

Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik dalam Pengukuran Dimensi Ubin Keramik untuk Mendukung Industri 4.0

The Utilization of Ultrasonic Sounds in Measuring Tile Dimensions to Support Industry 4.0

Handoko Setyo Kuncoro

Balai Besar Keramik, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri
Kementerian Perindustrian
Jl. Jenderal Ahmad Yani 392 Bandung, Indonesia
Email: kuncoro.hs@gmail.com

Abstrak-- Artikel ini membahas pemanfaatan gelombang ultrasonik dalam mendukung industri 4.0. untuk pengukuran dimensi ubin. Gelombang ultrasonik memiliki frekuensi, sensitivitas dan daya tembus yang cukup baik (tinggi). Hal ini membuat gelombang ultrasonik lebih mudah mendeteksi baik obyek eksternal maupun obyek dalam. Penerapan gelombang ultrasonik di Industri memiliki keunggulan diantaranya mampu berperan sebagai sensor jarak tanpa sentuh seperti pada pengujian tidak merusak dan pengujian inline (tanpa memberhentikan proses). Sebagai studi kasus telah dibuat contoh penerapan gelombang ultrasonik dalam pengujian dimensi ubin untuk industri keramik. Dalam artikel ini juga telah dijelaskan cara pengujian dimensi ubin menggunakan gelombang ultrasonik dimana hasil ujinya dibandingkan dengan hasil pengukuran dimensi ubin menggunakan jangka sorong (caliper) terkalibrasi. Walaupun hasil-hasil pengukuran dimensi ubin yang diperoleh dari kedua metode nampak tidak jauh berbeda (ketidakpastian < 0,265mm dan akurasi < 0,17 mm), namun penggunaan metode pengukuran ultrasonik lebih potensial dalam revolusi industri 4.0 yang mana mendukung inspeksi proses secara realtime.

Kata Kunci -- Ultrasonik, pengukuran dimensi, autocalibration, realtime, industri 4.0

Abstract -- This article discusses some of the roles of ultrasonic sound waves in supporting industry 4.0 especially for tile dimension measurements. Ultrasonic sounds have a fairly good (high) frequency, sensitivity and penetrating power. These make ultrasonic sounds more convenient to use both external and internal objects/materials. The implementations of ultrasonic sounds in industry had the advantages of being a remote sensor so it's like a non-destructive testing and as inline measurement (without stopping the production processes). As a case study, the application of ultrasonic sounds for dimensional testing in the ceramic industry have been made. In this article also described how to use ultrasonic sounds for dimensional measurements where the test results have compared with the results using calibrated caliper. Although the results of the dimensional data obtained from both methods did not seem very different (accuracy < 0.17 mm), nevertheless the ultrasonic measurement methods are more potential for the industrial revolution 4.0 that supports the process in real-time.

Keywords -- Ultrasonic sound, dimensional measurement, auto calibration, real-time, industry 4.0

I. PENDAHULUAN

Pemerintah pada tahun 2018 ini telah mencanangkan program *making Indonesia 4.0* [1] yang mana diikuti dengan beberapa perubahan kebijakan nasional diantaranya program industri 4.0 [2] oleh kementerian perindustrian, rencana perubahan kurikulum pendidikan nasional [3] oleh Kementerian Ristekdikti, dan penambahan insentif perpajakan [4] untuk industri 4.0 oleh Kementerian Keuangan. Terkait dengan semangat *making Indonesia 4.0*, penelitian ini meninjau penggunaan gelombang ultrasonik pada pengukuran jarak atau dimensi yang berpotensi diterapkan untuk industri ubin di Indonesia.[5]

Milestone revolusi industri [6][7] mulai dari rekayasa mesin tunggal (physical layer) pada revolusi 1.0 [8], dilanjutkan dengan penggabungan mesin-mesin dalam *assembly line* pada revolusi 2.0, dimasa ini [9] sudah ada perangkat lunak sederhana berbahasa mesin (*soft layer*). Pengelolaan permesinan dibarengi dengan pemakaian peralatan elektronik seperti mikrokontroler dan PLC menandai era industri 3.0 [10] hingga berkembang pada teknologi informasi [11] yang mengelola mesin dan manusia dalam dalam satu industri (sistem informasi manufaktur). Tuntutan *sustainable industry* [12] berdampak meluasnya area manajerial ditandai pengelolaan yang lebih global seperti *supply chain management* dimana melahirkan revolusi industri 4.0 [13], yang mana penggunaan internet atau *online system* semakin marak.[14][15][16] Kecepatan informasi melalui peralatan dan manusia sangat diperlukan dalam industri 4.0 yang mana akan melahirkan mesin-mesin yang bisa diakses secara *realtime*. [17][18]

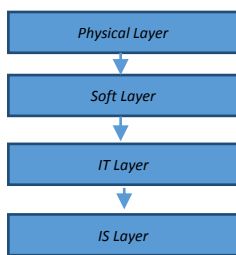
Gelombang ultrasonik memiliki frekuensi, sensitivitas dan daya tembus yang cukup baik (tinggi).[19] Hal ini membuat gelombang ultrasonik lebih mudah mendeteksi baik obyek eksternal maupun obyek dalam material.[20] Penggunaan gelombang ultrasonik dalam pengukuran dimensi di industri [21] khususnya industri ubin diharapkan akan memberikan informasi *realtime (atline/inline/online)* produk melalui komunikasi elektronik yang dikembangkan dalam penelitian ini. Umumnya operator produksi dan staf *quality control* (QC) di industri ubin menggunakan jangka sorong (*caliper*) untuk mengukur ubin di lapangan yang

memerlukan pencatatan secara teliti. Pencatatan terpisah antara operator produksi dan staf QC mungkin bisa berbeda karena faktor *human error*. [22] Hal ini bisa menimbulkan kesalahan dalam evaluasi produk baik secara kuantitatif maupun kualitatif. [23] Waktu pengerjaan pengukuran mutu produk secara *offline* umumnya lebih lama dibandingkan pengukuran secara *inline/online*. [24] Istilah *inline* biasanya dipakai dalam proses *realtime* [25][26] dimana *sampling* data dilakukan secara manual sedangkan istilah *online* untuk *sampling* data yang dibuat secara otomatis dan kontinu. Di lain pihak, harapan dari industri 4.0 adalah meningkatkan efisiensi, menurunkan biaya produksi dan memperbaiki proses. [27]

Penelitian ini bermaksud menjelaskan bagaimana membangun pengukuran dimensi secara *realtime* dengan menggunakan metode pendekatan 4 fase revolusi industri yakni pembangunan: *physical layer*, *soft layer*, teknologi informasi, sistem informasi. Untuk membatasi cakupan masalah, pembahasan penelitian ini hanya difokuskan pada pengukuran beberapa contoh ubin (berdimensi kecil). Untuk pengukuran panjang ubin yang lebih besar perlu diperlukan kajian lapangan lebih lanjut dan beserta penyesuaian standarnya.

II. METODOLOGI

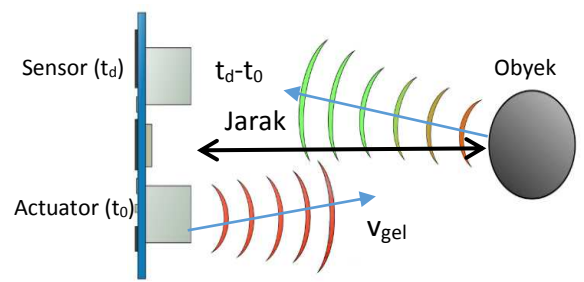
Metodologi penelitian ini mendekati fase-fase revolusi industri 4.0 dimana arah prosesnya mengikuti diagram alir berikut.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Physical Layer

Material piezoelectric merupakan bahan pengubah energi mekanik ke energi listrik begitu juga sebaliknya, hal ini dipicu oleh respon momen dwi kutub dalam bahan tersebut terhadap potensial permukaannya. Material ini mengambil peran utama dalam proses *physical layer*. Proses ini menyiapkan transduser ultrasonik untuk membangkit gelombang (actuator) dan sebagai penerima gelombang (sensor). Basis kerjanya adalah actuator merubah tegangan listrik ke dalam tekanan gelombang atau gaya (transmitter) dan sebaliknya sensor mengkonversi gaya ke dalam tegangan listrik (receiver).



Gambar 2. Konsep pengukuran jarak dengan gelombang ultrasonik

Jika waktu pembangkitan gelombang/sinyal oleh actuator dicatat (t_0) dan waktu penerimaan sinyal oleh sensor juga dicatat (t_d) setelah sinyal memantul dari obyek yang ingin diukur jaraknya, maka kita bisa mengukur jarak transduser ke obyeknya dengan catatan cepat rambat gelombang ultrasonik diketahui (v_{gel}). Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa time travel sinyal (t_d-t_0) merupakan waktu untuk menempuh 2 x jarak (d) dengan asumsi jarak aktuator dan sensor dekat.



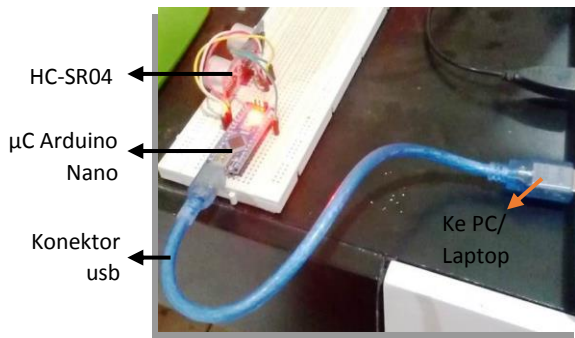
Gambar 3. Perangkat HC-SR04 untuk pengkondisian sinyal ultrasonik

Pengkondisian sinyal diperlukan dalam pembangkitan ultrasonik. Dalam penelitian ini pulsa di *trigger* 10 μs dan akan membangkitkan paket gelombang ultrasonik (8 siklus) dengan kecepatan rambat 340 m/s atau 0,034 cm/ μs dan *echo* akan diterima oleh sensor, hal ini sesuai dengan desain perangkat HC-SR04 (lihat Gambar 3). Jadi untuk menempuh jarak 10 cm kira-kira gelombang akan merambat dalam waktu 294 μs (10/0,034), sedangkan jarak transduser ke obyek bisa dihitung dari $s = (t \cdot v_{gel})/2$ dimana $t=t_d-t_0$.

Soft Layer

- o Pemrograman mikrokontroler

Perhitungan jarak dari transduser ultrasonik ke obyek ukur memerlukan perintah-perintah hitung (program) dari mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler jenis Arduino Nano yang mana rangkaiannya bisa dilihat dalam gambar berikut.

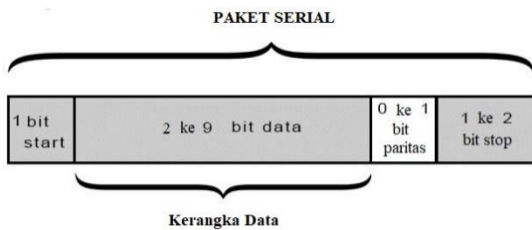


Gambar 4. Rangkaian untuk mengupload program dari PC ke mikrokontroler

Rangkaian tersebut bisa dieksekusi setelah *driver* usb serial diinstalasi terlebih dahulu dalam laptop/pc yang digunakan. Selanjutnya dibuat kode program perhitungan jarak dalam bahasa pemrograman C++ dimana sudah disediakan dalam *environment* Arduino. Kode program C yang telah dibuat dikompilasi dalam bentuk file biner pada laptop/pc sebelum diupload ke mikrokontroler Arduino Nano untuk menjalankan modul HC-SR04.

o Komunikasi Serial

Untuk pengambilan data dari mikrokontroler ke laptop/pc diperlukan inisialisasi komunikasi serial dengan mengkonfigurasi port serial yang digunakan. Beberapa parameter komunikasi serial yang harus diset diantaranya nomor port, *baudrate* transfer data, jumlah bit data, bit *stop*, paritas dan kontrol aliran data.



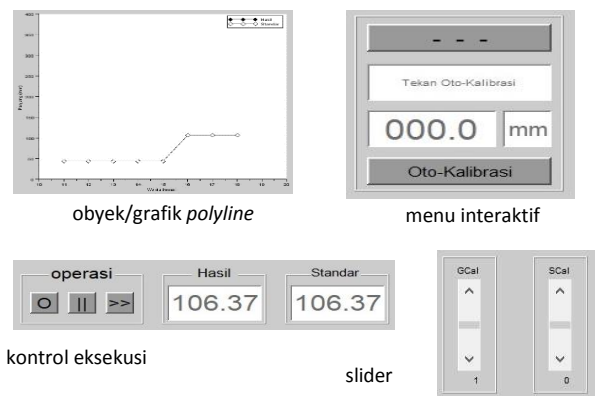
Gambar 5. Parameter paket data serial

Pengisian nomor port tergantung port serial yang digunakan di laptop/pc sedangkan nilai tipikal *baudrate* serial adalah 9600 dan bit paritas bernilai *none*. Untuk data bit berjumlah 8 parameter paket datanya ditunjukkan dalam Gambar 5. Untuk mengecek keberhasilan komunikasi serial antara mikrokontroler dan laptop/pc bisa digunakan program Termite 3.4 yang bisa diunduh gratis dari internet.

o Pemrograman HCI

Walaupun mikrokontroler bisa berdiri sendiri dalam menjalankan pengukuran jarak dengan modul HC-SR04, namun data yang dihasilkan belum nyaman (tidak mudah) untuk merepresentasikan hasil/laporan beserta analisisnya. Karenanya diperlukan pemrograman *Human Computer Interface* (HCI). Tampilan berbentuk grafik akan mudah dibaca dan dianalisis seorang operator dibandingkan dalam

bentuk data biner (0 dan 1) yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SCILAB dengan modul GUI untuk pemrograman HCI. Program SCILAB bisa diunduh gratis dari internet. Presentasi grafis didisain menggunakan obyek *polyline* dengan sampling pengukuran yang dibuat dinamis sehingga terbaca dengan baik oleh operator. Kontrol jeda (*pause*) dan berhenti/keluar (*exit*) untuk eksekusi pengukuran online dilakukan juga ditambahkan dalam program untukantisipasi pemberhentian program sementara dan bahkan pemberhentian permanen atau keluar dari program aplikasi HCI. Untuk membantu operator/pengguna, program HIC juga dilengkapi fasilitas kalibrasi otomatis menggunakan standar dimensi ubin. Fungsi kalibrasi otomatis ini selain untuk keperluan kalibrasi juga secara langsung bisa merubah fungsi sensor jarak dari modul HC-SR04 menjadi alat ukur dimensi ubin. Sistem seperti ini biasa juga disebut *smart sensor*.

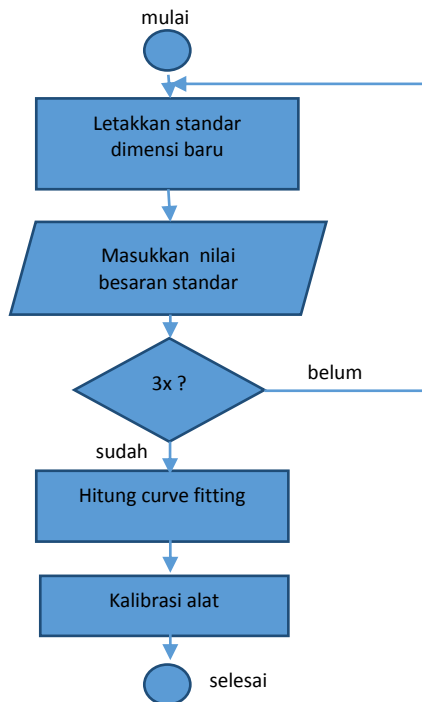


Gambar 6. Elemen-elemen menu GUI untuk pemrograman HCI

Sebagai kelengkapan program HCI, selain kalibrasi otomatis juga dibuat program kalibrasi manual dimana pengguna bisa menyesuaikan hasil ukur dengan standar ukur secara manual menggunakan elemen GUI *slider*. Beberapa rancangan elemen GUI yang dibangun dalam penelitian ini (ditunjukkan Gambar 6) meliputi: grafik *polyline*, control eksekusi, menu interaktif kalibrasi otomatis, dan slider penyesuaian untuk kalibrasi manual.

o Pemrograman Aplikasi (Kalibrasi Otomatis)

Aplikasi kalibrasi otomatis dirancang dari metode *curve fitting* dengan mengambil kurva polinomial berpangkat/berderajat 1 (linier). Walaupun demikian program juga bisa dieksekusi dengan polinomial berpangkat lebih tinggi dari 1 jika dikehendaki dan data standar uji tersedia. Program/kode untuk metode *curve fitting* dalam perangkat lunak scilab bisa dilaksanakan menggunakan perintah *polyfit*. Diagram alir pemrograman kalibrasi otomatis ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 7. Diagram alir program kalibrasi otomatis

Walaupun pada penelitian ini program kalibrasi otomatis masih memerlukan peletakkan standar dimensi ubin secara manual seperti diperlihatkan awal proses Gambar 7, namun dalam praktek proses peletakkan ini sebenarnya bisa dibuat otomatis dengan robotika/mekatronika.

IT Layer

Tahap disain lapisan teknologi informasi (*IT layer*) dibuat untuk mempermudah akses penggunaan data ukur. Format-format penyimpanan data yang paling sederhana tentunya diperlukan agar berbagai platform perangkat lunak mudah mengakses data dimensi ubin. Format data dalam *file* text dengan bentuk table merupakan penyimpanan sederhana. Kolom bisa diwakili jeda tanda baca koma, sedang baris bisa diwakili dengan meng-*entry* baris baru dalam *file* text. Format demikian dikenal dengan istilah comma-separated values (CSV).

```

342
343 function simpan(nama, varw)
344     x=pwd();
345     namafile= '\ ' + nama + '.csv';
346     write_csv(varw, x + namafile, ';', ',');
347 endfunction
348
  
```

Gambar 8. Script Scilab untuk fungsi penyimpanan data berformat CSV

Fungsi penyimpanan data dalam file CSV menggunakan perangkat lunak SCILAB ditunjukkan Gambar 8. Walaupun cukup sederhana namun format CSV ini bisa diakses hampir semua program database komersial termasuk program spreadsheet seperti Excel dari Microsoft Office. Program

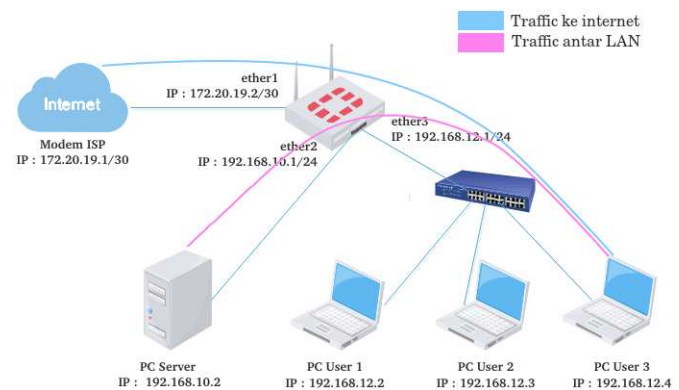
pengembangan untuk analisis data lebih lanjut tidak dibahas dalam penelitian ini karena bisa dikembangkan sendiri sesuai kebutuhan perusahaan masing-masing.

Selain pengukuran dimensi sebenarnya pengukuran jarak menggunakan gelombang ultrasonik juga bisa dipakai untuk penghitung jumlah produk ubin yang melewati konveyor di pabrik. Jumlah produk merupakan bagian informasi yang sangat diperlukan perusahaan sebagai unjuk kerja proses produksi.

Agar data bisa diakses seluruh komputer harus dibangun jaringan lokal dalam pabrik dengan memasang perangkat server komputer, router dan koneksi kabel LAN. Perangkat lunak yang digunakan untuk server bisa menggunakan program XAMPP yang bisa diunduh gratis dari internet. Program tersebut sudah dilengkapi dengan program database.

IS Layer

Penelitian ini tidak membahas secara rinci mengenai arsitektur lapisan sistem informasi (*IS layer*) karena cakupan yang terlalu luas, walaupun demikian gambaran sederhana perangkatnya bisa diberikan sebagai berikut.

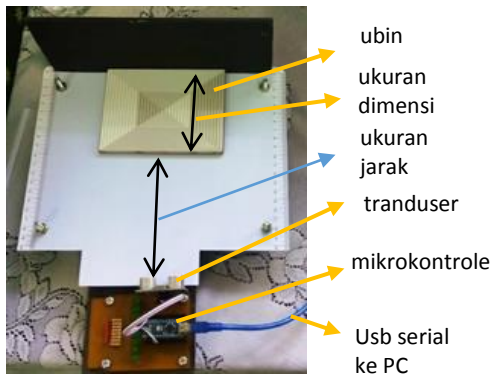


Gambar 9. Arsitektur jaringan lokal dan jaringan global (internet) [28]

Pada pembangunan *IS layer* ini data bisa diakses baik secara lokal maupun secara global sehingga kebutuhan data untuk fungsi manajemen lokal pabrik dan pelayanan publik bisa berjalan baik. Tentunya faktor keamanan data menjadi riskan pada tahap ini serta memerlukan pengelolaan dan perhatian khusus. Perangkat lunak XAMPP pada tahap sebelumnya sudah dilengkapi juga dengan program PHP yang bisa memperluas akses data secara global.

III. HASIL DAN BAHASAN

Telah berhasil dirancang prototipe alat ukur dimensi ubin sederhana dengan pengukuran hanya satu sisi dimana sisi seberang (lainnya) dibuat tetap, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10. Sisi bagian atas gambar ditahan tetap sedang perangkat sensor ultrasonik menghitung ukuran jarak. Logikanya ukuran dimensi akan bisa dihitung jika jarak tranduser ultrasonik ke bagian sisi tetap atas gambar diketahui atau terukur tetap. Jadi ukuran dimensi sama dengan panjang total (tranduser ke sisi tetap) dikurangi dengan ukuran jarak. Smart sensor yang dibangun tidak menggunakan formulasi konvensional tersebut.



Gambar 10. Hasil desain alat ukur dimensi ubin menggunakan modul HC-SR04

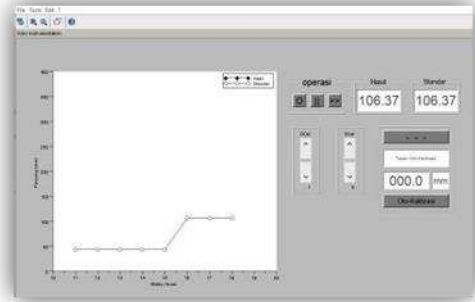
Seperti ditunjukkan Gambar 7 metode *curve fitting* memerlukan data pengukuran alat dan data ukur standar (dimensi) untuk menyesuaikan (kalibrasi) hasil ukur alat. Untuk menguji kemampuan alat dibuat 3 sampel ubin standar yang telah diukur menggunakan jangka sorong merk Mitutoyo yang telah dikalibrasi. Panjang ketiga ubin standar yang diinputkan untuk kalibrasi otomatis masing-masing 100,65 mm, 124,70 mm, dan 150,55 mm. setelah alat dikalibrasi otomatis pengukuran ketiga sampel tersebut diulang sebanyak 5 kali untuk mengetahui kehandalan alat dengan hasil sebagai berikut.

TABEL I HASIL PENGUKURAN DIMENSI PANJANG TIGA SAMPEL UBIN

No. Pengukuran	Hasil pengukuran 3 sampel ubin dalam mm		
	100,65	124,70	150,55
1	100,44	124,95	150,34
2	100,44	124,95	150,86
3	100,44	124,60	150,69
4	100,96	124,60	150,86
5	100,26	124,60	150,86
Rata-rata	100,51	124,74	150,72
Deviasi	0,264	0,192	0,226
Dev.s	0,244	0,172	0,214

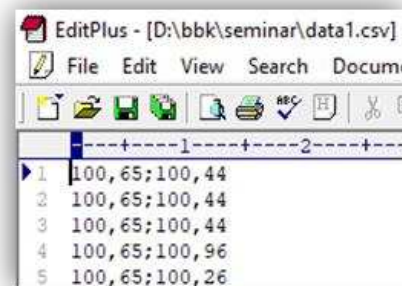
Hasil pengukuran 3 sampel ubin menunjukkan nilai rata-rata pengukuran mendekati hasil pengukuran dengan jangka sorong Mitutoyo yang telah terkalibrasi resmi. Dimana memiliki deviasi pengukuran (*uncertainty*) < 0,265 mm serta memiliki deviasi terhadap hasil pengukuran jangka sorong < 0,245 mm dan akurasi < 0.17 mm. Hal ini mengindikasikan hasil pengukuran dimensi panjang ubin yang relatif akurat dan presisi.

Perancangan soft layer diharapkan memberikan kemudahan bagi pemakai alat untuk menjalankan tugasnya. Gambar berikut merupakan hasil perancangan program *soft layer* dalam penelitian ini.



Gambar 11. Hasil desain *soft layer*

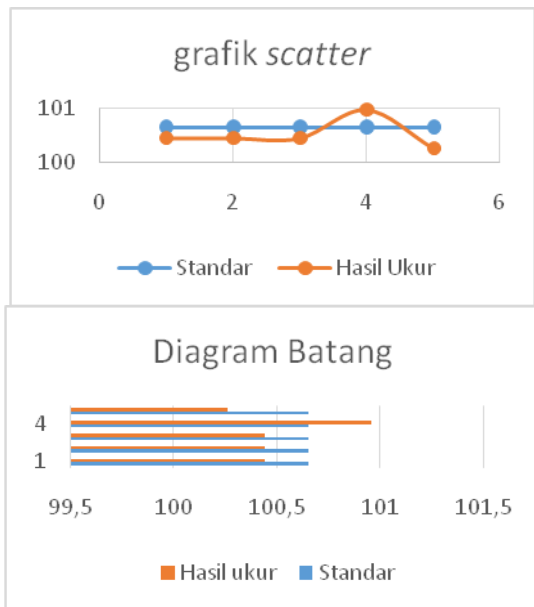
Hasil disain soft layer ini selain menampilkan grafik *realtime (online)* pengukuran juga dilengkapi dengan kontrol eksekusi pengukuran, dua slider kalibrasi manual, menu interaktif kalibrasi otomatis dan tampilan angka pembacaan ukuran dimensi panjang. Dua slider kalibrasi manual adalah untuk menyesuaikan gain (perbesaran) dan pergeseran nilai. Sebagai tambahan dalam program ini juga ditambahkan fungsi penyimpanan data dalam format CSV seperti diperlihatkan Gambar 8.



Gambar 12. Hasil penyimpanan data ukur dalam format CSV

Contoh hasil penyimpanan data dimensi sampel ubin panjang 100,65 mm dengan 5 kali pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 12. Nampak bahwa kolom dipisah dengan tanda baca “;” dan bagian desimal menggunakan tanda “,”.

Format CSV tersebut bisa diakses dengan program Excel dan diolah dalam grafik Excel, misalnya dengan grafik *scatter*, diagram batang atau yang lain sesuai kebutuhan manajemen lokal.



Gambar 13. Data ukur file CSV diolah dalam grafik scatter dan diagram batang oleh program komersial Excel

Kemudahan akses dengan pemakaian sarana elektronik dan penggunaan multiplatform perangkat lunak merupakan ciri disain *IT layer*. Sampai tahap ini kita telah membahas 3 tahapan metodologi pengukuran dimensi ubin menggunakan gelombang ultrasonik. Untuk tahap akhir *IS layer* sebenarnya memerlukan data yang lebih kompleks (informasi) guna mendemonstrasikannya. Karenanya kita hanya akhiri hasil tahap ini dengan program pengaksesan format CSV oleh bahasa pemrograman PHP yang mana program ini sering digunakan dalam pembuatan aplikasi di internet (jaringan global).

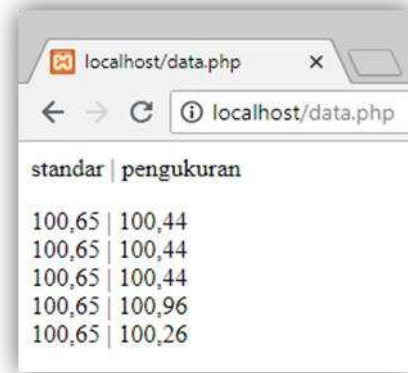
```

1 <?php
2 echo "<p> standar | pengukuran <br /></p>\n";
3 $row = 2;
4 if (($handle = fopen("data1.csv", "r")) !== FALSE) {
5     while (($data = fgetcsv($handle, 20, ";")) !== FALSE) {
6         $num = count($data);
7         $row++;
8         echo $data[0] . " | " . $data[1] . "<br />\n";
9     }
10    fclose($handle);
11 }
12 ?>

```

Gambar 14. Script pengaksesan data ukur dalam format CSV dalam program PHP

Contoh kode/script pengaksesan data file CSV dengan program PHP ditunjukkan dalam gambar 14, dimana hasilnya ditampilkan dalam *web* seperti dicitrakan dalam gambar berikut.



Gambar 15. Tampilan data ukur di web

Tentunya pengguna data dalam jaringan global akan lebih banyak dibandingkan jaringan lokal, sehingga efisiensi pemrograman perlu diperhatikan. Sampai disini kita telah membahas keseluruhan *fase* industri 4.0 sebagai pendekatan metode penelitian dengan studi kasus sederhana pemanfaatan gelombang ultrasonik dalam pengukuran dimensi ubin yang banyak diperlukan industri ubin di Indonesia.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum bisa disimpulkan dari hasil penelitian ini diantaranya:

- Pengukuran jarak/dimensi memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan kepresisian < 0,265 mm dan akurasi < 0,17 mm berpotensi selain membantu pengujian dimensi ubin untuk industri ubin keramik Indonesia juga mendukung terwujudnya program pemerintah *making Indonesia 4.0* khususnya di lingkungan Kementerian Perindustrian.
- Mengikuti fase-fase revolusi industri 4.0 (pembangunan *physical layer*, *soft layer*, *IT layer*, dan *IS layer*) dapat menuntun kita untuk mengembangkan sistem pengukuran *realtime* dimana berpotensi mengurangi *human error* di industri dan bisa meningkatkan efisiensi proses.
- Keamanan data perlu diperhatikan agar data yang *di-share* dapat awet dan lebih bermanfaat keberadaannya.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Saudara Muhammad Taufik, S.T. dari Telkom University yang telah membantu dalam perakitan alat pengukuran dimensi ubin dengan gelombang ultrasonik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Soesatyo, "Generasi Milenial dan Era Industri 4.0," *detikNews*, 2018.
- [2] V. E. Satya, "Strategi Indonesia Menghadapi Industri 4.0," in *INFO Singkat*, 2018.
- [3] H. Prasetyo and W. Sutopo, "Perkembangan Keilmuan Teknik Industri Menuju Era Industri 4.0," in *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2017*, 2017.
- [4] Brodjonegoro and Satryo, "Kecakapan Era 4.0," *Kompas*, 2018.
- [5] B. Arasada and B. Suprianto, "Aplikasi Sensor Ultrasonik Untuk Deteksi Posisi Jarak Pada Ruang Menggunakan Arduino Uno Aplikasi Sensor Ultrasonik Untuk Deteksi Posisi Jarak Pada Ruang Menggunakan Arduino Uno Bakhtiyar Arasada Bambang Suprianto," *J. Tek. Elektro*, 2017.
- [6] A. Gilchrist, "Introducing Industry 4.0," in *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, 2016.
- [7] A. Gilchrist, *Industry 4.0*, 2016.
- [8] X. Xu, "Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017.
- [9] M. Bortolini, E. Ferrari, M. Gamberi, F. Pilati, and M. Faccio, "Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework," *IFAC-PapersOnLine*, 2017.
- [10] Paul Markillie, "A third industrial revolution | The Economist," *The Economist*, 2012. .
- [11] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," *Journal of Industrial Information Integration*, 2017.
- [12] T. Stock and G. Seliger, "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0," in *Procedia CIRP*, 2016.
- [13] H.-C. Pfohl, B. Yahsi, and T. Kuznaz, "The impact of Industry 4.0 on the Supply Chain," *Proc. Hambg. Int. Conf. Logist. (HICL)-20*, 2015.
- [14] M. Albert, "Seven Things to Know about the Internet of Things and Industry 4.0," *Mod. Mach. Shop*, 2015.
- [15] D. Williams, "On and Off the 'Net: Scales for Social Capital in an Online Era," *J. Comput. Commun.*, 2006.
- [16] T. Ahn, S. Ryu, and I. Han, "The impact of the online and offline features on the user acceptance of Internet shopping malls," in *Electronic Commerce Research and Applications*, 2004.
- [17] F. Tian, T. Qin, and T. Y. Liu, "Computational pricing in Internet era," *Frontiers of Computer Science*, 2018.
- [18] S. S. Fernández-Miranda, M. Marcos, M. E. Peralta, and F. Aguayo, "The challenge of integrating Industry 4.0 in the degree of Mechanical Engineering," *Procedia Manuf.*, 2017.
- [19] I. Sinclair, "Sound, infrasound and ultrasound," *Sensors and transducers*, 2001.
- [20] J. McDermott, "Sensors and Transducers.," *EDN*, 1983.
- [21] P. Hauptmann, N. Hoppe, and A. Püttmer, "Application of ultrasonic sensors in the process industry," *Meas. Sci. Technol.*, 2002.
- [22] G. P. Gibson, "Improving maintenance through reducing human error," *Foresight Precaution, Vols 1 2*, 2000.
- [23] "Inline and Offline Measurement," *MTI Instrument*. [Online]. Available: <https://www.mtiinstruments.com/knowledge-center/inline-offline-measurement/>.
- [24] J. Belanger, P. Venne, and J.-N. Paquin, "The What, Where and Why of Real-Time Simulation," *Planet RT*, 2010.
- [25] J. Song *et al.*, "WirelessHART: Applying wireless technology in real-time industrial process control," in *Proceedings of the IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, RTAS*, 2008.
- [26] J. L. Michaloski, Y. F. Zhao, B. E. Lee, and W. G. Rippey, "Web-enabled, real-time, quality assurance for machining production systems," in *Procedia CIRP*, 2013.
- [27] Y. Liao, F. Deschamps, E. de F. R. Loures, and L. F. P. Ramos, "Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal," *International Journal of Production Research*, 2017.
- [28] Dodi, "Tutorial bypass traffic lokal pada jaringan LAN mikrotik," 2017. [Online]. Available: <https://www.dodiventuraz.net/2017/12/tutorial-bypass-traffic-lokal-pada-jaringan-lan-mikrotik.html>.