

AKUISISI DATA *HYBRID-SENSOR* SEBAGAI PEMANTAU KELEMBABAN TANAH DAN KONDISI UDARA PADA LAHAN PERTANIAN

Isa Albanna

Jurusan Sistem Komputer, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

e-mail : isaalbanna@itats.ac.id

ABSTRACT

technology innovation in agriculture performed with the data acquisition system design the hybrid-sensor for monitoring of agriculture. Hybrid-sensor is designed using a combination of two sensors which of soil moisture sensor-based on conductive and SHT11. The purpose of the data acquisition system design is to know characteristics of the combination of two sensors for sensing physical parameters on agriculture. The soil moisture sensor change value of the soil becomes electrical resistance. SHT11 sensor system is to read the temperature and humidity environment. Tests are carried two methods that laboratory testing and field monitoring. Laboratory tests performed by soil moisture calibration with the sensor signal. Humidity test material made with a variation of 0% (dry soil) up to 100% RH. The test results obtained linear correlation between moisture levels and sensor output voltage signal. The results of field testing performed by testing the whole design of the system on agriculture in a given time interval. Field monitoring performed by the recording data using a interface software based GUI (graphical user interface). The test results obtained value of soil moisture relationship with parameters of temperature and humidity. The hybrid-sensor system Expected could be a reference in the development of automation technology in agriculture.

Keyword : *Data acquisition, the hybrid-sensor, humidity, temperature, agriculture*

ABSTRAK

Inovasi teknologi bidang pertanian dapat dilakukan dengan perancangan sistem akuisisi data *hybrid-sensor* untuk pemantauan lahan semai. *Hybrid-sensor* dirancang menggunakan gabungan dua sensor yaitu sensor kelembaban tanah berbasis konduktif dan SHT11 (SENSIRION). Tujuan dari perancangan sistem akuisisi data adalah mengetahui karakteristik gabungan dua sensor terhadap penginderaan parameter fisis pada lahan pertanian. Sensor kelembaban tanah mengubah nilai resistansi tanah menjadi besaran kelistrikan (resistansi). Pemanfaatan SHT11 dalam sistem adalah untuk membaca suhu dan kelembaban udara lingkungan. Pengujian dilakukan dengan dua metode yaitu pengujian laboratorium dan pemantauan lapangan. Uji laboratorium dilakukan dengan kalibrasi kelembaban tanah dengan sinyal sensor. Material uji kelembaban dibuat dengan variasi 0% (tanah kering) sampai dengan 100% RH. Hasil pengujian didapatkan korelasi linier antara tingkat kelembaban dan sinyal tegangan luaran sensor. Hasil pengujian lapangan dilakukan dengan menguji seluruh rancangan sistem pada lahan pertanian dalam interval waktu tertentu. Pemantauan lapangan dilakukan dengan perekaman data menggunakan perangkat lunak antar-muka (*interface*) berbasis GUI (*graphical user interface*). Hasil pengujian didapatkan nilai hubungan kelembaban tanah dengan parameter suhu dan kelembaban udara. Diharapkan sistem *hybrid-sensor* dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi otomasi bidang pertanian.

Kata kunci: Akuisisi data, *hybrid-sensor*, kelembaban, suhu, pertanian

PENDAHULUAN

Perkembangan sektor pertanian Indonesia hingga tahun 2014 data Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2015 – 2019 adalah sekitar 3,90 % dari sektor ekonomi. Penyerapan tenaga kerja sektor pertanian tercatat hingga tahun 2014 adalah 35,76 juta atau sekitar 30 % dari total tenaga kerja [1]. Kebijakan dan arahan inovasi menjadi bidikan dalam pengembangan

teknologi bidang pertanian. Rencana kebijakan pemerintah untuk membentuk ketahanan pangan adalah memperbaiki ekonomi agribisnis, usaha perbaikan lahan, pengembangan varietas nutfah dan inovasi teknologi bidang pertanian [1]. Integrasi inovasi teknologi pada sektor pertanian dapat diwujudkan dengan rekayasa biologi dan implementasi sistem instrumentasi pertanian modern. Bentuk studi kasus yang telah ada dalam pengembangan instrumentasi pertanian modern adalah sistem monitoring dan pengaturan irigasi otomatis [2, 3]. Pada rancangan sistem otomasi teknologi pertanian, peran sensor digunakan untuk mendeteksi kondisi kelembaban tanah, kelembaban udara dan suhu lingkungan [4]. Contoh studi kasus sistem otomasi bidang pertanian telah dikembangkan oleh Viktorianus adalah alat penyemprot otomatis kebun kelapa sawit pada lahan kelapa sawit [5, 6].

Pada penelitian dilakukan akuisisi data dari rekayasa *hybrid-sensor*. Rekayasa dilakukan dengan integrasi multi sensor untuk memantau kondisi lahan pertanian. Terdapat tiga parameter fisis yang akan diolah yaitu kelembaban tanah, suhu udara dan kelembaban udara. Pengambilan parameter tersebut digunakan sebagai rujukan algoritma pengambil putusan sistem kendali digital dalam melakukan penyiraman. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik rancangan *hybrid-sensor* dalam menunjang sistem irigasi atau penyiraman otomatis pada sebuah lahan pertanian. Rancangan umum sistem adalah terdiri dari sensor, kendali digital (mikroprosesor) dan antarmuka komputasi. Antar muka komputasi-*hardware* digunakan untuk menampilkan data pembacaan sensor yang nantinya direkam dalam data penyimpanan (*data-base*). Diharapkan dengan dirancang sistem otomasi dapat membantu dalam pengelolaan irigasi pada pertanian modern.

TINJAUAN PUSTAKA

Kelembaban Tanah

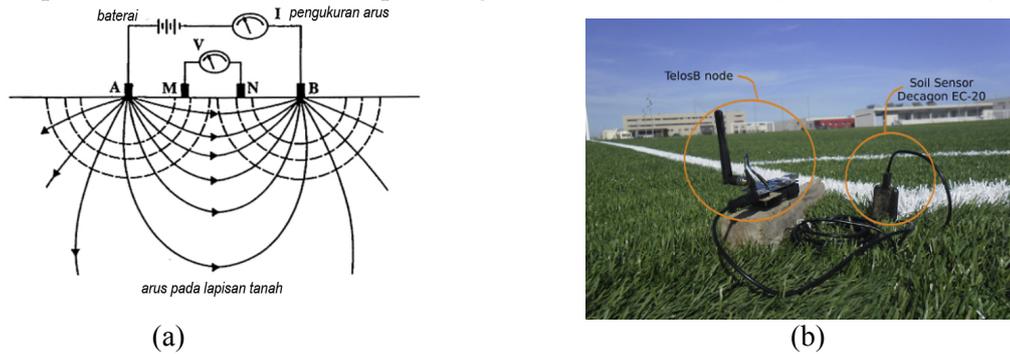
Tanah merupakan material yang tersusun dari mineral alam yang terdiri dari bahan organik dan anorganik. Secara umum tanah dapat klasifikasi berdasarkan tingkat porositas, granula butir, sifat fisis dan jenis unsur hara [7]. Adanya porositas pada tanah memungkinkan tanah mampu menampung atau memerangkap sejumlah material lain. Tingkat porositas tanah mempengaruhi pola kelembaban tanah. Kelembaban tanah dapat terjadi akibat peresapan air melalui celah kapiler. Peresapan air dalam celah pori dipengaruhi dari jenis tanah. Pada sistem pertanian Indonesia pengaruh geografis mempengaruhi dari jenis tanah pertanian. Beberapa jenis tanah yang sering digunakan dalam pertanian adalah jenis tanah liat, gambut (humus), pasir, dan podzolik [8]. Kelembaban tanah dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah untuk menampung dan kemampuan peresapan air. Kelembaban tanah dapat dinyatakan dalam prosentase jumlah air yang terperangkap dalam tanah. Metode umum untuk mengukur kelembaban tanah adalah dengan melakukan penimbangan massa kering dan basah tanah. Perumusan kelembaban tanah ditunjukkan seperti persamaan (1). Pada persamaan tersebut kelembaban tanah (RH) merupakan rasio pengurangan massa basah (M_{keng}) terhadap kering (M_{kering})

$$RH(\%) = \frac{M_{basah} - M_{kering}}{M_{basah}} \times 100\% \quad (1)$$

Tanah dengan kandungan air yang cukup tinggi mempengaruhi dari hambatan jenis tanah tersebut. Sifat perubahan nilai resistansi dipengaruhi oleh nilai sifat konduksi air. Dewasa ini pengukuran kelembaban tanah dilakukan dengan beberapa metode diantaranya dengan penginderaan sifat optik [9], sifat resistif, sifat dielektrik [10] dan pola radar. Penentuan sifat resistif tanah merupakan metode sederhana untuk melihat kelembaban tanah. Hal ini disebabkan sifat air yang cenderung konduktif [11]. Metode penginderaan dengan pengukuran resistansi dapat dilakukan dengan pemasangan probe-inert pada sebuah bahan uji. Ilustrasi pengukuran ditunjukkan seperti pada Gambar 1, yaitu pengukuran dengan metode *resistive* empat probe. Nilai resistansi dapat dihitung dengan menghubungkan parameter antara tegangan terukur (V) dan arus (A) yang mengalir. Resistansi ditentukan dari pola jarak antar probe dan jenis material yang diukur. Pada

metode menggunakan empat probe memiliki keunggulan karena mampu melihat pola distribusi resistansi tanah dalam dimensi kedalaman [12].

Metode lain untuk melakukan pengukuran kelembaban tanah adalah dengan memasang sensor berbasis dua probe. Pada Gambar 1.b merupakan bentuk pengukuran kelembaban tanah dengan metode resistive dua probe. Sistem dua probe memiliki keunggulan karena resistansi tanah dapat langsung terukur dengan pemanfaatan instrumentasi ukur standar (*ohm-Meter*). Pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur hanya bersifat pre-pengolahan data, yang mana proses tersebut digunakan sebagai referensi dalam perancangan sistem. Metode pengukuran dua probe hanya memetakan resistansi tanah dalam cakupan titik lokal. Artinya metode tersebut tidak bisa membaca pola nilai kelembaban tanah pada tingkat dimensi kedalaman (koordinat vertikal) [12].

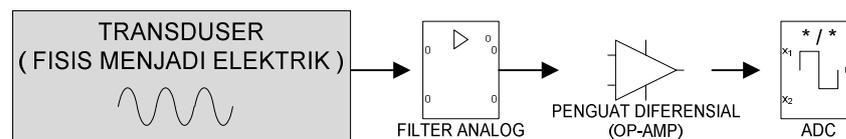


Gambar 1. a) Pengukuran resistansi menggunakan metode empat probe [12],
 b) sensor kelembaban tanah dua probe [3].

Akuisisi Data *Hybrid-Sensor*

Sensor merupakan alat atau sistem yang mampu mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik [11]. Adanya kebutuhan dalam implementasi teknologi mendorong inovasi pada sensor. Inovasi dan rekayasa dewasa ini diarahkan pada perancangan sistem *Hybrid-sensor*. Sensor unggul atau disebut *hybrid-sensor* merupakan hasil rekayasa sensor dengan memadukan sifat unggul, sistem kecerdasan buatan (AI), dan sistem *embedded*. Sensor mampu mendeteksi besaran fisis (fisika) seperti contoh sensor suhu, panjang, kelembaban, dan bahan kimia. Hasil rekayasa untuk memenuhi kebutuhan manusia, dilakukan beberapa rekayasa sensor. Bentuk rekayasa sensor diantaranya yang telah diteliti adalah sensor respirasi yang berasal dari sensor-dasar kelembaban berbasis fiber optik [13] dan sensor keasaman larutan (pH) yang di rekayasa dari sensor suhu berbasis fiber optik [14].

Klasifikasi sensor merujuk pada data luaran sensor dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu sensor analog dan digital. Karakterisasi data sensor dapat dilakukan dengan akuisisi data sensor. Akuisisi data sensor adalah serangkaian proses pengambilan data sensor. Akuisisi data dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya adalah proses perubahan oleh transduser-sensor, filter sinyal, penguatan tegangan analog, digitalisasi dan perekaman data (*data logger*) [15]. Pada proses filter sinyal dapat dilakukan dengan pemasangan rangkaian filter aktif dan pasif untuk menghindari gangguan derau (*noise*) dari lingkungan. Rangkaian penguat pada sistem akuisisi data sensor digunakan untuk pre-proses data analog sebelum masuk rangkaian *analog to digital converter* (ADC). Proses pengambilan data sensor analog dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2, yaitu sistem akuisisi data sensor analog [11, 15].



Gambar 2. Sistem akuisisi data sensor analog.

Kendali Otomasi Digital

Kendali otomatis merupakan sistem terintegrasi yang mampu bekerja secara otonom untuk menjalankan proses tertentu. Kendali otomatis digital terdiri dari tiga bagian sistem blok yaitu sistem sensor, sistem pengontrol digital dan aktuator. Sistem sensor bertindak sebagai unit pengindra parameter fisis. Data bacaan sensor akan digunakan untuk proses pengolahan data oleh unit prosesor. Pada sistem prosesor dapat digunakan piranti semikonduktor terintegrasi (IC)-Mikroprosesor. Algoritma skenario perilaku sistem dimasukkan dalam pemrograman *embedded* mikroprosesor. Pada studi kasus pengolahan luaran sensor digital. Sistem mikroprosesor memungkinkan untuk pengambilan data digital sensor. Komunikasi antara sensor dan mikroprosesor digunakan metode komunikasi sinyal digital [11].

METODA

Penelitian terkait akuisisi data *hybrid-sensor* pada bidang pertanian dilakukan untuk melakukan pemantauan kelembaban tanah dan kondisi udara. Proses pengerjaan penelitian terdiri dari beberapa tahap, diantaranya adalah : tahap perancangan sensor kelembaban tanah, sensor suhu-kelembaban udara berbasis SHT11, injeksi algoritma dalam sistem *embedded*, pengujian dan analisa data. Proses pengerjaan difokuskan untuk merancang sebuah sistem pemantau pada lahan pertanian. Proses pemantauan kondisi udara dan kelembaban merupakan kebutuhan esensial karena dalam metabolisme tanaman diperlukan unsur air.

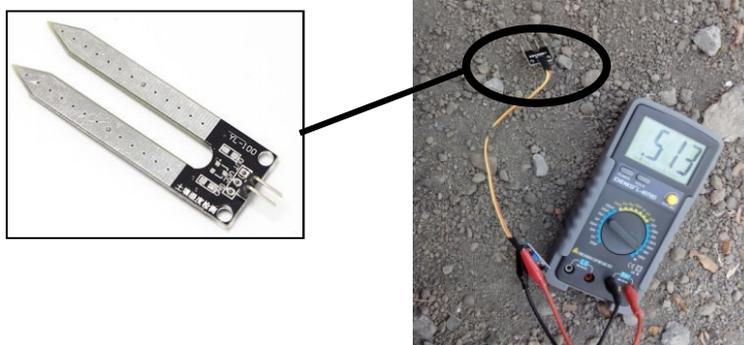
Perancangan Sensor Kelembaban Tanah

Pada penelitian yang telah dilakukan, sensor kelembaban tanah dirancang dengan bahan logam tembaga yang telah terlapis untuk mengurangi tingkat korosi. Perancangan sistem sensor ditunjukkan seperti pada Gambar 3, yaitu morfologi sensor kelembaban tanah. Material logam pada sensor menggunakan tembaga yang berasal dari lapisan papan PCB (*printed circuit board*) tipe **FR-4** dengan spesifikasi sifat fisis logam seperti pada Tabel. Penginderaan sensor kelembaban memanfaatkan resistansi dari tanah akibat adanya air. Konduksi akibat adanya air memungkinkan untuk arus lebih mudah mengalir pada bahan uji, sehingga mempengaruhi nilai resistansi. Untuk melihat adanya perubahan nilai resistansi dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan instrumentasi ukur standar RCL meter DEKKO L4070D.

Tabel 1. Spesifikasi bahan FR-4

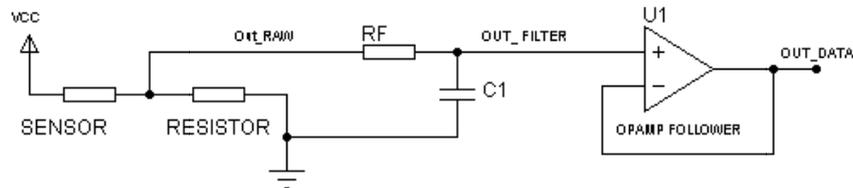
PARAMETER KELISTRIKAN	NILAI
Densitas	1.850 g/cm ³
Konduktivitas logam	0.29 W/m·K
<i>Dielectric breakdown (A)</i>	> 50 KV
<i>Relative permittivity</i>	4.70 max., 4.35 @ 500 MHz, 4.34 @ 1 GHz

Pengukuran yang dilakukan secara langsung menggunakan RCL Meter akan dilakukan komparasi dengan luaran data tegangan analog sensor. Kalibrasi menggunakan alat ukur standar bertujuan untuk mencari karakteristik sensor kelembaban yang telah dirancang.



Gambar 3. Pengukuran langsung nilai resistansi tanah dengan sensor dan RCL meter

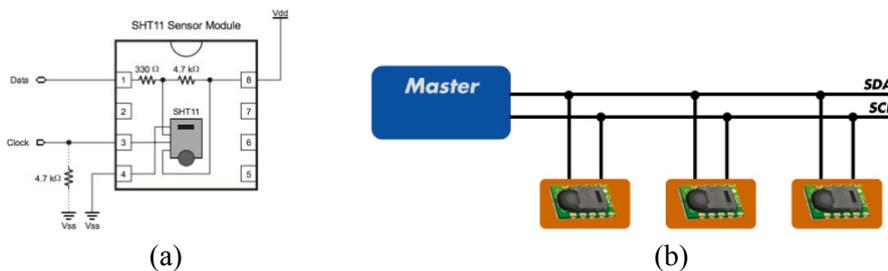
Rangkaian pengolah sensor dasar (*pre-processing*) digunakan prinsip *voltage-divider* untuk proses pengambilan data oleh sistem instrumentasi elektronika. Bentuk pembagi tegangan diilustrasikan sebagai model resistor seperti pada Gambar 4, dalam rangkaian tersebut terdapat dua hambatan yaitu resistor standar dan model sensor untuk menghasilkan tegangan (*out_raw*). Pada rangkaian listrik pengolah sinyal analog dipasang filter pasif untuk menyaring redau (*noise*).



Gambar 4. Rangkaian pengolah sinyal analog sensor kelembaban tanah.

Akuisisi Data Sensor SHT11

Sensor SHT11 merupakan sensor suhu dan kelembaban relatif udara dari merek dagang SENSIRION *company sensor*. Konfigurasi rangkaian pembaca sensor ditunjukkan seperti pada Gambar 5.a. Data luaran sensor SHT11 adalah sinyal digital dengan untai pola biner. Resolusi pembacaan data suhu dan kelembaban adalah 14-bit. Pada perancangan sistem untuk menghubungkan piranti sensor SHT11 dengan unit prosesor digunakan komunikasi TWI (*two wire interface*). Metode komunikasi digital TWI dilakukan dengan memasang dua jalur data melewati pin-SDA dan SCL. Kanal SDA berfungsi sebagai pengiriman *clock* (detak) untuk perintah komunikasi. Bentuk model komunikasi TWI di tunjukkan seperti pada Gambar 5.b, dalam topologi tersebut terdapat dua jalur yang digunakan untuk pertukaran informasi data antara piranti induk (mikroprosesor) dan anak (SHT11).

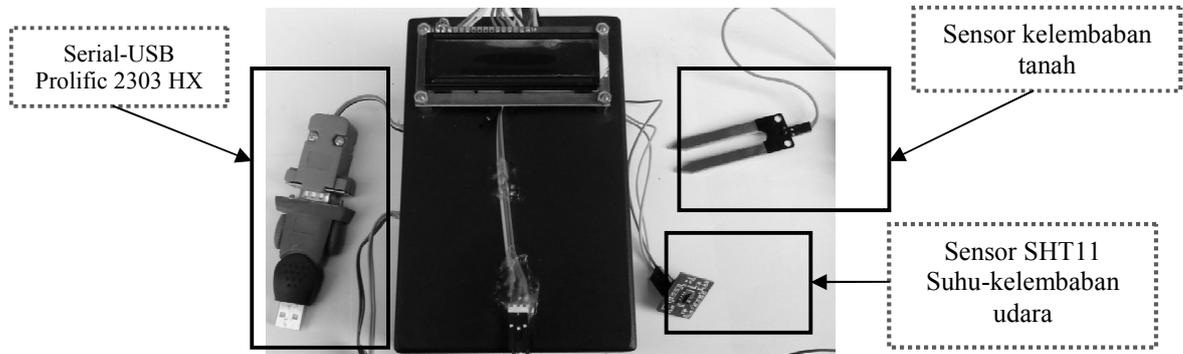


Gambar 5.a) Rancangan komunikasi TWI, b) Rangkaian sensor SHT11.

Integrasi Sistem *Hybrid-Sensor*

Integrasi sistem *hybrid-sensor* adalah tahap instalasi dan konfigurasi sistem multi sensor dengan unit kendali cerdas. Pada penelitian integrasi sistem *hybrid-sensor* dilakukan dengan mengolah data luaran sensor kelembaban tanah dan SHT11 dengan unit mikroprosesor. Data SHT11 luaran berupa sinyal digital dihubungkan dengan mikrokontroler. Data luaran sensor SHT11 adalah informasi nilai suhu dan kelembaban udara. Data suhu dan kelembaban diambil dengan metode komunikasi TWI resolusi 14bit. Data luaran sensor SHT11 diolah dan dilakukan komparasi dengan sensor kelembaban tanah oleh unit mikrokontroler. Luaran data mikrokontroler disambungkan dengan unit PC atau komputer untuk melihat pola grafik luaran sensor (*akuisisi data real time*). Mikroprosesor yang digunakan diambil dari jenis mikrokontroler AVR. Mikrokontroler diambil dari tipe AVR ATMEGA8535. Rangkaian minimum sistem mikrokontroler AVR ditunjukkan seperti pada Gambar 6, yang memiliki beberapa blok rangkaian diantaranya adalah kanal I/O, sumber detak, pengolah ADC dan sumber tegangan.

Rancangan komunikasi antar muka antara sistem perangkat keras dengan komputer digunakan komunikasi data digital serial-USB. Pengiriman data dilakukan dengan mengirim paket data yang berisikan informasi suhu-kelembaban udara dan kelembaban tanah. Konversi data serial dibantu dengan perangkat integrasi USB-Serial Prolific 2303HX. Prinsip kerja IC *Prolific* adalah mengkonversi kanal I/O USB menjadi kanal Virtual Serial. Virtual Serial merupakan bentuk teknologi virtualisasi perangkat lunak untuk sebuah rekayasa jalur IO dalam sebuah sistem instrumentasi. Data yang masuk pada komputer diolah untuk sebuah perancangan data logger.



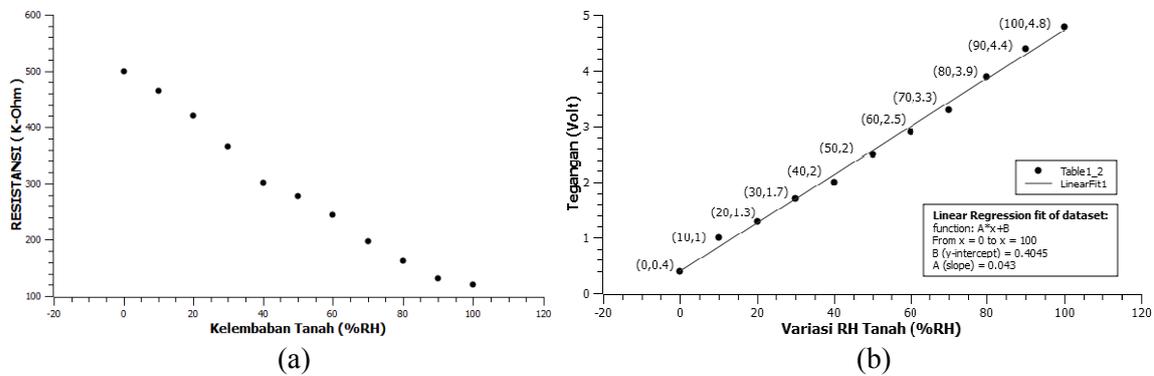
Gambar 6. Integrasi sistem *hybrid-sensor* SHT11, sensor kelembaban tanah, mikrokontroler komunikasi Serial-USB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Sensor Kelembaban Tanah

Pengujian sensor kelembaban tanah dilakukan dengan metode kurva fitting pembacaan tegangan luaran (sinyal analog) dan variasi kelembaban bahan uji. Pengujian digunakan bahan uji tanah jenis podzolik. Perlakuan pertama adalah memanaskan (mengeringkan tanah) pada suhu oven sekitar 110°C dalam waktu 30 menit. Perlakuan tersebut bertujuan untuk menghilangkan air pada tanah. Dalam penelitian ini, parameter tanah kering hanya mengacu pada treatment awal yaitu perlakuan pengeringan tanah dengan perilaku sama. Hasil pengeringan tanah kemudian dilanjutkan dengan menimbang tanah untuk mencari massa kering. Kemudian untuk membuat variasi jenis kelembaban, dilakukan pencampuran air (*aquades*) dengan rasio adalah 0% - 100% RH. Nilai 0% adalah nilai dengan tidak ada campuran air pada tanah (hanya tanah kering).

Grafik hubungan kelembaban terhadap nilai resistansi ditunjukkan seperti pada Gambar 7.a, dalam grafik tersebut terdapat korelasi rasio terbalik antara nilai resistansi dan kelembaban tanah. penurunan nilai resistansi. Pada grafik hubungan resistansi dan kelembaban tanah terdapat hubungan bahwa kenaikan nilai kelembaban tanah menyebabkan penurunan nilai resistansi.

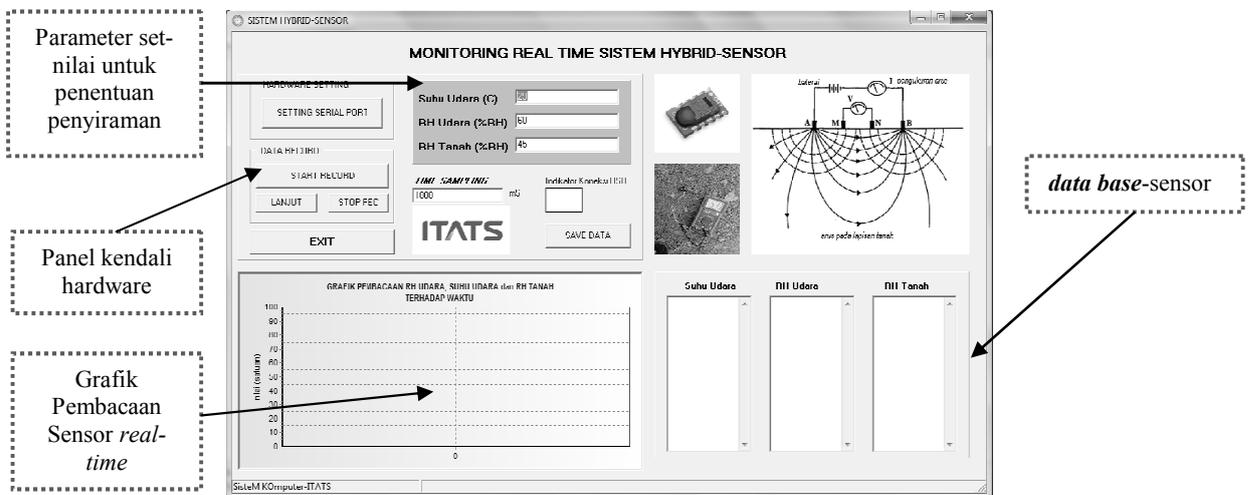


Gambar 7. a) Grafik hubungan nilai resistansi terhadap kelembaban tanah,
 b) Grafik hubungan kelembaban tanah dan tegangan luaran sensor kelembaban tanah.

Perubahan nilai resistansi menyebabkan adanya perubahan nilai pada luaran sensor kelembaban tanah. Luaran tegangan bersifat membalik sehingga penurunan pada nilai bacaan sensor akan menaikkan tegangan luaran. Perubahan tegangan luaran yang semakin naik ditentukan dari rangkaian seperti pada Gambar 4, *pre-processing* sensor yang bersifat membalik. Hasil pengambilan data luaran tegangan sensor kelembaban ditunjukkan seperti pada Gambar 7.b, yaitu grafik hubungan tegangan luaran dan kelembaban tanah.

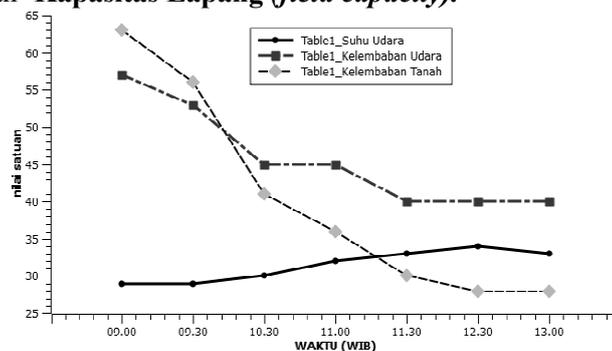
Akuisisi Data dan Algoritma *Hybrid-sensor*

Pengambilan data dari multi-sensor digunakan mikrokontroler sebagai integrasi komunikasi jembatan perangkat keras dan komputer. Hasil tampilan penyajian software-GUI () yang telah dirancang ditunjukkan seperti pada Gambar 8, dalam gambar tersebut terdapat unit pencatat dari parameter kelembaban tanah, kelembaban udara (RH) dan suhu udara. Ketiga parameter tersebut terintegrasi untuk membuat suatu sistem pengambil putusan dalam pola pengaturan penyiraman lahan.



Gambar 8. Tampilan perangkat lunak pengolah data *Hybrid-sensor*

Penyatuan beberapa parameter dalam perancangan *hybrid-sensor* akan membentuk luaran sebuah data pemantauan kondisi lahan pertanian. Hasil pengujian sistem yang digunakan untuk memonitor kondisi lahan pertanian pada interval waktu tertentu ditunjukkan seperti pada Gambar 9, yaitu integrasi data kelembaban tanah, suhu dan kelembaban udara. Dari integrasi yang dilakukan terlihat adanya pola penurunan kelembaban tanah seiring dengan interval waktu akibat kenaikan suhu udara. Kenaikan suhu permukaan udara akan mempengaruhi tingkat kelembaban permukaan tanah. Pada grafik terlihat pola penurunan kelembaban tanah ketika tengah hari (12.00 WIB), suhu yang relatif tinggi dan kelembaban udara yang cukup rendah mempercepat proses evaporasi. Proses evaporasi air dari tanah dipengaruhi oleh suhu permukaan dan daya kuantitas air pada tanah yang tertahan- **Kapasitas Lapang (*field capacity*)**.



Gambar 9. Implementasi perekaman *real-time* data sistem *hybrid-sensor*.

KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan terkait topik akuisisi data *hybrid-sensor* sebagai pemantau kelembaban tanah dan kondisi udara pada lahan pertanian adalah sebagai berikut :

1. Sistem *hybrid-sensor* dapat dirancang dengan penggabungan sensor kelembaban tanah dan SHT11 sebagai pengindra kondisi udara sekitar.
2. Sensor kelembaban tanah berbasis resistif memiliki sifat linier terhadap parameter kelembaban tanah.

TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim peneliti kepada Yayasan Pendidikan Teknik Surabaya (YPTS) atas pendanaan Program Penelitian Mandiri Dosen 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. PERTANIAN, "Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2015-2019," K. PERTANIAN, Ed., ed. Jakarta: 6 April 2015, 2015.
- [2] M. U. RanidanS. Kamalesh, "Web based service to monitor automatic irrigation system for the agriculture field using sensors," in *2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, 2014, pp. 1-5.
- [3] F. G. Montoya, J. Gómez, A. Cama, A. Zapata-Sierra, F. Martínez, J. L. De La Cruz, *dkkl.*, "A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks and the android system," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, pp. 14-20, 2013/11// 2013.
- [4] A. J. Phillips, N. K. Newlands, S. H. L. Liang, danB. H. Ellert, "Integrated sensing of soil moisture at the field-scale: Measuring, modeling and sharing for improved agricultural decision support," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 107, pp. 73-88, 2014/09// 2014.
- [5] V. R. Juniardy, D. Triyanto, danY. Brianorman, "Prototype Alat Penyemprot Air Otomatis Pada Kebun Pembibitan Sawit Berbasis Sensor Kelembaban Dan Mikrokontroler Avr Atmega8," *CODING*, vol. 2, pp. 11-20, 2014.
- [6] E. Nasrullah, A. Trisanto, danL. Utami, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Secara Otomatis Menggunakan Sensor Suhu LM35 Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535," *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 5, pp. 182-192, September 2011 2011.
- [7] P. Kristiansen, A. Taji, danJ. P. Reganold, *Organic Agriculture: A Global Perspective*: CSIRO Publishing, 2006.
- [8] K. A. Salikin, *Sistem pertanian berkelanjutan*: Kanisius, 2003.
- [9] Z. Yin, T. Lei, Q. Yan, Z. Chen, danY. Dong, "A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, pp. 101-107, 2013/11// 2013.
- [10] V. Markevicius, D. Navikas, A. Valinevicius, D. Andriukaitis, dan M. Cepenais, "The Soil Moisture Content Determination using Interdigital Sensor," *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 18, 2012/12/12/ 2012.
- [11] J. FRADEN. (2003). *Handbook Of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications*.
- [12] Telford, *Applied Geophysics*, 2 edition ed.: Cambridge University Press, 1990.
- [13] Z. Chen, J. T. Teo, S. H. Ng, danX. Yang, "Plastic optical fiber microbend sensor used as breathing sensor," in *2012 IEEE Sensors*, 2012, pp. 1-4.
- [14] B. D. GuptadanN. K. Sharma, "Fabrication and characterization of U-shaped fiber-optic pH probes," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 82, pp. 89-93, 2002/02/01/ 2002.
- [15] D. L. Terrel. (1996). *OP AMPS Design, Application, and Troubleshooting (second ed.)*.