

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ULTRASONOGRAFI UNTUK
APLIKASI BIDANG MIGAS (REKAYASA ALAT INSPEKSI SUMUR)**

*Development of Ultrasound Technology For Oil and Gas Application
(Engineering Design of Well Inspection Tool)*

Sigit Pudiarto⁽¹⁾, Gathuk Widiyanto⁽¹⁾ dan Suryono⁽²⁾

⁽¹⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

⁽²⁾Lab. Instrumentasi Elektronika, Fisika, FSM
Universitas Diponegoro Semarang

email: sigitp@lemigas.esdm.go.id ; gathuk@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 14 Agustus 2015; Diterima setelah perbaikan tanggal 29 September 2015;
Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2015

ABSTRAK

Perangkat *ultrasonic* dipakai untuk investigasi pipa dan lubang-lubang perporasi pada sumur produksi dan deformasi pada pipa. Sistem instrumen tersebut menggunakan gelombang ultrasonik yang dibangkitkan secara elektronik menggunakan transduser *immersion* (celup). Pencitraan profil dilakukan dengan teknik pantulan dengan menghitung jarak permukaan terhadap senter *transduser* dan diputar pada sudut 360°. Akusisi data dilakukan mikrokontroler dan komputer yang bekerja secara otomatis dan *real time*. Alat inspeksi sumur berbasis teknologi ultrasonografi diuji coba pada sumur buatan dimana sumur buatan pada kedalaman tertentu dibuat tidak rata, dan alat tersebut dimasukan kedalam sumur pada kedalaman yang telah ditentukan dan bisa mengidentifikasi dinding sumur dengan permukaan yang tidak rata. Dari hasil pengujian yang dilakukan diketahui sistem mekanik dan elektronik memiliki kestabilan yang baik. Sistem yang dibuat telah mamapu menampilkan profil permukaan dinding sumur simulasi dengan akurasi 1 milimeter.

Kata Kunci: investigasi, ultrasonik, jarak, immersion, inspeksi sumur.

Keywords: *ultrasound, oil and gas, distance, immersion, wells inspection.*

I. PENDAHULUAN

Gelombang ultrasonik pertama kali digunakan pada saat perang dunia kedua sebagai perangkat *Sound Radiation and Ranging (SONAR)* yang merupakan perangkat navigasi pada kapal selam, setelah itu dilakukan berbagai penelitian memanfaatkan gelombang ultrasonik. Pengukuran parameter fisis gelombang ultrasonik dapat dilakukan tanpa merusak obyek dan memberikan manfaat yang besar pada pengujian, evaluasi dan inspeksi. Pada aplikasi tersebut, gelombang ultrasonik memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan sumber radiasi lain diantara: *portable* (bisa dibawa ke mana-mana), bahaya radiasi kecil, harga relatif murah, banyak data fisis yang diperoleh, dan penggunaan energi pencatudaya kecil. Selain untuk pencitraan medis, gelombang ultrasonik juga digunakan untuk uji tak merusak pada material padat, cair dan gas. Sifat gelombang ultrasonik refleksi dan transmisi dapat dimanfaatkan untuk pengujian kekasaran permukaan material padat (Suryono, 2011). Pada masa sekarang gelombang ultrasonik telah untuk suatu metode pencitraan Dengan metode pencitraan ini mampu menjelaskan secara detail dari obyek yang dicitrakan. Gelombang ultrasonik telah banyak digunakan untuk uji tak-merusak, pada bidang geofisika untuk pencitraan tanggul dan investigasi hubungan persambungan pada bor eksplorasi, dan struktur lapisan tanah (Rahiman dkk, 2006). Pada industri kimia, sistem tomografi ini dapat digunakan untuk mendeteksi jenis gas dan gelembung (*bubble*) sehingga dapat dilakukan filtrasi tanpa memerlukan interupsi sehingga dapat meningkatkan produktifitas, keseragaman, meminimalkan material masukan, mereduksi konsumsi energi, merendahkan kerusakan lingkungan dan efek pada orang yang berada di dekatnya. Gelombang ultrasonik dapat mengukur jarak dengan menggunakan mikrokontroler. Pengukuran *Time of Flight* gelombang ultrasonik telah dikembangkan untuk mengukur jarak (Suryono, 2007)., teknik ini juga telah dikembangkan untuk memperoleh profil distribusi nilai refleksi, atenuasi, detil posisi dan detil dimensi (Germaneau dkk, 2008).

Kemampuan ultrasonografi mencitrakan suatu obyek bisa dimanfaatkan untuk mendisain peralatan inspeksi sumur yaitu problem mekanis sumur (misal, kebocoran pipa, sumbatan pada pipa, pipa yang *bursting* dan bengkok). Problem mekanis ini sangat mengganggu dan menurunkan produksi sumur-sumur tersebut apabila tidak segera diatasi. Aplikasi peralatan ini juga sangat dibutuhkan pada inspeksi integritas sumur-sumur tua yang akan dibuka kembali. Keunggulan disain peralatan ultrasonografi ini adalah bisa dilakukan inspeksi in-situ dan *real time*.

II. BAHAN DAN METODE

Metode rekayasa prototipe alat inspeksi sumur migas yang dikembangkan ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 1.

Sistem Utama

Sistem utama operasional alat inspeksi sumur ini meliputi sistem pemancar dan penerima.

- Pemancar Ultrasonik (*Transmitter*)

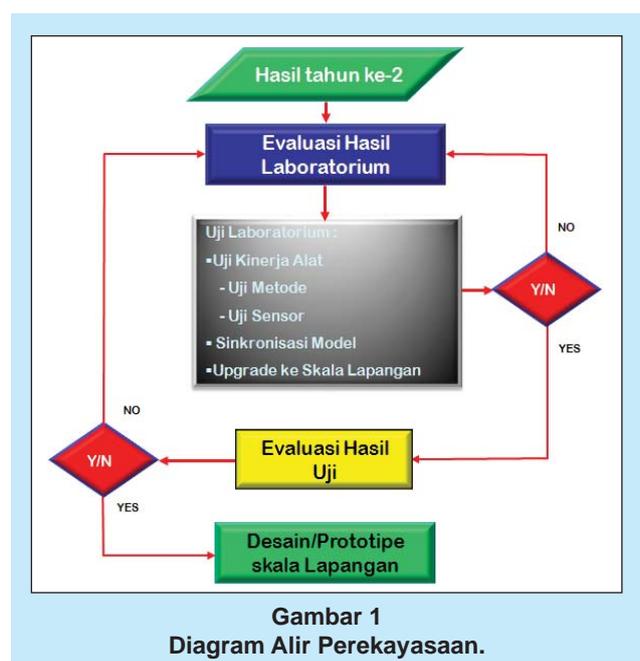
Pemancar Ultrasonik ini berupa rangkaian yang memancarkan gelombang pulsa berfrekuensi 1 MHz menggunakan sebuah *transducer transmitter* ultrasonik

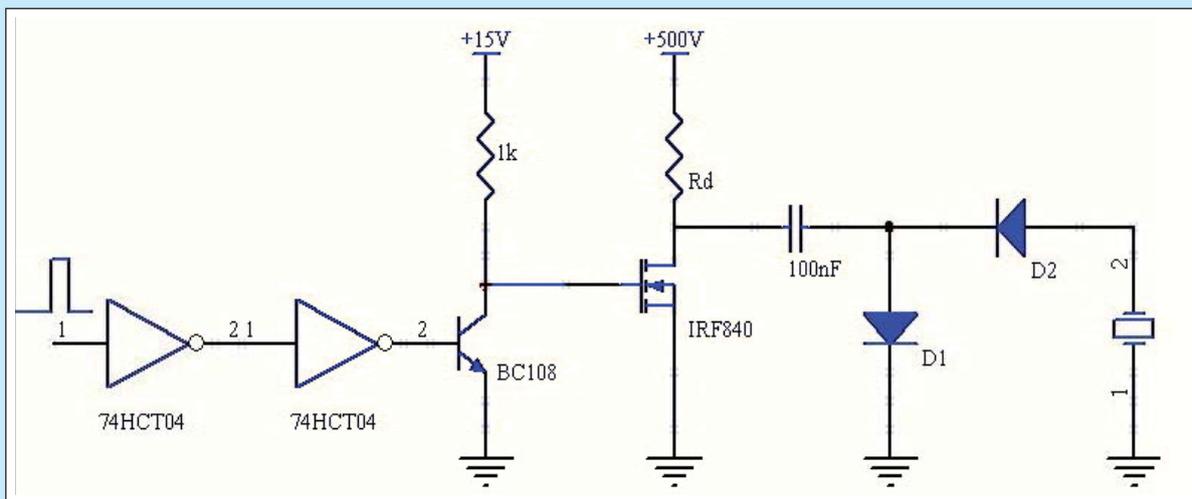
- Penerima Ultrasonik (*Receiver*)

Receiver akan menerima sinyal ultrasonik yang dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan karakteristik frekuensi yang sesuai. Sinyal yang diterima tersebut akan melalui proses filterisasi frekuensi dengan menggunakan rangkaian *band pass filter* (penyaring pelewat pita), dengan nilai frekuensi yang dilewatkan telah ditentukan.

Prototipe

Prototipe alat inspeksi sumur didesain dua bagian seperti terlihat pada gambar 3 desain alat inpeksi sumur dan gambar 4 hasil rekayasa, bagian pertama terdiri 2 sensor, dan bagian kedua terdiri dari rangkaian sistem yang dilengkapi dengan centralizer yang berfungsi agar alat selalu berada di tengah lubang sumur.





Gambar 2
Rangkaian Pemancar Gelombang Ultrasonic.

Sumur Buatan

Sumur buatan gambar 5 pada bagian tertentu dindingnya dibuat tidak rata, digunakan sebagai pengujian prototipe apakah sistem mekanik, sistem elektronik dan akusisi data sudah dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

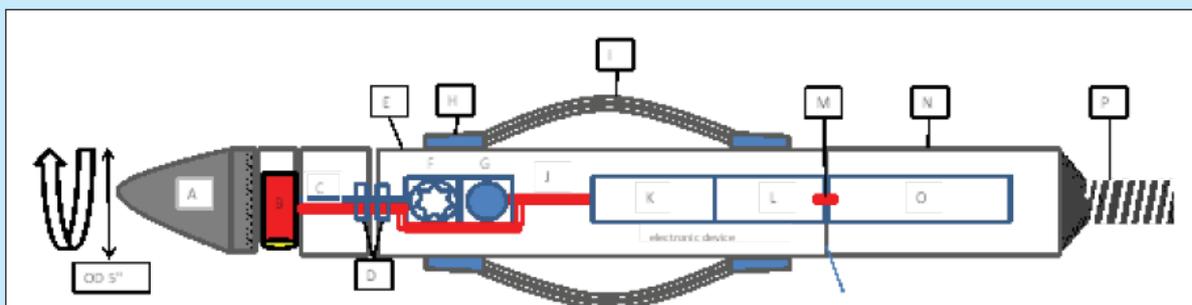
Sumur buatan ini didesain mendekati kondisi sumur minyak sebenarnya dengan diameter 5" (umumnya sumur minyak mempunyai diameter 4", 5" dan 7") dimana pada waktu pelaksanaan pengujian sumur ini diisi dengan fluida air untuk membuat kondisi yang mirip sumur minyak.

Dindingnya yang tidak rata untuk menggambarkan kondisi integritas sumur yang sudah tidak bagus lagi.

III. HASIL

Pengujian Sistem Pembangkit

Pengujian sistem pembangkit pulsa ultrasonik meliputi : pengujian kestabilan pulsa eksitasi, pengujian sumber daya MOSFET DC tegangan tinggi, serta pengujian hubungan tegangan keluaran MOSFET terhadap variasi hambatan kaki Drain (R_D). Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan transduser GE Inspection Technologies tipe Z1N



Spesifikasi Desain USG Well Inspection

- | | |
|---|---|
| a. Bull Nose (inconel) | i. Centralizer |
| b. Sensor Ultrasonic (Transmitter & Receiver) | j. Rangkaian kabel (terdiri dari koaksial kabel dan kabel bisa tahan panas) |
| c. As penggerak putar (warna biru) | k. Rangkaian pembangkit pulsa ultrasonic dan rangkaian penguat penerima |
| d. Seal (karet/ silikon kedap air) | l. Rangkaian driver motor ste |
| e. Casing (inconel) | m. Switch Battery |
| f. Motor Steper (Full Step 0,5 A, 2 Fass) | n. Battery Housing (tersambung dengan casing menggunakan thread) |
| g. Sling Interface | o. Rangkaian Battery |
| h. Centralizer Shoe | p. Thread ke Stem /Tools string |

Data Teknis

OD=5"
Lenght=45"

Paraf Tanggal

Di Siapkan Oleh:		
Di Periksa Oleh:		
Di Setujui Oleh:		

Gambar 3
Desain Alat Inspeksi Sumur.



Gambar 4
Hasil Rekayasa Alat Inspeksi Sumur.



Gambar 5
Sumur Buatan.

dengan frekuensi senter 1 MHz. Pengujian dilakukan dengan alat ukur multimeter dan *Digital Storage Oscilloscope Textronic TDS-2100*.

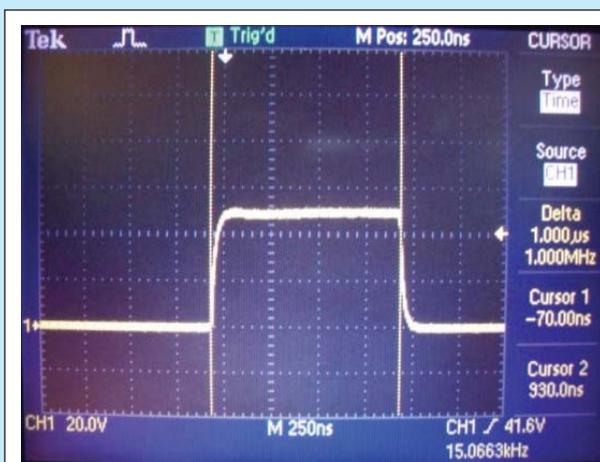
Pada sistem ini, gelombang pulsa dibangkitkan melalui Pin A,0 dengan perintah *assemblySETB* untuk memberi logika tinggi pada pin tersebut. Selanjutnya dilakukan penundaan selama 1 μ s untuk membentuk pulsa selebar 1 MHz sesuai dengan frekuensi transdusernya. Selanjutnya pin diberi perintah *assemblyCBI* untuk memperoleh logika rendah dan ditunda selama 100 μ s untuk memberi jarak ke pulsa berikutnya. Pulsa yang dihasilkan mikrokontroler dibangkitkan secara berulang agar dapat dilihat pada *osiloscope*.

Gambar 7 menunjukkan bentuk pulsa eksitasi mikrokontroler pada lebar pulsa yang diuji yaitu 1 μ s dan 250 ns.

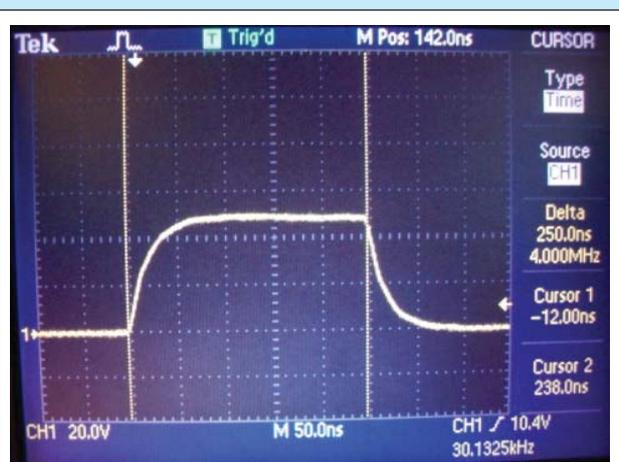
Dari hasil pengujian pulsa diperoleh nilai kestabilan 99,89% pada lebar 1 μ s dan 99,07% pada lebar pulsa 250 ns sehingga sumber pulsa tersebut sangat baik untuk digunakan untuk keperluan selanjutnya.

Hasil Pengujian Rangkaian Penerima

Rangkaian penerima pada sistem tomografi ultrasonik meliputi rangkaian *buffer* (penyangga tegangan), rangkaian penguat dan rangkaian komparator. Sebelum dilakukan penguatan menggunakan rangkaian penerima, terlebih dahulu



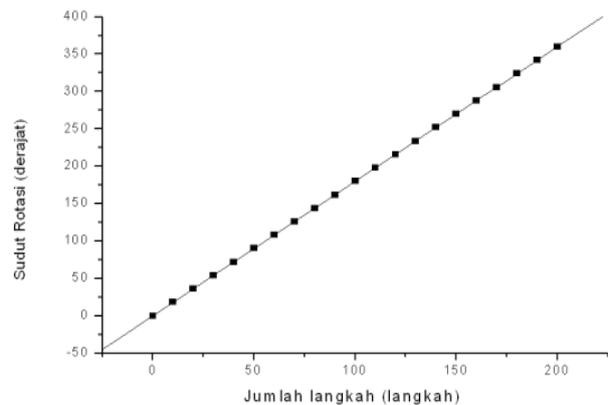
Gambar 6
Bentuk Pulsa Eksitasi Pembangkit Ultrasonik Pada Lebar Pulsa 1 μ s



Gambar 7
Bentuk Pulsa Eksitasi Pembangkit Ultrasonik Pada Lebar Pulsa 250 ns



Gambar 8
Sinyal Pada Transduser Dengan
Medium Perantara Air.



Gambar 9
Grafik Hasil Karakterisasi
Sudut Rotasi Langkah Motor.

dilakukan pengukuran sinyal keluaran transduser penerima pada medium *immerse* berupa air tanpa sampel. Hasil pengukuran ini sangat penting untuk diketahui karena akan digunakan untuk tegangan acuan pada rangkaian penerima. Sinyal yang diterima oleh rangkaian transduser yang melewati medium *immerse* air sepanjang 27,4 cm sebesar $(20,4 \pm 0,6)$ Volt. Jika pada medium tersebut diberi sampel uji material beton dengan tebal $(8,06 \pm 0,02)$ cm maka diperoleh sinyal pada transduser *receiver* sebesar $(487,4 \pm 16,9)$ mV. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa pada sampel yang tercelup pada air menghasilkan *atenuasi* yang besar. Gambar 8 merupakan sinyal hasil penerima pada transduser ultrasonik di medium celup (*immerse*) air.

Hasil Uji Sistem Mekanika

Pengujian pada resolusi rotasi untuk memperoleh sudut proyeksi (ΔY_{ϕ}) dilakukan dengan menghitung jumlah pemberian catu daya pada *pole* dalam satu putaran motor (360°). Pengujian pertama dilakukan terhadap gerak rotasi motor langkah sebelum diberi *reducer*. Hasil pengujian tersebut dibuat grafik hubungan antara jumlah langkah terhadap sudut rotasi yang dihasilkan dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Dari grafik tersebut diperoleh resolusi rotasi motor langkah yang digunakan sebesar 1,8 derajat/langkah dan diperoleh ketelitian gerak rotasi motor langkah sebesar 0,9 derajat/langkah dan memiliki deviasi standar $SD=0$. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem elektromekanik gerak rotasi untuk memperoleh nilai (ΔY_{ϕ}) memiliki karakteristik sangat baik dan sesuai yang diharapkan.

Hasil Uji Sistem Komputer

Sistem akuisisi dirancang menggunakan sistem memory atau *data logger* atau *batch*. Dimana sistem ini mempunyai keunggulan sebagai berikut :

- *Time Lag*

Pada sistem *batch*, berbagai data dari suatu transaksi dikelompokkan terlebih dahulu dlm suatu batch pemrosesan sebelum data tersebut masuk kedalam sistem untuk diproses. Dampaknya jelas, ada *time lag* atau jeda waktu antara titik/saat terjadinya transaksi dgn titik/saat pencatatan transaksi tersebut ke dalam akun-akun atau record terkait. Panjang atau lamanya jeda waktu itu akan tergantung pada frekuensi pemrosesan *batch*, bisa dalam hitungan menit, harian, mingguan, total tumpukan/*batch*, dsb. Sedangkan pada sistem *real time*, jeda waktu itu hampir tidak ada alias dihilangkan. Data diproses seketika pada saat transaksi itu muncul, sehingga *record* terkait otomatis akan selalu dimutakhirkan (*up to date*).

- Sumber daya

Pada sistem *batch*, biasanya kebutuhan akan sumberdayanya relatif lebih sedikit dibanding dengan sistem *real time*. Misalnya pada saat pengembangan sistem, aktivitas pemrograman relatif sederhana dan membutuhkan waktu yang lebih pendek dibanding aktivitas pemrograman pada sistem *real time*. Pada sistem *real time*, pemrograman aplikasi biasanya lebih rumit, seperti tuntutan supaya *interface* yang didesain harus mudah digunakan oleh personil pemakai (*user friendly*); menggunakan menu *popup*, fasilitas petunjuk *on-line, help*, dan sebagainya. Dari sisi infrastruktur, sistem *real time* membutuhkan

200 36												
7.21	7.18	7.18	7.26	7.25	7.13	7.33	7.24	7.18	7.24	7.15	7.32	7.4
7.16	7.21	7.16	7.23	7.34	7.21	7.31	7.18	7.26	7.28	7.20	7.42	7.5
7.23	7.18	7.18	7.26	7.25	7.13	7.33	7.23	7.15	7.22	7.15	7.32	7.4
7.17	7.26	7.20	7.18	7.28	7.26	7.28	7.19	7.24	7.28	7.26	7.48	7.6
7.14	7.22	7.27	7.17	7.24	7.22	7.25	7.16	7.22	7.27	7.28	7.47	7.5

Gambar 10
Hasil Akusisi Data Dalam Aplikasi Notepad.

komputer dengan kapasitas pemrosesan yang tinggi dan berdedikasi. Tidak demikian dengan sistem batch. Sistem hanya digunakan apabila program dijalankan sehingga komputer tidak harus mempunyai kapasitas yg tinggi seperti pada sistem *real time*.

Efisiensi dan Efektivitas

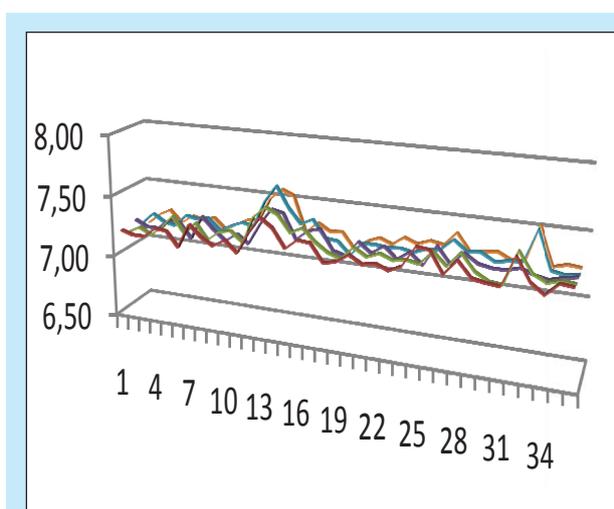
Jika dilihat dari efisiensi pemrosesan data, maka sistem *batch* lebih diunggulkan. Sistem *batch*, sekali memproses data dalam jumlah yang cukup besar sehingga biaya per unitnya akan rendah. Sedangkan mengenai efektivitas, dimana jeda waktu pemrosesan tidak terlalu berpengaruh dan dianggap sistem *batch* ini masih sesuai dengan kebutuhan.

Hasil Uji Sistem Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan melakukan uji sensor dan *motor stepper* dan sistem pendukung secara keseluruhan. Hasil pengujian dalam bentuk tabel dapat dilihat seperti gambar 10.

IV. DISKUSI

Pada sistem ini, perangkat rotasi mekanik memegang peranan penting terhadap hasil citra. Dari grafik Gambar 9 dapat diketahui bahwa saat jumlah langkah motor $X=0$, posisi sudut rotasi juga $Y=0^\circ$. Kondisi ini menunjukkan sistem elektromekanik gerak rotasi sangat baik. Dari grafik tersebut diperoleh ketelitian gerak rotasi motor langkah sebesar 0,9 derajat/langkah dan memiliki deviasi standar $SD=0$. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem elektromekanik gerak rotasi untuk memperoleh nilai (ΔY_φ) memiliki karakteristik



Gambar 11
Grafik Hasil Pengolahan Data.

sangat baik dan sesuai yang diharapkan. Pengujian tersebut sangat diperlukan karena ketepatan sudut rotasi menunjukkan ketepatan sudut pencitraan dan konsistensi hasil citranya (Suryono, Kusminarto & Suparta 2011).

Hasil pengujian perangkat elektronik transmitter dan receiver ultrasonik dapat dilihat melalui osiloskop digital. Dari gambar-8 terlihat yang dikirim dan sinyal pantulan jarak sinyal tersebut yang dihitung untuk menentukan jarak oleh mikrokontroler. Dari sinyal yang diperoleh dapat diketahui adanya anak gelombang pantul yang bisa berperan sebagai derau (noise) pengganggu yang bisa berkontribusi terhadap kesalahan pengukuran. Kesalahan tersebut akan berakibat kepada ketidak stabilan hasil pengukuran (Supardan et al. 2007).

Mikrokontroler berperan untuk menghitung waktu sebagai penentu jarak. Dari teori diperoleh $TOF = 1,8088 \mu s$. Mikrokontroler harus membangkitkan pulsa ultrasonik terlebih dahulu sebelum mengaktifkan pencacah TOF sehingga mengakibatkan penundaan waktu. Selain itu dalam menjalankan perintah program pencacahan, mikrokontroler memerlukan siklus mesin yang juga menghasilkan penundaan waktu (Suryono 2007).

Hasil akhir dari penelitian ini adalah profil citra permukaan obyek gambar 11. Dari pengolahan data tersebut diperoleh bentuk grafik hasil akusisi. Dari grafik tersebut dapat dilakukan interpretasi data secara keseluruhan dari hasil akusisi. Terdapat 3 variabel yang dapat ditampilkan pada grafik tersebut yaitu waktu/kedalam, profil jarak pengukuran permukaan serta sudut putar pengukuran. Untuk dapat digunakan untuk interpretasi pada titik yang diinvestigasi maka diambil data yang disesuaikan dengan waktu pencuplikan (Suryono et al. 2010). Hasil pengukuran pada titik yang diinvestigasi, dari penghitungan tersebut dapat ditentukan nilai jarak terendah dan tertinggi serta standar deviasi pengukuran yang mencerminkan tingkan kekasaran (fluktuasi dari pipa) (Supardan et al. 2007). Dari standar deviasi yang diperoleh dapat diketahui bahwa kondisi permukaan positif dan negatif terhadap nilai rata-rata. Dari penghitungan diperoleh kesimpulan bahwa permukaan mengalami fluktuasi dan tidak melebihi 0,25 cm atau 2,9%. Dengan kata lain, obyek lubang tersebut memiliki kerataan relatif 97,1%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Alat yang telah dikembangkan sudah bisa untuk mengidentifikasi dinding dengan permukaan tidak rata dengan keakuratan 1 milimeter

Semua sistem sudah berfungsi dengan baik yaitu sistem elektronika, sistem mekanikal dan sistem komputer terbukti pada saat uji sistem keseluruhan dimana sudah bisa mengidentifikasi dinding serta berputar sesuai dengan kebutuhan .

Saat ini sistem akusisi menggunakan sistem data logger untuk operasi dilapangan

Alat Inspeksi Sumur bekerja dengan cara berputar 360 derajat dengan step yang bisa di setel sesuai data yang dibutuhkan.

Alat ini akan lebih murah (TKDN > 70 %) dan mudah dalam operasionalnya sangat sesuai untuk operator kecil dan menengah (swasta nasional)

KEPUSTAKAAN

- Barrett, S.F., and Pack, D.J., 2008**, Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing, Morgan & Claypool, Colorado.
- Bushberg, Jerrold T., J. Anthony Seibert, Edwin M. Leidholdt Jr., and John M. Boone, 2001**, The Essential Physics of Medical Imaging, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia USA.
- C. Davatzes Nicholas, 2009**, "Borehole Geophysics-Image Tools", Temple University.
- Cracknell, A.P., 1980**, Ultrasonics: Theory and Applications, Wyke-hamm Publication Ltd, London.
- Darling Toby, 2005**, "Well Logging and Formation Evaluation", Gulf Professional Publishing, Elsevier, USA.
- Hendee, RW., and Ritenour E. R., 2002**, Medical Imaging Physics, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Krautkramer, J. , and Krautkramer, H., 1990**, Ultrasonic Testing of Materials, Springer-Verlag, Berlin.
- M. Tole Nimrod, 2005**, Basic Physics of Ultrasonographic Imaging, World Health Organization.
- Martins, J.L., Soares, J.A., and Silva, J.C., 2007**, Ultrasonic Travel-time Tomography in Core plugs, Geophysics Engineering Journal, Volume 4 2007 pages 117–127.
- Mitri F.G., Kinnick R.R., Greenleaf J.F., and Fatemi M., 2009**, Continuous-wave Ultrasound Reflectometry for Surface Roughness Imaging Applications, Ultrasonic Journal, Volume 49 pages 10–14.
- Prof (R). Dr. Suprayitno Munadi, Drs. Bambang Triharjanto, 2005**, Mengenal Full Waveform Sonic Log dan Borehole Televiewer, Pusat Penelitian dan Pengembangan Mineral dan Batubara, Bandung.
- Rahim, R.A., Rahiman, H.M.F., Chana, K.S, and Nawawi, S.W., 2007**, Non-invasive Imaging of Liquid/gas Flow Using Ultrasonic Transmission-mode Tomography, Sensors and Actuators Journal A: Physical, Volume 135, Issue 2, 15 April 2007, Pages 337-345.
- Rahiman, H.M., Rahim, A.R., and Zakaria Z., 2008**, Design and Modeling of Ultrasonic Tomography for Two-component High-acoustic Impedance Mixture, Sensor and Actuator A : Physical Volume 147 p. 409-414.

- Rose, L.J., 1999**, Ultrasonic Wave in Solid Media, Cambridge University Press, Boston.
- Sukmana, D.D., and Ihara, I., 2006**, Novel Noncontact Method for Characterizing Surface Profile by Air-Coupled Ultrasound Scattering, Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal, Volume 8 pages 248-255.
- Supardan, D.M., Masuda, Y., Maezawa, A., and Uchida, S., 2007**, “The Investigation of Gas Holdup Distribution in a Two-phase Bubble Column Using Ultrasonic Computed Tomography”, Chemical Engineering Journal, Volume 130 pages 125–133.
- Suryono, 2007**, Identifikasi Sederhana Beberapa Jenis Gas Menggunakan Gelombang Pulsa Ultrasonik, Prosiding Seminar Nasional Kimia 2007 FMIPA UNDIP Semarang.
- Suryono, Kusmarto, GB Suparta., 2010**, Rancang Bangun Pembangkit Pulsa Ultrasonik untuk Material Padat Berbasis Microcontroller., Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI hal 247 - 251, Semarang, 10 April 2010.
- Suryono, Kusminarto, Suparta G.B., 2010**, Estimation of Solid Material Surface Roughness Using Time-of-Flight Ultrasound Immerse Transducer, Journal of Materials Science and Engineering, USA, vol. 4 No.8, pp. 36-29.
- Syafrudin Agus, Suryono, E.Suseno Jatmiko, 2008**, Rancang Bangun Generator Pulsa Gelombang Ultrasonik dan Implementasinya untuk Pengukuran Jarak Antar Dua Objek, Berkala Fisika, ISSN 1410 – 9662, UNDIP, Semarang.