

INOVASI ALAT UJI TANAH *DIRECT SHEAR TEST*: SOLUSI HEMAT LABORATORIUM TEKNIK SIPIL

Maskur Efendi¹, Eko Setyawan²

¹Departemen Teknik Sipil & Perencanaan, Fakultas Teknik - Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Kota Malang, 65145

²Departemen Teknik Sipil & Perencanaan, Fakultas Teknik - Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Kota Malang, 65145

maskur.efendi@um.ac.id, eko.setyawan.ft@um.ac.id

ABSTRAK

Dalam teknik sipil, kualitas tanah sangat penting untuk memastikan struktur yang aman dan stabil. Pengujian tanah, seperti menggunakan alat *Direct Shear Test* (DST), membantu menilai kemampuan tanah dalam menahan beban. Namun, alat DST digital komersial sangat mahal, sehingga banyak laboratorium dengan anggaran terbatas menggunakan alat analog yang kurang akurat. Penelitian ini mengusulkan inovasi dengan meningkatkan kinerja alat DST analog menjadi digital menggunakan dial indikator digital Mitutoyo dan mikrokontroler Arduino UNO R4 WiFi. Alat ini memungkinkan pengumpulan data digital secara nirkabel, pemrosesan otomatis, dan pelaporan dalam bentuk angka, tabel, dan grafik. Inovasi ini mengurangi biaya, meningkatkan akurasi, mempermudah pengoperasian, dan mengotomatiskan pemrosesan data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memberikan kinerja yang hampir setara dengan alat DST digital komersial dengan biaya yang lebih rendah.

Kata kunci: *Direct Shear Test*, Digitalisasi Alat, Mikrokontroler, Akuisisi Data, Hemat Biaya

ABSTRACT

In civil engineering, soil quality is critical to ensure safe and stable structures. Soil testing, such as using a Direct Shear Test (DST) tool, helps assess the soil's ability to withstand loads. However, commercial digital DST tools are very expensive, so many laboratories with limited budgets use analog tools that are less accurate. This study proposes an innovation by improving the performance of analog DST tools to digital using a Mitutoyo digital dial indicator and an Arduino UNO R4 WiFi microcontroller. This tool allows for wireless digital data collection, automatic processing, and reporting in the form of numbers, tables, and graphs. This innovation reduces costs, increases accuracy, simplifies operation, and automates data processing. The test results show that this tool provides almost equivalent performance to commercial digital DST tools at a lower cost.

Keywords: *Direct Shear Test, Tool Digitalization, Microcontroller, Data Acquisition, Cost Saving*

PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan teknik sipil, berdirinya suatu struktur berkaitan erat dengan kondisi tanah dibawahnya. Tanah yang akan didirikan sebuah struktur harus memiliki kualitas dan kemampuan untuk menahan beban struktur diatasnya. Kualitas tanah tidak hanya menentukan daya dukung tetapi juga menentukan stabilitas struktur. Pengujian tanah telah diterima secara luas sebagai metode menentukan kualitas tanah untuk berbagai aplikasi, salah satunya di bidang konstruksi. Dengan menguji tanah, dapat menilai kesesuaiannya untuk proyek dan mendapatkan data yang solid, yang kemudian dapat digunakan untuk membuat keputusan yang tepat dan merencanakan konstruksi sesuai dengan data hasil pengujian. Dalam

membangun sebuah konstruksi, penting untuk memperhatikan hal yang bersifat teknis, seperti pengujian tanah di laboratorium mekanika tanah.

Laboratorium mekanika tanah adalah bagian integral dalam penelitian dan pembelajaran teknik sipil, terutama untuk menganalisis parameter tanah seperti kuat geser, daya dukung, dan kestabilan lereng. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis dalam menghitung daya dukung tanah untuk pondasi, merencanakan dinding penahan tanah, menentukan tingkat kestabilan lereng, gaya dorong pada dinding penahan tanah, dan lain sebagainya (Hardiyatmo, 2012). Salah satu alat penting dalam pengujian ini adalah alat *Direct Shear Test* (DST), yang digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah dengan

memberikan tegangan horizontal hingga tanah mencapai keruntuhan geser. DST adalah metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah pada kondisi tertentu. Dalam pengujian sampel ini, tanah ditempatkan dalam sebuah kotak uji dan diberi tegangan horizontal secara bertahap sampai terjadi keruntuhan geser. Hasil dari uji ini memberikan nilai gaya geser runtuh dan parameter lain yang penting untuk perencanaan struktur, seperti daya dukung tanah dan kestabilan lereng (Craig, 1991). Tujuan pengujian DST adalah mendapatkan parameter tanah untuk menghitung; 1) daya dukung tanah, 2) tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah, dan 3) kestabilan lereng tanah (Wesley, 2017).

Pengujian DST memerlukan alat khusus yang dibuat oleh pabrikan dengan memenuhi standar uji pengujian tanah. Parameter yang diukur alat ini adalah besarnya gaya geser (*shear*) yang terjadi pada sampel tanah sehingga mengalami keruntuhan geser dan memperoleh nilai gaya geser runtuh (*shear failure*). Jenis alat berdasarkan cara pengukuran data dibedakan menjadi model analog dan digital. Kualitas alat, teknologi yang digunakan dan cara pengoperasian sangat berpengaruh terhadap harga alat, tingkat akurasi hasil pengujian dan kemudahan pengoperasian.

Namun, alat DST digital komersial memiliki harga yang sangat mahal, sering kali mencapai ratusan juta rupiah. Kondisi ini menjadi tantangan bagi laboratorium dengan anggaran terbatas. Sementara itu, alat DST analog yang lebih terjangkau memiliki keterbatasan dalam akurasi, efisiensi, dan kemudahan pengoperasian. Kekurangan dari alat Direct Shear Test model analog adalah:

- 1) Akurasi hasil pengukuran rendah.
- 2) Data hasil pengukuran harus dicatat secara manual dalam bentuk data tulisan.
- 3) Penggunaan alat membutuhkan oleh 2 (dua) orang untuk mengoperasikan alat dan mencatat data.
- 4) Data pengukuran masih perlu diolah secara manual untuk menjadi laporan hasil pengujian.

Penelitian ini akan merancang dan membuat suatu perangkat yang akan ditambahkan (*add on tools*) pada alat uji tanah DST model pengukuran analog. Dengan adanya perangkat

tambahan maka bisa meningkatkan kinerja alat sehingga dapat memiliki kelebihan antara lain:

- 1) Akurasi hasil pengukuran lebih tinggi.
- 2) Data hasil pengukuran langsung terekam otomatis dalam bentuk data digital.
- 3) Penggunaan alat bisa dilakukan oleh 1 (satu) orang untuk mengoperasikan alat.
- 4) Data pengukuran langsung diproses menjadi laporan hasil pengujian menggunakan aplikasi DST-UM.

Pengguna laboratorium mekanika tanah yang sudah memiliki atau yang akan membeli alat DST dengan pengukur data analog dapat memanfaatkan perangkat tambahan. Dengan tambahan alat tersebut kinerja alat meningkat mendekati keunggulan alat DST digital. Setelah menggunakan tambahan perangkat ini maka alat DST memiliki kelebihan untuk membaca data pengukuran secara otomatis terekam sebagai data digital, serta langsung memproses data pengukuran menjadi laporan hasil pengujian menggunakan aplikasi DST-UM yang sudah diprogram untuk menganalisa data pengukuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat DST analog menjadi alat digital dengan biaya rendah, menggunakan teknologi mikrokontroler dan akuisisi data nirkabel. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan akurasi dan efisiensi, tetapi juga memberikan solusi bagi laboratorium teknik sipil untuk mengakses teknologi pengujian modern.

Direct Shear Test (DST)

DST adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah. Parameter utama yang diukur adalah kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) (Das, 1995). Pengujian dilakukan dengan memberi beban normal pada sampel tanah dalam kotak geser, kemudian menerapkan gaya geser hingga tanah mengalami keruntuhan. Alat DST umumnya terdiri dari (Soedarmo & Purnomo, 2001):

- 1) Shear Box: Tempat sampel tanah diuji.
- 2) Proving Ring: Mengukur gaya geser yang diterapkan.
- 3) Dial Indikator: Mengukur deformasi horizontal dan vertikal.

Digitalisasi dalam Pengujian Tanah

Perkembangan teknologi memungkinkan penggantian komponen analog dengan digital untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi

(Buehler & Stojanovic, 2020). Digitalisasi memungkinkan data diakuisisi secara otomatis, direkam dalam format digital, dan diolah menggunakan perangkat lunak, sehingga mengurangi potensi kesalahan manual (Hernandez & Sánchez, 2016).

Mikrokontroler Arduino UNO R4 WiFi Mikrokontroler adalah suatu chip berupa IC (*Integrated Circuit*) yang berfungsi sebagai pengontrol atau pengendali rangkaian elektronik dan umumnya menyimpan program yang ditanamkan (Budiharto, 2005). Arduino mudah digunakan untuk integrasi perangkat keras dan perangkat lunak (Sarma & Singh, 2014). Arduino® UNO R4 WiFi merupakan platform mikrokontroler yang sangat populer untuk berbagai aplikasi pemrograman dan elektronik. Model UNO R4 WiFi memungkin-

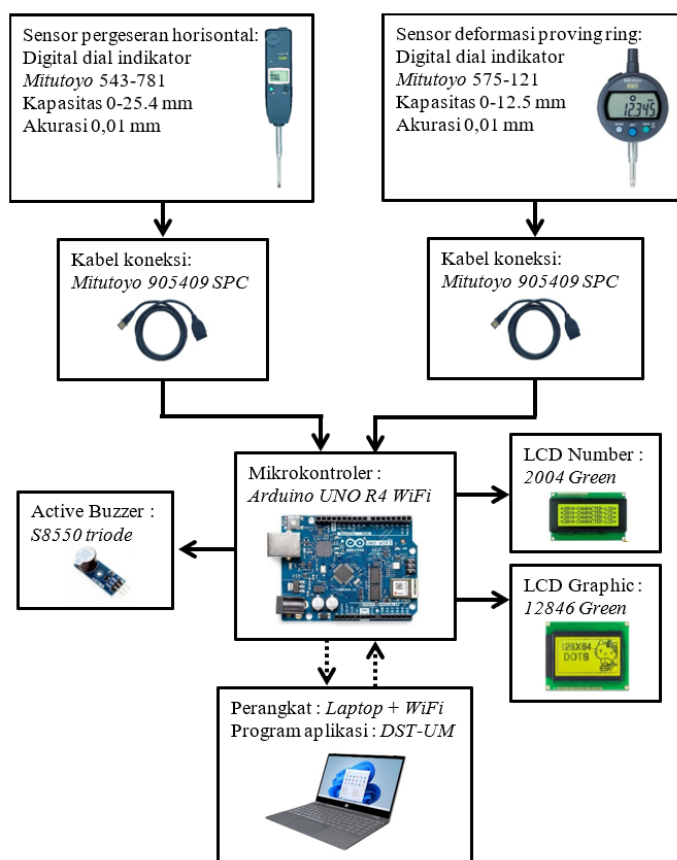
kan akuisisi dan transmisi data secara nirkabel, sehingga cocok untuk aplikasi pengujian laboratorium (Arduino, 2021).

METODE PENELITIAN

Desain Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama:

- 1) Dial Indikator Digital: Mengukur gaya geser dan deformasi horizontal.
- 2) Mikrokontroler Arduino: Menerima dan memproses data dari dial indikator.
- 3) Kabel Koneksi SPC: Menghubungkan dial indikator ke mikrokontroler.
- 4) Aplikasi DST-UM: Mengolah data dan menghasilkan laporan pengujian.



Gambar 1. Komponen Alat dan Diagram Koneksi

Desain Perangkat

Inovasi ini dilakukan dengan mengganti dial indikator analog pada alat DST dengan dial indikator digital Mitutoyo, tipe 575-121 untuk pengukuran gaya geser dan tipe 543-781 untuk pergeseran horizontal. Dial indikator ini

dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino UNO R4 WiFi, yang berfungsi sebagai unit pemrosesan dan pengirim data secara nirkabel ke komputer.

Langkah Implementasi

- 1) Mengganti dial indikator analog dengan digital pada alat DST.
- 2) Menghubungkan dial indikator ke mikrokontroler menggunakan kabel SPC.
- 3) Memprogram Arduino untuk membaca data deformasi dari dial indikator dan mengirimkannya ke perangkat lunak.
- 4) Mengembangkan perangkat lunak dalam bentuk aplikasi DST-UM untuk memvisualisasikan data dan menghitung parameter tanah.

Akuisisi dan Pemrosesan Data

Data gaya geser dan pergeseran horizontal yang terbaca pada dial indikator digital dikirimkan ke perangkat lunak aplikasi (DST-UM) yang dirancang khusus. Perangkat lunak ini memproses data untuk menghasilkan laporan pengujian dalam bentuk tabel, grafik, dan nilai parameter, seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Evaluasi Kinerja

Alat DST hasil inovasi diuji menggunakan tiga sampel tanah dengan beban normal berbeda. Kinerja alat DST hasil inovasi dibandingkan dengan DST digital komersial. Parameter yang diukur meliputi akurasi hasil pengukuran, efisiensi operasional, dan biaya implementasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Alat Inovasi

Alat DST inovasi menghasilkan peningkatan kinerja dari kondisi sebelumnya dalam hal:

- 1) Akurasi:
Data pengukuran menunjukkan peningkatan akurasi dibandingkan alat analog, dengan resolusi pengukuran mencapai 0,01 mm.

- 2) Efisiensi:

Sistem otomatis memungkinkan data terekam langsung tanpa pencatatan manual, mengurangi waktu pengujian hingga 30% dan menghindari kesalahan dalam pencatatan data.

- 3) Kemudahan Pengoperasian:

Penggunaan dial indikator digital dan sistem nirkabel memungkinkan alat dioperasikan oleh satu orang.

Perbandingan Biaya

Alat DST inovasi membutuhkan biaya implementasi sekitar Rp 16.588.850, jauh lebih murah dibandingkan alat DST digital komersial yang harganya bisa mencapai ratusan juta rupiah.

- Harga alat DST Digital Komersial: Rp 200.000.000 - Rp 400.000.000.
- Harga perangkat alat tambahan DST Inovasi: Rp 16.588.850.
- Penghematan biaya lebih dari 90% menjadikan alat ini solusi hemat biaya yang dapat diakses oleh laboratorium dengan anggaran terbatas.

Visualisasi Data

Alat DST inovasi menghasilkan data pengujian yang sebanding dengan alat DST digital komersial. Perangkat lunak DST-UM menghasilkan laporan dalam bentuk:

- 1) Tabel pergeseran horizontal dan tegangan geser.
- 2) Grafik hubungan pergeseran horizontal - tegangan geser.
- 3) Grafik hubungan tegangan normal - tegangan geser.
- 4) Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).



Gambar 2. Purwarupa Alat

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini berhasil mengembangkan inovasi alat DST digital berbasis mikrokontroler sebagai solusi hemat biaya untuk laboratorium teknik sipil dengan keunggulan dalam akurasi, efisiensi, dan kemudahan pengoperasian
- 2) Inovasi ini tidak hanya meningkatkan akurasi dan efisiensi, tetapi juga memberikan aksesibilitas teknologi digital bagi laboratorium dengan keterbatasan anggaran.
- 3) Alat ini mendekati performa alat DST digital komersial dengan biaya implementasi yang jauh lebih rendah.

Inovasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengotomatisasi jenis pengujian lain di laboratorium teknik sipil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Direktorat Sumber Daya Dirjen Dikti yang memberikan pendanaan untuk penelitian ini. Serta kepada Universitas Negeri Malang yang memberikan ijin untuk menggunakan fasilitas laboratorium mekanika tanah untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino, O. S. (2021, Oktober 10). *Arduino® UNO R4 WiFi*. Diambil kembali dari Arduino Official Store: <https://store.arduino.cc/products/uno-r4-wifi>
- Budiharto, W. (2005). *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Buehler, A., & Stojanovic, J. (2020). Sistem Akuisisi Data Nirkabel Berbasis Mikrokontroler untuk Aplikasi Industri. *Jurnal Elektronik Terapan*, 42(1), 57-65.
- Craig, F. (1991). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.

- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. (2012). *Mekanika Tanah 1, Edisi ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada Universty Press.
- Hernandez, J., & Sánchez, A. (2016). Sistem Akuisisi Data Nirkabel untuk Pemantauan Lingkungan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 142(3), 04015075.
- Sarma, K., & Singh, R. (2014). Perancangan dan Implementasi Sistem Akuisisi Data Nirkabel Berbasis Arduino. *Jurnal Internasional Teknik dan Teknologi Lanjutan (IJEAT)*, 3(5), 114-118.
- Soedarmo, D., & Purnomo, E. (2001). *Mekanika Tanah 2, Cetakan ke-5*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wesley, L. (2017). *Mekanika Tanah, Edisi Baru*. Yogyakarta: Andi.

Biografi Penulis



Maskur Efendi

Departemen Teknik Sipil & Perencanaan FT-UM, S2 Teknik Pengairan, fokus penelitian bidang Mekanika Tanah dan Air Tanah.



Eko Setyawan

Departemen Teknik Sipil & Perencanaan FT-UM, S2 Rekayasa Pertambangan, fokus penelitian bidang Mekanika Tanah.