

Modifikasi Mesin Produksi Automatic Vacuum Thermoforming untuk Material Plastik Roll Industri 4.0

Rifki Darmawan¹⁾ Ade Reza Ismawan²⁾ M. Febriansyah³⁾ dan Evans Budyprakoso⁴⁾

^{1,2,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia.,

Email : rifki_dermawan2017@istn.ac.id¹⁾, aderezaismawan@istn.ac.id²⁾, m.febriansyah@istn.ac.id³⁾,
evans.engineer75@gmail.com⁴⁾

Abstrak

Tahun 2024 sudah memasuki era industry 4.0 yang mana perkembangan teknologi industri tidak hanya mencakup kontrol otomatisasi tetapi juga mencakup pengendalian dan pengawasan secara online. Penulis mencoba untuk menjawab tantangan ini melalui karya ilmiah yang memodifikasi mesin produksi Vacuum Thermoforming yang produknya sangat banyak dipakai oleh masyarakat. Modifikasi ini menggunakan 2 metode percobaan yaitu simulasi saat mesin ini berproduksi, dan simulasi pengendalian dan monitoring mesin ini dari Handphone maupun website. Simulasi mesin ini berproduksi menggunakan software CAD SolidWorks 2016 dan add on SolidWorks Motion Analisis. Sedangkan untuk percobaan pengendalian dan monitoring mesin ini menggunakan HMI Haiwell B7H. Hasil dari penelitian ini yang penulis arahkan pada 7 sasaran aspek. Durasi produksi menjadi lebih cepat dari semula untuk 1 mold membutuhkan 29 detik, menjadi 26 detik. Kapasitas produksi meningkat dari 112 mold/jam menjadi 138 mold/jam. Gerak operator menjadi lebih sedikit dan bisa bekerja sambil duduk. Laporan Produksi bisa terpantau secara online dan real time karena peran HMI-SCADA. Kontrol mesin bisa dilakukan dari jarak jauh oleh supervisor dengan handphone. Cost HPP (harga pokok produksi) menurun dari yang semula sebesar Rp. 18.687,839 menjadi Rp. 18.599,879. Biaya operasional untuk 1 mesin thermoforming ini menurun sebesar Rp. 318.895,238 per hari. Dari sini, dapat disimpulkan pemanfaatan sumber daya teknologi di era industri 4.0 dapat menghemat biaya operasional produksi karena jalannya produksi dapat lebih cepat dan terkontrol, dari hasil modifikasi tersebut terjadi peningkatan kapasitas yang cukup signifikan sebesar 23,21 %

Kata Kunci : Packaging Machine, Modifikasi, Thermoforming, Rigid Packaging, Otomasi

Abstract

In 2024 year of Industry 4.0 nowadays where the development industrial of technology are not only automation control, but also includes online control and supervision. The author tries to answer this challenge through scientific work that modifies Vacuum Thermoforming production machines whose products are widely used by the public. This modification uses 2 experimental methods, namely simulation when this machine is in production, and simulation of controlling and monitoring this machine from a cellphone or website. This machine simulation was produced using SolidWorks 2016 CAD software and the SolidWorks Motion Analisis add on. Meanwhile, for experiments controlling and monitoring this machine, the Haiwell B7H HMI was used. The results of this research are directed at 7 target aspects. The production duration is faster than previously 29 seconds for 1 mold, to 26 seconds. Production capacity increased from 112 molds/hour to 138 molds/hour. The operator moves less and can work while sitting. Production reports can be monitored online and in real time because of the role of HMI-SCADA. Machine control can be done remotely by a supervisor using a cellphone. Cost HPP (cost of production) decreased from the original amount of Rp. 18,687,839 to Rp. 18,599,879. Operational costs for 1 thermoforming machine decreased by Rp. 318,895,238 per day. From this, it can be concluded that the use of technological resources in the industrial era 4.0 can save production operational costs because the production process can be faster and more controlled, from the results of these modifications there is a significant increase in capacity of 23.21%

Keywords: Packaging Machine, Modification, Thermoforming, Rigid Packaging, Automation

1. Pendahuluan

Industri minuman dan makanan menunjukkan perkembangan positif dan memberikan konstribusi yang lebih besar bagi pertumbuhan ekonomi nasional penggunaan plastik sebagai pengemas pangan dikarenakan keunggulannya seperti bentuk yang fleksibel, ringan, tidak mudah pecah, transparan, harga relatif murah dan terdapat berbagai jenis pilihan bahan dasar plastik. Berdasarkan kelebihan ini yang menyebabkan plastik menggeser menggunakan kemasan dari bahan yang lain pada industri makanan, (A.Zamheri 2022).

Proses Thermoforming merupakan salah satu metode pembentukan material plastik yang sejak dulu banyak digunakan. Pada umumnya proses thermoforming yang menggunakan material plastik memakai mesin injection molding dan blow injection molding yang mampu memproduksi dalam skala besar, oleh karena itu menjadi pilihan metode vacuum forming yang dinilai mempunyai biaya produksi yang lebih rendah, dan metode yang sederhana, (C.S. Telamumbaana, 2022)

Dalam perencanaan sistem automasi dibuat hampir sama dengan cara kerja sebelum dimodifikasi yang bertujuan menghasilkan mesin otomatis dalam menghasilkan banyak jenis produk dan dapat dikerjakan oleh satu orang tanpa ketergantungan dengan operator, spesifikasi teknis mesin ini menggunakan dengan menggunakan semi automatic thermoforming dari looker packaging China (lookerpack 2024.61)

Metode perencanaan menggunakan solidwork yang bertujuan agar hasil yang dicapai terenuhi dan kualitas pun dapat memenuhi industri 4.0, terlebih lagi saat memodifikasi mesin terkait sehingga waktu dan kapasitas produksi pada proses thermoforming dalam persentase yang dicapai terpenuhi (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (2020).

Pengaturan saat proses produksi dalam mempertahankan kualitas hasil diatur dengan metode controller, terkait system kerja mesin secara menyeluruh dan

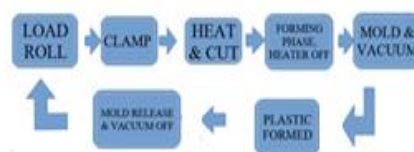
berhubungan dengan perencanaan otomatis (Gun Gun Maulana, 2022).

2. Metodologi Penelitian

Vacuum Thermoforming

Proses memindahkan udara dari area yang terisolasi diantara Lembaran Plastik Panas dan Mold, sehingga membuat Tekanan Atmosfer (14,7 PSI) memberikan Gaya Tekanan pada Lembaran Plastik mengikuti bentuk dari Mold. Penggunaan : Cover yang tidak memerlukan ketelitian tinggi, cover bagian dalam, untuk proses dengan volume dari Low ke Medium, (Thomas C.W, 2023) sehingga direncanakan langkah proses thermoforming sebagai berikut (Gambar1):

- Langkah 1.
Persiapkan Mesin kondisi On;
- Langkah 2.
Cekam/Clamp Raw Material;
- Langkah 3.
Berikan Panas sesuai Karakter Material dalam tabel di atas tadi. Heater yang dapat mencapai suhu 300 °C;
- Langkah 4.
Mold Box dari Mesin Thermoforming akan naik hingga menempel ke produk;
- Langkah 5.
Mold Box ini kemudian akan menyedot udara yang terjebak antara produk dan Mold.
- Langkah 6.
Dari Mold box ini juga dihubungkan dengan angin kompressor yang akan mendorong produk jadi agar tidak menempel di mold dengan durasi yang disetting dalam PLC. Setelah waktunya cukup, Mold box akan turun.
- Langkah 7.
Produk jadi ini yang masih menempel di Roll film, akan ditarik oleh mekanisme stepper motor yang sudah penulis design, diikuti dengan clamp yang melepas produk.



Gambar 1: Diagram alir proses thermoforming

Sistem Kendali Mesin

Gambar 2 berikut merupakan Mesin Thermoforming yang akan dimodifikasi:



Gambar 2:
Mesin yang akan dimodifikasi

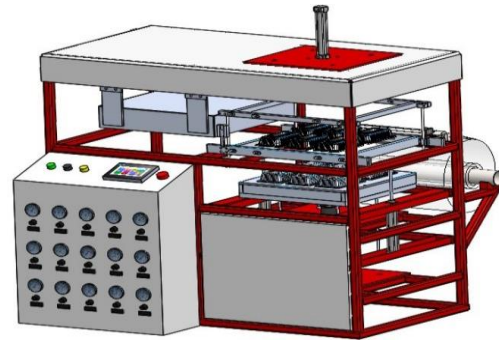
Gambar 2 diatas merupakan Mesin Thermoforming manual , yang pengerjaannya membutuhkan 1 orang yang harus selalu fokus untuk mengoperasikan dan memonitor jalannya produksi. Berikut kondisi mesin sebelum dimodifikasi. Ini adalah mesin produksi dari perusahaan Permesinan Packaging dari China, Looker Packaging dengan tipe mesin LK 61 dengan spesifikasi yang tertera pada Gambar 3 berikut ini

Product Description	
Blister forming machine	
1. It's manual heating furnace push, suitable for PVC, PE, PET, PETG, PP, PC, PS, HIPS, APET etc. heat the material and make them soft, then vacuum suction, that can transform sheet material into various plastic blister.	
2. Machine is equipped with 25 pieces of 650W ceramic infrared heater, the temp. of each heater can be controlled flexibly and intuitively.	
3. This machine is widely use in blister sample making, also can be used in small batch production.	
Items	Parameters
Model	LK-61
Power supply	AC380V
Max.Power	17KW
Vacuum pump capacity	20m ³ /h
Max.forming size	560*610mm
Max. forming height	200mm
Speed	200-300moulds/h
Thickness of material	0.2-1.5mm
Machine size	1800*1200 *2000mm
N. weight	500KG
***	***

Gambar 3: Spesifikasi LK 61

Penggambaran 3D Mesin Dengan Software CAD SolidWorks

Untuk memudahkan perencanaan sebagai mahasiswa teknik, penulis menggunakan Software untuk membantu penggambaran modifikasi Mesin Thermoforming. Penggambaran menggunakan Software CAD (Computer Aided Design) SolidWorks seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4:
Mesin Thermoforming dengan SolidWorks

Perancangan System Pneumatic dengan FestoFluidSIM 3.6

Perancangan Elektro Pneumatic Menggunakan software Festo FluidSIM versi 3.6. Software perancangan ini sangat dibutuhkan untuk mensimulasikan sistem pneumatic agar:

1. Kegagalan sistem yang tidak bekerjakarena angin tidak berjalan bisa dihindari;
2. Kegagalan sistem yang diakibatkan karena ada piston yang saling bertabrakan bisa dihindari;
3. Jumlah Relay bisa diperkirakan;
4. Jumlah Piston Pneumatic bisa diperkirakan;
5. Jumlah Valve Solenoid untuk mengontrol Piston bisa dipersiapkan.

PLC Outseal tipe Mega V3 Standart (Seri 16PP)

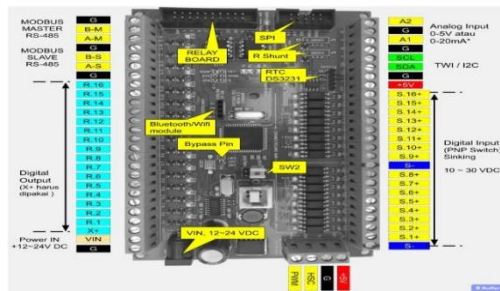
Alasan penulis menggunakan PLC outseal ini karena:

1. Outseal sudah “Hobbiest Industrial Grade”. Maksudnya, Klaim dari Perancang outseal, outseal ini sudah banyak juga digunakan di berbagai industri, dan banyak yang sudah bertahan lebih dari 3 tahun;
2. Dengan harga murah, penulis sudah bisa menghubungkan Outseal dengan HMI;
3. Dengan harga murah, kita bisa mendapatkan support langsung dari perancangnya dan Facebook Group;
4. Mendukung karya anak Bangsa Indonesia untuk pencapaian teknologi. Dengan membeli dan memakai Outseal, untuk mendukung pengem-

bangunan usaha Outseal untuk ke tingkat selanjutnya;

5. Tipe PLC dengan 16 Input-Output akan lebih mahal jika menggunakan Merk2 terkenal.

Pengaturan Pemrograman dari Pneumatic nantinya akan ditransfer ke PLC Outseal seperti Gambar 5, yang akan menjalankan/otak dari Sistem yang kita buat. Diagram wiring akan diterjemahkan ke dalam ladder diagram PLC Outseal. Layout dari PLC tipe Mega V3 Standart (Seri 16PP) ini:



Gambar 5: PLC Outseal

Human Machine Interface Haiwell

HMI menghubungkan manusia dengan mesin melalui user interface. Untuk project ini penulis menggunakan HMI merk Haiwell dengan Tipe B7H.

Berikut Fitur-fitur dari HMI Haiwell B7H:

1. Enable simple connection between HMI, mobile phone, tablet, computer, TV, camera and other HMIs in local area network.
2. Enable simple connection between HMI, mobile phone, tablet, computer, TV, camera and other HMIs over the Internet.
3. Allow remote access for multiple concurrent users without SCADA in the cloud or VNC connection.
4. Provide data transmission and data storage in any public or private server.
5. Integrate data with ERP, MES or other applications by MQTT, OPC UA, HTTP, TCP and etc
6. Embed the display of HMI in other applications like software, APP and etc.
7. Include intelligent functions such as TTS output, intercom, audio playing and etc
8. Use mobile phone as a scanner to scan

barcode and enter information in HMI.

9. Apply to data visualization or centralized control on large screen by TVBOX

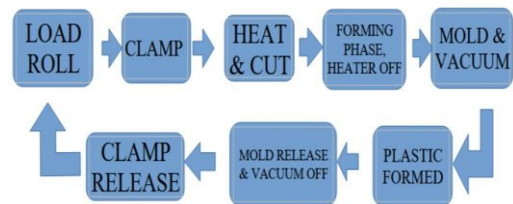
Metodologi Penelitian dan Pengolahan Data

Modifikasi dilakukan, nantinya akan dapat membandingkan antara Mesin Thermoforming saat masih Manual vs Sesudah dimodifikasi secara otomatis dalam berbagai aspek penting dalam produksi, yaitu:

1. Durasi Produksi;
2. Kapasitas Produksi;
3. Gerak Operator;
4. Laporan Produksi;
5. Kontrol Mesin;
6. Cost HPP produk dari Mesin ini;
7. Penghematan Biaya Operasional/hari.

Studi Mesin yang akan Dimodifikasi

Data literatur yang diambil dari video tertera pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6 :
Diagram Kerja mesin

Dikarenakan topik utama dari skripsi ini adalah kecepatan produksi, maka data yang di dapat dari video ini yaitu:

1. Load Roll > Clamp dengan tangan, durasi 4 Detik;
2. Dorong Heater + Cut + Mengambil Finish Product, dengan Tangan Operator, 2 Detik
3. Proses Heating Produk, Operator Menahan Heater dengan tangan, 4 detik;
4. Tarik Heater Box, dengan tangan, 2 detik
5. Vacuum Mold Box Naik, Otomatis, 1 detik
6. Proses Plastic Forming, Otomatis, 13 detik
7. Mold Release + Vacuum Off, Otomatis, 1 detik;
8. Clamp Release, operator kembali melakukan load roll > clamp, dengan

Foot Switch, 2 detik.

Total Durasi sebelum dimodifikasi **29 Detik**. Adapun durasi selama 29 detik tersebut adalah kondisi operator ketika normal. Jika operator lelah atau sedang tidak bagus moodnya sangat mempengaruhi kecepatan produksinya.

Metode Percobaan

Agar lebih fokus untuk mendapatkan hasil dari modifikasi ini, yaitu memodifikasi proses produksi agar menjadi lebih cepat dan mempermudah monitoring dan pengendalian mesin dari jarak jauh dan juga keterbatasan dana yang penulis miliki, maka kita akan lakukan 2 jenis percobaan untuk mendapatkan hasil2 yang sudah disebutkan sebelumnya. Percobaan-percobaan yang akan dilakukan yaitu:

- Simulasi dengan metode Motion Analisis/Analisa pergerakan dengan menggunakan software Solid Works.
- Percobaan wiring dengan PLC Outseal dan mengaktifasikan HMI Haiwell untuk tambahan fitur monitoring SCADA dan kontrol mesin ini dari jarak jauh.

3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan ini dilakukan dengan beberapa parameter yang penulis dapat dari video mesin ini. Lalu peningkatan kecepatan produksinya menjadi:

- Load Roll > Clamp, Full otomatis dengan bantuan Product Mover, 3 Detik;
- Dorong Heater + Cut + Mengambil Finish Product, Full otomatis dengan menambahkan 1 Piston, 1 Detik;
- Proses Heating Produk, Sama, 4 Detik;
- Tarik Heater Box, Full otomatis dengan menambahkan 1 Piston, 1 Detik;
- Vacuum Mold Box Naik, Sama, 1 Detik;
- Proses Plastic Forming dengan vacuum mold box (vacuum pump on), sama, 13 Detik;
- Mold Release + Vacuum Off, Sama, 1 detik;
- Clamp Release, operator kembali melakukan load roll > clamp, Sama, 2 Detik

Total Durasi Setelah dimodifikasi : 26 Detik.

Perhitungan Durasi Produksi

Durasi Produksi meningkat menjadi 26 Detik dan berbeda dengan manual karena 26 detik ini lebih konstan. Tidak terlalu dipengaruhi oleh lelahnya operator.

Perhitungan Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi awal sebelum dimodifikasi yaitu: Durasi Produksi : 29 detik

$$\text{Kapasitas Mold per Jam (v std)} = (60 \text{ menit} / 29 \text{ detik}) * \text{faktor kelelahan operator} = (3600 \text{ detik} / 29 \text{ detik}) * 0,9 = 111,72 \text{ mold/jam} \sim \underline{112 \text{ mold/jam}}$$

Lalu akan dilakukan perhitungan kapasitas Produksi setelah dimodifikasi. Disini faktor kelelahan operator penulis hilangkan karena operator tidak perlu menekan2 tombol, tanpa tombol ditekan (kecuali di awal), mesin tetap bisa memproduksi:

Durasi Produksi : 26 detik

$$\text{Kapasitas Mold per Jam (v modif)} = (60 \text{ menit} / 26 \text{ detik}) * \text{faktor kelelahan operator} = (3600 \text{ detik} / 26 \text{ detik}) * 1 = 138,46 \text{ Mold/Jam} \sim \underline{138 \text{ Mold/jam}}$$

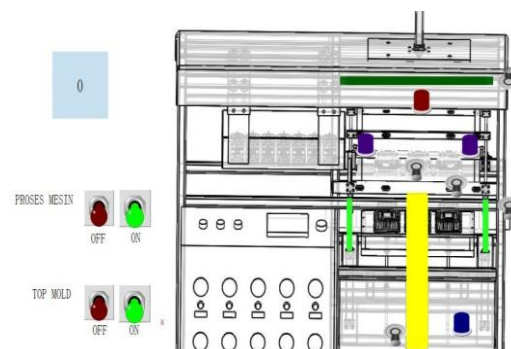
Dari sini, bisa dihitung peningkatan kapasitas produksi dari modifikasi ini: $= (v \text{ modif} / v \text{ awal}) \times 100 \% = (138 \text{ Mold} / \text{jam} / 112 \text{ Mold/Jam}) \times 100\% = 123,21 \%$ Terjadi peningkatan kapasitas sebesar 23,21%.

Analisa Gerak Operator

Modifikasi ini meminimalisir operator berjalan untuk menekan tombol. Operator bisa bekerja sambil duduk.

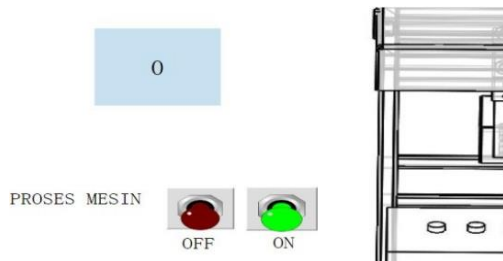
Kontrol Mesin

Dengan mengakses pada web browser baik dengan Laptop maupun HP ke alamat HMI, maka Supervisory Control and Data Acquisition bisa dilakukan dari Hand-phone seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Tampilan HMI saat online
Laporan Produksi

Laporan Produksi bisa terlihat dari angka yang terus bertambah ketika sensor tertekan. Maka, anda memiliki Mesin yang sudah mengadopsi Industri 4.0 seperti pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8:
 Tampilan Penambahan Jumlah

Perhitungan Cost HPP dari Mesin (tanpa memperhitungkan Penyusutan Mesin)

Perhitungan Kapasitas Per Jam mesin standar:

Waktu yang diperlukan untuk 1 Roll (menit)
 $= 88 \text{ mold} * 29 \text{ detik} = 2.552 \text{ detik} = 42 \text{ Menit } 31 \text{ Detik}$ untuk menghabiskan 1 Roll
 Faktor pengali untuk per 1 roll = $2.552 \text{ detik} / 3600 \text{ detik} = 0,7088$

Perhitungan sebelum di modifikasi:

Faktor Kelelahan Operator (FK): 1.2 (karena manual)

Kapasitas mesin Per Jamnya = 112 mold/jam
 Harga per Mold = Operator/roll*F.K. + Harga RM/roll + Listrik/Roll*F.K.) / Jumlah mold /roll =
 $(\text{Rp. } 33.396,43 * 0,7088 * 1,2) + \text{Rp. } 1.600.000,- + (\text{Rp. } 18.950,58 * 0,7088 * 1,2) / 88 \text{ mold/roll}$
 Harga per Mold(HPP)=
 Rp. 18.687,8399

Perhitungan Kapasitas Per Jam setelah dimodifikasi :

Waktu yang diperlukan untuk 1 Roll(menit)
 $= 88 \text{ mold} * 26 \text{ detik} = 2.288 \text{ detik} = 38 \text{ Menit } 8 \text{ Detik}$ untuk menghabiskan 1 Roll
 Faktor pengali untuk per 1 roll = $2.288 \text{ detik} / 3600 \text{ detik} = 0,6355$

Faktor Kelelahan Operator (FK): 1 (karena otomatis)

Kapasitas mesin Per Jamnya = 138 mold /Jam

Harga per Mold = Harga 1 Operator/roll + Harga Raw Material/roll + Listrik/Roll) / Jumlah mold /roll = (Rp. $33.396,43 * 0,6355 * 1) + \text{Rp. } 1.600.000,- + (\text{Rp. } 18.950,58 * 0,6355 * 1) / 88 \text{ mold/roll}$
 Harga per mold= Rp. 18.559,8799

Dari sini kita bisa ketahui dengan modifikasi sederhana ini menjadi full otomatis, biaya Harga Pokok Produksi(HPP) turun sebesar Rp. 127,959 per mold. Jika dalam persen sekitar 0,68% per mold.

Perhitungan Penghematan Biaya Operasional Per Bulan

Jika dikonversikan untuk harga pokok produksi dari 1 Roll Film : Sebelum Modifikasi = Rp. 18.687,839 * 88 mold = Rp.1.644.529,863

harga operasional / roll sekitar Rp. 44.529,863

Setelah Modifikasi = Rp. 18.559,8799 * 88 mold = Rp. 1.633.269,439
 harga operasional / roll turun jadi sekitar Rp. 33.269,439

Asumsi dalam sehari 3 Shift, 20 jam (sudah dikurangi istirahat) Asumsi faktor Running dengan Downtime : 0,9
 Penghematan Operasional per roll = Opr. Seb. Modif - Opr. Ses. Modif = Rp. 44.529,863 - Rp. 33.269,439 = Rp. 11.260,4251 Jumlah Roll

Produksi dalam 1 Hari = jml jam / wkt 1 Roll modif * Faktor Downtime = 20 jam / 38'8" * 0,9 = 28,32 roll per hari
 Total penghematan dalam 1 hari = Jumlah Roll/ Hari * Penghematan per roll = 28,32 roll per hari * Rp. 11.260,4251
 Total penghematan dalam 1 hari = Rp. 318.895,2388
 Penghematan Biaya Operasional dalam 1 bulan (22 hr kerja) = Rp. 7.015.695,253.

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan di atas, lalu dapat kita rangkum sesuai dengan target-target peningkatan dari aspek-aspek yang sudah dicanangkan sejak awal.

Durasi standar 29 detik, setelah

dimodifikasi menjadi 26 detik. Terjadi kenaikan kecepatan produksi sebesar 3 detik bersifat konstan sampai raw material habis dan resiko kecepatan operator yang tidak konstan dapat berkurang jauh. Kapasitas standar sebesar 112 mold/jam, setelah dimodifikasi menjadi 138 mold/jam. Terjadi peningkatan kapasitas sebesar 23,21% per Jam tanpa memperhitungkan kelelahan operator.

Setelah hasil modifikasi ini, operator bisa bekerja sambil duduk, dan tidak terlalu memerlukan konsentrasi penuh saat bekerja. Konsentrasi penuh hanya dibutuhkan pada awalnya saja. Dengan pemasangan Sensor dan HMI-Scada di mesin ini, hasil produksi dapat terpantau real time dengan SCADA. Dan tentunya Pemimpin/ Manajemen dapat senantiasa memantau hasil produksi mesin ini.

Dengan pemasangan Sensor dan HMI-Scada di mesin ini, terlihat modern dan dapat dikontrol dari jarak jauh dengan Handphone. HPP awal Rp. 18.687,839 turun menjadi Rp. 18.559,8799 per mold. Terjadi penurunan biaya sekitar Rp. 138,065 per mold. Penghematan biaya operasional per hari mesin setelah dimodifikasi adalah sebesar Rp. 318.895,239. Jika dihitung per bulan 3 Shift (diluar lembur di hari libur) adalah sebesar Rp. 7.015.695,253.

Daftar Pustaka

- Sismanto Sismanto, Winny Andalia, Irnanda Pratiwi (2023).** Analisa Kualitas Produk Cup Thermoforming dengan Metode Stastistical Quality Control.
- Gun Gun Maulana, Ridwan Mada, Regim Ramaya Purba. (2022)** Automation Storage System Based On SCADA Using PLC.
- Formech, (2022),** Floor Standing Vacuum Forming Machine 508, Hertfordshire
- Adhikari N., Timilsina N. S., Gautam S., Kaphle S., and Shrestha P. L., (2021)** “Design and simulation of components of vacuum forming machine using household vacuum cleaner,” J. Eng. Issues Solut., vol. 1, no. 1, pp. 138–157, 2021, doi: 10.3126/joeis.v1i1.36834.
- Mclauchlin, Andrew & Noreen, L. Thomas, (2012).** Oxo-degradable plastics: degradation, environmental impact and recycling, Loughborough : Loughborough University
- Utomo, A. Priyambodo, (2023),** Indonesia Masuk Sepuluh Besar Negara Pengimpor Sampah Plastik Global. Jakarta : National Geographic.co.id
- Mansoor, I., Naseer, A. and Qadeer A., (2022)** “Manufacturing of Economical Packing by Using Vacuum Forming Technique †,” Eng. Proc., vol. 12, no. 1, pp. 10–13, 2022, doi: 10.3390/engproc2021012074.
- Bakhtiar . Agung (2020).** *PANDUAN DASAR OUTSEAL PLC* . Sidoarjo: Indonesia Bakhtiar
- Bayer Polymers. (2022).** *Thermoforming Design Guide*. Massachusetts : U.S. Plastics Manufacturing Resources.
- Thomas. CW (2023).** *Thermoforming Design Guide*. Philadelphia : U.S. CW Thomas
- Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (2020).** *SolidWorks Essentials*. Concord, Massachusetts: USA 01742
- Formech International Limited. (2018).** *Vacuum Forming Guide*. Hertfordshire :U.K. Formech
- Lookerpack. (2024).** *LK-61*. Guangzhou:C.N. <https://www.lookerpack.com/LK-61-pd44662460.html>
- Mclauchlin, Andrew & Noreen, L. Thomas, (2012).** *Oxo-degradable plastics: degradation, environmental impact and recycling*, Loughborough : Loughborough University
- Parkinson, Giles. (2014).** *Fossil fuels, utilities, petrol cars to be obsolete by 2030*. Melbourne : reneweconomy.com.au
- Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd. (2024).** Xiamen : C.N. (<http://en.haiwell.com/hwproducts/196.html>)
- C.S. Tealaumbanua (2022)** Analisa kualitas Pembentukan Lembaran Terhadap Pengaruh Variasi Tekanan , Variasi Temperatur, Dan Variasi Waktu Pemanasan Pada Proses Vacuum Forming.
- A. Zamheri (2022)** Studi Perancangan Alat Vacuum Forming Untuk Pengemasan Produk.