

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 7, No. 1, April 2019



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, berisi 15 naskah untuk setiap nomornya baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Mulai edisi ini ada perubahan dan penambahan anggota Dewan Redaksi jurnal berdasarkan SK Nomor 01/ KEP/KP/I/2019 yang dimaksudkan untuk meningkatkan pelayanan dan pengelolaan naskah sehingga penerbitannya tepat waktu. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi
Pertanian, IPB Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti ((Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc
Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, Institut Pertanian Bogor)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680. Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026, E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 7 No. 1 April 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Bambang Haryanto, MS. (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (INSTIPERYogyakarta), Dr.Ir. I Wayan Astika, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, STP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso Budi Waspodo, MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Arief Sabdoyuwono, M.Sc (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Radi, STP, M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Andri Prima Nugroho, STP, M.Sc, Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Sri Rahayoe, STP, MP. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Diding Suhandy, STP, M.Agr, Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Lampung), Eni Sumarni, STP, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Dr. Noor Roufiq Ahmadi, STP, MP (Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura), Dr. Kurniawan Yuniarto, STP, MP (Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram), Dr. Andasuryani, STP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas).

Technical Paper

Rancang Bangun dan Pengujian Penetrometer Digital dengan Perekam Data Berbasis Android

Design and Performance Test of Digital Penetrometer with Android based Record System

Budi Priyonggo, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Pascasarjana
Institut Pertanian Bogor. Email: priyonggobudi@gmail.com
I Dewa Made Subrata, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: dewamadesubrata.ipb@gmail.com
Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

Static penetrometer is designed to measure the force that required to push a conical probe of the soil deepness through a constant velocity. The output data are force per unit area without soil factor influenced, i.e. soil moisture content. Soil moisture content is an important factor that affects soil penetration resistance. The soil moisture content method that commonly uses a gravimetric method can takes a long time to obtain data of soil moisture content. Therefore a penetrometer is needed which can measure the soil moisture content at once. The objective of study is to design and develop static penetrometer equipped with soil moisture sensor and android based data record system. Loadcell and HX711 used as force sensor, HC-SR04 and DHT11 used as depth sensor and a kit soil moisture module has been modified as soil moisture sensor. Calibration and validation result of the sensor shown that the correlation value of $R^2=0.9994$ and $R^2=0.9995$ (force sensor), $R^2=0.9999$ and $R^2=0.9999$ (depth sensor) and $R^2=0.9098$ and $R^2=0.9255$ (soil moisture sensor). Penetrometer performance test in land result obtained the value of $R^2=0.9583$ for cone index, $R^2=0.9994$ for depth sensor dan $R^2=0.6673$ moisture content sensor. Penetrometer performance test in rice field result obtained the value of $R^2=0.9583$ for cone index, $R^2=0.9941$ for depth sensor and $R^2=0.7201$ moisture content sensor. The result of regression analysis for moisture content equation obtained value $R^2=0.7201$ for testing on dry land and $R^2=0.9058$ for testing in the paddy fields. The experimental result shown that the new develop penetrometer instrument can be used as an alternative instrument to measure soil penetration that equipped with soil moisture content data.

Keywords: digital penetrometer, loadcell, depth sensor, soil moisture sensor

Abstrak

Penetrometer statis didesain untuk mengukur gaya yang dibutuhkan untuk menekan probe kerucut kedalam tanah dengan kecepatan konstan. Output datanya adalah gaya persatuan luas tanpa faktor sifat tanah lain seperti kadar air. Kadar air tanah merupakan faktor penting yang memengaruhi tahanan penetrasi tanah. Metode pengukuran kadar air yang umum menggunakan metode gravimetri yang membutuhkan waktu cukup lama untuk mendapatkan data kadar air tanah. Maka dari itu dibutuhkan penetrometer yang dapat sekaligus mengukur kadar air dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang, membangun dan menguji penetrometer digital dilengkapi pembacaan kadar air dengan perekam data berbasis android. Loadcell dan HX711 digunakan sebagai sensor gaya, HC-SR04 dan DHT11 digunakan sebagai sensor kedalaman dan kit sensor kadar air tanah termodifikasi digunakan sebagai sensor kadar air. Hasil kalibrasi dan validasi sensor didapatkan nilai $R^2=0.9994$ dan $R^2=0.9995$ untuk sensor gaya, $R^2=0.9999$ dan $R^2=0.9999$ untuk sensor kedalaman, $R^2=0.9098$ dan $R^2=0.9255$ untuk sensor kadar air tanah. Hasil pengujian kinerja di lahan kering secara terpadu di dapatkan nilai nilai $R^2=0.9583$ untuk cone index, $R^2=0.9994$ untuk sensor kedalaman dan $R^2=0.6673$ untuk sensor kadar air. Hasil pengujian di lahan sawah didapatkan nilai $R^2=0.9583$ untuk sensor gaya, $R^2=0.9941$ untuk sensor kedalaman dan $R^2=0.7696$ untuk sensor kadar air. Hasil analisis regresi pada proses kalibrasi ulang didapat persamaan penduga kadar air dengan nilai $R^2=0.7201$ untuk pengujian di lahan kering dan $R^2=0.9058$ untuk pengujian di lahan sawah. Berdasarkan data yang didapatkan maka penetrometer yang dirancang dapat digunakan sebagai alternatif instrumen ukur tahanan penetrasi yang dilengkapi dengan data kadar air.

Kata Kunci: penetrometer digital, loadcell, sensor kedalaman, sensor kadar air tanah

Diterima: 10 Oktober 2018; Disetujui: 10 Januari 2019

Latar Belakang

Tahanan penetrasi tanah merupakan salah satu sifat tanah yang menggambarkan kekuatan tanah untuk menahan suatu gaya dari luar. Tahanan penetrasi ini dapat digunakan untuk menggambarkan gaya yang dibutuhkan untuk menembus suatu luasan tanah tertentu. Tahanan penetrasi tanah dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik tanah lainnya seperti kadar air, tekstur tanah dan *dry bulk density* (Kumar 2012). Tahanan penetrasi tanah juga berdampak kepada aktivitas akar tanaman untuk menembus tanah. Instrumen standar yang digunakan untuk mengukur tahanan penetrasi tanah adalah *cone penetrometer* (ASABE 2006). Data yang didapat dari pengukuran menggunakan *cone penetrometer* adalah perbandingan gaya tekanan tanah per satuan luas tertentu. *Cone index* (CI) merupakan besaran yang menunjukkan nilai tahanan penetrasi tanah terhadap gaya penetrasi dari *cone* (vertikal) dibagi luas dasar *cone*. *Cone index* dinyatakan dalam satuan gaya persatuan luas (kg/cm^2).

Penetrometer dapat berupa penetrometer mekanik, penetrometer analog dan penetrometer digital. Setiap penetrometer memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada umumnya penetrometer analog dan mekanis adalah penetrometer yang biasa digunakan. Kendala yang terjadi saat penggunaan penetrometer tipe analog dan mekanis adalah kesalahan pengukuran saat pembacaan gaya penekanan pada kedalaman tertentu dan dibutuhkan tiga orang saat pengoperasian (terdiri dari: penekan penetrometer, pembaca gaya tekan penetrometer pada kedalaman tertentu dan pencatat hasil bacaan).

Muzani (2012) merancang sebuah penetrometer digital berbasis mikrokontroler ATmega 8535, keluaran yang didapat dari alat tersebut adalah gaya penetrasi persatuan luas pada kedalaman tertentu dan suhu lingkungan. Rancangan Muzani belum mampu menampilkan kadar air tanah pada kedalaman tertentu. Kadar air tanah merupakan faktor penting yang memengaruhi CI tanah (Franzen et al 1994). Tanah yang lebih kering memiliki CI yang lebih tinggi (Tekeste et al 2008). Busscher et al (1997) menemukan hubungan linear terbalik antara CI dan kadar air tanah. Pengukuran kadar air tanah secara umum dilakukan dengan metode oven dan membutuhkan waktu lama untuk mendapatkan data kadar air. Sir dan Bolla (2012) menemukan pengaruh kadar air terhadap nilai resistansi yang dihasilkan oleh *gypsum block* bahwa semakin tinggi kadar air tanah maka semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan, demikian juga sebaliknya. Sudana (2010) merancang alat ukur kadar air dalam tanah (*soil tester*) berbasis mikrokontroler AT89C51.

Dari uraian di atas maka diperlukan alat ukur yang dapat mengukur sekaligus nilai tahanan penetrasi tanah dan kadar air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat ukur tahanan penetrasi tanah yang dilengkapi dengan pembacaan kadar air pada kedalaman tertentu. Adapun ruang

lingkup penelitian ini adalah 1) alat yang dirancang yaitu penetrometer digital yang menghasilkan data berupa gaya persatuan luas penetrasi tanah dalam satuan kg, kedalaman penetrasi dalam satuan cm, dan kadar air tanah dalam satuan persen (%), 2) pengujian dilakukan di laboratorium dengan perlakuan kepadatan dan kadar air serta dilakukan di lahan sawah dan lahan kering tanpa pengkondisian lahan sebelumnya, dan 3) pengambilan data difokuskan pada uji fungsional dan uji kinerja alat pada kondisi tersebut.

Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *stainless steel* silinder pejal, *stainless steel plat*, box plastik, arduino uno, sensor ultrasonik HC-SR04, HX711, *loadcell* tipe S, kit *soil moisture sensor*, kabel jumper, resistor, modul *bluetooth* HS-05, bahan-bahan soldering, LCD 1602, *i2c Serial interface backpack*, Lem *plastic steel* bening, beban, aquades, sampel tanah yang di ambil dari laboratorium Lapangan Siswadhi Soepardjo kemudian dikering anginkan selama 1-2 hari sampai cukup kering dan diayak dengan ukuran 1.5 mm, dan bahan pendukung lain. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu perangkat lunak SolidWork, perangkat lunak Microsoft Excel, perangkat lunak arduino 1.6.6, peralatan bengkel dan bubut, peralatan soldering, penetrometer analog, peralatan pengukur kadar air, meteran, perangkat komputer, dan peralatan pendukung lainnya.

Tahapan penelitian

Identifikasi Masalah, mengidentifikasi kondisi lapangan dan pencarian data lapangan terkait dengan beberapa data yang akan digunakan dalam proses perancangan penetrometer digital. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data dengan cara studi literatur. Informasi tentang perkembangan dan kendala-kendala penetrometer dan alat ukur kadar air yang didapatkan meliputi: (1) penetrometer yang banyak digunakan adalah tipe analog dan digital yang belum dilengkapi data kadar air, (2) pengukur gaya penetrasi dengan transduser tipe ring memiliki kelemahan pada sudut penekanan diharuskan tegak lurus terhadap tanah dan dibutuhkan *water pass*, (3) pembacaan kedalaman masih dilakukan manual yaitu menggunakan ukuran seperti mistar yang dipasang pada bagian batang penekan, (4) pengoperasian alat minimal dibutuhkan 3 orang yang terdiri dari: penekan penetrometer, pembaca gaya tekan penetrometer pada kedalaman tertentu dan pencatat hasil bacaan, (5) pengukuran kadar air dilakukan secara terpisah di laboratorium dan membutuhkan waktu minimal 1 hari, dan (6) pengukuran kadar air langsung masih terbatas pada kedalaman pembacaan yang hanya pada kadar air permukaan tanah saja. Solusi yang digunakan untuk mengatasi kendala tersebut, yaitu: (1) penggunaan *loadcell* tipe S sebagai sensor gaya

tekan, (2) penggunaan sensor ultrasonik sebagai sensor pengukur kedalaman, (3) penggunaan *soil moisture sensor* termodifikasi sebagai sensor pengukur kadar air, (4) penggunaan arduino sebagai mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai pengolah data hasil pengukuran, (5) penggunaan android sebagai peraga digital dan (6) modifikasi pada bagian *cone* untuk peletakan sensor kadar air.

Perumusan konsep desain, pembuatan konsep desain yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang didapatkan pada tahap identifikasi. Dari permasalahan tersebut dirumuskan ke dalam sebuah konsep desain alat ukur penetrometer digital dengan perekam data melalui android yang disertai pengukuran kadar air tanahnya. Konsep rancangan dari alat yang didesain memiliki beberapa fungsi utama yaitu: mampu mengukur gaya penetrasi tanah, mampu mengukur kedalaman penetrasi, mampu mengukur kadar air tanah, dan dapat menampilkan hasil pengukuran gaya penetrasi, kedalaman serta kadar air melalui android.

Analisis teknik, melakukan analisis dan perhitungan rancangan untuk menentukan secara akurat dari bentuk, ukuran, dan bahan penetrometer digital yang didesain. Analisis teknik juga dilakukan untuk menentukan mekanisme rancangan yang sesuai dengan kriteria desain. Analisis teknik terdiri dari analisis dimensi dan analisis metode/prinsip pengukuran (gaya penetrasi, kedalaman dan kadar air). Analisis dimensi terdiri dari dimensi *cone*, dimensi *handle* dan dimensi batang penekan. Persamaan (1) digunakan untuk perhitungan *cone*, persamaan (2) dan (4) digunakan untuk perhitungan *handle*, dan persamaan (3) dan (4) digunakan untuk perhitungan batang penekan.

$$A = \pi \cdot r \cdot s \quad (1)$$

$$\sigma_a = \frac{F \cdot l \cdot c}{\pi^2 I \sigma \cdot I} \quad (2)$$

$$F = \frac{l^2}{I} \quad (3)$$

$$I = 0.25\pi r^4 \quad (4)$$

dimana :

A : Luas penampang *cone*, cm²

F : Gaya Tekan, N

R : Jari-jari *cone*, cm

L : Panjang batang, m

S : Panjang selimut *cone*, cm

C : Setengah diameter, m

σ_a : Modulus elastis, N/m²

I : Inersia bahan, m⁴

Gambar teknik dan pembuatan protipe, menggambar hasil rancangan dan analisis menggunakan perangkat lunak SolidWork. Pembuatan prototipe didasarkan pada hasil gambar teknik yang sudah dibuat beserta rancangan yang sudah didesain sebelumnya.

Pengujian fungsional dan kalibrasi, Beberapa parameter yang digunakan pada pengujian fungsional ini, yaitu: pengujian sensor kadar air, pengujian sensor gaya, pengujian sensor kedalaman dan gabungan dari parameter tersebut. Metode yang dilakukan untuk uji fungsional adalah dengan menguji fungsi-fungsi komponen penyusun penetrometer. Kalibrasi pengukur kadar air, metode yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil pengukuran kadar air dari penetrometer digital yang dirancang dengan pengukuran kadar air standar JIS A 1203 – 1978. Kalibrasi pengukur gaya penetrasi, metode yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil pengukuran dengan pembebanan menggunakan beban yang diketahui nilainya. Kalibrasi pengukur kedalaman, metode yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil pengukuran dari alat ukur hasil rancangan dengan alat ukur panjang yang terstandar yaitu penggaris.

Pengujian kinerja, dilakukan di lahan kering dan di lahan basah langsung menguji tanpa ada perlakuan pada lahan, sampel diambil secara acak. Pengukuran menggunakan penetrometer yang dirancang dibandingkan dengan penetrometer analog dan untuk pengukuran kadar air dibandingkan dengan pengukuran gravimetri.

Analisis data berupa regresi linear, ketelitian (persamaan 5, 6, dan 7) dan ketepatan (persamaan 8). Data yang dianalisis adalah data hasil pengujian fungsional dan pengujian kinerja.

$$\text{Ketelitian} = \left[\frac{\Delta x}{x} \right] \times 100\% \quad (5)$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$\text{Ketepatan} = \left(1 - \left| \frac{H - \bar{x}}{H} \right| \right) \times 100\% \quad (8)$$

dimana: Δx : Standar deviasi

H : Nilai sebenarnya

\bar{x} : Rata-Rata

Hasil dan Pembahasan

Rancangan Fungsional

Rancangan fungsional dibangun untuk memenuhi konsep rancangan disesuaikan dengan bagan alir yang tersaji pada Gambar 1. Penjelasan mengenai fungsi-fungsi yang dirancang terdiri dari: (1) Fungsi pengukuran gaya penetrasi, berfungsi untuk mengukur gaya penetrasi yang dihasilkan pada kedalaman tertentu, (2) Fungsi pengukuran kedalaman, berfungsi untuk mengukur kedalaman penetrasi yang terbentuk, (3) Fungsi pengukur kadar air, berfungsi untuk mengukur kadar air tanah pada kedalaman dan

tahanan penetrasi tertentu, (4) Fungsi pengubah sinyal keluaran, berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran dari komponen gaya penetrasi, kedalaman dan kadar air menjadi sinyal yang dapat diterjemahkan perangkat yang digunakan. (5) Fungsi pemroses hasil pengukuran, berfungsi untuk memproses hasil pengukuran yang telah diubah kedalam sinyal tertentu menjadi satuan keluaran yang diinginkan yaitu gaya penetrasi dalam kg, kedalaman dalam cm, dan kadar air dalam %. (6) Fungsi pemancar dan penerima data, berfungsi untuk mengirim data hasil pengolahan ke penyimpanan dan peraga, dan (7) Fungsi penyimpanan dan peraga, berfungsi untuk menyimpan dan menampilkan hasil pengukuran.

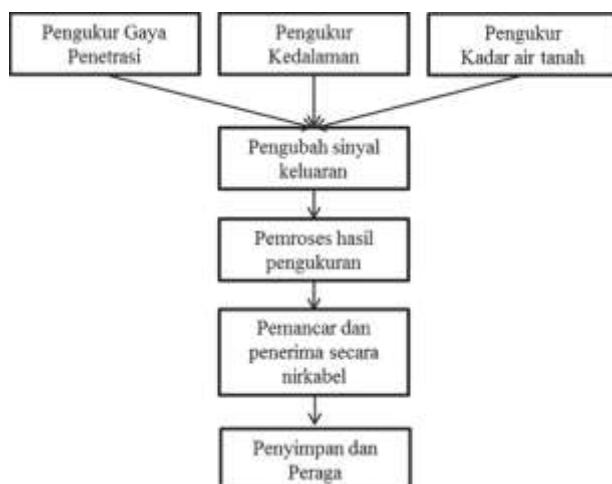
Rancangan Struktural

Rancangan struktural yang dibangun dibagi kedalam struktur mekanik dan struktur elektrik. Struktur mekanik yang diadopsi dari penetrometer tipe SR-2 yang dimodifikasi pada bagian pembaca gaya penetrasinya dan bagian conenya. Adapun struktur mekaniknya ialah *handle*, batang penekan dan cone (Gambar 2). Penetrometer yang dirancang dapat menopang beban sebesar 150kg (1471.5N). *Handle*,

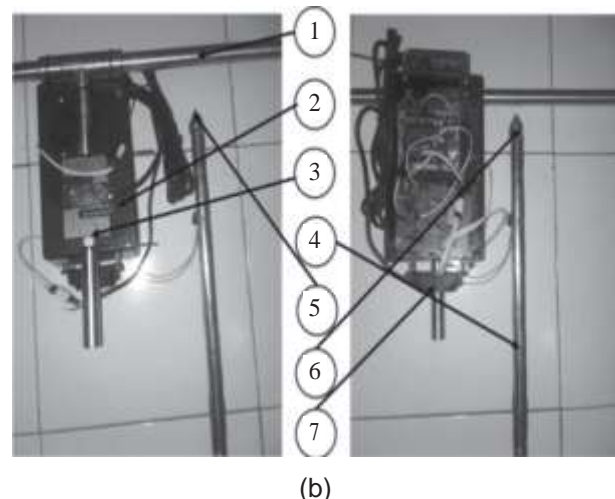
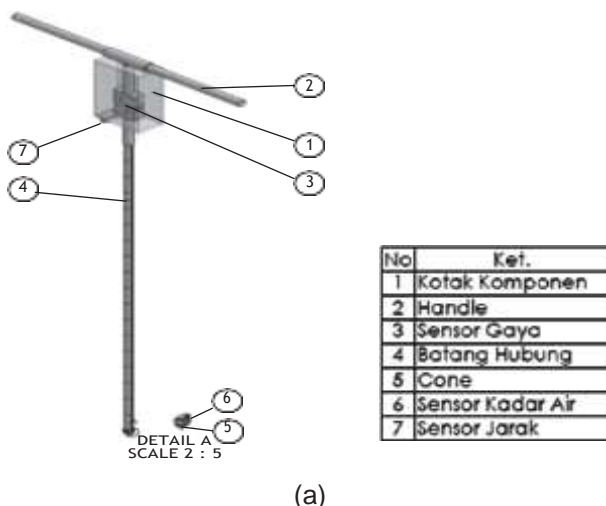
bagian yang bersentuhan langsung dengan pengguna dalam pengoprasian alat (berupa penekanan). Bagian ini dirancang menggunakan bahan *stainless steel* terdiri dari dua buah silinder pejal (kanan dan kiri). Dimensi yang dirancang mampu memenuhi beban maksimum yaitu 4.49×10^5 N, adapun dimensi dari *handle* yaitu berdiameter 19×10^{-3} m, panjang 0.6 m dan modulus elastis bahan 2.00×10^{11} N/m². Batang penekan, bagian yang berperan untuk mentransmisikan gaya tekan dari *handle* menuju *cone*. Bagian ini memiliki diameter 14 mm dan panjang total 61 cm, yang terbagi kedalam 30 cm, 30 cm dan 1 cm yang terhubung dengan *cone*. Bagian ini dirancang menggunakan *stainless steel* (modulus elastis bahan 2.00×10^{11} N/m²) agar tidak mudah karat karena bagian ini yang bersentuhan langsung dengan tanah. Dimensi yang dirancang mampu menahan beban maksimum yaitu 10339.7 N. *Cone*, bagian yang langsung bersentuhan dengan tanah. Bagian ini dirancang menggunakan *stainless steel* dengan diameter 19 mm dan luas permukaan 567 mm².

Rancangan Komponen Elektrik

Komponen elektronik (Gambar 3) yang dirancang terdiri dari sensor gaya, sensor kedalaman, sensor kadar air, dan rangkaian bluetooth. Sensor gaya menggunakan *loadcell* tipe S dan modul HX711. Prinsip kerja *loadcell* yaitu mengubah gaya tekan atau tarik menjadi deformasi kemudian menjadi besaran listrik. Prinsip kerja HX711 yaitu mengkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. Gambar 4a menunjukkan bagan alir penyusun sensor gaya. Program dibuat di arduino uno dengan *output* berupa berat dalam satuan kg. Sensor gaya yang dirancang mampu membaca maksimal 200 kg dengan beban minimal terbaca 0.06 kg dan *accuracy class C3 OIML Certificate of conformity for load cells*. Sensor kedalaman menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan dilengkapi DHT11 sebagai sensor kelembaban dan suhu. Prinsip kerja HC-SR04 dengan cara memancarkan gelombang

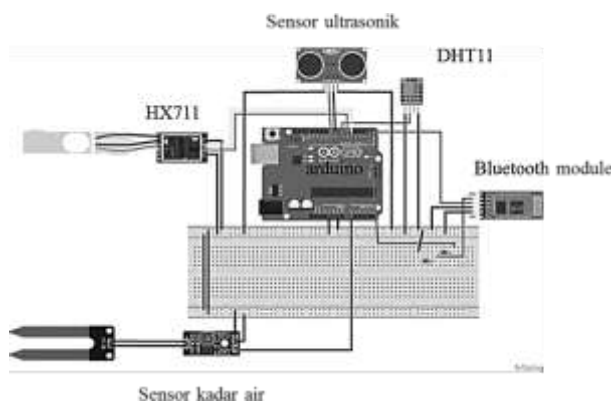


Gambar 1. Bagan alir rancangan fungsional



Gambar 2. Skema penetrometer digital (a) dan penetrometer digital (b)

ultrasonik kemudian menangkap kembali gelombang pantulannya. Jarak antara waktu pancar dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek. DHT11 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban lingkungan yang digunakan sebagai parameter untuk menentukan kecepatan gelombang ultrasonik yang digunakan. Program dibuat di arduino uno dengan output pengukur kedalaman dalam satuan cm. Bagan alir penyusun sensor kedalaman disajikan pada Gambar 4b. Sensor kedalaman yang dirancang mampu mengukur kedalaman pada interval 0 s.d 60 cm dengan resolusi 0.3 cm. Sensor kadar air menggunakan modul *soil moisture sensor* dengan memodifikasi bagian *probe* yang dipasang pada bagian atas *cone*. Sensor kadar air yang dirancang terdiri dari dua plat stainless steel (dimensi 25 mm, 8 mm, 1 mm) yang diletakkan bagian *cone* seperti pada Gambar 5a pada bagian A dan B. Plat tersebut berfungsi untuk melewatkan arus yang terdapat tanah diantara kedua plat tersebut, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kadar air tanah. Semakin banyak air dalam tanah menyebabkan tanah mudah menghantarkan listrik (resistansi kecil), sedangkan tanah yang lebih kering akan sulit menghantarkan listrik (resistansi besar). *Probe* yang berupa 2 plat tipis di hubungkan ke modul pada bagian pin input kemudian modul sensor dihubungkan ke arduino. Program dibuat di arduino uno dengan output keluaran berupa kadar air tanah dalam satuan % Bk. Sensor kadar air yang dirancang minimum mampu membaca kadar air sebesar 12.3% Bk. Bagan alir penyusun sensor kadar air tersaji pada Gambar 4c. Rangkaian bluetooth, modul bluetooth HC05 digunakan sebagai pemancar data secara nirkabel ke android. Software Penetrometer Digital di Android, aplikasi android yang digunakan sebagai penampil dan perekam data dibuat di <http://appinventor.mit.edu>. Aplikasi yang dirancang mampu menampilkan data dan menyimpan data di android. Gambar 5b menyajikan program yang dirancang. Aplikasi memiliki fungsi menampilkan dan menyimpan data, prinsip kerjanya adalah ketika bluetooth terhubung dan terdapat data di transfer maka data akan disimpan di "data.txt" dan di tampilkan pada label hasil.

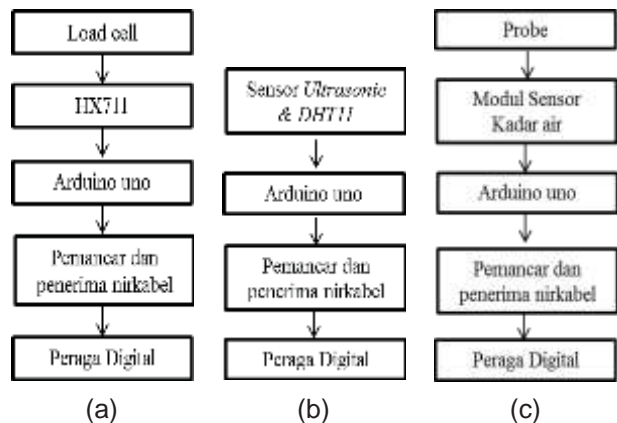


Gambar 3. Skema rangkaian elektronik

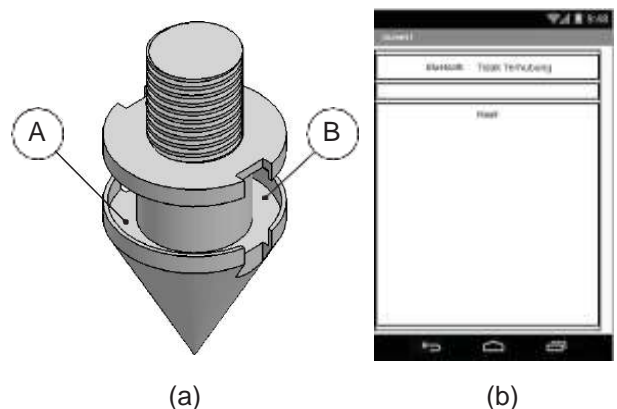
Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor gaya, Gambar 6a menunjukkan hubungan antara hasil bacaan sensor dengan beban yang nilainya diketahui, berdasarkan data tersebut didapat persamaan $Y=1.0238x-0.1729$ dengan nilai $R^2=0.9994$ yang kemudian digunakan sebagai fungsi sensor gaya. Gambar 6b menunjukkan hasil validasi sensor terkalibrasi dengan beban standar, berdasarkan data tersaji didapat nilai $R^2=0.9995$ yang menunjukkan sensor bekerja dengan baik. Nilai ketelitian dari sensor terkalibrasi didapatkan sebesar 99.51% dan ketepatan sebesar 98.89% yang menunjukkan sensor gaya bekerja dengan baik. Kalibrasi sensor kedalaman menggunakan sensor ultrasonik HCSR04 dengan penambahan DHT11 agar didapatkan data kedalaman yang lebih akurat.

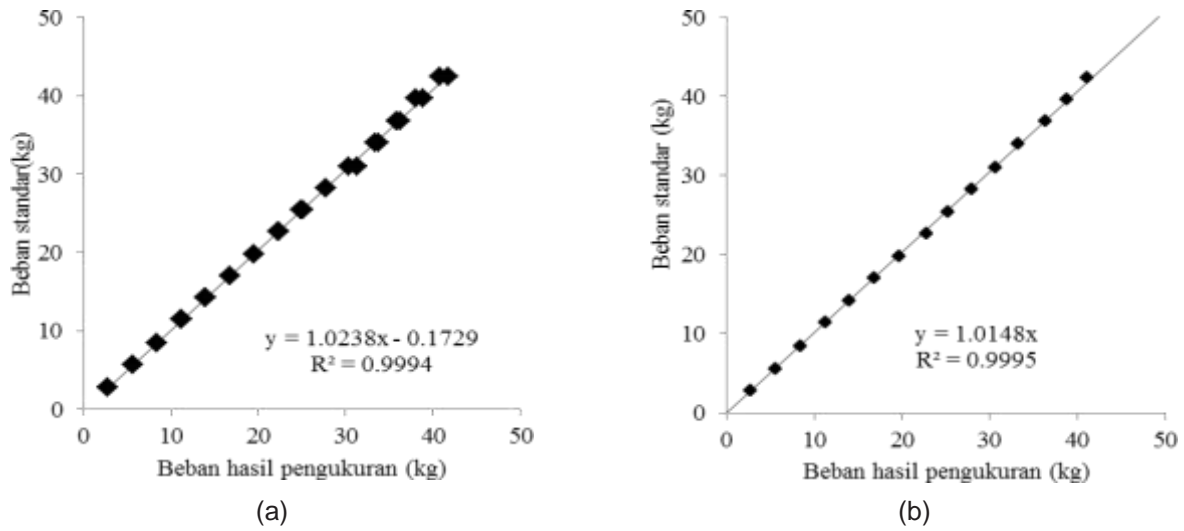
Kedalaman diukur dari ujung *cone* ke permukaan tanah, dengan cara membaca jarak antara sensor dan permukaan tanah yang kemudian dikonversi menjadi kedalaman. Kalibrasi yang dilakukan adalah membandingkan jarak aktual dengan jarak hasil pengukuran sensor yang didapatkan (Gambar 7a). Berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan persamaan $Y=1.0238x-0.1729$ yang digunakan sebagai fungsi sensor kedalaman dengan cara mengkonversinya menjadi kedalaman memiliki R^2 mencapai 0.9999. Gambar 7b menyajikan hasil validasi sensor kedalaman terkalibrasi, berdasarkan grafik tersebut didapatkan



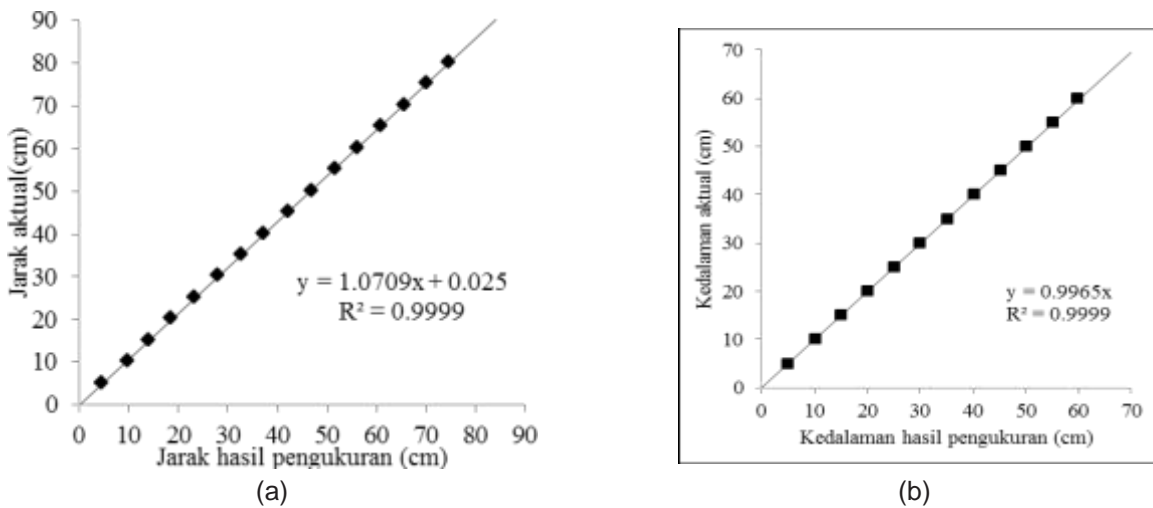
Gambar 4. Bagan alir penyusun sensor gaya (a), sensor kedalaman (b), dan sensor kadar air (c)



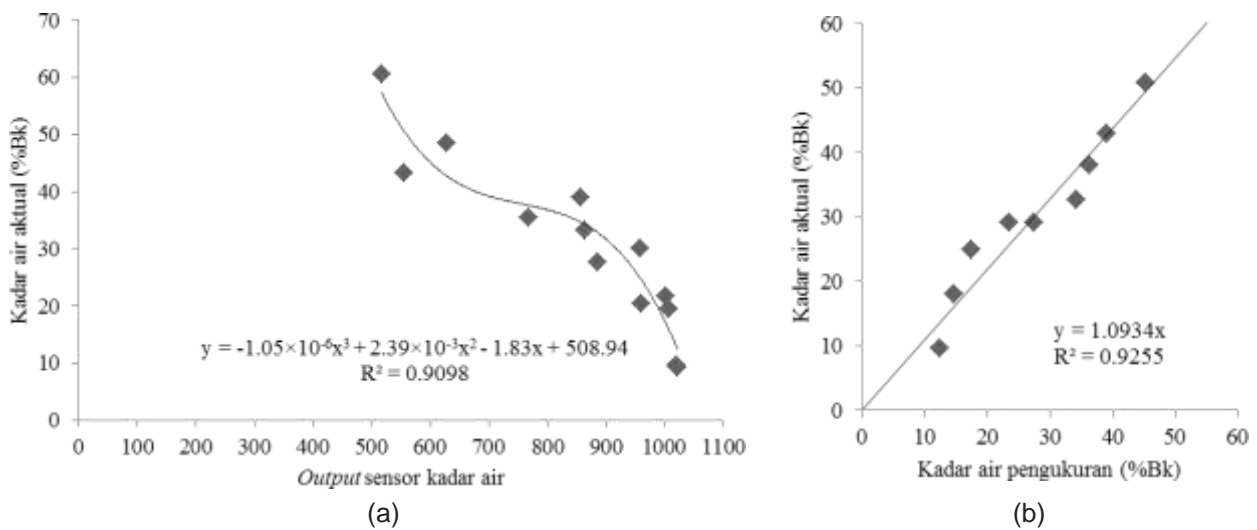
Gambar 5. (a) Peletakan *probe* sensor kadar air dan (b) Tampilan program di android



Gambar 6. Kalibrasi sensor gaya (a) dan validasi sensor gaya (b).



Gambar 7. Kalibrasi sensor kedalaman (a) dan validasi sensor kedalaman (b)



Gambar 8. Kalibrasi sensor kadar air (a) dan Validasi sensor kadar air (b)

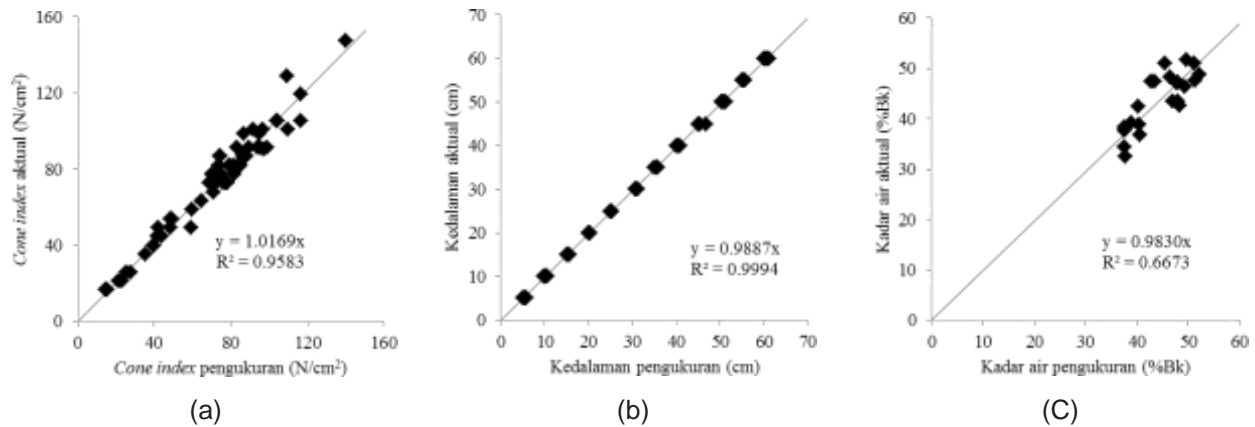
$R^2=0.9999$ ini menunjukkan sensor kedalaman bekerja dengan baik dan dapat digunakan untuk mengukur kedalaman. Selain itu nilai ketelitian dan ketepatan didapatkan nilai rataannya secara berturut 99.23% dan 99.26%.

Kalibrasi sensor kadar air, kalibrasi yang dilakukan berupa memodifikasi kondisi tanah yang sudah dilakukan penyeragaman. Gambar 8a menyajikan hubungan antara *output* sensor kadar air dengan kadar air aktual yang menunjukkan adanya suatu pola dan membentuk persamaan $Y=-1.05 \times 10^{-6}x^3 + 2.39 \times 10^{-3}x^2 - 1.83x + 508.94$ dengan nilai $R^2=0.9098$ yang digunakan sebagai fungsi sensor kadar air. Gambar

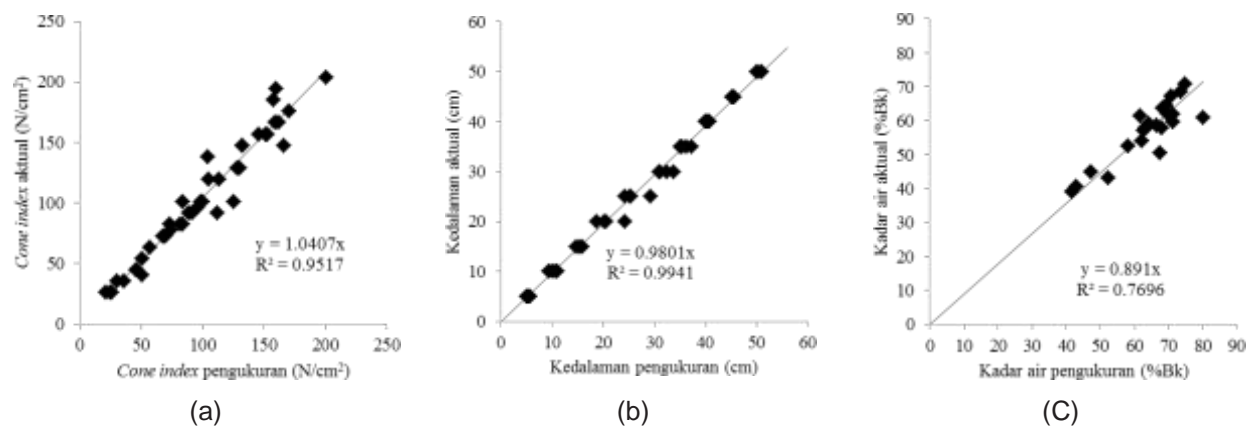
8b menyajikan grafik validasi kadar air pengukuran dengan kadar air aktual, berdasarkan data tersebut didapatkan nilai $R^2=0.9255$ sehingga dapat dinyatakan sensor kadar air berfungsi dengan baik.

Uji Kinerja Penetrometer Digital

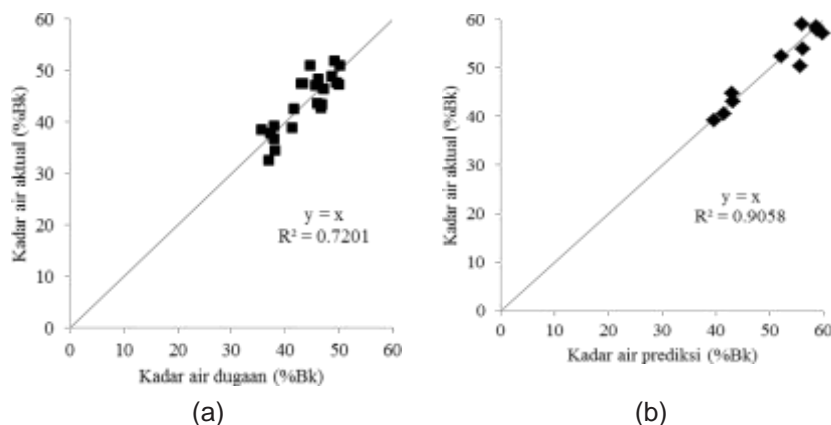
Gambar 9 menyajikan hasil pengujian di lahan kering untuk penetrometer digital dibandingkan dengan penetrometer standar, didapatkan nilai $R^2=0.9583$ untuk sensor gaya dan $R^2=0.9994$ untuk sensor kedalaman. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa sensor gaya dan sensor kedalaman bekerja dengan baik pada pengujian di lahan kering.



Gambar 9. Pengujian kinerja di lahan kering (a) sensor gaya (b) sensor jarak dan (c) sensor kadar air.



Gambar 10. Pengujian kinerja di lahan sawah (a) sensor gaya, (b) sensor jarak, dan (c) sensor kadar air.



Gambar 11. Kadar air dugaan (a) di lahan kering dan (b) di lahan sawah.

Gambar 9c menyajikan kadar air pengukuran dengan kadar air aktual dengan nilai $R^2=0.6673$, nilai ini menunjukkan sensor kadar air belum bekerja dengan baik. Gambar 10 menyajikan hasil pengujian di lahan sawah untuk penetrometer digital dibandingkan dengan penetrometer standar, didapatkan nilai $R^2=0.9583$ untuk sensor gaya dan $R^2=0.9941$ untuk sensor kedalaman. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa sensor gaya dan sensor kedalaman bekerja dengan baik pada pengujian di lahan sawah. Gambar 10c menyajikan kadar air pengukuran dengan kadar air aktual pada pengujian di lahan sawah dengan nilai $R^2=0.7696$.

Analisis Regresi untuk Sensor Kadar Air

Setelah dilakukan pengujian kinerja di lahan kering dan lahan sawah ternyata didapatkan nilai untuk sensor kadar air masih kurang baik, maka dari itu dilakukan analisis regresi linear untuk meningkatkan nilai R^2 agar nilai kadar air bacaan dapat mendekati dengan nilai kadar air aktual. Analisis regresi linear dilakukan pada pengujian di lahan kering dan di lahan sawah. Analisis regresi linear di lahan kering dilakukan dengan membentuk beberapa persamaan, yaitu: $Y_2=f(X_1, X_2, X_3)$, $Y_3=f(X_1, X_2, X_4)$, $Y_4=f(X_1, X_2)$, $Y_5=f(X_1, X_3)$, $Y_6=f(X_1, X_4)$, dimana X_1 = kadar air pengukuran, X_2 = *cone index* pengukuran, X_3 = *Dry bulk density*, dan X_4 = *Wet bulk density*. Kemudian dilakukan analisis menggunakan *software* Microsoft Excel dan dipilih fungsi $Y_2=17.727+(0.755xX_1)+(0.072xX_2)-(12.998xX_3)$ sebagai fungsi penduga untuk pengujian kadar air di lahan kering dengan $R^2=0.7201$. Gambar 11a menyajikan kadar air dugaan dengan kadar air aktual pada pengujian di lahan kering. Analisis regresi linear di lahan sawah dengan membentuk beberapa persamaan, yaitu: $Y_7=f(X_1, X_2, X_3)$, $Y_8=f(X_1, X_2, X_4)$, $Y_9=f(X_1, X_2)$, $Y_{10}=f(X_1, X_3)$, $Y_{11}=f(X_1, X_4)$, dimana X_1 = kadar air pengukuran, X_2 = *cone index* pengukuran, X_3 = *Dry bulk density*, dan X_4 = *Wet bulk density*. Kemudian dilakukan analisis menggunakan *software* Microsoft Excel dan dipilih fungsi $Y_8=-3.772+(0.68xX_1)+(0.057xX_2)-(11.126xX_4)$ sebagai fungsi penduga untuk pengujian kadar air di lahan sawah dengan $R^2=0.9058$. Gambar 11b menyajikan kadar air dugaan dengan kadar air aktual pada pengujian di lahan sawah. Dari analisis yang dilakukan diketahui bahwa pada kondisi tanah yang berbeda nilai kadar air juga dipengaruhi oleh faktor lain yang berbeda dengan kondisi lainnya. Pada pengujian di lahan kering faktor yang memengaruhi adalah kadar air pengukuran, *cone index* pengukuran dan *dry bulk density*, sementara pada pengujian di lahan sawah faktor yang memengaruhi adalah kadar air pengukuran, *cone index* pengukuran dan *wet bulk density*.

Simpulan

Prototipe penetrometer yang dirancang mampu mengukur kedalaman, *cone index* (konversi dari gaya) dan kadar air. Kalibrasi dan validasi sensor didapatkan nilai $R^2=0.9994$ dan $R^2=0.9995$ untuk sensor gaya, $R^2=0.9999$ dan $R^2=0.9999$ untuk sensor kedalaman, $R^2=0.9098$ dan $R^2=0.9255$ untuk sensor kadar air tanah. Hasil pengujian di lahan kering di dapatkan nilai $R^2=0.9583$ untuk *cone index*, $R^2=0.9994$ untuk sensor kedalaman dan $R^2=0.6673$ untuk sensor kadar air. Hasil pengujian di lahan sawah didapatkan nilai $R^2=0.9583$ untuk sensor gaya, $R^2=0.9941$ untuk sensor kedalaman dan $R^2=0.7696$ untuk sensor kadar air. Hasil analisis regresi pada proses kalibrasi ulang didapat persamaan penduga kadar air dengan nilai $R^2=0.7201$ untuk pengujian di lahan kering dan $R^2=0.9058$ untuk pengujian di lahan sawah. Prototipe dapat mewakili nilai kedalaman, tahanan penetrasi dan kadar air, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif instrumen ukur tahanan penetrasi yang dilengkapi dengan data kadar air dengan catatan perlu dilakukan kalibrasi alat pada kondisi tanah yang berbeda.

Daftar Pustaka

- [ASABE] American Society of Agricultural Biosystem Engineers. 2006. Soil cone penetrometer. ASABE. S313.3FEB04
- Busscher, W.J., P.J. Bauer, C.R. Camp, and R.E. Sojka. 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil & Tillage Research*. Vol.43(2):205-217
- Franzen, H., R. Lal, and W. Ehlers. 1994. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. *Soil Science Society of America Journal*. Vol.28:329-346
- Kumar, A., Y. Chen, A. Sadek, dan S. Rahman. 2012. Soil cone index in relation to soil texture, moisture content, and bulk density for no-tillage and conventional tillage. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. Vol.14(1):26-37
- Muzani, A. 2012. Rancang Bangun Penetrometer Digital berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 (skripsi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor
- Sir, T.M.W. and M.E. Bolla. 2012. Pengukuran kadar air tanah menggunakan gypsum blok. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.1(2):10-17
- Sudana, I.M. 2010. Alat ukur kadar air dalam tanah (soil tester) berbasis mikrokontroler AT89C51. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol.2(1):62-70
- Tekeste, M.Z., R.L. Raper, and E.B. Schwab. 2008. Soil drying effects on soil strength and depth of hardpan layers as determined from cone index data. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.10(12):1-17