

Improving The Work Efficiency in Production Process By Making An Automatic Welding Insert Nut Machine. Case Study in Music Industry

Paryana Puspaputra¹, Ferdi Arrahman¹, Syamsuddin D.S.², M. Syafatahillah²

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia – Yogyakarta

² PT. Yamaha Indonesia – Jakarta

*Corresponding author: paryana@uii.ac.id

Abstract. Start from the situation where the solder's tip on insert nut machine is frequently bent when it is operated. This situation is of course affects the speed and quality of product. Welding insert nut machine is used to insert bronze nut into plastic material by heating the bronze nut. Using this process the nut is tightly inserted and strongly hold by melted plastic. From the observation and group discussion, it is showed that there was a discrepancy work that do not follow the work instruction. Indeed, the discrepancy work was toward the working process faster, but also kept the operator did it repeatedly, then it caused the solder broken. Furthermore, strength of solder was not enough to hold the working forces. It is understood that the solder was not designed to receive the high force when it is used. This paper is deal with the solution of that situation. Welder insert nut machine was made by introducing automation in its mechanism. Machine was designed to work when all required parameter is reached and finally prevent the solder tip's bendings and improve its productivity. Data shows that it shorten of working time more than 10 seconds faster and operator's working time efficiently up to 90 second or 72.5 % from working time of the previous machine.

Abstrak. Penelitian ini dipicu oleh kondisi dimana terjadi pembengkokan pada solder mesin *welding insert nut* pada produksi *music desk* piano dan aktivitas *kaizen* pada rantai produksi untuk efektivitas maupun efisiensi kerja. Perlu diketahui bahwa mesin *welding insert nut* digunakan untuk meletakkan *nut* berbahan kuningan ke dalam material plastik dengan cara dipanaskan dan ditekan pada suhu leleh plastik. Dengan cara tersebut maka *nut* kuningan akan terpasang dengan kuat karena dipegang oleh plastik yang dilelehkan. Dari pengamatan dan diskusi kelompok ditemukan adanya perlakuan kerja operator terhadap mesin yang kurang sesuai dengan petunjuk kerja sehingga berdampak buruk pada solder. Bagaimanapun solder pada dasarnya bukan alat pemanas yang berfungsi untuk menerima gaya tekan. Untuk mengatasi situasi tersebut maka dibuatlah mesin automatic welder insert nut yang diharapkan mampu mencegah terjadinya pembengkokan pada solder sekaligus mempercepat proses kerja lebih dari 10 detik dan mampu mengefisienkan waktu kerja operator hingga 90 detik atau 72.5% dari total waktu kerja terhadap mesin sebelumnya.

Keywords: CNC, desain produk, efektifitas, efisiensi, *insert nut welder*, otomasi, waktu standar kerja.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Dalam proses produksi alat musik piano, material yang digunakan sebagian besar adalah kayu sebagai bahan utamanya. Namun demikian terdapat juga bagian (biasa disebut *kabinet*) dari piano yang berbahan selain kayu, yaitu plastik. Salah satu contoh produk yang berbahan plastik adalah *music desk* piano yang menggunakan mesin *welding insert nut* (*insert nut*).

Kaizen sebagai bagian dari aktivitas utama perusahaan memiliki implikasi untuk selalu mendukung segala aktivitas yang berhubungan dengan perbaikan. Kaizen dilakukan untuk menjaga eksistensi perusahaan yang tidak hanya cukup dengan menangani masalah saja, tetapi juga peningkatan kualitas kerja.

Dalam rangka kaizen, masalah yang dihadapi pada mesin *insert nut* ialah bahwa setiap 7 hari

ujung solder harus diganti, dan setiap 30 hari batang solder juga demikian agar proses produksi tetap berjalan.

Hal tersebut terjadi karena ujung solder yang membengkok akibat beban kerja yang tidak sesuai dengan peruntukannya. Disamping itu masalah teknis muncul juga masalah kualitas kerja yang berhubungan dengan efektifitas ataupun efisiensi kerja mesin.

Oleh sebab itu solusi terhadap masalah seperti diatas tidak hanya sebatas mengobati kerusakan melainkan mencegah kerusakan sekaligus meningkatkan kualitas kerja mesin.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengatasi penyebab pembengkokan ujung solder yang terjadi pada mesin *insert nut*.
2. Meningkatkan keefektifan dan/ atau efisiensi kerja.

Mesin adalah peralatan yang digerakan oleh suatu kekuatan atau tenaga yang dipergunakan untuk membantu manusia dalam mengerjakan produk atau bagian-bagian produk tertentu [9]. Mesin *insert nut music desk* ialah alat yang digunakan untuk memproduksi *music desk* pada *upright piano*. Mesin ini beroperasi dengan baik. Akan tetapi mesin ini setiap 7 hari dan 30 hari harus mengganti komponen tertentu pada mesin *welding insert nut*. Permasalahan tersebut mendorong aktivitas kaizen untuk mengatasi permasalahan dan mengembangkan alat tersebut.

Terdapat dua kata kunci yang menjadi inti dari penyelesaian masalah ini yaitu program *kaizen* dan kenyataan adanya *deformasi* pada ujung solder.

Institut Kaizen mendefinisikan *Kaizen* sebagai istilah Jepang untuk perbaikan yang terus menerus. Menurut M. Imai, seorang praktisi ada tiga pilar dalam Kaizen, yakni *housekeeping*, *waste elimination*, dan standarisasi [6].

Sementara itu deformasi dalam ilmu sains material merujuk pada segala perubahan dalam bentuk atau ukuran suatu objek dikarenakan adanya sebuah pemberian gaya dan/ atau adanya perubahan temperatur. Adanya gaya yang bekerja akibat transfer energi dari pekerja. Gaya yang diberikan bisa berupa gaya tekan, gaya tarik, gaya geser, dan momen (torsi).

Pada sisi lain ada *Standard time* dimana dilakukan analisis pada pekerjaan yang spesifik. Diukur dengan pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja yang telah memenuhi syarat dalam rangka menentukan metode terbaik dalam hal waktu dan usaha. Akumulasi *time study* dibuat untuk menentukan *standar time* (ST) atau waktu standar.

Suatu pekerjaan yang sudah dilakukan berulang dan memiliki parameter yang tetap akan lebih mudah jika dilakukan secara otomatis. Dengan cara tersebut maka konsistensi produk, kecepatan serta kualitasnya dapat diduga.

Pengertian sistem otomasi secara sederhana adalah mengurangi keterlibatan manusia dalam proses produksi. Dengan begitu sistem otomasi dikelompokkan menjadi beberapa tingkatan [4], yaitu:

- *Device level* merupakan tingkatan terendah yang meliputi sensor, actuator, dan komponen lain yang membangun suatu mesin.
- *Machine level* merupakan gabungan daripada *device level* menjadi mesin individu, misal CNC, mesin *conveyor*, dan sebagainya. Pada tingkat ini fungsi pengendalian meliputi pelaksanaan langkah-langkah dalam program dengan benar.

- *Cell or system level* merupakan sistem manufaktur yang beroperasi dibawah instruksi skala pabrik. Tingkatan ini adalah sebuah grup yang terdiri dari mesin-mesin pada stasiun kerjanya dan telah didukung dengan sistem pengiriman materialnya.
- *Plant level* merupakan tingkatan yang bekerja dengan mendapatkan instruksi dari sistem informasi perusahaan berupa rencana proses produksi meliputi pemrosesan order, pengendalian persediaan, perencanaan kebutuhan material, proses produksi dan juga pengendalian kualitas.
- *Enterprise level* merupakan tingkatan tertinggi dimana bekerja untuk mengatur perusahaan itu sendiri meliputi pemasaran dan penjualan, akuntansi, desain, riset dan segala yang berhubungan dengan perusahaan.

Dari penggolongan tersebut, pengembangan mesin pada penelitian ini dapat digolongkan sebagaimana CNC Router. Secara umum mesin ini sama seperti mesin perkakas lainnya. Mesin *CNC router* menggunakan kontrol elektronik untuk mengarahkan sistem mekaniknya [3]. CNC router bisa bergerak dalam 3 arah yang mana biasanya bersumbu X, Y, dan Z. Setiap sumbu pada mesin CNC menggunakan sistem penggerak seperti motor, *lead/ ball screw* dan rel lurus. Tapi pada dasarnya semua mesin yang proses kerjanya dikendalikan oleh komputer disebut mesin CNC [2].

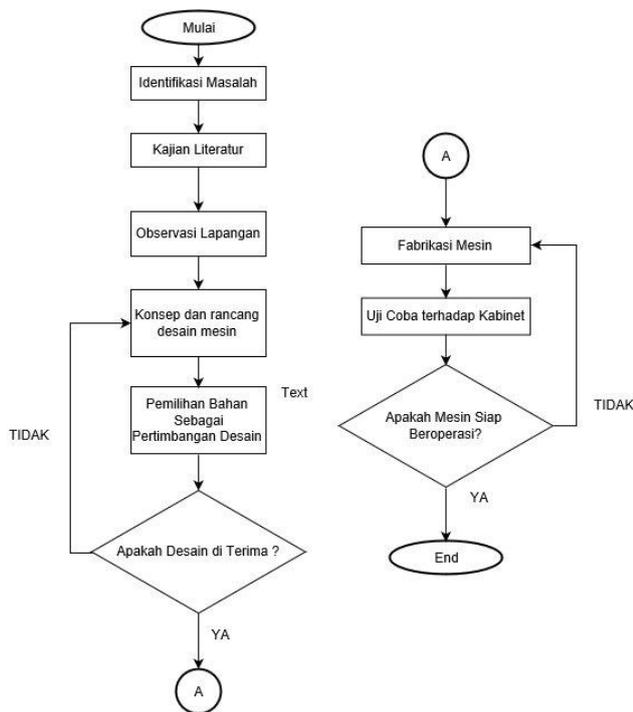
Pada pengendalian CNC, beberapa fungsi dikendalikan dengan sistem logika, misalnya batas lintasan sumbu (*travel*), lampu penerangan, pendingin, sistem keamanan pintu dan sebagainya.

PLC merupakan suatu piranti elektronik yang beroperasi secara digital untuk menjalankan fungsi-fungsi logika, seperti fungsi pencacah, fungsi urutan proses, fungsi pewaktu, fungsi aritmatika, dan fungsi lainnya. Fungsi-fungsi ini diprogram sebagai instruksi dan disimpan kedalam sebuah memori didalam PLC.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian dan perancangan ini dapat dilihat pada gambar 1, dimulai dari mengidentifikasi permasalahan yang sedang terjadi, mencari literatur terhadap penelitian/ perancangan sejenis sekaligus melakukan pengamatan lapangan kerja.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pemilihan bahan dan proses pembuatan sesuai konsep desainnya. Dengan cara tersebut maka desain mesin tersebut bisa direalisasikan. Langkah terakhir adalah uji coba mesin terhadap produk serta membuat perbaikan dari yang telah dihasilkan dari penelitian dan perancangan ini.



Gambar 1. Alur penelitian

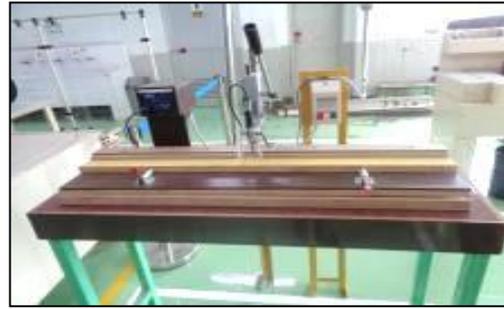
Desain Mesin Welding Insert Nut

Mesin ini digunakan untuk mengerjakan salah satu tahapan dalam memproduksi *music desk* yang bertujuan untuk merekatkan (*welding*) dua buah objek, yakni kabinet *music desk* dengan material plastik AS dan *nut* dengan material kuningan.

Mesin *insert nut* ini sebelumnya menggunakan mekanisme manual dan terdiri dari beberapa komponen utama seperti solder beserta tuas penekannya, dan jig. Gambar 2 menunjukkan mesin *insert nut* sebelum dilakukan perbaikan.

Prosedur kerja untuk mesin yang ada adalah bahwa sebelum melakukan proses pemasangan *nut*, operator diminta melakukan persiapan untuk memastikan kondisi mesin dan jig serta timer tidak

rusak. Lalu memastikan suhu solder sudah diatur pada angka 420°C.



Gambar 2. Mesin *Insert nut*

Langkah berikutnya adalah menyiapkan *nut* dan *music desk* dalam keadaan yang baik, lalu menurunkan tuas *welding* untuk menekan sambil memanasi *nut* hingga seluruh permukaan *nut* sama rata terhadap permukaan *music desk* AS.

Pada kenyataannya terkadang operator tidak memperhatikan kondisi tersebut. Jika suhu solder sangat tinggi maka operator tidak akan membutuhkan gaya yang besar saat mendorong *nut* masuk kedalam *music desk* dengan menggunakan solder tersebut karena material plastik AS meleleh pada saat *nut* dimasukkan. Namun karena tergesa-gesa maka suhu yang disyaratkan belum tercapai sehingga plastik belum benar-benar meleleh sehingga diperlukan gaya lebih untuk memasukkan *nut* ke dalam plastik. Keadaan inilah yang akhirnya membuat ujung solder bengkok dan menimbulkan masalah.

Dari faktor-faktor penyebab kerusakan solder mesin maka solusinya ialah selain mengganti batang dan tip solder, yaitu mengubah mekanisme pergerakan mesin *insert nut* dari manual menjadi otomatis. Dengan demikian mesin akan bergerak sesuai petunjuk kerja dan mengurangi aktivitas kerja operator sehingga mampu mengurangi beban kerjanya sekaligus mampu bergerak secara konsisten untuk menjaga kestabilan pemberian gaya tekan yang diterima oleh solder.

Pertimbangan dalam mendesain. Sebagai bahan pertimbangan untuk keberhasilan otomatisasi mesin *insert nut* maka ada banyak masukan dari hasil diskusi, diantaranya mekanisme pergerakan disertai pengontrolnya dan konstruksi mesin.

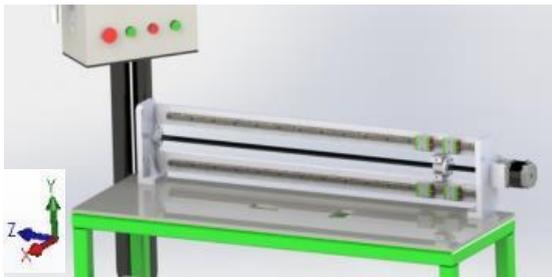
Mekanisme pergerakan mesin. Dalam upaya memilih mekanisme penggerak maka ada dua pilihan yang ditawarkan, yaitu menggunakan aktuator *pneumatic* berupa silinder atau menggunakan aktuator listrik berupa motor *stepper*. Diantara kedua pilihan tersebut memiliki kelebihan tersendiri diantaranya silinder *pneumatic* yang sudah banyak tersedia didalam ruang penyimpanan *PE Facility*, PT. Yamaha Indonesia. Selain itu

silinder *pneumatic* memiliki konsumsi biaya yang lebih rendah karena perusahaan telah mendirikan dan memiliki instalasi penghasil udara. Akan tetapi penggunaan silinder *pneumatic* tidak bisa diterapkan karena silinder *pneumatic* kurang baik untuk kepresisian gerakan.

Pada proses kerja yang mengharuskan kedalaman pemasangan *nut* tidak lebih dari 0.5 mm maka mekanisme penggerak harus lebih menekankan pada tingkat kepresisian yang tepat. Penempatan posisi yang akurat adalah salah satu kelebihan motor *stepper* jika dibandingkan silinder *pneumatic*. Adapun motor *stepper* yang digunakan adalah motor *stepper* yang memiliki BSA (*Basic Step Angle*) yang terkecil, yakni 0.72° untuk memastikan perpindahan solder berlangsung dengan teliti.

Konstruksi mesin. Konstruksi pada mesin baru mengadopsi konstruksi seperti pada mesin mini CNC Router karena mekanisme pergerakannya hampir sama. Tetapi mesin ini hanya membutuhkan pergerakan sebanyak 2 sumbu (*axis*) saja karena sumbu ke-3 digunakan untuk meletakkan jig. Bentuk dan desain jig mirip seperti mesin lama, akan tetapi ditambahkan *soft pneumatic clamp* sehingga bisa mencekam benda dengan lembut tanpa perlu menggunakan bantuan manusia (lihat gambar 3).

Komponen sumbu Z Komponen sumbu Z terdiri dari 2 tiang penumpu, 4 *LM Guide* disertai 2 relnya dan 2 *mounting*-nya, 2 *flange pillow block*, *ball screw* dan 1 motor *stepper* disertai *mounting*-nya.



Gambar 3. Sumbu Z mesin *insert nut*

Sumbu Z berfokus pada ketelitian dan kekuatan untuk menumpu konstruksi sumbu Y. Oleh sebab itu maka sumbu Z memiliki *ball screw* dengan *lead* 5 mm dan memiliki panjang 950 mm yang disesuaikan dengan panjang kabinet. Semakin besar diameter *ball screw* maka semakin kuat menumpu beban. Tetapi tidak dengan ketelitiannya. Berdasarkan perhitungan dibawah ini maka *ball screw lead* 5 mm mampu bergerak dengan ketelitian 0.01 mm per pulsa.

$$\text{Lead of ball screw} = 5 \text{ mm/put ball screw}$$

$$\frac{BSA}{360} = \frac{0.72}{360} = 500 \text{ pulsa/put motor stepper}$$

Maka setiap jarak 5 mm = 500 pulsa

Lalu berapa jarak perpindahan (mm) jika hanya 1 pulsa yang diberikan ?

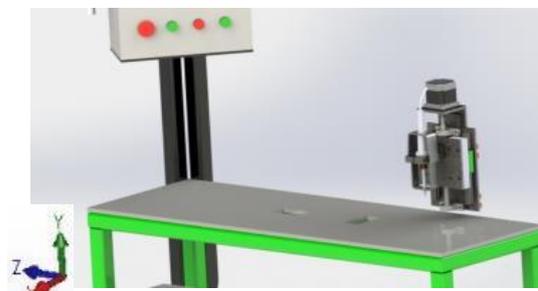
$$\text{Maka } \frac{5 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{1 \text{ pulsa}} \parallel x = \frac{(5 \text{ mm})(1 \text{ pulsa})}{500 \text{ pulsa}} \parallel x = 0.01 \text{ mm}$$

Berapa pulsa yang diberikan untuk x = 0.1 mm dan 0.5 mm?

$$\text{Maka } \frac{5 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{n \text{ pulsa}} \parallel n = \frac{(0.1 \text{ mm})(500 \text{ pulsa})}{5 \text{ mm}} \parallel n = 10 \text{ pulsa per } 0.1 \text{ mm}$$

$$\frac{5 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{n \text{ pulsa}} \parallel n = \frac{(0.5 \text{ mm})(500 \text{ pulsa})}{5 \text{ mm}} \parallel n = 50 \text{ pulsa per } 0.1 \text{ mm}$$

Komponen sumbu Y. Komponen sumbu Y terdiri dari solder dan *clamp*-nya, 2 *LM Guide* disertai 2 relnya, 2 *pillow block*, *ball screw* dan 1 motor *stepper* disertai *mounting*-nya.



Gambar 4. Sumbu Y mesin *insert nut*

Konstruksi sumbu Y (gambar 4) adalah komponen dinamis atau bergerak sepanjang mesin beroperasi. Maka dari itu *ball screw* sumbu Y berdiameter lebih kecil jika dibandingkan milik sumbu Z karena lebih hanya berfokus pada ketelitian pergerakannya. *Ball screw* milik sumbu Y menggunakan *ball screw* bertipe *roller* dengan *lead* 2 mm. Secara teoritis dengan mengabaikan sejumlah asumsi maka mekanisme pergerakannya memiliki ketelitian 0,004 mm per pulsa. Berikut perhitungannya.

$$\text{Lead of ball screw} = 2 \text{ mm/put ball screw}$$

$$\frac{BSA}{360} = \frac{0.72}{360} = 500 \text{ pulsa/put motor stepper}$$

Maka setiap jarak 2 mm = 500 pulsa

Lalu berapa jarak perpindahan (mm) jika hanya 1 pulsa yang diberikan ?

$$\text{Maka } \frac{2 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{1 \text{ pulsa}} \parallel x = \frac{(2 \text{ mm})(1 \text{ pulsa})}{500 \text{ pulsa}} \parallel x = 0.004 \text{ mm}$$

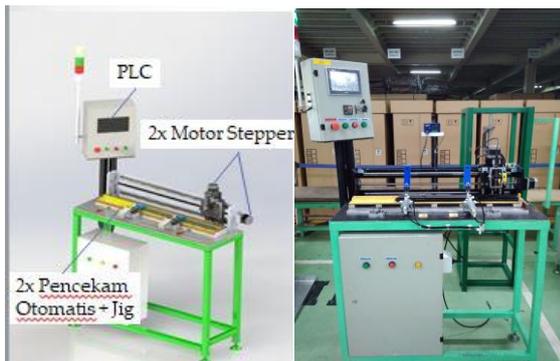
Berapa pulsa yang diberikan untuk x = 0.1 mm dan 0.5 mm?

$$\text{Maka } \frac{2 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{n \text{ pulsa}} \parallel n = \frac{(0.1 \text{ mm})(500 \text{ pulsa})}{2 \text{ mm}} \parallel n = 25 \text{ pulsa per } 0.1 \text{ mm}$$

$$\frac{2 \text{ mm}}{500 \text{ pulsa}} = \frac{x \text{ mm}}{n \text{ pulsa}} \parallel n = \frac{(0.5 \text{ mm})(500 \text{ pulsa})}{2 \text{ mm}} \parallel n = 125 \text{ pulsa per } 0.1 \text{ mm}$$

Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 5, sebelah kiri merupakan desain hasil perancangan mesin *welding insert nut* dengan menggunakan *software* SolidWork dan secara keseluruhan telah disetujui untuk difabrikasi seperti gambar diatas sebelah kanan.



Gambar 5. Hasil Perancangan dan Fabrikasi

Mesin ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan mesin sebelum dimodifikasi, yaitu mendorong *nut* hingga tenggelam kedalam *music desk*. Akan tetapi ada sedikit perbedaan dimana proses perekatan *nut* akan dibagi menjadi dua langkah, yaitu proses pemanasan *nut* terlebih dahulu kemudian proses mendorong *nut* layaknya mesin yang belum dimodifikasi.

Pada proses perekatan *nut*, mesin ini dibantu oleh *timer* yang terdapat didalam PLC. *Timer* ini sebagai pewaktu hitung mundur yang berfungsi saat solder memanaskan *nut* sehingga panas akan menyebar keseluruh permukaan *nut*. Panas yang menyebar akan mempermudah solder mendorong *nut* masuk kedalam *music desk* AS sehingga kerusakan solder dapat diminimalisir karena solder tidak akan menerima tekanan yang lebih besar.

Proses kerja seperti pada paragraf di atas sangat mudah untuk diterapkan pada mesin yang sudah diotomasi karena didesain menggunakan PLC sebagai kontrol proses kerja mesin dikarenakan banyak keuntungan seperti kemudahan dalam membuat dan memantau urutan kerja. Berikut alur proses kerja pada mesin *welding insert nut* otomatis (setelah *kaizen*).

Pengujian

Mesin *insert nut* baru hasil modifikasi yang telah melalui proses fabrikasi maka kemudian harus bisa lolos pada proses pengujian. Pengujian

menggunakan kabinet *music desk* yang sama dengan kabinet yang ada di saat produksi. Jumlah kabinet disetiap pengujian bervariasi tergantung dari hasil pada setiap pengujian. Gambar 6 mewakili proses pengujian mesin terhadap kabinet.



Gambar 6. Proses uji coba mesin

Dari hasil pengujian yang dilakukan, masih terlihat adanya sebagian tukang pada *music desk* disekeliling *nut* (Gambar 7). Tukak disebabkan karena posisi solder tidak berada ditengah-tengah *nut* dengan tepat (*unconcentric*) sehingga tekanan dan panas yang diberikan oleh solder tidak merata.



Gambar 7. Tukak pada *music desk* setelah dilakukan uji coba

Banyak faktor yang menyebabkan posisi solder kurang tepat, akan tetapi telah disepakati bahwa ada dua faktor yang diduga dapat menyebabkan posisi solder yang kurang tepat, diantaranya adalah kecepatan putar motor *stepper* sumbu Z dan sistem pencekam (*clamp*) kabinet. Kecepatan putar yang teralalu kencang akan membuat *ball screw* sulit berhenti dengan tepat disaat suplai pulsa motor *stepper* dihentikan. Maka untuk menghindari ini kecepatan motor harus dikurangi dengan cara menurunkan frekuensi yang diberikan pada motor. Pemberian frekuensi pada motor dapat diatur pada panel PLC.

Hasil dan Pembahasan

Mesin *insert nut* yang bergerak secara otomatis membutuhkan waktu sebanyak 124 detik untuk menyelesaikan pekerjaan. Jika dilihat pada mesin sebelum di-*kaizen* yang membutuhkan waktu sebanyak 134 detik maka ada percepatan waktu

pekerjaan setidaknya 10 detik, bahkan bisa lebih banyak. Berikut tabel data waktu perbandingan kerja operator dan mesin (setelah kaizen).

Tabel 1. Perbandingan waktu proses kerja (*after*)

Waktu (detik)	Isi Pekerjaan	
	Operator	Mesin
22	Memposisikan nut	-
7	Memposisikan kabinet diatas jig	-
90		Proses welding
3	Menyimpan kabinet	-

Total	124 detik	Persentase (%)	124 detik	Persentase (%)
Sendiri	34	27.42	0	72.58
Bersama	0	0	0	0
Menunggu	90	72.58	34	27.42

Jika amati dari sisi pandang waktu proses perekatan *nut* maka hasil pengujian akan menampilkan penghematan waktu kerja pada operator minimal hingga 90 detik atau 72.58%. Semua peningkatan ini bisa lebih dari yang diinginkan karena tabel diatas berlandaskan pada asumsi-asumsi terburuk, yakni: (1) Waktu tempuh kenaikan suhu solder 11s x 6 lubang. (2) Lama waktu memanaskan nut 1s x 6 lubang. (3) Lama waktu mendorong solder 3s x 6 lubang. (4) Waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan kabinet diatas jig sama dengan waktu pada mesin sebelumnya. (5) Tidak membutuhkan proses pengecekan kedalaman *nut* karena sifat sistem otomatis yang konsisten.

Kesimpulan

Dari deskripsi serta data pada hasil dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sistem otomatis pada proses pemasangan *nut* dapat mengatasi masalah pembengkokan ujung solder.
2. Mesin *welding insert nut* otomatis dapat mempercepat waktu hingga lebih dari 10 detik.
3. Mesin *welding insert nut* otomatis dapat mengefisienkan waktu kerja operator hingga 72.58% (90 detik).

Penghargaan

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih atas dukungan penuh dari PT. Yamaha Indonesia, terutama kepada bapak Faizin, bapak Yusuf dan jajaran manajer lainnya. Tidak lupa juga terima kasih kami kepada saudara Taufik, Satria, Rahmat Nafi'an, Heksan, Alex dan Memei.

Referensi

- [1] Chandra, Vidyut Patange.(2013, 8 Agustus). *An Effort To Apply Work And Time Study Techniques In A Manufacturing Unit For Enhancing Productivity*. IJRSET. Vol 2 issue 8. Halaman 4054
- [2] CNCRouterSource. *The CNC Wood Router Basics*. Diperoleh 12 Juli dari <http://www.cncrouter.com/cnc-wood-router.html>
- [3] Daniel. Patrick Hood, James Floyd Kelly. (2009). *Build Your Own CNC Machine*. USA
- [4] Groover, M.P. (2015). *Automation, Production System, and Computer Integrated Manufacturing*. Edisi 4. USA. Courier Kendallville
- [5] Hering, Achim. (2018, 21 Mei). *Deformation (engineering)*. Diperoleh 15 Juli 2018 dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Deformation_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deformation_(engineering))
- [6] Lolidis, Michail.(2006). *Kaizen Definition & Principles In Brief-A Concept & Tool For Employees Involvement*. Thessaloniki
- [7] Muhammad, A. Wijaya. Pengenalan Dasar-Dasar PLC (programmable logic control).2003. Yogyakarta: Gava Media
- [8] Noorina, Mustika. (2014, 27 Maret).Pengukuran Waktu Kerja. Diperoleh 12 Juli 2018 dari https://www.academia.edu/8433843/BAB_II_Pengukuran_Waktu_Kerja
- [9] Repository. Pengertian Manajemen Produksi. Diperoleh pada 5 Juni 2018 dari <https://repository.widyatama.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/2889/Bab%202.pdf?sequence=7>