbaikan dengan metode *dynamic compaction* yang berada di sisi barat area studi (ditandai warna kuning). Distribusi lokasi *borelog* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

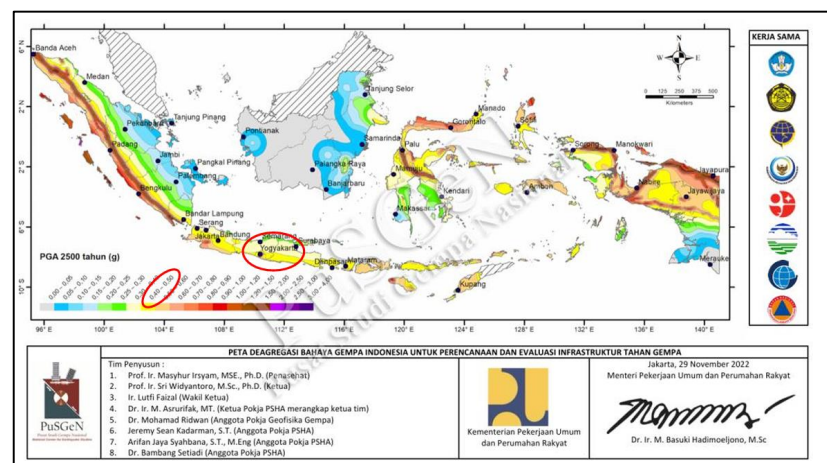
Penelitian ini menggunakan dua data, yaitu data parameter tanah dan data parameter gempa. Data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan lapangan berupa *borelog*, mencakup lima data sebelum perbaikan dan lima data setelah perbaikan dengan metode *dynamic compaction*. Sementara itu, data gempa diperoleh dari Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia (2017).

3.2.1 Data Parameter Tanah

Data tanah sebelum perbaikan diperoleh dari lima titik *borelog* hasil penyelidikan lapangan *Standard Penetration Test* (SPT). Masing-masing data berisi informasi jenis tanah, kedalaman lapisan, muka air tanah, dan nilai SPT. Setelah dilakukan perbaikan tanah dengan metode *dynamic compaction*, diperoleh kembali lima data *borelog* yang menunjukkan kondisi tanah pascaperbaikan.

3.2.3 Data Parameter Gempa

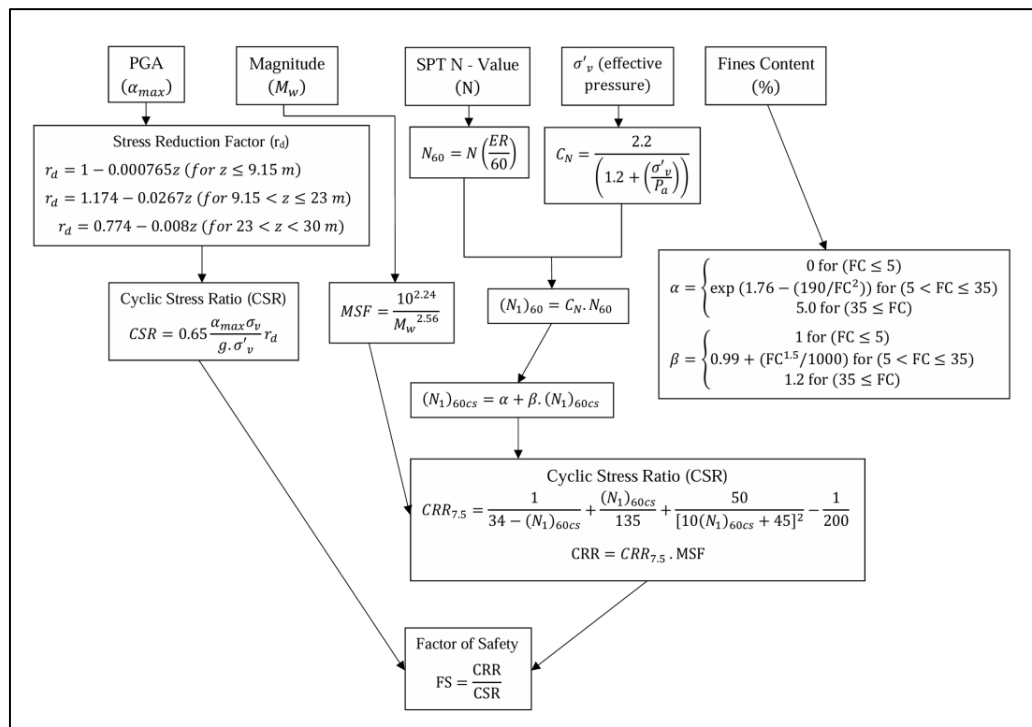
Penelitian ini menggunakan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia (2017) sebagai acuan nilai percepatan puncak gempa (PGA) pada batuan dasar. Lokasi penelitian berada di Kulon Progo, Yogyakarta berada pada zona PGA 0,4–0,5 g. Dalam analisis, digunakan nilai PGA maksimum 0,5 g (a_{max}) sebagai dasar perhitungan percepatan puncak muka tanah. Peta wilayah gempa dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Percepatan Puncak di Bantuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

3.3 Perhitungan Evaluasi Potensi Likuefaksi Metode Analitik Youd dan Idriss (2001)

Perhitungan evaluasi potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan dilakukan dengan metode analitik Youd dan Idriss (2001). Data yang digunakan berasal dari data gempa dan data tanah yang meliputi lima titik *borelog* (BH-01 hingga BH-05) dari hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT), yang mencakup nilai SPT, jenis tanah, dan kedalaman muka air tanah. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menghitung *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), dan *Safety Factor* (SF). Nilai SF digunakan untuk menilai potensi likuefaksi, di mana $SF < 1$ menunjukkan potensi likuefaksi dan $SF > 1$ mengindikasikan tanah dalam kondisi tidak likuefaksi. Skema perhitungan analisis potensi likuefaksi dengan metode analitik dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Skema Perhitungan Evaluasi Potensi Likuefaksi Menggunakan Metode Analitik Youd dan Idriss (2001)

3.3.1 Perhitungan Metode Analitik Sebelum Perbaikan Tanah

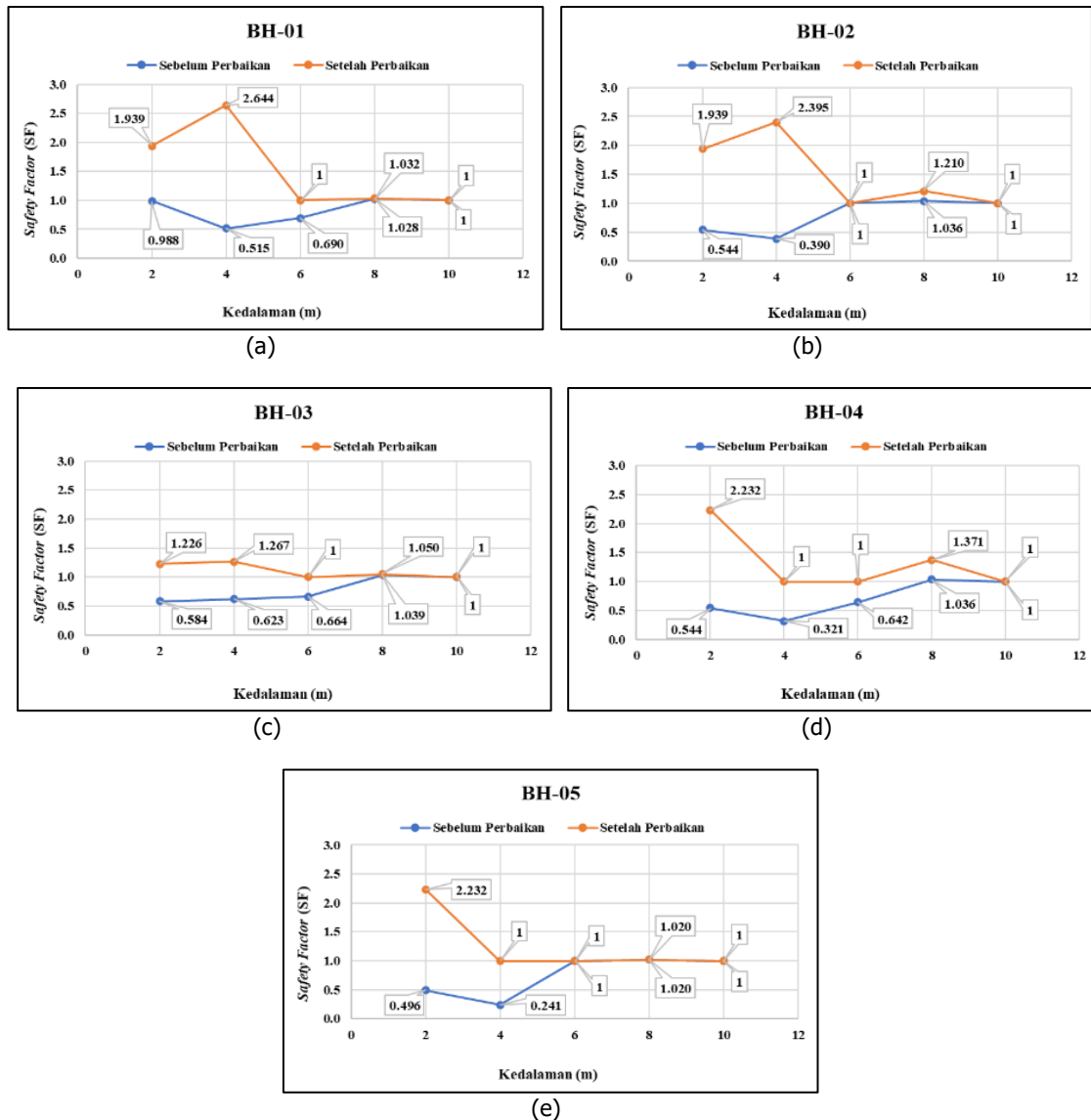
Hasil analisis sebelum perbaikan tanah pada lima *borelog* menunjukkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 2 – 6 m memiliki nilai N-SPT rendah berkisar antara 5 hingga 19, dengan klasifikasi pasir berkepadatan *loose* hingga *medium dense*. Pada kedalaman tersebut, serta nilai *safety factor* kurang dari 1 ($SF < 1$) yang mengindikasikan potensi likuefaksi. Sementara itu, pada kedalaman 10–14 m memiliki nilai SPT sebesar 50 dengan klasifikasi pasir berkepadatan *dense* hingga *very dense*, memiliki nilai $SF > 1$ yang mengindikasikan tidak adanya potensi likuefaksi.

3.3.2 Perhitungan Metode Analitik Setelah Perbaikan Tanah

Hasil analisis potensi likuefaksi setelah dilakukan perbaikan tanah pada lima titik *borelog*, memperlihatkan peningkatan signifikan pada karakteristik tanah. Pada kedalaman 2 - 10 m, nilai N-SPT berada dalam rentang 20 hingga 50, dengan klasifikasi tanah berupa pasir dan kepadatan tergolong *medium dense* hingga *dense*. Dengan lapisan tanah yang memiliki nilai *safety factor* (SF) lebih dari 1 ($SF > 1$), yang mengindikasikan tidak adanya potensi likuefaksi.

3.4 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Potensi Likuefaksi dengan Metode Analitik

Rekapitulasi hasil evaluasi potensi likuefaksi berdasarkan metode analitik Youd dan Idriss (2001) dilakukan dengan membandingkan nilai *safety factor* (SF) sebelum dan setelah perbaikan tanah pada lima titik bor (BH-01 hingga BH-05). Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan SF yang signifikan, terutama pada lapisan dangkal, setelah dilakukan perbaikan dengan metode *dynamic compaction*. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa ketahanan tanah terhadap likuefaksi semakin tinggi, sehingga risiko likuefaksi semakin kecil. Grafik rekapitulasi hasil evaluasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai *Safety Factor* (SF) Sebelum dan Setelah Perbaikan Tanah pada (a) BH-01, (b) BH-02, (c) BH-03, (d) BH-04, dan (e) BH-05

Untuk memperkuat analisis, disusun pula **Tabel 1.** yang berisi nilai SF sebelum dan setelah perbaikan serta persentase peningkatan nilai *safety factor*. Nilai peningkatan SF dihitung dengan mengacu pada rumus selisih persentase kenaikan SF terhadap kondisi awal. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan nilai *safety factor* (SF) paling signifikan terjadi pada lapisan tanah yang awalnya berpotensi likuefaksi ($SF < 1$). Pada kedalaman 0–6 m di BH-01 dan BH-05, peningkatan SF berkisar antara 44% hingga lebih dari 500%, menandakan efektivitas perbaikan dalam meningkatkan ketahanan tanah. Sebaliknya, pada lapisan yang sejak awal tidak berpotensi likuefaksi ($SF > 1$), peningkatan nilai SF relatif kecil hingga tidak mengalami perubahan yang signifikan, sehingga perbaikan lebih berpengaruh pada lapisan yang rentan berpotensi likuefaksi. Rekapitulasi hasil evaluasi potensi likuefaksi dengan metode analitik dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai *Safety Factor* (SF) dan Presentase Peningkatan SF pada (a) BH-01, (b) BH-02, (c) BH-03, (d) BH-04, dan (e) BH-05

Kedalaman	SF Sebelum Perbaikan Tanah	SF Setelah Perbaikan Tanah	Presentase Peningkatan SF (%)
0 - 2 m	0.988	1.939	96.26%
2 - 4 m	0.515	2.644	413.40%
4 - 6 m	0.690	1	44.93%
6 - 8 m	1.028	1.032	0.39%
8 - 10 m	1	1	0.00%

(a)

Kedalaman	SF Sebelum Perbaikan Tanah	SF Setelah Perbaikan Tanah	Presentase Peningkatan SF (%)
0 - 2 m	0.544	1.939	256.43%
2 - 4 m	0.390	2.395	514.10%
4 - 6 m	1	1	0%
6 - 8 m	1.036	1.210	16.80%
8 - 10 m	1	1	0%

(b)

Kedalaman	SF Sebelum Perbaikan Tanah	SF Setelah Perbaikan Tanah	Presentase Peningkatan SF (%)
0 - 2 m	0.584	1.226	109.93%
2 - 4 m	0.623	1.267	103.37%
4 - 6 m	0.664	1	50.60%
6 - 8 m	1.039	1.050	1.06%
8 - 10 m	1	1	0%

(c)

Kedalaman	SF Sebelum Perbaikan Tanah	SF Setelah Perbaikan Tanah	Presentase Peningkatan SF (%)
0 - 2 m	0.544	2.232	310.29%
2 - 4 m	0.321	1	211.53%
4 - 6 m	0.642	1	55.76%
6 - 8 m	1.036	1.371	32.34%
8 - 10 m	1	1	0%

(d)

Kedalaman	SF Sebelum Perbaikan Tanah	SF Setelah Perbaikan Tanah	Presentase Peningkatan SF (%)
0 - 2 m	0.496	2.232	350.00%
2 - 4 m	0.241	1	314.94%
4 - 6 m	1	1	0%
6 - 8 m	1.020	1.020	0%
8 - 10 m	1	1	0%

(e)

4. KESIMPULAN

Potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan tanah dianalisis menggunakan metode analitik yang dikembangkan oleh Youd dan Idriss (2001). Analisis sebelum dilakukan perbaikan tanah menunjukkan lapisan tanah pada kedalaman 2–6 m memiliki nilai SPT rendah yaitu rentan 9 – 19, memiliki potensi likuefaksi yang ditunjukkan dari nilai *safety factor* kurang dari 1 ($SF < 1$). Setelah dilakukan perbaikan dengan metode *dynamic compaction*, terjadi peningkatan signifikan pada nilai SF sebesar 44% hingga lebih dari 500%. Hal ini membuktikan bahwa *dynamic compaction* efektif dalam meningkatkan ketahanan tanah sekaligus mengurangi potensi likuefaksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis bersyukur kepada Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga jurnal ini dapat terselesaikan. Terima kasih disampaikan kepada orang tua atas doa dan dukungan, dosen pembimbing serta penguji atas arahan dan masukan yang berharga, serta keluarga dan rekan-rekan yang turut memberikan bantuan selama penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Boulanger, Idriss. 2010. "SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures." Davis, California. ——. 2014. "Cpt and Spt Based Liquefaction Investigations, Adapazari, Turkey." Center for Geotechnical Modelling UCD/CGM 14/01).
- Han J. (2015). Principles and Practices of Ground Improvement
- I. M. Idriss, & R. W. Boulanger. (2008). Soil Liquefaction During Earthquakes.
- L. Youd, B. T., & Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 127(4), 297-313.