

PENERAPAN POKAYOKE UNTUK MENCEGAH MISBINNING PADA MESIN SYMTEK-300 HANDLER

R. Agustiono Panca Putra*, Susanto Sudiro**

Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta^{*)**)}

[E-mail: aqustionopanca@gmail.com](mailto:aqustionopanca@gmail.com), susantosudiro@yahoo.co.id

Abstrak

Di perusahaan semikonduktor, pada proses pengujian IC digunakan *Tester* dan *Handler*. *Tester* adalah mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian IC sesuai dengan program tertentu. *Handler* adalah mesin yang berfungsi untuk membawa IC yang akan diuji oleh *tester* dengan menggunakan program, suhu dan parameter tertentu yang ditentukan oleh *Customer*. Pada saat proses produksi, memungkinkan adanya *downtime* yang disebabkan oleh adanya kerusakan / kesalahan pada mesin yang digunakan. Salah satu kesalahan atau keluhan (*feedback* dari *customer*) yang sedang dialami PT. X dan yang berakibat terhadap keseluruhan kualitas pengujian adalah *misbinning* atau tercampurnya unit yang cacat dan yang bagus. Pelanggan mengembalikan 2 *reject units* untuk dilakukan investigasi dan pengujian ulang terhadap keseluruhan *lot* yang sudah dikirim serta *lot* yang sedang dalam proses produksi. Salah satu penyebab terjadinya unit yang tercampur tersebut adalah karena tidak adanya sistem proteksi pada mesin ketika Operator melakukan proses *unloading unit* (IC) dengan menggunakan *tube*. Penelitian ini adalah tentang penanganan kesalahan pada proses produksi IC untuk mencegah tercampurnya produk baik dan produk cacat dengan menggunakan metode *pokayoke* melalui penambahan alat bantu untuk mencegah *misbinning*. Alat tersebut didesain secara mekanis dan elektrik. *Handler* atau mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Symtek-300*, yaitu mesin yang didesain khusus menangani pengujian IC untuk *plastic dual in-line package (PDIP)*. Hasil yang didapat dari penggunaan metode ini adalah komplek dari konsumen berkaitan dengan lolosnya produk cacat dapat ditekan. Hal ini sejalan dengan tinjauan dari segi OEE pada mesin yang digunakan, dimana sebelumnya, nilai rata-rata OEE adalah 75.5% dan setelah *improvement*, nilai rata-rata OEEnya meningkat menjadi 82.3%.

Kata kunci : *Handler, Symtek-300, Pokayoke*

ABSTRACT

In the semiconductor company, the Tester and Handler are used for IC testing process. Tester is a machine used for testing of IC in accordance with a particular program. Handler is a machine that serves to bring the ICs to be tested by the tester using the program, temperature and certain parameters specified by the Customer.

During the production process, there is a chance to have downtime caused by a defect / error on the machine being used. One of complaint (feedback from customer) being experienced by PT. X and affect to the overall testing quality is misbinning or mixing of the reject and good units. Customer return the two reject units for investigation and retesting of the whole lot that have been sent and lots that are in the process of production. One reason for the mixing unit, because of there is no protection system on the machine when the operator unloading the units (IC) by using a tube.

This research is about countermeasure of a mistake in IC production process to prevent the mixing of good and reject products by using pokayoke method through additional module to prevent misbinning. The module is designed mechanically and electrically. The handler or machine used in this research is Symtek-300, the machine that is designed to handle IC testing for plastic dual in-line package (PDIP). The result obtained from the usage of this method is customer's complaint relating to the test escapee of a reject product can be avoided. It is in line with the OEE perspective, whereas previously the average value of OEE is 75.5% and after improvement the average value increased to 82.3%.

Keywords : *Handler, Symtek-300, Pokayoke.*

I. PENDAHULUAN

PT. X adalah sebuah perusahaan di Batam yang bergerak dibidang industri semikonduktor dimana kegiatan produksinya meliputi perakitan dan pengujian IC. Dalam proses pengujian / pengujian IC secara elektrikal digunakan *Tester* dan *Handler*. *Tester* adalah suatu mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian IC sesuai

dengan system / program. *Handler* adalah mesin yang berfungsi untuk membawa IC yang akan diuji ke *tester*. Dengan menggunakan program, suhu dan parameter tertentu yang ditentukan oleh *customer*, maka IC dapat diuji dan disortir mana yang bagus dan mana yang cacat / rusak.

Sebagai salah satu perusahaan SATS (*Semiconductor Assembly and Test Services*) yang 100% produknya dipasarkan ke luar negeri, untuk

menjaga kualitas produk, kelancaran *delivery* dan kepuasan *customer*, PT. X menerapkan konsep “**Lean Manufacturing**”^[1], diantaranya dengan penerapan program *zero defect*, yaitu salah satu program yang bertujuan untuk menghasilkan produk yang sepenuhnya bebas dari cacat dan kerusakan. Selain *zero defect*, PT. X juga menggalakkan program *zero downtime*, yaitu meminimalkan waktu yang terbuang saat produksi yang disebabkan oleh berbagai faktor. Untuk mendapatkan produk yang terbebas dari kerusakan serta untuk tetap menjaga kepuasan pelanggan, maka harus ditunjang juga oleh kualitas mesin yang baik.

Downtime yang berdampak sangat besar terhadap kelancaran pengiriman produk, diantaranya adalah *downtime* yang disebabkan oleh adanya kerusakan / kesalahan pada mesin yang digunakan saat proses produksi. Salah satu kesalahan atau keluhan (*feedback* dari *customer*) yang sedang dialami PT. X dan yang berakibat terhadap keseluruhan kualitas pengujian adalah *misbinning* / *test escapee*. Pelanggan mengembalikan 2 *reject units* untuk dilakukan investigasi dan pengujian ulang terhadap keseluruhan *lot* yang sudah dikirim serta *lot* yang sedang dalam proses produksi.

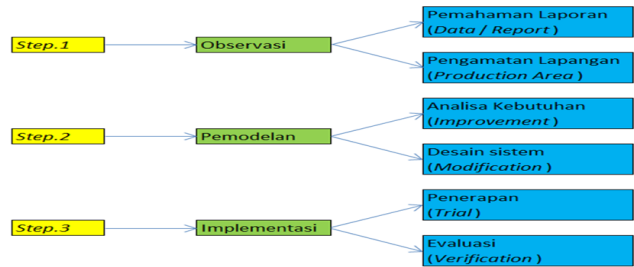
Misbinning adalah terjadinya pencampuran antara unit yang *good* dan unit yang *reject* / cacat, sehingga unit atau IC yang cacat akan dianggap bagus dan begitu juga sebaliknya. Faktor penyebab terjadinya *misbinning* / *test escapee* pada mesin adalah kesalahan yang diakibatkan oleh kelalaian operator (*human error*).

Human error yang akan menjadi sorotan disini adalah kesalahan menggunakan *tube* pada saat manual *unloading* unit (IC) dari *output track*.

Untuk itu diperlukan perancangan suatu alat deteksi dan pencegahan kesalahan yang disebut *pokayoke*. *Pokayoke* dapat berupa prosedur kerja ataupun *project improvement* berupa alat yang akan mengeliminasi faktor penyebab kerusakan atau kesalahan.

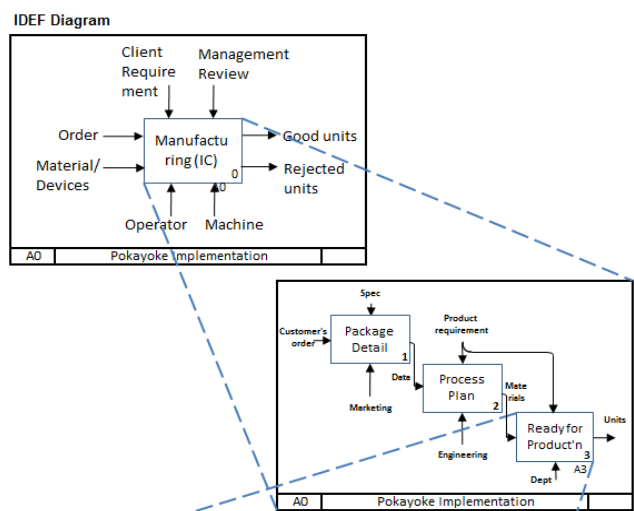
II. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu adanya susunan kerangka kerja (*framework*) yang jelas. Kerangka kerja yang akan digunakan dalam metodologi penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

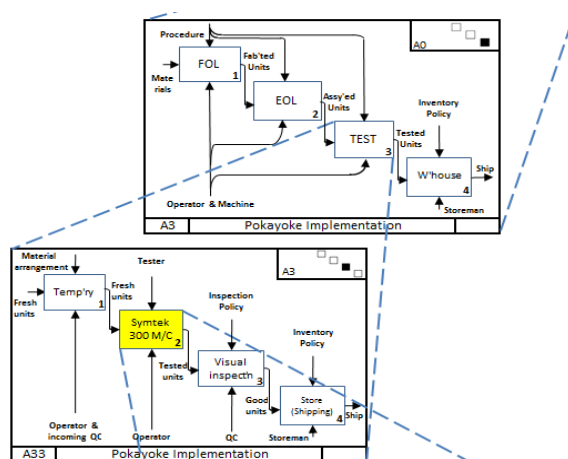


Gambar 2.1. Kerangka Penelitian

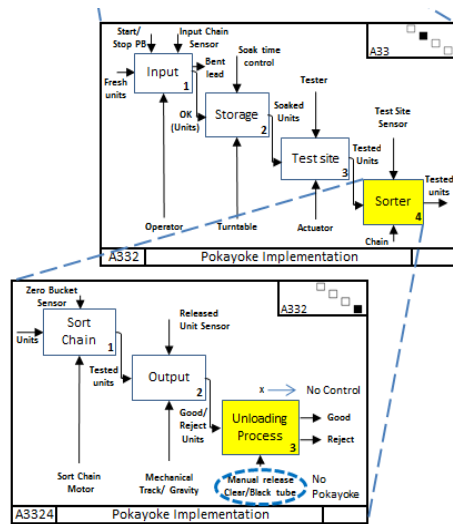
Untuk dapat memahami proses manufaktur secara keseluruhan dan bagian / departemen yang terkait maka perlu dilakukan pemodelan. Proses manufaktur dimodelkan dengan menggunakan metode IDEF0^[7], yang menggambarkan proses manufaktur produk IC (*Integrated Circuit*) dengan melihat aktifitas yang ada.



Gambar 2.2. Proses A0 (Proses Umum Operasional)

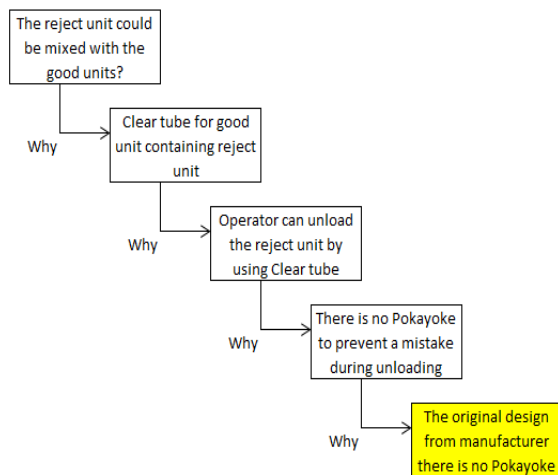


Gambar 2.3. Proses A3 & A33 (Bagian & mesin yang digunakan)



Gambar 2.4. Proses A332 dan A3324 (Bagian utama Symtek-300)

Dari diagram IDEF0 diatas, diketahui bahwa proses pengambilan unit (*unloading materials/ IC*), masih melakukan pengambilan secara manual. Hal ini memungkinkan tercampurnya unit yang bagus dan cacat. Selain digunakannya metode IDEF0, dalam penelitian ini juga dilakukan pendekatan 5-WHY investigation, untuk mendapatkan akar masalah dan solusi yang diperlukan.



Gambar 2.5. 5-WHY investigation^[1]

Jadi, dalam penelitian ini kami menindaklanjuti masalah yang paling utama yaitu untuk memastikan tidak akan terjadi kesalahan disaat pengambilan produk yang baik dengan menggunakan *tube* yang jelek, sehingga terhindar dari kesalahan pengiriman sampai ke tangan pelanggan. Dalam hal ini, perlu diterapkan *pokayoke*^[6], yaitu berupa KOT.

Maksud dari KOT (*Keyed Output Track*) adalah *output track* yang terkunci / terjaga hanya untuk *tube* yang semestinya. KOT ini didesain hanya untuk menerima *black tube* untuk produk cacat. Tujuannya untuk menghilangkan terjadinya kelolosan produk cacat (*reject unit*) yang disebabkan karena kesalahan proses pengambilan produk (*IC*) pada mesin *Symtek-300*. Oleh

karenanya KOT ini dapat digolongkan sebagai *pokayoke*.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Dari metode penelitian pada bab sebelumnya dengan menggunakan metode IDEF0, maka kita dapat memahami dan menganalisa kelemahan atau kekurangan dari mesin/sistem pada proses manufaktur pengujian IC di PT. X, lebih khususnya pada mesin *Symtek-300*, yang mana diketahui bahwa proses pengambilan unit dari mesin tersebut masih dilakukan dengan cara manual. Di sisi lain, dari pengolahan dan analisa data-data yang ada menunjukkan bahwa persentase *jamming* terbesar yang terjadi pada mesin *Symtek-300*, yaitu di *sorter output track area*, dimana hal ini berkontribusi pada kemungkinan kelalaian operator waktu pengambilan unit dari *sorter output track* tersebut. Hal ini sejalan dengan tinjauan dari segi OEE pada mesin yang digunakan.

3.1.1 Kajian Aspek Teknis

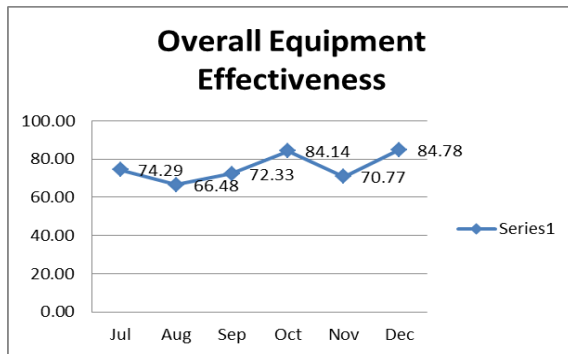
Secara aspek teknis, ditinjau dari OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) mesin yang ada di *test department* PT. X, diperoleh hasil yang masih berada dibawah rata-rata yaitu 75.5%, sedangkan acuan standar internasional menunjukkan rata-rata OEE yang baik umumnya diatas 85%^[5].

Tabel 3.1. Persentase Nilai *Availability, Performance, Quality* & OEE sebelum perbaikan

%	OEE	A	P	Q
Jul	74.29	88.43	85.03	98.81
Aug	66.48	82.13	82.75	97.82
Sep	72.33	87.87	85.14	96.68
Oct	84.14	89.63	94.63	99.21
Nov	70.77	85.83	82.52	99.91
Dec	84.78	89.81	94.95	99.41
Rata-rata	75.47	87.28	87.50	98.64

Dari perhitungan nilai *Availability (A)*, *Performance (P)* dan *Quality (Q)* dari mesin-mesin (*handler*) yang digunakan untuk pengujian IC di *test department*, diperoleh hasil seperti pada table 3.1 diatas. Detil nilai perhitungan lebih lengkapnya dapat dilihat pada halaman lampiran.

Sedangkan grafik nilai rata-rata OEE secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik 3.1.



Grafik 3.1. Rata-rata OEE sebelum perbaikan

Dari table dan grafik diatas terlihat bahwa nilai *Availability*, *Performance*, *Quality* dan juga OEE dari mesin-mesin yang ada menunjukkan nilai yang masih berada dibawah acuan standar internasional. Tabel 3.2 dibawah ini adalah acuan internasional dari nilai persentase OEE pada umumnya, yaitu *Availability* 90%, *Performance* 95%, *Quality* 99.9% dan OEE 85%.

Tabel 3.2. OEE World Class Goal^[5]

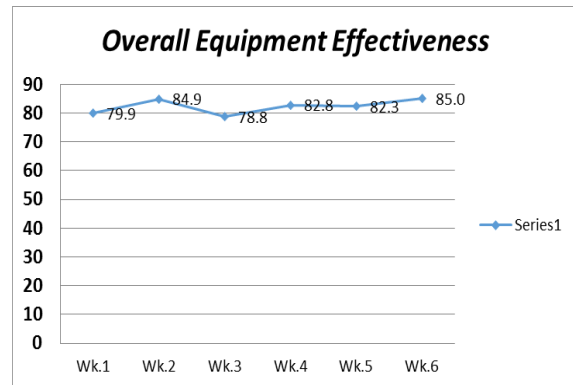
OEE Metric	World Class Value
AVAILABILITY	90.00%
PERFORMANCE	95.00%
QUALITY	99.90%
OEE	85.00%

Dengan adanya *project improvement* dari penelitian ini, diperoleh peningkatan produktifitas yang ditandai dengan meningkatnya nilai OEE menjadi 82.3%, seperti ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3. Persentase Nilai *Availability*, *Performance*, *Quality* & OEE setelah Perbaikan

%	OEE	A	P	Q
Wk.1	79.9	90.1	90.3	98.2
Wk.2	84.9	91.9	92.6	99.9
Wk.3	78.8	90.2	88.0	99.3
Wk.4	82.8	89.8	93.8	98.4
Wk.5	82.3	90.5	91.4	99.5
Wk.6	85.0	90.8	93.8	99.8
Rata-rata	82.3	90.5	91.6	99.2

Sedangkan grafik nilai rata-rata OEE (setelah perbaikan) secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik 3.2 berikut ini:



Grafik 3.2. Rata-rata OEE setelah perbaikan

3.1.2 Kajian Aspek Ekonomis

Perkiraan biaya yang timbul untuk penerapan *pokayoke* melalui pembuatan modul KOT dan perbandingannya terhadap biaya akibat pengembalian 2 unit cacat dari pelanggan sebelum penerapan *pokayoke*, bisa dilihat dari tabel-tabel berikut ini:

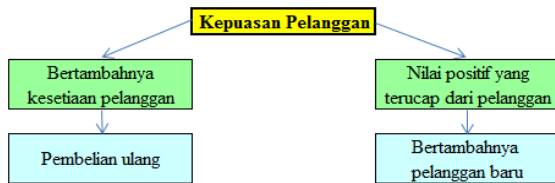
Tabel 3.4. Perkiraan Biaya sebelum Penerapan *Pokayoke*

1	Pengembalian 2 unit cacat	
2	Penguji ulang semua units dalam satu lot	
	Perkiraan biaya pengujian ulang satu 1 lot yang sama	170 625 000
	Perkiraan biaya pengembalian/pengiriman ulang	4 300 000
	Perkiraan biaya pengganti 2 unit cacat	910 000
	Total (Rp.)	175 835 000
3	Pelanggan tidak puas	

Tabel 3.5. Perkiraan Biaya setelah Penerapan *Pokayoke*

1	Tidak ada pengembalian unit cacat	
2	Tidak ada pengujian ulang	
	Biaya penelitian	550 000
	Pembuatan modul/rangkaian KOT	825 000
	Total (Rp.)	1 375 000
3	Kepuasan pelanggan	

Kepuasan konsumen akan berpengaruh langsung terhadap niat pembelian ulang, sedangkan nilai komplek konsumen akan berpengaruh langsung secara negatif terhadap niat untuk tidak melakukan pembelian ulang. Dari segi ekonomis, jika para pelanggan mulai tidak melakukan pembelian ulang, tentunya akan berpengaruh sangat besar bagi kelangsungan perusahaan.

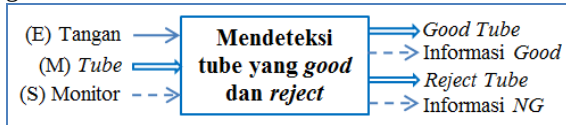


Gambar 3.1. Bagan Konsekuensi Kepuasan Pelanggan

3.2 Pembahasan

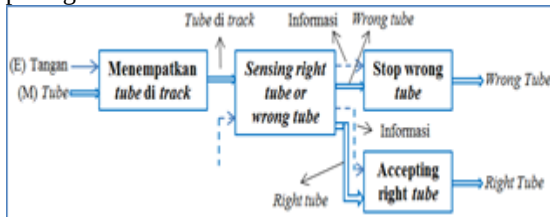
3.2.1 Konsep Desain Elektrikal KOT

Untuk membuat konsep dari elektrikal KOT digunakan metode pendekatan sistematis^[3] dimulai dengan pendefinisian fungsi keseluruhan dari elektrikal KOT sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut ini.



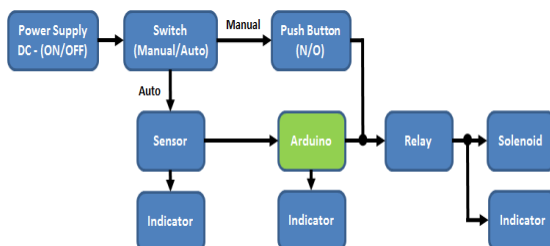
Gambar 3.2. Fungsi Keseluruhan

Kemudian dilanjutkan dengan penjabaran lebih detail struktur fungsi dari proses pengambilan unit (IC) secara manual pada *output track*. Untuk lebih jelasnya struktur fungsi tersebut bisa dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3. Struktur Fungsi

KOT yang menjadi bahasan dalam rangkaian ini berupa elektrikal KOT dengan modul tambahan yang menggunakan rangkaian elektronik dimana pada desain asli dari pabrik pembuat, tidak terdapat KOT. Berikut akan dibahas tentang gambar rangkaian sekaligus prinsip kerja dari rangkaian KOT ini.

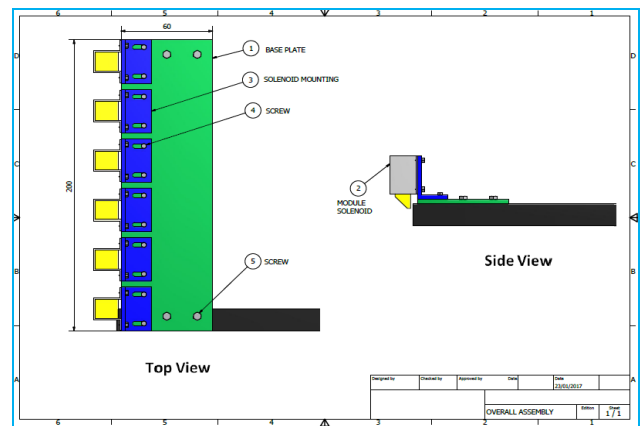


Gambar 3.4. Blok Diagram Rangkaian KOT

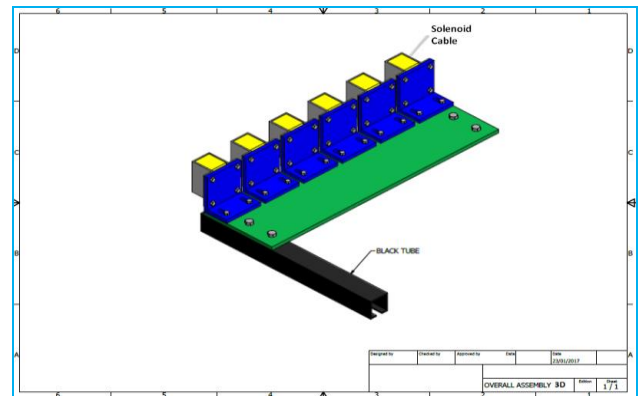
Blok diagram pada gambar 3.4 diatas adalah rangkaian KOT yang akan dipasang pada *reject output track*. Dari 25 *output tracks* yang dimiliki *Symtek-300 handler*, beberapa *output track* digunakan untuk produk yang cacat. Jumlah *output track* yang digunakan untuk produk cacat dapat diatur sesuai kebutuhan, dalam penelitian ini

digunakan 7 *output track*. Jadi solenoid yang akan dipasang pada *reject output track* adalah 7 set.

Desain dari alat bantu ini ditunjukkan pada gambar 3.5 dan 3.6 berikut ini:



Gambar 3.5. KOT Assembly (Top & Side view)



Gambar 3.6. Overall KOT Assembly

3.2.1.1 Kondisi 1 (Reject track terpasang clear tube)

Pada saat *reject track* kosong atau terdapat *clear tube*, maka arus akan tetap mengalir melalui sensor (*photodiode*). Hasil deteksi sensor tersebut akan dibaca oleh Arduino sebagai pengolah data. Sehingga Arduino akan mengaktifkan relay dan relay ini berfungsi untuk menggerakkan solenoid (ON). Aktifnya relay akan ditandai dengan nyalanya indikator.

Dengan aktifnya (posisi ON) solenoid, otomatis *clear tube* akan tertahan oleh pin solenoid tersebut, sehingga *clear tube* yang seharusnya digunakan untuk *good units*, tidak akan bisa dipakai untuk mengambil *reject units* pada *reject tracks*.

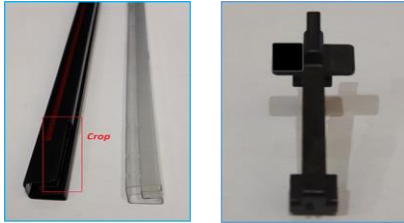
3.2.1.2 Kondisi 2 (Reject track terpasang black tube)

Pada saat *reject track* terdapat *black tube*, maka cahaya LED akan tertahan oleh *tube* tersebut dan arus tidak akan mengalir melalui sensor (*photodiode*). Hasil deteksi sensor yang terblokir akan dibaca oleh Arduino sebagai pengolah data. Sehingga Arduino tidak akan mengaktifkan relay dan solenoid juga OFF. Dengan posisi OFF solenoid, otomatis *black tube* akan masuk kedalam *reject output track* dan bisa

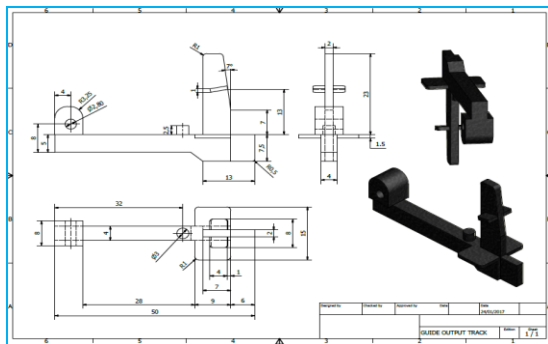
dipakai untuk mengambil *reject units* sebagaimana mestinya.

3.2.2 Konsep Desain Mekanikal KOT

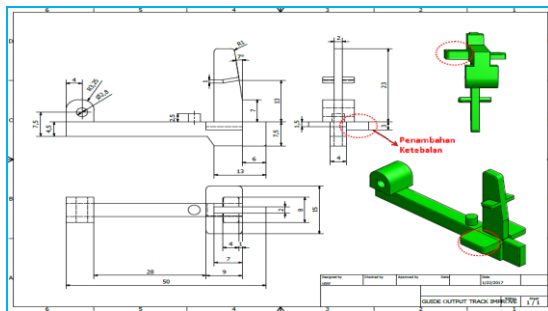
Berikut akan dibahas tentang *guide's output track* sekaligus prinsip kerjanya sebagai mekanikal KOT. Ketebalan *Guide's output track* dimodifikasi dengan penambahan *shim* pada salah satu sisinya. Desain *guide* nya dalam bentuk 2D ditunjukkan pada gambar 3.8 dan desain penambahan ketebalan pada salah satu sisinya ditunjukkan pada gambar 3.9. Sedangkan tampilan visual 3D ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7. *Cropped Black Tube & Guide's Output Track with Shim*



Gambar 3.8. *Guide's output tracks*



Gambar 3.9. *Guide's output track with shim*

3.2.2.1 Kondisi 1 (*Reject track* terpasang *clear tube*)

Pada saat *clear tube* terpasang pada *reject track*, maka *clear tube* tersebut akan miring karena *guide's output track* nya dimodifikasi dengan penambahan *shim/plate* pada salah satu sisinya. Hal ini membuat ketebalan kedua sisi tidak sama. Posisi *clear tube* yang miring membuat *units (IC)* dari *output track* tidak akan masuk kedalam *clear tube* tersebut.



Gambar 3.10. *Clear Tube & Guide's Output Track with Shim*

3.2.2.2 Kondisi 2 (*Reject track* terpasang *black tube*)

Pada saat *black tube* terpasang untuk *reject track*, maka posisi *black tube* tersebut akan lurus dengan *output track* walaupun *guide's output track* nya dimodifikasi dengan penambahan *shim* pada salah satu sisinya.



Gambar 3.11. *Cropped Black Tube & Guide's Output Track with Shim*

Hal ini karena *black tube* nya juga dimodifikasi dengan pengurangan ketebalan yang disesuaikan dengan tebalnya *shim* yang dipasang pada *guide's output track*. Posisi *black tube* yang lurus dengan *output track*, akan membuat *units (IC)* dari *output track* akan masuk kedalam *black tube* tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari kajian teknis dan ekonomis serta analisa data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tingkat rata-rata *jamming* (kerusakan) pada mesin mengalami penurunan 50%, dari yang sebelumnya *jamming* pada *sorter* mencapai 70%, dengan dilakukannya perawatan / perbaikan, diperoleh rata-rata *jamming* menjadi hanya 20%.
2. Nilai OEE juga menunjukkan nilai yang positif, yaitu meningkat sekitar 6.8%, dari yang sebelumnya 75.5%, dengan membaiknya performa mesin, maka nilai OEE menjadi 82.3%.
3. Pada desain aslinya, *Symtek-300 handler* belum memiliki sebuah sistem proteksi untuk mendeteksi perbedaan penggunaan *clear tube* dan *black tube* pada proses *unloading units (IC)*. Karena itu dilakukan *improvement* dengan penambahan modul / rangkaian KOT yang sangat bermanfaat dalam hubungannya untuk mencegah *misbinning* seperti yang dikeluhkan pelanggan.
4. Perbandingan biaya yang dikeluarkan untuk penerapan *pokayoke* dengan pembuatan modul / rangkaian KOT tersebut sekitar Rp. 1.375.000, sedangkan jika tidak ada *pokayoke* kerugian biaya yang timbul dengan adanya keluhan pelanggan berupa pengembalian unit

- yang cacat dan permintaan untuk pengujian lot yang sama, sekitar Rp. 175.835.000
5. Dari segi efisiensi, kedua tindakan perbaikan diatas tentunya akan sangat membantu dalam menjaga produktifitas pada mesin sehingga penggunaannya akan lebih maksimal dan meningkatkan waktu produksi dari mesin itu sendiri serta dapat mempercepat *delivery* / pengiriman produk sampai ke tangan pelanggan/ *customer*.
 6. Pelanggan akan puas dengan kualitas produksi yang bebas dari cacat, sehingga pemakaian IC dalam aplikasinya akan lebih terjamin dan timbulnya kepercayaan dari pemakai produk dan jaringan produksi pun akan semakin meluas.

4.2 Saran

Saran-saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tindakan evaluasi dan monitoring performa suatu mesin harus dilakukan secara berkelanjutan sehingga dapat mendeteksi kekurangan dan melakukan pengembangan/perbaikan.
2. Penambahan rangkaian KOT pada mesin Symtek-300 ini sebaiknya dikembangkan dan diimplementasikan juga pada *handler*/mesin lain yang tentunya dengan desain dan tipe yang disesuaikan.
3. Selain *hardware* atau perangkat fisik, perlu juga dibuat prosedur/panduan dalam bentuk spesifikasi ataupun *work instruction*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] James A. Jordan, Jr. & Frederick J. Michel. 2001. *The Lean Company: Making the Right Choices*.
- [2] Gary Conner. 2009. *Lean Manufacturing for the Small Shop*, second edition. Society of Manufacturing Engineers.
- [3] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen & K.H. Grote. 2007. *Engineering Design, A Systematic Approach*, third edition.
- [4] Kaoru Ishikawa. 1991. *Guide to Quality Control*. Tokyo, Japan.
- [5] EXOR / Data Visor Marquees. *The Complete Guide to Simple OEE*. 10510 International Blvd. Cincinnati, Ohio. www.exor-rd.com.
- [6] Shigeo Shingo. 1986. *Zero Quality Control : Source Inspection and the Pokayoke System*.
- [7] FIPS Publication 183. 1993. *Integration Definition for Function modeling (IDEF0)*. <http://www.itl.nist.gov/fipspubs/idef02.doc>
- [8] Joseph M. Juran & A Blanton Godfrey. 1979. *Juran's Quality Handbook*. The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America.
- [9] Symtek System, Inc. 1988. *Symtek system-300 Operation & Maintenance Manual*. San Diego, California, USA .
- [10] Heizer, J. & Render, B. 1995. *Operation management*, fifth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458
- [11] John Wiley & Sons, Inc. 2006. *Mechanical Engineer's Handbook: Materials and Mechanical Design*, third edition. Hoboken, New Jersey.
- [12] Michael F. Ashby. 2005. *Materials Selection in Mechanical Design*, third edition. Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford.

- [13] Mohamed Zairi. 1991. *Total Quality Management for Engineers*. Woodhead Publishing Limited, Abington, Cambridge, England.
- [14] Allan G. Smith. 2011. *Introduction to Arduino*. <http://www.introtoarduino.com>
- [15] Peter H. Rossi, Howard E. Freeman & Mark W. Lipsey. 1998. *Evaluation a systematic approach*, 6th edition. SAGE Publications, Inc.
- [16] Motorola Inc. 1966. *Analog/Interface ICs Device Data, Vol.1*. <http://Design-net.com>
- [17] Atmel Corporation. 2009. *ATmega328 Datasheet*. www.atmel.com
- [18] Carl S. Carlson. 2014. *Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs*. ReliaSoft Corporation, Tucson Arizona 85710 USA.