Untar Bersinergi
Untar Bereputasi

BOOK CHAPTER

KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TARUMANAGARA

16 SEPTEMBER 2021

KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

BOOK CHAPTER

PENULIS UTAMA

Jemy Wijaya
Sunarjo Leman
Daniel Christianto
Hendy Wijaya
Widodo Kushartomo
Edison Leo
Dewi Linggasari
Arif Sandjaya
Giovanni Pranata
Aniek Prihatiningsih
Alfred J. Susilo
Gregorius S. Sentosa
Ni Luh Shinta Eka Setyarini
Leksmono S. Putranto
Najid
Wati A. Pranoto
Vittorio Kurniawan
Basuki Anondho
Hendrik Sulistio
Wahyu Indra Sakti
Mega Waty
Arianti Sutandi
Henny Wiyanto
Agustinus Purna Irawan

EDITOR:
Widodo Kushartomo; Christopher Kevin Sidharta

DESAIN COVER:
Dewi Linggasari

PENERBIT:
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang Penuh Kasih, karena penyertaanNya *book chapter* dengan judul "Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan" telah terbit. Sebanyak 24 paper hasil penelitian dan kajian pustaka dibukukan dalam *book chapter*. *Book chapter* ini diterbitkan merupakan bagian dari rangkaian kegiatan memperingati *Dies Natalis* ke 62 Universitas Tarumanagara. Topik *book chapter* merujuk keunggulan Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara yaitu Unggul dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan atau Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan. Secara garis besar cakupan materi *book chapter* terdiri dari tiga bidang utama yaitu **1. Perencanaan** bangunan gedung, meliputi struktur bawah, struktur atas, peraturan atau *code* yang berlaku secara nasional maupun internasional dan infrastukturnya berupa perparkiran, jalan lingkungan, audit, prasarana pejalan kaki dan kinerja jalan. Bagian perencanaan infrastruktur juga merencanakan drainase bangunan Gedung dan pengelolaan air limbah, **2. Pelaksanaan**, terintegrasi dalam *Building Information Management* (BIM), komunikasi dalam proyek, pengelolaan sumber daya manusia, *change order* dan pembiayaan, **3. Pemeliharan,** didalamnya memuat metode penilaian kondisi bangunan Gedung.

Semua paper yang ditulis merupakan rangkaian proses pembangunan bangunan Gedung dan Infrastrukturnya, dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan berdasarkan peraturan atau *code* yang berlaku dengan menitik beratkan pada faktor berkelanjutan dan berkeselamatan. Harapan Program Studi Sarjana Teknik sipil, dengan terbitnya *book chapter* ini semoga dapat menambah referensi dan wawasan bagi pembacanya tentang proses pembangunan dengan memeperhatikan faktor berkelanjutan dan berkeselamatan.

Koordinator *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil

Dr. Widodo Kushartomo

PRAKATA

Jurusan Teknik Sipil Univeristas Tarumanagara terdiri dari Program Studi Sarjana Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Widodo Kushartomo dan Sekprodi Ir.Dewi Linggasari,MT., Program Studi Magister Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Ir.Wati A.Pranoto,MT., Program Studi Doktor Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr.Ir.Najid,MT. *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil mewakili semua bidang keahlian (kompetensi keilmuan) yang ada pada Jurusan Teknik Sipil yaitu Ilmu Struktur, Konstruksi, Geoteknik, Transportasi, Keairan dan Manajemen Konstruksi, dan ditulis masing-masing oleh dosen-dosen sesuai keahliannya.

Hadirnya *book chapter* dengan judul "Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan" yang disusun oleh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, sangat penting untuk dibaca dan diterapkan. *Book Chapter* ini terdiri atas dua puluh tiga bab, yang ditulis oleh Ir. Jemy Wijaya, M.T., Ir. Sunarjo Leman, M.T., Ir. Daniel Christianto, M.T., Hendy Wijaya, S.T., M.T., Dr. Widodo Kushartomo, Ir. Edison Leo, M.T., Ir. Dewi Linggasari, M.T., Ir. Arif Sandjaya, M.T. Ir. Geovanni Pranata, M.T., Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M., Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D., Ir. Gregorius S. Sentosa, M.T., Ir. Ni Luh Putu Shinta E. Setyarini, M.T., Prof. Ir. Leksmono S. Putranto, M.T., Ph.D., Dr. Ir. Najid, M.T., Dr. Ir. Wati A. Pranoto, M.T., Vittorio Kurniawan, S.T., M.Sc., Dr. Ir. Bsuki Anondho, M.T., Dr. Ir. Hendrik Sulistio, M.T., Dr. Ir. Wahyu Indra S., ST., M.Sc. I.P.U, Dr. Mega Wati, S.T., M.T., Ir. Arianti Sutandi, M. Eng., Ir. Henny Wiyanto, M.T. Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, I.P.U., ASEAN Eng

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terbitnya book chapter ini

1. Rektor, Wakil Rektor, Kepala Lembaga dan staf Universitas Tarumanagara
2. Dekan, Wakil Dekan dan staf Fakultas Teknik
3. Humas Universitas Tarumanagara
4. Tim *Book Chpater* Universitas Tarumanagara
5. Tim *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil
6. Penulis, semua dosen dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Akhir kata segenap Civitas Akademik Program Studi Sarjana Teknik Sipil mengucapkan Dirgahayu Universitas Tarumanagara ke 62, UNTAR Untuk Indonesia, selalu dihati dan menjadi kebanggaan kita semua

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ttd

Dr. Ir. Najid, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii
PRAKATA iv
DAFTAR ISI v-vii
PENDAHULUAN viii-ix

BAB 1 KONSEP MEKANIKA TEKNIK 1-10
Jemy Wijaya

BAB 2 PEMODELAN ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG 11-25
Sunarjo Leman

BAB 3 KONSEP BETON BERTULANG PADA BANGUNAN GEDUNG 26-37
Daniel Christianto, Vryscilia Marcella, Channy Saka

BAB 4 PERENCANAAN RANGKA BETON BERTULANG PEMIKUL MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847-2019 38-50
Hendy Wijaya

BAB 5 MUTU DAN KUALITAS BETON DALAM KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR 51-62
Widodo Kushartomo

BAB 6 KONSEP BETON PRATEGANG PADA BANGUNAN GEDUNG 63-73
Edison Leo

BAB 7 KONSEP PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG 74-87
Dewi Linggasari, Vincent, Kharistio Xavira

BAB 8 PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG 88-98
Arif Sandjaya, Maria Kevinia Sutanto

BAB 9 PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA 99-109
Giovanni Pranata

BAB 10 PENYELIDIKAN TANAH UNTUK BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT 110-124
Aniek Prihatiningsih, Monica Michelle Susanto

BAB 11 KLASIFIKASI TANAH UNTUK PENENTUAN RESPONS SPEKTRUM 125-138
Alfred J. Susilo, Kenny Erick

BAB 12 DESAIN FONDASI BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT 139-151
Gregorius Sandjaja Sentosa, Hansel Adisurya

BAB 13 PERENCANAAN PRASARANA PARKIR DI GEDUNG DAN JALAN LINGKUNGAN 152-167
Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini

BAB 14 PERENCANAAN PRASARANA PEJALAN KAKI 168-178
Leksmono Suryo Putranto, Benedictus Yosia Tingginehe, Farah Rizkia Ananda, Reynaldo Bernard Khuana

BAB 15 PENGARUH BEROPERASINYA GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP KINERJA LALU LINTAS 179-187
Najid

BAB 16 PERENCANAAN DRAINASE GEDUNG YANG BERKELANJUTAN 188-196
Wati Asriningsih Pranoto

BAB 17 PENGELOLAAN AIR PADA GEDUNG SECARA BERKELANJUTAN 197-206
Vittorio Kurniawan

BAB 18 PERKEMBANGAN BUILDING INFORMATION MODELING DI BIDANG PENDIDIKAN TINGGI TEKNIK SIPIL 207-218
Basuki Anondho, Sunarjo Leman, Afriska Suwarni, Raymond Jonathan

BAB 19 MANAJEMEN KOMUNIKASI PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG TINGGI 219-232
Hendrik Sulistio

BAB 20 SUMBERDAYA MANUSIA DAN ORGANISASI DALAM PEMBANGUNAN SUPERBLOK 233-243
Wahyu Indra Sakti

BAB 21 *CHANGE ORDER* PADA INFRASTRUKTUR GEDUNG 244-255
Mega Waty

BAB 22 PEMBIAYAAN PROYEK KONSTRUKSI 256-263
Arianti Sutandi

BAB 23 PENILAIAN KONDISI KERUSAKAN BETON PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG 264-274
Henny Wiyanto

BAB 24 PENGANTAR SISTEM TRANSPORTASI VERTIKAL DALAM GEDUNG UNTUK MENDUKUNG LALU LINTAS ORANG DAN BARANG 275-285
Agustinus Purna Irawan

PROFIL PENULIS 286-295

PENDAHULUAN

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan adalah bangunan yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan generasi di masa mendatang. Didirikan untuk memenuhi keinginan pengguna dengan memperhatikan daya dukung lingkungan, pencapaian keadilan sosial, berkelanjutan ekonomi, lingkungan dan keselamatan, selama proses pemanfaatan dan pemeliharaan. Pembangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dicapai jika ada kepedulian dari pihak pemilik, perencana, pelaksana, pengawas dan pengguna dalam merencanakan dan mengelola bangunan. Berkelanjutan dan berkeselamatan berarti mengurangi kerusakan lingkungan tanpa mengorbankan kebutuhan pembangunan ekonomi dan keadilan sosial serta memperhatikan kaidah keselamatan yang telah diatur dalam *code* atau peraturan yang berlaku secara nasional maupun internasional.

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan merupakan bangunan yang mengarah pada proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan, hemat sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan tersebut. Pemilihan tempat atau lokasi sesuai peruntukan hingga desain, konstruksi, pengoperasian, perawatan, renovasi, peruntukan harus sesuai *standard code* atau peraturan yang berlaku.

Indikator bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dilihat dari:

1. **Keberlanjutan ekologis menjamin keberlanjutan ekosistim bumi.**
   Hal yang dapat diupayakan adalah memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana sehingga tidak terjadi pemborosan selama proses pembangunan dan pemanfaatan bangunan diantaranya berupa semen, air, pasir, kerikil, kayu, logam, plastik serta lainnya, sehingga menjamin sistem penunjang kehidupan bumi tetap terjamin. Tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sehingga menyebabkan terjadnya pencemaran, kerusakan atau bencana. Menjamin tersedianya sistem pengelolaan limbah saluran pembuangan atau peresapan. Bijaksana dalam arti kata semua proses telah direncanakan dengan baik dan benar sesuai dengan prosedur baku yang ditetapkan.

2. **Keberlanjutan Ekonomi menjamin kesejahteraan masyarakat.**
   Hal yang dapat diupayakan adalah pembanguan Gedung dan Infrastruktur dapat menggerakan perekonomian masyarakat. Memberikan manfaat secara ekonomi kepada pekerja, pengguna dan masyarakat luas. Pembiayaan selama persiapan, proses dan pemeliharaan bangunan merupakan bagian dari ekonomi rekayasa yang harus dipersiapkan dengan benar untuk menunjang keberlanjutan ekonomi.

3. **Keberlanjutan sosial budaya menjamin stabilitas penduduk.**
   Hal yang dapat diupayakan adalah pembangunan Gedung dan infrastruktur tidak merubah tatanan kehidupan sosial budaya. Menjamin terpenuhinya kebutuhan sosiala masyarakat diantaranya sarana pejalan kaki, motor dan mobil, tempat parkir, tataguna lahan sesuai peruntukan dan fasilitas Gedung lainnya.

4. **Berkeselamatan**

   Hal yang dapat diupayakan adalah memenuhi *standard code* internasional maupun nasional dalam proses perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, penggunaan dan pemelihara. Menjamin terpenuhinya seluruh aspek keselamatan Gedung saat difungsikan termasuk didalamnya rambu-rambu, perlengkapan K3, tersedia sistem peringatan dini dan pemeliharaan. Perencanaan menggunakan *Building Information Management* (BIM) memudahkan proses pembangunan. Perencanaan struktur bawah, struktur atas memerlukan *code* atau standar yang berlaku untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur dan meminimalisir terjadinya kerusakan ketika terjadi bencana, sehingga pengguna bangunan dapat terselamatkan. Pemeliharaan bangunan dengan metode yang baku yang dikembangkan dapat memberikan peringatan awal terhadap kondisi bangunan sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan yang dapat berakibat vatal.

BAB 10
PENYELIDIKAN TANAH UNTUK BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M.; Monica Michelle Susanto
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Fondasi merupakan bagian dasar dari struktur bangunan yang memegang peranan penting dalam menopang dan menunjang keberlangsungan struktur di atasnya. Dalam menentukan desain fondasi yang aman dan ekonomis, diperlukan sebuah investigasi terhadap sifat fisik dan mekanik tanah yang ada di lokasi dimana fondasi akan dibangun. Data-data terkait sifat dan karakteristik tanah dapat diperoleh melalui serangkaian kegiatan observasi yang disebut penyelidikan tanah (*Soil Investigation*). Penyelidikan tanah dilakukan mulai dari tahap penyelidikan awal, penyelidikan lapangan, pengujian laboratorium, dan pemeriksaan kesesuaian dengan kondisi lapangan. Hasil dari penyelidikan tanah berupa rangkaian parameter tanah yang nantinya menjadi acuan perancang dalam menganalisis dan mendesain struktur fondasi yang relevan.

Kata kunci: penyelidikan tanah, uji laboratorium, uji lapangan karakteristik tanah, fondasi

10.1 Pendahuluan

Tanah merupakan salah satu komponen penting yang harus dipertimbangkan dalam membangun suatu struktur. Jenis tanah yang berbeda tentu saja akan memerlukan perlakuan dan desain fondasi yang berbeda. Fondasi merupakan elemen bangunan yang langsung berhubungan dengan tanah. Fondasi juga merupakan elemen fundamental struktur yang berperan sebagai penopang bangunan dan berfungsi meneruskan beban konstruksi atas (*upper structure*) ke tanah. Desain fondasi yang tidak sesuai standar dapat mengakibatkan kegagalan fondasi yang akhirnya juga akan berujung pada kegagalan bangunan yang dibangun di atasnya. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa kepadatan dan daya dukung tanah di lokasi pembangunan benar-benar memadai untuk dibangun fondasi di atasnya. Kondisi tanah yang memadai tentu akan mendukung struktur fondasi dan secara langsung mendukung struktur bangunan yang kokoh sehingga memberikan rasa aman bagi penggunanya.

Data-data yang menyangkut daya dukung dan karakteristik tanah dapat diperoleh dengan melakukan penyelidikan tanah (*Soil Investigation*). Penyelidikan tanah merupakan tahapan yang mutlak harus dilakukan sebelum perencanaan dan pelaksanaan pembangunan proyek berskala besar, seperti proyek bangunan gedung bertingkat dan jalan raya. Karakteristik tanah yang diobservasi tersebut umumnya meliputi sifat tanah, susunan lapisan, kondisi geologi, serta kekuatan daya dukung tanah di lokasi pembangunan. Data-data tersebut nantinya akan digunakan sebagai pedoman perencanaan jenis fondasi, dimensi fondasi, jenis perkerasan jalan raya, maupun perkuatan guna menemukan desain yang paling efektif dan ekonomis untuk diterapkan. Data teknis dari penyelidikan juga akan digunakan untuk menentukan jenis perlakuan yang tepat agar tanah dapat mendukung jenis fondasi yang akan digunakan. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa hasil penyelidikan tanah yang diperoleh benar-

benar merepresentasikan kondisi tanah yang relevan dengan pekerjaan yang akan dilaksanakan.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan lubang uji (*test* pit), pengeboran, maupun uji secara langsung di lapangan (*insitu test*). Pemilihan metode dan penentuan titik-titik penyelidikan harus didasarkan pada studi literatur dan inspeksi lapangan yang sesuai. Titik-titik tanah yang dipilih harus mencerminkan variasi kondisi tanah, batuan, dan air tanah dari keseluruhan tanah pada lokasi pengujian. Data teknis penyelidikan tanah umumnya dihasilkan dari tahap penyelidikan lapangan dan tahap pengujian laboratorium. Apabila tersedia waktu dan biaya yang cukup, maka dapat dilakukan penyelidikan secara bertahap yang meliputi penyelidikan awal untuk menentukan posisi dan perancangan awal bangunan, penyelidikan tahap perencanaan, dan pemeriksaan kesesuaian hasil penyelidikan.

Penyelidikan yang dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium sebenarnya didesain untuk meniru semirip mungkin keadaan asli yang dialami oleh tanah di lapangan. Hal ini bertujuan untuk mempelajari efek beban terhadap perubahan sifat teknis yang akan terjadi pada tanah di lapangan. Tingkat akurasi data yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah sangat bergantung dari banyak faktor mulai dari ketika pertama kali proses penyelidikan dilaksanakan sampai dilakukannya pengujian di laboratorium [1]. Keberhasilan penyelidikan tanah dapat tercapai apabila sampel tanah yang diambil hanya terganggu sesedikit mungkin sehingga sifat dan karakteristiknya masih sesuai dengan keadaan aslinya di lapangan serta diselidiki di laboratorium dengan mengacu pada standar prosedur yang berlaku [2].

10.2 Tahapan Penyelidikan Tanah

10.2.1 Penyelidikan Awal

Apabila dibutuhkan, penyelidikan awal dapat dilakukan sebelum penyelidikan tahap perancangan dilakukan. Tahap penyelidikan awal biasanya ditiadakan pada proyek yang berskala kecil. Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk merencanakan penyelidikan tanah yang lebih lanjut serta untuk studi kelayakan lokasi penyelidikan. Oleh karena itu, penyelidikan awal harus direncanakan dengan baik sehingga dari hasil observasi dapat diperoleh data yang relevan untuk menilai stabilitas global dan kesesuaian umum lapangan; untuk menilai kesesuaian lokasi proyek dibandingkan dengan alternatif lokasi yang lainnya; menilai kesesuaian posisi bangunan; untuk mengevaluasi efek yang mungkin timbul dari proses konstruksi terhadap lingkungan, seperti bangunan di sekitar situs pembangunan, struktur, dan lokasi bangunan; untuk mengidentifikasi daerah sumber material untuk konstruksi; untuk mempertimbangkan kemungkinan metode pembuatan fondasi dan perbaikan tanah yang dibutuhkan; serta untuk merencanakan penyelidihan tahap perancangan maupun penyelidikan tambahan, termasuk identifikasi zona tanah yang mungkin dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap perilaku struktur bangunan [3].

Hasil penyelidikan tanah awal juga harus menyediakan perkiraan data tanah yang diperlukan seperti data jenis tanah atau batuan dan stratifikasinya; data informasi kedalaman muka air tanah atau profil tekanan air pori; informasi awal mengenai kekuatan dan sifat deformasi tanah dan batuan; serta potensi terjadinya kontaminasi pada tanah atau air tanah yang mungkin dapat merusak daya tahan bahan konstruksi. Apabila dari penyelidikan awal tidak dapat menyediakan cukup informasi untuk menilai aspek-aspek tersebut, maka penyelidikan tambahan akan dilaksanakan pada tahap perancangan [3].

10.2.2 Penyelidikan Tahap Perancangan

Secara umum, penyelidikan tahap perancangan meliputi penyelidikan lapangan dan pengujian di laboratorium. Dari kedua tahapan tersebut, akan dihasilkan data-data teknis sampel tanah yang kemudian akan dipelajari dan digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisa kapasitas dukung dan penurunan tanah. Penyelidikan lapangan dilakukan untuk mendapatkan data kekuatan tanah, sedangkan pengujian di laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah yang diambil pada kedalaman tertentu di lapangan dan bertujuan untuk mengidentifikasi sifat fisik tanah, sifat deformasi tanah, dan sebagainya. Tingkat ketelitian penyelidikan tanah umumnya disesuaikan dengan besarnya beban bangunan, kondisi lapisan tanah, biaya yang tersedia, dan tingkat keamanan yang diinginkan.

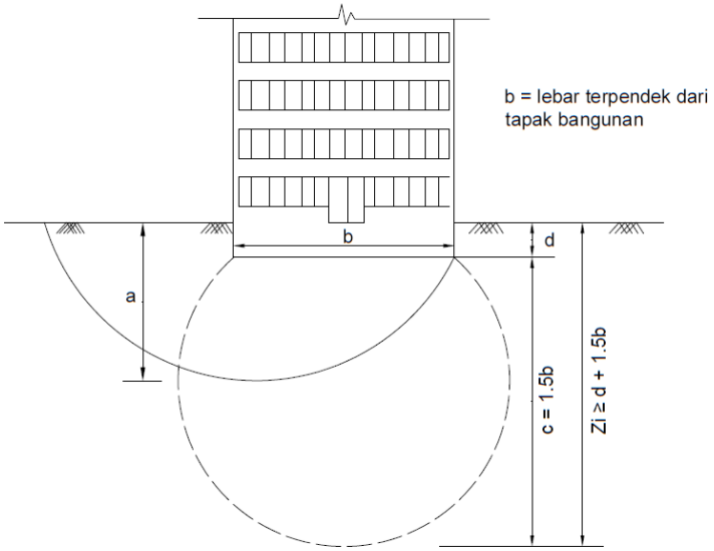
a. Penyelidikan Lapangan

Hal-hal yang diinvestigasi dalam penyelidikan lapangan harus mencakup data-data mengenai rencana lokasi titik penyelidikan beserta jenis penyelidikan yang akan dilakukan; kedalaman penyelidikan; jenis sampel tanah (kategori, dan lainnya) yang akan diambil, termasuk didalamnya kriteria spesifikasi jumlah dan kedalaman pada lokasi dimana contoh tanah harus diambil; spesifikasi pengukuran air tanah; jenis peralatan yang digunakan; serta standar aturan yang akan diterapkan dalam penyelidikan. Ada beberapa jenis penyelidikan di lapangan yang sering diterapkan, antara lain uji lapangan (misalkan *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT), uji penetrasi dinamis, uji pressuremeter, uji dilatometer, uji pembebanan pelat, uji geser baling lapangan, dan uji permeabilitas); pengambilan contoh tanah dan batuan untuk deskripsi serta uji laboratorium; pengukuran air tanah; penyelidikan geofisika (seperti uji seismik, uji radar, pengukuran tahanan tanah, dan pengukuran kecepatan rambat gelombang pada tanah); dan uji skala besar seperti menentukan daya dukung atau perilaku langsung pada elemen struktur tertentu, misalnya angkur [3].

Bila memungkinkan, sebelum melakukan penyelidikan lapangan sebaiknya perancang dapat mengumpulkan data-data terkait kondisi topografi lokasi pekerjaan; lokasi-lokasi bangunan yang terpendam di dalam tanah seperti kabel telepon, pipa-pipa, saluran air kotor dan air bersih; pengalaman setempat terkait kerusakan-kerusakan bangunan yang sering terjadi di sekitar lokasi pekerjaan; kondisi tanah scara global, muka air tanah, dan kedalaman batuan; keadaan iklim, elevasi muka air banjir, erosi, dan besaran gempa yang sering terjadi; ketersediaan material alam dan kualitasnya; data geologi yang mencakup keterangan mengenai proses pembentukan lapisan tanah dan batuan, serta kemungkinan terjadinya penurunan tanah maupun bangunan akibat penurunan muka air tanah; hasil penyelidikan laboratorium pada contoh-contoh tanah dan batuan; foto kondisi lapangan dan bangunan di dekatnya; susunan dan jarak antar kolom serta beban bangunan yang akan dibangun; atau tipe rangka bangunan dan bentangnya. Selain itu, indikasi atau potensi kontaminasi tanah atau gas tanah harus dianalisa dan diperhitungkan terlebih dahulu dengan mengandalkan sumber-sumber yang relevan. Jika pada saat penyelidikan terdeteksi terdapat kontaminasi tanah ataupun gas, maka harus dilaporkan kepada klien dan pihak yang berwenang.

Penyelidikan lapangan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengeboran atau penggalian lubang uji guna pengambilan contoh tanah, pengukuran muka air tanah, dan uji lapangan.

- **Pengeboran atau penggalian lubang uji dan pengambilan contoh tanah**
  Pemilihan lokasi dan kedalaman titik penyelidikan harus dilakukan berdasarkan kondisi geologi yang diperoleh dari studi meja maupun penyelidikan awal serta dimensi struktur dan masalah teknis yang akan dihadapi. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi titik penyelidikan adalah titik penyelidikan harus diatur dalam pola yang sedemikian lupa sehingga stratifikasi tanah yang melintasi lokasi pembangunan dapat diperoleh; titik penyelidikan untuk bangunan atau struktur harus ditempatkan pada titik-titik kritis tergantung dari bentuk, perilaku struktural dan distribusi beban yang diharapkan (misalnya pada sudut-sudut area fondasi); untuk struktur linear, titik penyelidikan harus diatur pada jarak yang cukup terhadap sumbu bangunan, tergantung pada lebar keseluruhan struktur, seperti tapak timbunan atau galian; untuk struktur pada atau dekat lereng dan pada medan bertangga (termasuk galian), titik penyelidikan juga harus dirancang sampai di luar area proyek, sehingga stabilitas lereng atau galian dapat dievaluasi; apabila dipasang angkur, pertimbangan harus diberikan pada tegangan yang akan terjadi pada zona transfer beban; titik penyelidikan harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi struktur, pekerjaan konstruksi, atau lingkungan (misalnya sebagai akibat dari perubahan kondisi tanah dan air tanah); area penyelidikan tanah harus meliputi daerah yang berdekatan sampai pada jarak dimana tidak ada pengaruh bahaya pada struktur yang berdekatan; serta untuk titik pengukuran air tanah, penggunaan alat yang dapat memantau secara kontinu selama penyelidikan tanah sampai pasca masa konstruksi dipertimbangkan.

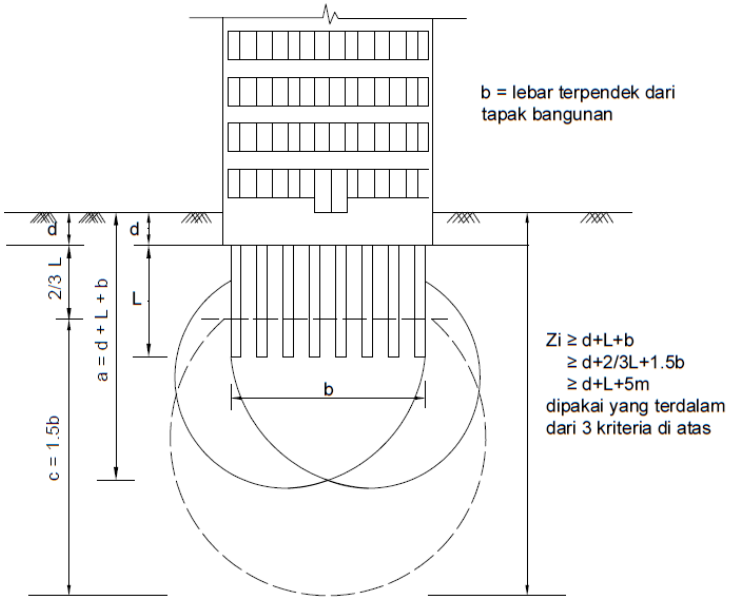


Gambar 10.1 Petunjuk kedalaman penyelidikan tanah untuk bangunan [2]

Dalam menentukan jarak titik penyelidikan, apabila tanah dalam kondisi yang relatif seragam atau tanah memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup, maka dapat ditentukan jarak titik penyelidikan yang lebih jauh atau jumlah titik penyelidikan yang lebih sedikit. Pemilihan opsi ini juga harus dijustifikasi dengan mengacu pada pengalaman setempat. Apabila di lokasi tertentu direncanakan akan dilakukan lebih dari 1 penyelidikan (misalnya CPT dan pengambilan contoh dengan tabung piston), maka jarak titik penyelidikan harus dibuat cukup jauh. Sedangkan apabila kombinasi penyelidikan tanah akan dilakukan, misalnya CPTs dan

pengeboran, maka CPTs harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pengeboran. Jarak antara CPT dan pengeboran harus dibuat cukup jauh sehingga lubang bor tidak akan memotong lubang CPT. Jika pengeboran dilakukan sebelum CPT, maka CPT harus dilakukan pada jarak sekurang-kurangnya 2 meter dari lubang bor.

Kedalaman penyelidikan tanah yang direncanakan harus mencakup seluruh lapisan yang akan mempengaruhi dan terpengaruh oleh pekerjaan konstruksi. Lokasi titik-titik penyelidikan tanah harus diusahakan sedekat mungkin dengan letak dimana fondasi akan dibangun, terutama apabila bentuk lapisan tanah pendukung fondasi tidak beraturan. Denah bor biasanya disusun dalam bentuk segiempat apabila denah struktur belum tersedia ketika penyelidikan lapangan dilakukan.



Gambar 10. 2 Petunjuk Kedalaman Penyelidikan Tanah untuk fondasi bangunan dengan tiang [2]

Untuk konstruksi bangunan gedung bertingkat dengan 8 atau lebih tingkat, jumlah minimum penyelidikan tanah yang dianjurkan adalah satu titik setiap 300 m^2. Titik yang dipilih harus membentuk pola grid dengan jarak 10 m sampai 30 m dengan minimum 3 (tiga) titik per blok menara. Apabila terdapat beberapa menara yang terletak berdekatan, maka dapat dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama. Untuk konstruksi bangunan gedung dengan 4 sampai 7 lantai, jumlah minimum penyelidikan tanah yang dianjurkan adalah satu titik setiap 400 m^2 dan harus membentuk pola grid dengan jarak 15 m sampai 40 m dengan minimum 2 titik per gedung. Jika beberapa gedung terdapat berdekatan, maka diperbolehkan untuk dijadikan satu kesatuan. Untuk kedua jenis struktur tersebut, penambahan titik penyelidikan dapat dilakukan apabila ternyata hasil investigasi menunjukkan adanya anomali lapisan tanah.

Pengambilan contoh tanah dan jumlah contoh yang diambil harus disesuaikan dengan tujuan penyelidikan, geologi lapangan, dan kompleksitas struktur geotekniknya. Pengambilan contoh tanah dapat dilakukan dengan cara pengeboran maupun dengan galian. Pengambilan sampel tanah dengan bor bertujuan untuk

mengetahui lapisan tanah pendukung yang dilakukan secara visual, mengukur muka air tanah, sekaligus untuk melakukan uji SPT yang akan menghasilkan nilai N-SPT [4].

Pengambilan dengan pengeboran dilakukan dengan menekan tabung contoh tanah (*sampler*) yang dipasang pada ujung bawah batang bor secara hati-hati untuk memperoleh sampel tanah *undisturbed*. Contoh tanah dapat diperiksa di dalam pipa bor yang ditarik keluar pada waktu pengeboran dilakukan. Apabila ditemukan adanya perubahan jenis tanah pada tahap ini, maka kedalaman perubahan jenis tanah akan dicatat beserta dengan kedalamannya, dan akan diambil contoh tanah tambahan. Untuk lapisan-lapisan yang penting diketahui karekteristik tanahnya, pengambilan contoh kontinu (*continuous sampling*) mungkin dilakukan. Bila pengeboran dilakukan pada lapisan batuan seperti inti batu (*rock core*), maka sampel diambil dengan menggunakan bor putar (*rotary drill*).

Teknik pengambilan sampel tanah juga harus dibedakan antara jenis tanah yang kohesif, jenis tanah yang non-kohesif, dan jenis tanah berpasir. Pengambilan contoh tanah asli dilakukan dengan mempergunakan tabung yang telah diolesi dengan oli pada bagian dalamnya agar tanah tidak lengket pada dinding bor ketika tabung ditekan ke dalam tanah [5]. Untuk tanah kohesif (kelempungan) atau *cemented*, contoh tanah asli masih dapat diambil dengan mudah dengan menerapkan berbagai metode pengambilan yang ada. Untuk tanah berpasir, jarang sekali dapat diperoleh contoh tanah yang benar-benar asli. Hal ini karena tanah berpasir rentan mengalami perubahan volume ketika proses pengeboran, penanganan pengambilan contoh tanah itu sendiri, maupun dari getaran yang terjadi selama mobilisasi sampel dari lokasi pengambilan ke laboratorium. Tanah berpasir memiliki butiran lepas dan mudah longsor. Tanah berpasir juga memiliki butiran-butiran yang kasar sehingga menyebabkan perubahan kerapatan tanah tersebut. Hal ini akan menjadi kendala dalam proses identifikasi sifat, karena sifat teknis dari tanah berpasir sangat bergantung pada kerapatannya. Oleh karenanya, sifat teknis dari tanah berpasir umumnya didapat dari pelaksanaan uji langsung maupun tidak langsung di lapangan. Contoh asli tanah berpasir umumnya dapat dikesampingkan karena tanah berpasir merupakan jenis tanah yang mudah meloloskan air dan mudah dipadatkan sehingga umumnya tidak menibulkan kesulitan dalam analisis jenis fondasi yang cocok untuk jenis tanah ini. Contoh tanah berpasir yang benar-benar asli hanya diperlukan apabila terjadi masalah likuifaksi sewaktu terjadi gempa atau pengaruh seismik lainnya.

Setelah sampel tanah berhasil diambil, maka sampel tanah harus benar-benar dijaga kondisinya untuk mencegah sampel tanah terkena gangguan luar. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi contoh tanah dapat berupa perubahan kondisi tegangan dari lapangan, perubahan kadar air tanah dan angka pori, perubahan susunan butir tanah, dan perubahan kandungan bahan kimia tanah. Penanganan sampel tanah dilakukan dengan cara membersihkan dan menutup bagian ujung tabung contoh tanah dengan lilin setelah tabung dikeluarkan dari lubang bor. Hal ini bertujuan agar kadar air tanah tidak berubah serta untuk mencegah tanah tekena gangguan yang mungkin timbul dalam perjalanan ke laboratorium. Selain itu, bagian ujung atas dan ujung bawah tanah harus ditandai dengan benar sehingga

ketika akan dilakukan pengujian di laboratorium, dapat diketahui ke arah mana contoh tanah harus dikeluarkan dari tabung [6]. Contoh tanah asli sangat diperlukan guna mendapatkan parameter kekuatan, sifat, deformasi, maupun sifat permeabilitas tanah. Meskipun demikian, contoh tanah yang sudah terganggu juga masih dapat digunakan dalam menentukan jenis, klasifikasi, serta uji kimia yang diperlukan.

Untuk kepentingan indentifikasi dan klasifikasi, perlu disediakan minimal satu lubang bor atau galian uji (*test pit*) dengan pengambilan contoh tanah. Contoh tanah yang diambil juga harus diperoleh dari setiap lapisan tanah yang mungkin berpengaruh pada perilaku struktur. Pengambilan contoh tanah dapat diganti dengan uji lapangan jika terdapat data berdasarkan pengalaman setempat yang memadaitentang korelasi uji lapangan dengan kondisi tanah untuk memastikan penafsiran yang tidak ambigu terhadap hasilnya.

a. Pengukuran muka air tanah

Pengukuran muka air tanah bertujuan untuk menentukan kedalaman muka air tanah atau profil tekanan air beserta fluktuasinya. Data kedalaman air tanah yang diobservasi harus benar-benar akurat dan diperiksa dengan teliti. Kesalahan pada data muka air tanah yang diperoleh dapat menimbulkan kendala pada saat pembangunan fondasi karena mempengaruhi perhitungan atau analisis stabilitasnya.

Pengukuran air tanah harus dievaluasi agar sesuai dengan aspek-aspek seperti kondisi geologi dan geoteknik lapangan, keakuratan setiap pengukuran, fluktuasi tekanan air pori terhadap waktu, durasi periode observasi, musim pengukuran dan kondisi iklim selama dan sebelum periode tersebut. Hasil evaluasi pengukuran air tanah harus mencakup ketinggian maksimum dan minimum muka air tanah yang diamati, atau tekanan air pori, serta periode pengukurannya; batas atas dan bawah dari kondisi ekstrim dan normal harus diperoleh dari data yang terukur, dengan menambah atau mengurangi fluktuasi yang diharapkan atau bagian dari fluktuasi, terhadap kondisi ekstrim atau normal yang bersangkutan. Kurangnya data yang dipercaya untuk selang waktu setelah pengukuran mengharuskan kehati-hatian dalam penggunaan data pengukuran yang didapatkan dari informasi terbatas yang ada. Kebutuhan untuk melakukan pengukuran lebih lanjut, atau memasang stasiun pengukuran tambahan harus dipertimbangkan untuk dilakukan selama penyelidikan lapangan dan dituangkan dalam laporan penyelidikan tanah.

b. Uji lapangan

Sebelum melaksanakan uji lapangan, data-data mengenai profil tanah, kedalaman penyelidikan, dan elevasi permukaan tanah serta kedalaman air tanah harus disediakan terlebih dahulu. Jika hasil penyelidikan tidak sesuai dengan informasi awal tentang lokasi penelitian dan/atau tujuan penyelidikan, maka diperlukan pengujian tambahan atau perubahan metode pengujian dan harus segera diinformasikan kepada klien. Pengevaluasian hasil uji lapangan harus bisa mempertimbangakan setiap informasi tambahan tentang kondisi tanah, terutama dalam hal menjabarkan parameter geoteknik.

Kemungkinan pengaruh dari peralatan yang digunakan terhadap paremeter geoteknik juga harus dipertimbangkan. Jika korelasi digunakan dalam menjabarkan parameter geoteknik, maka harus dipertimbangkan relevansinya terhadap jenis pekerjaan yang dilakukan. Dalam hal menggunakan korelasi, maka harus dipastikan bahwa kondisi tanah di lapangan yang meliputi jenis tanah, indeks konsistensi, koefisien keseragaman, dan sebagainya benar-benar sesuai dengan kondisi batas yang dibutuhkan untuk penggunaan korelasi tersebut. Pengalaman lokal atau hasil penyelidikan sebelumnya juga harus dipertimbangkan jika ada.

Uji lapangan yang dilakukan dapat berupa uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test*, SPT), uji sondir (CPT, CPTU, CPTM), uji pressuremeter (PMT), uji dilatometer datar (*Flat Dilatometer Test*, DMT), uji geser baling lapangan (*Field Vane Shear Test*, FVT), uji pembebanan pelat (*Plate Loading Test*, PLT), dan uji pendugaan dinamis (*Dynamic Probing Test*).

- **Uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test*, SPT)**
  Uji SPT bertujuan untuk menentukan besar tanahan tanah pada dasar lubang bor terhadap penetrasi dinamis dari *split barrel sampler* (konus padat) dan memperoleh contoh tanah terganggu untuk tujuan identifikasi tanah. Uji SPT digunakan terutama untuk menentukan kekuatan dan sifat deformasi tanah berbutir kasar. Alat yang digunakan dalam pengujian SPT adalah *Standard Split Barrel Sampler* atau tabung belah standar yang dimasukkan ke dalam *Bore Hole* setelah dibor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini kemudian akan diturunkan bersama-sama dengan pipa bor hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar. Kemudian, alat ini akan dipukul dengan alat pemukul yang beratnya 63.5 kg yang ditarik naik turun dengan tinggi jatuh 76.2 cm. Pada pukulan pertama, tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm. kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30.48 cm. Jumlah pukulan tahap kedua ini akan muncul nilai "N" yang menyatakan jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat tabung belah standar mencapai kedalaman 30.48 cm. Nilai "N" ini nantinya akan dugunakan sebagai indikasi kemungkinan model keruntuhan fondasi yang akan terjadi [7]. Hubungan antara nilai N dengan kerapatan relatif berdasarkan teori Terzaghi dan Peck adalah sebagai berikut:

Tabel 10.1 Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif untuk *coarse grained soil*

Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat Tidak Padat
4 – 10	Tidak Padat
10 – 30	Kepadatan Sedang
30 – 50	Padat
<50	Sangat Padat

Tabel 10.1 Hubungan nilai N dengan konsistensi untuk *fine grained soil* [8]

Nilai N	Konsistensi
<2	Sangat lunak
2 – 4	Lunak
4 – 8	Konsistensi sedang
8 – 15	Kaku
15 – 30	Sangat Kaku
> 30	Keras

- **Uji sondir (CPT)**

  Pengujian sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan (penetrasi quasi statik). Parameter perlawanan tersebut berupa perlawanan konus (qc), perlawanan geser (fs), angka banding geser (Rf), dan geseran total tanah (Tf). Parameter tanah tiap lapisan dapat diperoleh dan dianalisis dengan pengujian sondir atau CPT. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (qc) dari hasil pengujian dapat digunakan untuk mengestimasi kapasitas dukung tanah [9]. Data CPT tersebut nantinya dapat digunakan untuk menetapkan kapasitas dukung yang diperbolehkan dan untuk merancang fondasi. Data-data tersebut juga dapat digunakan untuk menguatkan metode-metode pengujian lain dan dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi tanah.

- **Uji Pressuremeter (PMT)**

  Uji pressuremeter (PMT) adalah uji lapangan yang terdiri dari probe silinder panjang yang dikembangkan secara radial di dalam tanah sekelilingnya, dengan menggunakan sejumlah cairan bertekanan pada waktu pemompaan probe. Ada empat jenis alat yang umumnya tersedia, antara lain *Pre-bored pressuremeter* (PBP) misalnya test dilatometer fleksibel (FDT); *Menard pressuremeter* (MPM), bentuk spesifik dari PBP; *Self-boring pressuremeter* (SBP); dan *Full-displacement pressuremeter* (FDP). Prinsip dasar dari pengukuran ini adalah untuk menghasilkan tekanan radial terhadap sisi lubang dengan menggunakan tekanan di *measuring cell* pada probe dan pembacaan volume terekam di volumemeter. Membran (selaput) dikembangkan berlawanan dengan tanah dengan air dan gas minyak dibawah tekanan. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara tekanan yang digunakan dengan deformasi tanah. Besaran deformasi tanah diperoleh dari pencatatan volume fluida yang dimasukkan ke tengah pressuremeter. Selama pengukuran, tekanan dan perpindahan volume akan dipertahankan selama pengukuran. Data-data tersebut akan digunakan untuk menghasilkan kurva tekanan terhadap pergantian volume. Dari pengukuran ini, akan dihasilkan parameter berupa *limit pressure* dan modulus elastisitas tanah.

Tabel 10.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir [10]

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc (kg/cm^2)	fs	
6,0	0,15 – 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 – 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 – 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,60	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 – 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc (kg/cm^2)	fs	
	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 – 300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat

- **Uji dilatometer datar (*Flat Dilatometer Test*, DMT)**
  Uji dilatometer datar (DMT) dilakukan untuk mengukur kekuatan dan deformasi sifat tanah lapangan. Alat ini berupa sebuah pisau (*blade*) dengan lebar 95 mm, panjang 240 mm, dan tebal 15 mm dan ditengahnya terdapat suatu membrane pelat bundar yang dapat bergerak ke luar secara horizontal jika dikembangkan dengan tekanan [11]. Dari hasil dilatometer akan diperoleh data yang biasa disebut 3 (tiga) indeks parameter dilatometer [12], yaitu modulus dilatometer, indeks tegangan lateral, dan indeks material.

- **Uji geser baling lapangan (*Field Vane shear test*, FVT)**
  Uji geser baling lapangan dilakukan guna mengukur tahanan terhadap rotasi lapangan dari baling-baling yang dipasang pada tanah lunak berbutir halus. Pengujian ini bertujuan menentukan kuat geser lempung tak terdrainase dan sensitivitas secara *in situ*. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Vane Shear Test* (VST). Prosedur pengujian dilakukan dengan memasang VST pada ujung bor, kemudian kipas beserta tangkainya ditekan ke dalam tanah dan diputar dengan kecepatan 6 sampai 12 derajat per menit. Besarnya torsi yang dibutuhkan untuk memutar kipas diukur karena tanah akan tergeser menurut bentuk silinder vertikal yang terjadi di pinggir baling-baling. Jika dimensi dan gaya puntiran tanah diketahui, maka tahanan geser tanah dapat dihitung. Pengukuran dilakukan sepanjang kedalaman tanah yang diselidiki dengan jarak interval sekitar 30 cm. Bila lubang dari alat bor digunakan dalam pengukuran, maka kipas ditancapkan dalam jarak minimal 3 kali diameter lubang bor diukur dari dasarnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan penyelidikan pada tanah yang tidak terganggu oleh kegiatan pengeboran. Kuat geser tanah yang telah berubah susunan tanahnya (*remolded*) dapat pula dilakukan dengan mengukur torsi minimum yang dibutuhkan untuk memutar baling-baling secara cepat dan kontinu.

- **Uji pembebanan pelat (*Plate Loading Test*, PLT)**
  Uji pembebanan pelat dilakukan untuk menentukan deformasi vertikal dan kekuatan dari suatu massa tanah dan batuan di lapangan melalui pencatatan beban dan penurunan saat pelat kaku yang dimodelkan sebagai fondasi membebani tanah. Uji pembebanan pelat cocok dilakukan untuk penyediaan tanah timbunan atau tanah yang mengandung banyak kerikil atau batuan dimana uji-uji lapangan sulit dilakukan. Pengujian ini menggunakan pelat berbentuk lingkaran. Diameter pelat antara 30, 24, 18, dan 12 inci. Pelat diposisikan sesuai ukurannya, dengan pelat diameter terbesar di posisi yang paling bawah, sedangkan beban akan dikenakan pada pelat dengan diameter paling kecil. Sistem pembebanan yang digunakan dapat

berupa sistem beban kontra yang berupa meja beban yang diatasnya diletakkan tumpukan beban dan sistem angker, yaitu berupa tiang angker dari baja atau beton yang tertanam dalam tanah dan ditempatkan di sekitar tanah uji. Beban ini akan disalurkan pada pelat di bawahnya dan dihubungkan ke ari baja atau beton yang tertanam dalam tanah dan ditempatkan di sekitar tanah uji. Beban ini akan disalurkan pada pelat di bawahnya dan dihubungkan ke *hydraulic jack*. Defleksi yang terjadi kemudian diukur melalui *dial gauges* yang diletakan pada beberapa titik di atas pelat dengan posisi sepertiga dari bagian terluar pelat. Beberapa pelat umumnya digunakan untuk menambah kekakuan.

- **Uji pendugaan dinamis (*Dynamic Probing Test*, DP)**
  Uji pendugaan dinamis dilakukan untuk menentukan tahanan dari tanah dan batuan lunak di lapangan akibat penetrasi dinamis konus. Hasil uji pendugaan dinamis harus digunakan terutama untuk penentuan profil tanah bersama dengan hasil pengambilan contoh menggunakan pengeboran dan penggalian atau sebagai perbandingan relative pengujian lapangan yang lainnya. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk menentukan kekuatan dan deformasi sifat tanah yang umumnya berbutir kasar, tetapi juga dapat digunakan untuk tanah berbutir halus dengan menggunakna korelasi yang sesuai. Selain itu, hasil pengujian juga dapat digunakan untuk menentukan kedalaman lapisan tanah yang sangat padat yang menunjukkan misalnya panjang tahanan ujung tiang.

b. Pengujian Laboratorium

Sebelum melakukan pengujian di laboratorium, perlu dilakukan inspeksi visual pada contoh tanah dan galian uji (*test pit*) dan dibandingkan dengan data bor sehingga diperoleh profil tanah awal. Untuk contoh tanah, inspeksi visual juga harus didukung oleh uji manual sederhana guna identifikasi dan memberi informasi awal mengenai konsistensi dan sifat mekanik tanah. Profil tanah harus dibagi lagi menjadi dua lapisan apabila ditemukan perbedaan yang signifikan pada sifat antara bagian yang berbeda dari satu strata. Pengujian harus dilakukan terhadap benda uji yang mewakili tiap lapisan tanah. Untuk menmastikan hal tersebut, dapat dilakukan uji klasifikasi pada tanah atau benda uji yang dipakai.

Jumlah benda uji harus ditetapkan berdasarkan tingkat homogenitas tanah, kualitas, dan jumlah pengalaman pada tanah tersebut disesuaikan dengan kategori permasalahan geoteknik. Benda uji tambahan juga perlu disediakan untuk mengantisipasi tanah yang bermasalah, benda uji yang rusak, serta faktor-faktor lain. Untuk timbunan atau lapisan pasir atau kerikil, dapat digunakan benda uji yang dibentuk ulang (*reconstituted speciments*) dengan syarat memiliki komposisi, kepadatan, dan kadar air yang kurang lebih sama dengan material yang asli di lapangan.

Berdasarkan *American Standard Testing and Material* (ASTM), pengujian sampel tanah di laboratorium meliputi uji Indeks Properties; uji kuat geser tanah; uji kompresibilitas; uji permeabilitas; uji kompaksi; dan uji *California Bearing Ratio* [13]. Namun dalam penerapannya, pengujian laboratorium yang dibutuhkan dalam penyelidikan tanah bangunan hanya mencakup uji indeks properties, uji kuat geser tanah, dan uji konsolidasi.

- **Uji Indeks Properties**

  Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter sifat-sifat fisik tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah serta memberikan hubungan dengan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang serta permeabilitas tanah. Pengujian ini terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, uji saringan, uji hidrometer, dan uji batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*).

  Pengujian kadar air (*Moisture Content*) bertujuan untuk mencari besaran kadar air dalam contoh tanah. Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%).

  Pengujian berat jenis (*Spesific Gravity*) bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis yang merupakan fungsi perbandingan antara berat isi butir tanah terhadap berat isi air pada temperatur 4°C dan tekanan 1 atmosfir. Berat jenis tanah dipengaruhi oleh sifat mineralogi tanah [14]. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan botol Erlenmeyer.

  Pengujian berat isi (*Bulk Density*) dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara berat tanah per-satuan volume. Sedangkan pengujian berat isi kering (*Dry Density*) dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara berat tanah kering per satuan volume.

  Uji saringan (*Grain Size Analysis*) bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dengan mencari persentase berat dari tiap-tiap butir tanah. Agar pengujian laboratorium yang lain dapat berguna secara efektif, penentuan distribusi ukuran butir tanah sangat penting dilakukan karena sifat ini berkaitan erat dengan perilaku teknis tanah [15]. Pengujian ini dilakukan pada tanah berbutir kasar dengan menggunakan prinsip analisa saringan. Benda uji akan diayak dengan menggunakan satu set saringan dengan ukuran lubang yang berbeda-beda, untuk kemudian dihitung berat tanah yang tertinggal dalam setiap saringan dan dihitung persentasenya terhadap berat kumulatifnya.

  Uji hidrometer (*Hydrometer Analysis*) bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah untuk tanah yang berbutir halus. Pengujian ini menggunakan prinsip kecepatan pengendapan butiran pada larutan suspense tanah. Hukum stokes digunakan sebagai dasar pengujian, dimana tanah yang ukuran butirannya lebih besar akan mengendap lebih cepat dibandingkan tanah yang butirannya lebih kecil. Analisis terhadap komposisi ukuran butir tanah ini juga dapat digunakan untuk mengetahui potensi kehancuran tanah [16].

  Pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) bertujuan untuk mencari besaran perbandingan berat air yang mengisi ruang pori dengan berat tanah kering pada kondisi batas cair/plastis. Batas-batas Atterberg yang dicari meliputi batas susut (*shrinkage limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas cair (*liquid limit*) serta indeks plastisitas (*plasticity index*).

- **Uji Kuat Geser Tanah**

  Pengujian kuat geser tanah meliputi uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression*), uji triaksial (*Triaxial Unconsolidated Undrained*), dan uji geser langsung (*Direct Shear*).

  Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mendapatkan parameter nilai kuat tekan bebas (qu), khususnya pada tanah kohesif atau lempung. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya tegangan aksial maksimum per satuan luas yang dapat ditahan oleh benda uji silindris mengalami keruntuhan geser atau ketika regangan aksial mencapai 20%. Percobaan ini dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan asli maupun buatan (*remolded*). Dari kuat tekan bebas, dapat diketahui berapa besarnya kekuatan geser *undrained* (C_u) dan derajat kepekaannya.

  Pengujian triaksial konvensional dilakukan dengan mengmbungkus benda uji silinder dengan membran karet dan meletakannya di dalam sel triaksial untuk diberi tekanan fluida. Beban aksial kemudian akan diberikan dan ditingkatkan sampai keruntuhan terjadi. Pada kondisi tersebut, tegangan minor dan pertengahan, masing-masing σ_3 dan σ_2, sama dengan tekanan fluida; tegangan utama mayor, σ_1, disediakan oleh baik tekanan fluida dan tegangan aksial yang diberikan oleh piston beban. Ada tiga kondisi drainase selama pemberian tekanan sel dan beban aksial yang menjadi dasar klasifikasi umum tes kompresi triaksial, yaitu tak terkonsolidasi dan tak terdrainase (UU), terkonsolidasi-tak terdrainase (CU), dan terkonsolidasi-terdrainase (CD).

  Pengujian *Direct Shear* bertujuan untuk mendapatkan besaran kekuatan geser tanah dengan mengubah tegangan aksial atau normal pada beberapa contoh tanah. Hasil pengujian *Direct Shear* dapat digunakan untuk menganalisa stabilitas lereng, daya dukung fondasi, analisis dinding penahan tanah, dan sebagainya.

- **Uji Konsolidasi**

  Ketika suatu suatu lapisan lempung jenuh dibebani oleh suatu massa diatasnya, maka akan timbul tiga jenis penurunan, yaitu penurunan awal, penurunan konsolidasi, dan pemampatan sekunder (konsolidasi). Pengujian konsolidasi di laboratorium biasanya digunakan untuk mengevaluasi penurunan konsolidasi dan pemampatan sekunder yang terjadi. Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat kemampatan tanah dan karakteristik konsolidasinya sebagai fungsi dari permeabilitas tanah. Sifat kemampatan tanah dapat dinyatakan dengan koefisien kemampatan volume (mv) aatu dengan indeks kompresi (C_c), sedangkan karakteristik konsolidasi dinyatakan dengan koefisien konsolidasi (C_v) yang menyatakan kecepatan kompresi tanah terhadap waktu.

10.2.3 Pemeriksaan Kesesuaian Hasil Penyelidikan Selama Konstruksi

Apabila diperlukan, dapat dilakukan sejumlah pemeriksaan dan uji tambahan selama konstruksi guna memeriksa dan memastikan apakah kondisi tanah asli di lapangan sudah relevan dengan hasil penyelidikan tahap perancangan. Pemeriksaan dan uji tambahan ini juga dimaksudkan untuk menentukan apakah sifat-sifat material konstruksi serta pekerjaan konstruksi sudah sesuai dengan yang sudah diantisipasi berdasarkan hasil penyelidikan sebelumnya.

Pemeriksaan kesesuaian antara kondisi lapangan dengan penyelidikan sebelumnya dapat dilakukan melalui langkah-langkah seperti memeriksa profil tanah saat membuat

galian, inspeksi dasar galian, mengukur tinggi muka air tanah atau tekanan air pori dan fluktuasinya, mengukur perilaku bangunan atau fasilitas sipil sekitar pembangunan, dan mengukur perilaku kegiatan konstruksi yang sedang dilakukan. Dari hasil pemeriksaan tersebut, harus dilakukan analisa ulang dan dibandingkan dengan perancangan yang telah disusun berdasarkan penyelidikan awal. Apabila diperlukan, perubahan rancangan desain dapat dilakukan jika ditemukan ketidaksesuaian antara hasil penyelidikan awal dengan temua-temuan yang baru.

10.3 Penutup

Penyelidikan tanah merupakan kegiatan yang mutlak dilakukan sebelum konstruksi suatu struktur direncanakan dan dilaksanakan. Kegiatan penyelidikan tanah dimulai dari tahap penentuan titik-titik lokasi dan kedalaman pengambilan sampel tanah. Penentuan titik penyelidikan harus diusahakan sedekat mungkin dengan titik dimana fondasi akan dibangun sehingga hasil penyelidikan dapat merepresentasikan kondisi dan perilaku tanah asli di lapangan serta dapat digunakan sebagai acuan desain fondasi atau perkuatan yang diperlukan. Data-data parameter tanah untuk desain dapat diperoleh dari hasil pengujian baik di lapangan maupun di laboratorium, menyesuaikan dengan keperluan konstruksi bangunan yang bersangkutan. Seluruh tahapan dalam penyelidikan tanah harus dilakukan secara hati-hati dan teliti serta mengacu pada standar atau aturan yang telah ditetapkan. Kekeliruan dan kelalaian dalam penentuan data teknis tanah dapat menimbulkan kesalahan pada perhitungan analisa fondasi atau bahkan mengancam keberlangsungan bangunan yang berada di atasnya. Oleh karena itu, diperlukan tenaga ahli dan perancang yang benar-benar berkompeten dan kredibel untuk melaksanakan kegiatan penyelidikan tanah. Hasil dari penyelidikan tanah pada awal perencanaan desain juga harus diperiksa ulang pada saat tahap konstruksi dilaksanakan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain fondasi yang telah dibuat benar-benar dapat diterapkan, aman, dan relevan dengan kondisi profil tanah di lokasi pembangunan.

Referensi

[1] Simorangkir, S. P. (2021). Analisis Penyelidikan Tanah Perencanaan Pembangunan Pasar Baru di Penyabungan Kabupaten Mandailing Sumatera Utara. *Buletin Utama Teknik*, 16, 186-194.

[2] Indonesia. Direktorat Jenderal Bina Marga. *Laporan Mekanika Tanah*. http://dw.binamarga.pu.go.id/invit/dokumen/LAPORAN%20MEKANIKA%20TANAH.pdf

[3] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.

[4] Juliana, N. & Tarbiyatno (2019). Hubungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Hasil Sondir, SPT, dan Laboratorium Pada Rencana Pembangunan Gedung Multi Lantai di Lokasi Balige. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 5, 45-49.

[5] Sandjaja, G. S. & Prihatiningsih, A. (2018). *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.

[6] Aidie, S. (2009, Augustus 5). *Penyelidikan Tanah di Lapangan*. Retrieved from Mata Kuliah : http://teorikuliah.blogspot.com/2009/08/penyelidikan-tanah-di-lapangan.html

[7] Terzaghi, Karl & Peck, R. B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley & Sons.
[8] Vidayanti, D. & Widyawaty, N. (2016). The Mapping of Soil Bearing Capacity and The Depth of Hard Stratum For Supporting Pile Based on N-SPT Value in Jakarta. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 14361-14368.
[9] Ali, F., Najib N., & Ali, R. K. (2018). Kajian Geoteknik untuk Perencanaan Pembangunan Pemukiman Baru pada Kawasan Handil Berkat Makmur, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1, 50-58.
[10] Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. *(N. E. Mochtar dan I. B. Mochtar, Terjemahan*). Jakarta: Penerbit Erlangga.
[11] Moeno, H. U. (2011) Penentuan Parameter Geoteknik Tanah Residual Tropis Melalui Pengujian Dilatometer. *Jurnal Teknik Sipil*, 18, 91-102.
[12] Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., & Calabrese, M. (200,1). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations, *A Report by the ISSMGE Committee*. 41 pp. Reprinted in Proc. DMT 2006, Washington D.C.
[13] Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*
[14] Kalinski, Michael E., 2011, *Soil Mechanics Lab Manual 2nd Edition*. Lexington: John Wiley & Sons, Inc.
[15] Mallo, S. J., & Akuboh, I. N. (2012). Geotechnical Investigation of Soils: A Case Study of Gombe Town (Sheet 152NW), North Eastern Nigeria. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2, 4280-4286.
[16] Prihatiningsih, A., Susilo, A. J., & Sentosa, G. S. (2019). Potensi Kehancuran Tanah Lanau Kelempungan Yang Dipadatkan di Laboratorium Dengan Kandungan Lempung Yang Berbeda. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 3, 137-144.

Jurusan Teknik Sipil periode 2012–2018 dan Sekretaris Program Studi Sarjana Teknik Sipil periode 2018 sampai sekarang di Universitas Tarumanagara. Mengajar mata kuliah Struktur Baja.

Vincent. Mahasiswa angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Pada saat ini sedang menjalani semester 7 mengambil kerja praktik dan magang.

Kharistio Xavira. Mahasiswa angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Saat ini aktif dalam organisasi IMASTA sebagai anggota dan sedang kerja praktik bangunan bertingkat.

Arif Sandjaya, S.T., M.T. Lulus Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara tahun 2012 dan Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara tahun 2016. Menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara sejak 2016, bidang struktur baja.

Maria Kevinia Sutanto. Mahasiswi angkatan 2018 yang sedang menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Pada saat ini sedang mengambil tugas akhir dengan pemintaan struktur dengan topik analisis *pushover* pada bangunan retrofit.

Giovanni Pranata, S.T., M.T. menempuh gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara dan Magister Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2008, penulis aktif sebagai praktisi pada bidang perencanaan struktur bangunan hingga saat ini. Sejak tahun 2015, penulis diangkat menjadi dosen tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumagara dalam bidang Struktur & Konstruksi. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi analisa struktur, simulasi numerik dan rekayasa struktur tahan gempa.

Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M. adalah dosen tetap Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara sejak tahun 1990, lulus sarjana Teknik sipil dari Universitas Tarumanagara tahun 1988, studi Magister Manajemen diselesaikannya di Sekolah Tenggi Ilmu Ekonomi IPWIJA tahun 2000. Dalam pengalamannya sebagai dosen telah mengajar mata Matematika, Analisis Numerik, kuliah Mekanika Tanah, Rekayasa Fondasi, Rekayasa Geoteknik, membimbing praktikum di Laboratorium Mekanika Tanah, membimbing skripsi mahasiswa tingkat sarjana. Pengalaman

meneliti telah dilakukan sejak mengabdi sebagai dosen, bersama Tim Peneliti memperoleh dana penelitian dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan pada tahun 2013 (sebagai ketua), 2014 (sebagai ketua), 2015 (sebagai ketua dan anggota), 2016 (sebagai anggota). Tahun 2018, salah satu karya penelitian bersama Tim Penelitinya yang dipbublikasikan dalam Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12 (KoNTekS 12) di Batam mendapat penghargaan sebagai *Best Paper* bidang Geoteknik. Terdaftar sebagai anggota HATTI dari tahun 1994 hingga sekarang. Pada periode tahun 2009-2012 telah dipercaya mengelola Program Studi Teknik Sipil di tempatnya berkarya sebagai Sekretaris Jurusan. Tahun 2017 ditunjuk sebagai kepala Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Tarumanagara hingga saat ini.

Monica Michelle Susanto adalah mahasiswa Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Tarumanagara angkatan tahun 2018. Menjadi Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tarumanagara sejak 2020 dan Asisten Laboratorium Mekanika Rekayasa Universitas Tarumanagara sejak 2021. Menerima beasiswa prestasi akademik untuk periode semester genap tahun 2020/2021 dari Universitas Tarumanagara. Saat ini terdaftar sebagai Badan Pengurus Harian Inti Ikatan Mahasiswa Sipil Tarumanagara (IMASTA) sebagai sekretaris umum dan berperan aktif dalam berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan.

Alfred Jonathan Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D. alumni Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Alumni Program Magister Teknik Sipil dari McNeese State University (University of Louisiana System) dan selanjutnya memperoleh Doktor Teknik Sipil dari University of Kentucky dengan topik disertasi berfokus pada Dinamika Tanah/Kegempaan pada tanah. Mempunyai Sertifikat *Engineer in Training* (EIT) dari negara bagian Louisiana sejak 2009. Memperoleh Sertifikat keahlian Ahli Geoteknik – Madya dari Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI) dan Sertifikat keahlian Ahli Teknik Bangunan Gedung – Utama dari Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI) serta mempunyai Izin Pelaku Teknis Bangunan (IPTB) sebagai Perencana, Pengawas dan Pengkaji Bangunan Gedung bidang keahlian Konstruksi Golongan A dan Izin Pelaku Teknis Bangunan (IPTB) sebagai Perencana Bangunan Gedung bidang keahlian Geoteknik golongan B. Menjadi Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Sipil pada tahun 2016 – sekarang dalam bidang Geoteknik dengan jabatan akademik dosen Lektor. Sejak 2020 menjadi *Co-Promotor* pada program Doktor Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Minat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat meliputi mekanika tanah, desain fondasi, kegempaan, dan dinamika tanah.

JURUSAN TEKNIK SIPIL FT UNTAR
JL. Letj. Jen. S. Parman No. 1, Jakarta 11440
sipil@untar.ac.id
(021) 5672548