

Pengembangan Sistem Antarmuka pada Aplikasi Pendeteksi Persentuhan antara Mata Pahat dan Benda Kerja menggunakan Piezoelektrik Pasif

Gandjar Kiswanto^{1, a *} dan Teguh Santoso^{1, b}

¹Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia 16424 Depok Jawa Barat, Indonesia
email: ^agandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id, ^bteguh27@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan pada persiapan proses pemesinan yaitu dalam mendapatkan posisi nol, dimana posisi tersebut merupakan acuan bagi keberlangsungan selama proses pemesinan. Hal tersebut memiliki peranan yang penting dalam mendukung produktifitas pada sebuah mesin perkakas. Fokus utama yang ingin dicapai adalah mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mendapatkan posisi nol relatif terhadap benda kerja dan kemudahan dalam proses persiapan melalui sistem antarmuka yang telah dikembangkan. Pengembangan sistem antarmuka yang dirancang terdiri dari penggunaan sensor piezoelektrik pasif dengan spesifikasi tertentu dan modul data akuisisi yang dimana mampu diintegrasikan dengan modul pengendali aktuator. Sistem yang terintegrasi tersebut dibuat dalam basis pemrograman LabView. Perangkat otomatisasi yang telah dikembangkan, sesuai dengan parameter-parameter penting yang dibutuhkan yaitu akurat, efisien, handal, dan murah. Hasil dari eksperimen yang telah dilakukan meninjau sinyal-sinyal yang dihasilkan, dimana berhubungan dengan fenomena bersentuhnya benda kerja dan mata pahat. Sehingga, metode ini bisa diimplementasikan untuk kebutuhan kepresisian tingkat tinggi pada sistem manufaktur dan pemesinan makro, mini, dan mikro.

Kata kunci : Piezoelektrik, Pemesinan, Data Akuisisi, Labview

Latar belakang

Mendeteksi posisi nol sumbu x, y, dan z pada benda kerja merupakan hal yang sangat penting bagi keberlangsungan proses pemesinan. Terutama pada saat akan memulai proses pemesinan pada benda kerja yang telah dikenai proses produksi sebelumnya (seperti produk-produk hasil pengecoran dan lain-lain).

Maka berdasarkan kasus tersebut aspek kepresisian dalam mendapatkan posisi nol sumbu x, y, z harus mampu dicapai dengan maksimal. Pada prosesnya upaya tersebut dibatasi oleh aspek metrologi yang telah ditetapkan. Dimana setelah proses pemesinan, produk yang dihasilkan tidak boleh melebihi dimensi dengan toleransi yang telah ditentukan.

Sesuai dengan perkembangan terkini pada teknologi mesin produksi, khususnya pada mesin perkakas selalu terbaru. Produsen-produsen mesin perkakas bersaing dalam menciptakan fitur-fitur yang memudahkan operator seperti saat mempersiapkan proses pemesinan atau membantu menentukan nilai-nilai parameter yang tepat untuk proses pemesinan tertentu. Hal tersebut terjadi karena selalu timbul berbagai kebutuhan yang harus dimiliki oleh mesin perkakas dalam rangka meningkatkan produktifitasnya sebagai mesin produksi pada skala makro, mini, dan mikro.

Dengan bertujuan menghasilkan produk dengan kualitas yang terbaik dan memiliki lama waktu produksi yang efisien.

Akibatnya pencapaian teknologi industri manufaktur secara global semakin berkembang pesat dan dibutuhkan. Perkembangan tersebut ditandai dengan kapasitas dan kemampuannya dalam memproduksi komponen-komponen berukuran makro, mini, dan mikro. Sehingga para pihak industri pada akhirnya akan membentuk suatu hubungan yang saling berkesinambungan, dimana industri-industri yang ada saling mendukung sesuai dengan kapabilitas teknologi produksi yang dimilikinya. Keadaan itu secara tidak langsung akan membentuk suatu sistem yang terintegrasi dalam rangka menghasilkan suatu produk jadi.

Karenanya pada salah satu teknik, yaitu mereferensikan posisi mata pahat terhadap benda kerja menjadi sebuah tantangan dalam mencapai tingkat akurasi yang dihasilkan serta memaksimalkan aspek efisiensi waktu yang dibutuhkan pada proses tersebut. Sehingga dalam mengupayakannya, sistem yang dikembangkan menggunakan spesifikasi sensor dengan sensitifitas tinggi. Dengan harapan memiliki kemampuan untuk mendapatkan kepresisian yang sangat akurat saat proses pendeteksian atau persentuhan berlangsung.

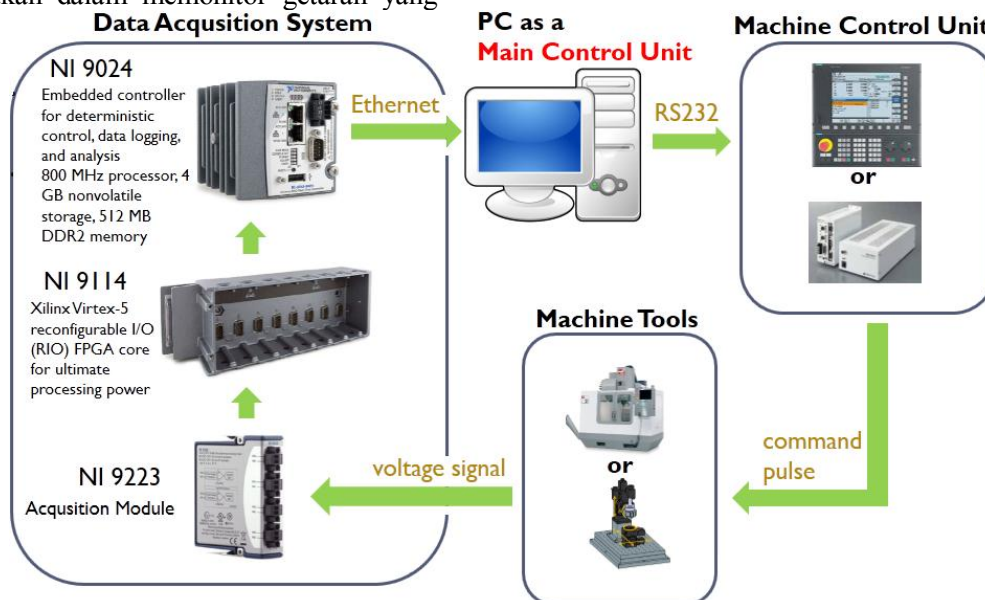
Pada umumnya dimasa kini untuk mendeteksi

posisi mata pahat relatif terhadap benda kerja dapat menggunakan *dynamometer* atau *touch probe*. Untuk *dynamometer* penerapannya dapat diaplikasikan pada pemesinan makro, mini, dan mikro. Sedangkan pada *touch probe* hanya dapat diterapkan pada pemesinan makro dan mini hingga saat ini. Disebabkan oleh keterbatasannya dalam memproduksi komponen pendukungnya berukuran mikro. Selain daripada itu *Dynamometer* yang berada dipasaran memiliki keterbatasan pada rentang frekuensi yang dapat diterima, yaitu getaran pada frekuensi tinggi. Sehingga ada kemungkinan bahwa getaran yang dihasilkan saat pemesinan berada di sekitar frekuensi pribadi *dynamometer*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut sensor piezoelektrik menjadi pilihan yang cukup tepat untuk digunakan dalam memonitor getaran yang

merambat pada suatu material. Sehingga dalam hal ini penerapan sensor piezoelektrik tersebut sangat mumpuni dalam menangkap sinyal yang dihasilkan ketika mata pahat menyentuh benda kerja.

Spesifikasi rentang frekuensi yang mampu ditangkap oleh sensor piezoelektrik diperkirakan mencapai ± 1 Mhz. Tentunya sistem data akusisi yang dirancang pun harus disesuaikan dengan spesifikasi piezoelektrik tersebut, serta dikaitkan dengan modul pengendali aktuatur yang dimana saling berkesinambungan pada prosesnya dalam satu buah sistem.

Pada berikutnya perancangan sistem yang telah terintegrasi ini akan dijelaskan dengan seksama. Dimana pada algoritma yang digunakan berbasis kepada pemrograman LabView.



Gambar 1. Skema sistem integrasi

Pengembangan Sistem Integrasi

Adapun metode dan sistem yang dikembangkan pada eksperimen ini adalah mengintegrasikan sistem penggerak aktuatur pada *main control unit* dengan sistem data akusisi sensor piezoelektrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

Sistem data akusisi tersebut menggunakan modul NI 9223 masukan analog dengan kemampuan maksimal menerima data ± 1 MS/s (1 juta data/detik). Selain itu juga dilengkapi oleh kontroler NI 9024 yang berfungsi untuk melakukan proses *buffering* dan *calculating data* yang berasal dari modul NI 9223. Sistem integrasi ini diperuntukkan kepada sensor piezoelektrik yang mempunyai kapasitas sensitifitas tinggi. Spesifikasi tersebut diperlukan agar mampu mengidentifikasi getaran yang dihasilkan oleh proses awal persentuhan mata pahat dengan benda kerja yang memiliki putaran *spindle* sangat tinggi ($\pm 60.000 - 100.000$ RPM).

Modul aktuatur (MCU) yang digunakan pada sistem integrasi ini dikendalikan oleh komputer yang berfungsi sebagai perantara dalam memberikan perintah pergerakan sumbu motor tertentu serta juga melakukan



Gambar 2. Modul RealTime dan FPGA

komunikasi 2 arah dengan kontroler NI 9024 melalui Ethernet dalam proses pendeteksian.

Algoritma dan Sistem Antarmuka

Pada gambar 3, beberapa hal perlu diperhatikan terkait proses *realtime* yang ingin dicapai, dimana akan mempengaruhi besarnya kerusakan pada benda kerja ketika persentuhan terjadi. Hal tersebut ditentukan oleh performa pada tiap modul yang memiliki tugas masing-masing. Proses-proses tersebut dimulai dari data dikumpulkan, dikirimkan, diproses, dan dieksekusi. Kesemua proses itu tentu membutuhkan periode waktu tertentu, sesuai spesifikasi perangkat keras yang digunakan. Maka untuk mendapatkan respon yang sangat cepat, perancangan sistem integrasi ini memaksimalkan kemampuan dari proses akuisisi data.

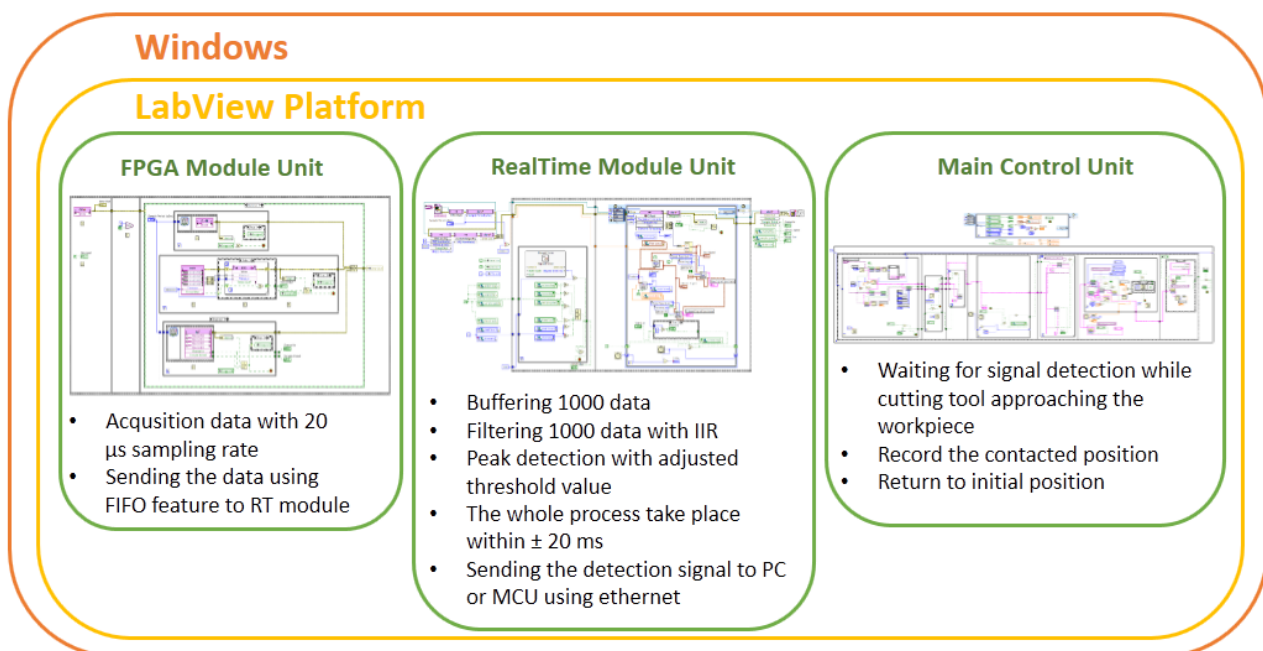
Pemrograman LabView yang diterapkan pada sistem integrasi ini terbagi menjadi 3 unit (lihat gambar 3). Algoritma pemrograman tersebut saling berkesinambungan, dimana masukan dan keluaran yang dihasilkan masing-masing unit telah diatur sedemikian rupa.

Pada unit modul FPGA algoritma yang dibuat berfungsi untuk mengakuisisi data dengan *sampling period* yang telah ditentukan, kemudian tiap data tersebut langsung dikirimkan kepada unit modul RealTime menggunakan fitur FIFO. Tahapan akuisisi ini terjadi pada modul Chassis (lihat gambar 1).

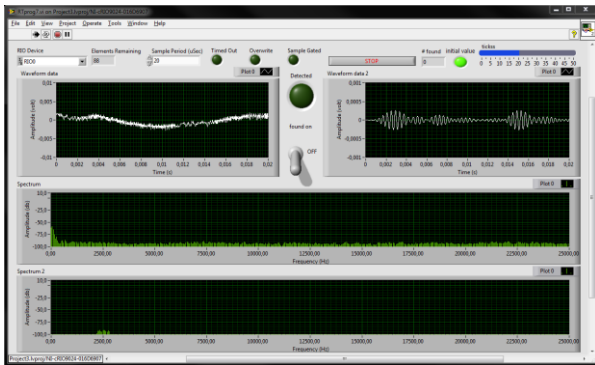
Keberlangsungan antrian dan pengumpulan data pada unit modul RealTime, perlu dijaga secara

kontinyu dan stabil. Maka dari itu, mempertimbangkan pemilihan spesifikasi perangkat keras sangatlah penting. Terutama pada aspek *clock speed*. Pada unit modul RealTime proses *buffering* diatur hingga 1000 buah data, yang kemudian data - data tersebut dikenai proses *filtering* butterworth IIR (infinite impulse response) untuk melemahkan sinyal-sinyal data pada frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan. Sehingga mampu mendeteksi perilaku yang tidak normal, yaitu pada saat terjadinya persentuhan antara mata pahat dan benda kerja. Total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *buffering* dan *filtering* dijaga dalam periode ± 20 ms. Setelah persentuhan terdeteksi, unit modul RealTime mengirimkan perintah kepada *Main Control Unit* pada komputer untuk mengetahui posisi persentuhan yang telah terdeteksi, yang kemudian secara serentak mengembalikan posisi mata pahat kembali ke posisi semula. Untuk mengakomodasi kesempurnaan sistem dan algoritma yang dirancang, maka sistem integrasi ini dilengkapi oleh *graphical user interface* (sistem antarmuka). Sistem antarmuka yang dirancang terdiri dari 2 buah yaitu :

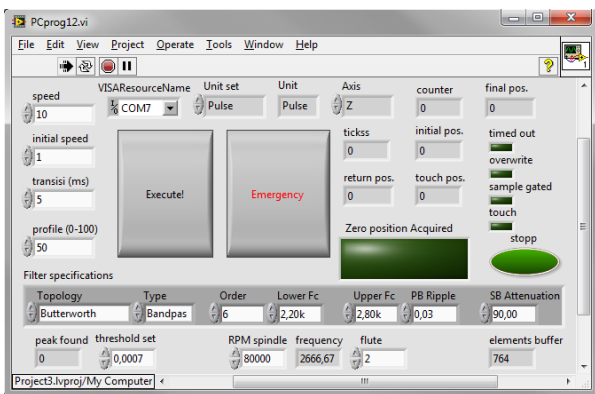
1. Sistem antarmuka pada unit modul RealTime berfungsi untuk memonitor keberlangsungan *buffering* dan *filtering* data.
2. Sistem antarmuka pada *main control unit* berfungsi untuk mengatur pergerakan aktuator dan parameter-parameter yang diperlukan kontroler.



Gambar 3. Algoritma keseluruhan sistem



Gambar 4. GUI pada unit modul RealTime



Gambar 5. GUI pada Main Control Unit

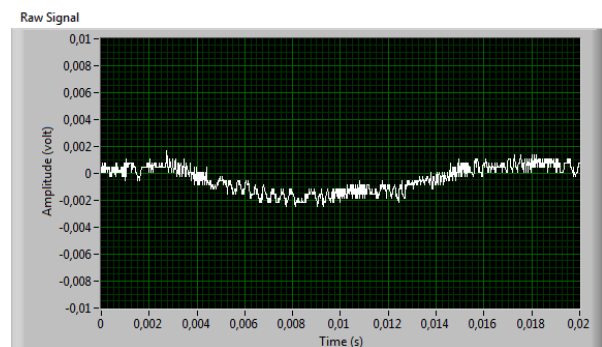
Pada sistem antarmuka unit modul RealTime, hanya terdapat informasi yang berkaitan dengan data. Seperti, mengetahui bentuk sinyal dan respon frekuensi sejumlah data yang telah diatur, serta mendeteksi kejadian proses persentuhan (*peak detection*). Disamping itu juga dapat memonitor proses *buffering* data yang terjadi, sehingga pengguna akan mengetahui jika telah terjadi ketidakstabilan dalam proses *buffering*. Sedangkan pada sistem antarmuka *main control unit* berfungsi untuk melakukan masukan berupa parameter-parameter yang diperlukan sebelum memulai proses pendeteksian. Parameter-parameter tersebut seperti RPM *spindle*, kecepatan pergerakan motor, sumbu axis pergerakan, dan lain-lain.

Pembagian yang terjadi pada fungsi dan antarmuka yang dirancang dalam sistem integrasi ini bertujuan untuk mengurangi beban penggunaan *resource* pada kontroler NI 9024. Disamping itu, pada bagian kontroler, terdapat beberapa tugas seperti, untuk memonitor dan melakukan proses *buffering-filtering* data. Dimana pada akhirnya jika proses-proses tersebut diakumulasikan akan membutuhkan *resource* yang besar agar mampu memproses kesemuanya dengan stabil. Selain daripada itu sistem integrasi ini juga diperlukan untuk mengendalikan motor secara langsung melalui komunikasi 2 arah dengan masing-masing *driver* motor, yang merupakan fungsi dari *main control unit*.

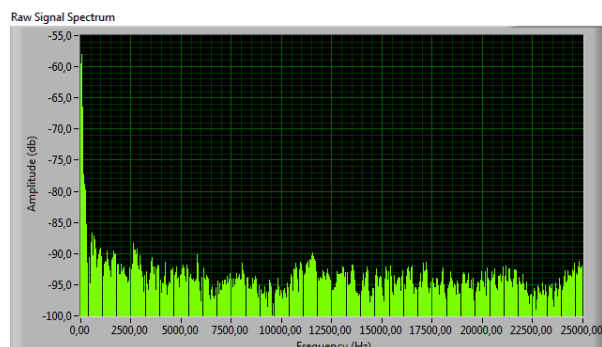
Uji dan Pembahasan Signal

Pada hasil pengujian, sinyal mentah tersebut memiliki nilai amplitudo sebesar ± 2 mV (gambar 6). Bentuk sinyal yang muncul dipengaruhi oleh kehadiran dari berbagai macam instrumen dan perangkat-perangkat yang ada disekitarnya. Pengaruh tersebut bisa berupa sesuatu yang bergetar pada skala makro ataupun pada skala mikro, dimana pada skala makro tentunya amplitudo yang dihasilkan akan lebih besar dibanding pada skala mikro.

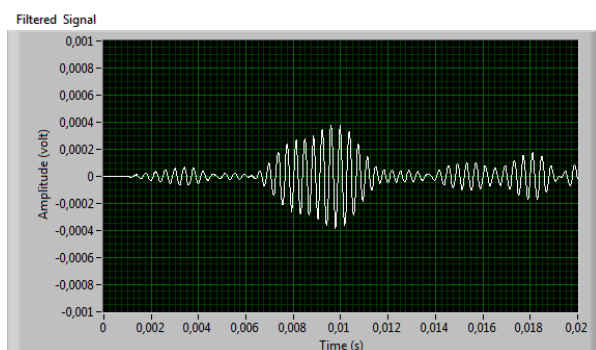
Untuk skala makro kontribusi getaran cukup besar didapatkan dari putaran *spindle* sedangkan untuk skala mikro didapatkan dari motor penggerak yang berada dekat pada letak piezoelektrik. Pendeteksian getaran pada skala mikro juga didukung oleh kecepatan dari *sampling rate* data akusisi yang digunakan. Hal ini disebabkan karena performa dari sensor piezoelektrik yang memiliki sifat sangat sensitif dalam mendeteksi getaran. Sinyal yang muncul tersebut mempunyai pola yang sama dan periodik, sehingga perilaku sinyal ini merupakan kondisi awal yang ditetapkan untuk dibandingkan dengan perilaku sinyal pada saat proses pendeteksian berlangsung.



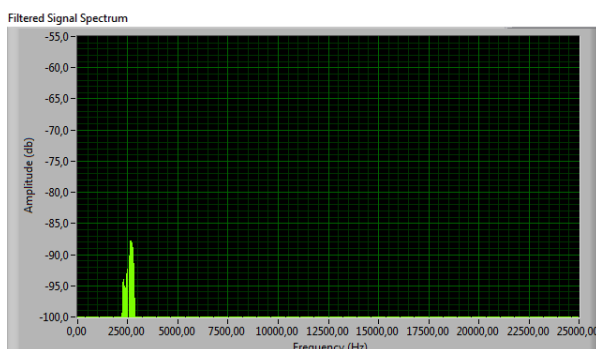
Gambar 6. Sinyal mentah



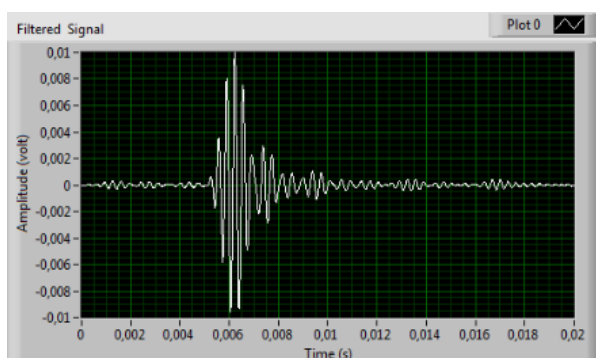
Gambar 7. Frekuensi sinyal mentah



Gambar 8. Sinyal tersaring



Gambar 9. Frekuensi sinyal tersaring



Gambar 10. Sinyal ledakan emisi akustik

Untuk meninjau lebih lanjut pada sinyal kondisi awal, maka dilihat sebaran frekuensi yang ada dengan respon frekuensi (lihat gambar 7). Transformasi data sinyal tersebut berlangsung pada tiap 1000 sampel, dimana disesuaikan dengan jumlah data sinyal yang ada pada proses *buffering* saat akuisisi data. Pada gambar 7, amplitudo *gain* yang tinggi berada dibawah 1,5 kHz, karena dibawah frekuensi tersebut banyak fenomena-fenomena mekanis maupun elektrik disekitar pengujian. Sehingga secara tidak langsung akan diterima dan dirasakan oleh piezoelektrik sesuai dengan frekuensi getarnya masing-masing pada tiap fenomena.

Pada gambar 10 memperlihatkan kejadian sesaat dimana mata pahat telah menyentuh benda kerja (persentuhan terdeteksi). Terlihat dengan jelas perbedaan amplitudo pada *noise* dan ledakan emisi akustik yang muncul. Dimana untuk *noise*

nilai amplitudo dibawah 0,5 mV sedangkan untuk ledakan emisi akustik melebihi ± 10 mV.

Berdasarkan literatur nilai amplitudo yang dihasilkan sangat bergantung kepada energi elastis yang dimiliki oleh masing-masing jenis material. Pada pengujian ini digunakan material aluminium karena memiliki energi elastis yang lebih kecil dibanding logam lainnya. Dengan tujuan menguji seberapa sensitif reaksi piezoelektrik terhadap material yang memiliki energi elastis cukup kecil.

Selain daripada itu, melihat pada gambar 4 terdapat indikator *looping time* yang terhitung tetap konsisten berada pada perioda 20 ms atau bahkan kurang. Sehingga bisa disimpulkan keefektifan program yang berjalan dinilai sangat baik, dimana hal ini sangat dibutuhkan mengingat perlunya respon yang cepat untuk mengirim perintah ke *main control unit* lalu dilanjutkan ke perangkat *driver* motor untuk menggerakkan arah sebaliknya terhadap putaran motor (untuk menghindari kerusakan pada benda kerja yang berlebih).

Kesimpulan

Penelitian ini telah merancang sebuah fitur pelengkap dalam rangka memudahkan proses persiapan pemesinan. Serta juga memberi kemudahan dalam proses berlangsungnya pemesinan, yaitu saat melakukan penggantian mata pahat. Aplikasi sistem perangkat otomasi ini dibuat dengan mengintegrasikan *Machine Control Unit* (MCU) dan Sistem Data akuisisi National Instruments, dimana integrasi tersebut digabung melalui sebuah sistem perangkat lunak yaitu *platform* LabView. Sistem perangkat lunak yang dibuat menghasilkan antarmuka yang memudahkan pengguna dalam menggunakan aplikasi sistem ini.

Dari hasil pengujian menunjukkan beberapa hal diantaranya :

1. Berdasarkan performa dari sistem perangkat lunak yang telah dibuat, menunjukkan bahwa kinerja tersebut cukup handal dan sudah mampu diaplikasikan untuk kebutuhan pemesinan (sesuai fenomena yang terjadi pada gambar 10).
2. Untuk mendapatkan hasil kerusakan yang sangat minimal pada permukaan benda kerja maka dibutuhkan kecepatan yang tinggi pada proses akuisisi data. Disamping itu juga dibutuhkan kecepatan yang tinggi juga pada unit kontroler yang digunakan dalam memproses data.
3. Pada pengujian ini mampu mencapai kecepatan proses data sebesar 20 ms untuk melakukan akuisisi dan *filtering data*. Dimana durasi *looping* tersebut sangat stabil dalam menjaga proses sekuensial yang berjalan ketika aplikasi sistem tersebut beroperasi.

4. Resolusi pergerakan motor akan mempengaruhi hasil kerusakan, namun parameter ini memiliki kompensasi terhadap lamanya waktu yang dibutuhkan dalam mendeteksi persentuhan.

Referensi

[1] Zhao Meng, HE Ning, Li Liang, and Huang Xunbin, "Method of precise auto tool setting for micro milling," Transactions of Tianjin University, Vol. 17(4), pp. 284-287, 2011.

[2] Hyung Wook Park, Young Bin Park, and Steven Y. Liang, "Non-contact measurement methods for micro- and meso-scale tool positioning," The International Journal of Advance Manufacturing Technology, Vol. 60(1-4), pp. 251-260, 2012.

[3] K. Popov, S. Dimov, A. Ivanov, D. T. Pham, and E. Gandarias, "New tool-workpiece setting up technology for micro-milling," The International Journal of Advance Manufacturing Technology, Vol. 47(1-4), pp. 21-27, 2010.

[4] Mukund Kumar, Kavi Dotson, and Shreyes N. Melkote, "An experimental technique to detect tool-workpiece contact in micromilling," Journal of Manufacturing Processes, Vol. 12(2), pp. 99-105, 2010.

[5] Keith A. Bourne, Martin B. Jun, Shiv G. Kapoor, and Richard E. DeVor, "An acoustic emission-based method for determining contact between a tool and workpiece at the microscale," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 130(3), 031101, 2008.

[6] S. Min, J. Lidde, N. Raue, and D. Dornfeld, "Acoustic emission based tool contact detection for ultra-precision machining," CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 60(1), pp. 141-144, 2011.

[7] S. Min, H. Sangermann, C. Mertens, D. Dornfeld, "A study on initial contact detection for precision micro-mold and surface generation of vertical side walls in micromachining," CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 57(1), pp. 109 - 102, 2008.

[8] Angela A., Sodemann, and J. Rhett Mayor, "Parametric investigation of precision in tool-workpiece conductivity touch-off method in micromilling," Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Vol. 37(2), pp.565-572, 2009.

[9] Hellier, Charles J., "Acoustic emission testing," McGraw Hill, Handbook of nondestructive evaluation, 2001.

[10] D.E. Lee, I. Hwang, C.M.O. Valente, J.F.G. Oliveira, D.A. Dornfeld, "Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 176-188, 2006.