



**PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK KARAKURI*  
PADA PROSES *PACKING SPEEDOMETER* DENGAN  
METODE *QC 7 TOOLS* DAN *VDI 2221* UNTUK  
MENINGKATAN EFISIENSI KERJA**

**TUGAS AKHIR  
SKRIPSI**

**UNIVERSITAS  
MERCU BUANA**  
**RYAN PRASTA ZAGI NEVANGGA**  
**41322110079**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2026**



**PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK KARAKURI*  
PADA PROSES *PACKING SPEEDOMETER* DENGAN  
METODE *QC 7 TOOLS* DAN *VDI 2221* UNTUK  
MENINGKATAN EFISIENSI KERJA**

**TUGAS AKHIR  
SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana**

**RYAN PRASTA ZAGI NEVANGGA  
41322110079**

**MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2026**

## HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ryan Prasta Zagi Nevangga  
NIM : 41322110079  
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK KARAKURI* PADA PROSES  
*PACKING SPEEDOMETER* DENGAN METODE *QC 7 TOOLS* DAN *VDI 2221*  
UNTUK MENINGKATAN EFISIENSI KERJA”

adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Jakarta, 14 Februari 2026



1000  
METERAI  
TEMPEL  
AAAANX298175378

Ryan Prasta Zagi Nevangga

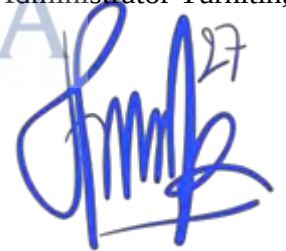
## SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I., BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : Ryan Prasta Zagi Nevangga  
NIM : 41322110079  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir / Tesis  
/ Praktek Keinsinyuran : **PENINGKATAN DESAIN SHUTTER RACK KARAKURI PADA PROSES PACKING SPEEDOMETER DENGAN METODE QC 7 TOOLS DAN VDI 2221 UNTUK MENINGKATAN EFISIENSI KERJA**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Jumat, 13 Februari 2026** dengan hasil presentase sebesar **13 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.  
Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS Jakarta, 13 Februari 2026  
MERCU BUANA Administrator Turnitin,



**Itmam Haidi Syarif**

## HALAMAN PENGESAHAN

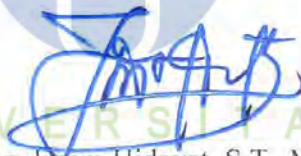
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryan Prasta Zagi Nevangga  
NIM : 41322110079  
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK*  
*KARAKURI* PADA PROSES *PACKING*  
*SPEEDOMETER* DENGAN METODE *QC 7*  
*TOOLS* DAN *VDI 2221* UNTUK  
MENINGKATAN EFISIENSI KERJA

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 29 Januari 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.  
NIDN/NUPTK: 0005087502

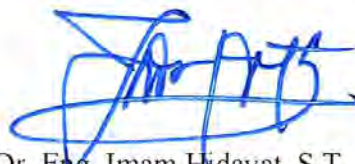
Jakarta, 14 Februari 2026  
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.  
NIDN/NUPTK: 0307037202

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.  
NIDN/NUPTK: 0005087502



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin
4. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
5. Keluarga dari penulis yang selalu memberi dukungan dan doa untuk penulis demi kelancaran penyusunan tugas akhir skripsi ini.
6. Nurul Ananda selaku sistem struktur tembok pertama yang kokoh untuk kelancaran penelitian ini hingga selesai
7. Prasetio Marsudi Cahyo selaku adik yang membantu dalam desain serta perancangan konsep dalam penelitian ini
8. Diri ini, karena telah berjuang sejauh ini

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 14 Februari 2026



Ryan Prasta Zagi Nevangga

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ryan Prasta Zagi Nevangga  
NIM : 41322110079  
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : "PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK KARAKURI* PADA PROSES *PACKING SPEEDOMETER* DENGAN METODE *QC 7 TOOLS* DAN *VDI 2221* UNTUK MENINGKATAN EFISIENSI KERJA"

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 14 Februari 2026

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow rectangular stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "1000 RUPIAH", "METERAI TEMPEL", and the serial number "E6FFBANX298175380".

Ryan Prasta Zagi Nevangga

**PENINGKATAN DESAIN *SHUTTER RACK KARAKURI* PADA PROSES  
*PACKING SPEEDOMETER* DENGAN METODE *QC 7 TOOLS*  
DAN *VDI 2221* UNTUK MENINGKATKAN  
EFISIENSI KERJA  
Ryan Prasta Zagi Nevangga**

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan merancang *shutter rack* dengan prinsip *karakuri* sebagai sistem *material handling* untuk *box finish good* pada proses *packing speedometer* untuk meningkatkan efisiensi kerja operator. Metodologi penelitian meliputi identifikasi kebutuhan produksi, perancangan menggunakan metode *QC 7 TOOLS* dan *VDI 2221*, analisis kekuatan struktur, perhitungan kecepatan laju *box*, perhitungan total waktu tempuh, serta simulasi *finite element analysis (FEA)* sebagai validasi perhitungan mekanis. Hasil perancangan menghasilkan sistem *karakuri* dengan struktur dua tumpuk vertikal yang bekerja secara mekanis. Analisis struktur menunjukkan sudut kemiringan ideal sebesar  $10^\circ$  dengan panjang lintasan 3,2 m dan tinggi total 1,5 m. Dengan beban *box* 5 kg, tegangan yang terjadi pada struktur adalah  $5,38 \text{ N/mm}^2$ . Material yang digunakan pada struktur ialah aluminium 6061-T6 dengan *yield strength* sebesar  $275 \text{ N/mm}^2$ . Hal ini menyimpulkan bahwa struktur mampu menahan beban yang akan terjadi pada saat proses *packing*. Sementara itu dari hasil analisa FEA pada *SOLIDWORKS*, didapati bahwa deformasi maksimal yang terjadi adalah 0,78mm dan juga regangan berada pada  $5,5 \times 10^{-5}$ . Dalam hitungan matematis, kecepatan pada titik akhir saat *box* melaju pada struktur mengalami peningkatan dari yang awalnya  $1,26 \text{ m/s}$  menjadi  $4,84 \text{ m/s}$ . Sehingga terjadinya pemangkasan waktu dari yang awalnya 11,27 sekon menjadi 3,1 sekon. Pada saat dilakukannya penerapan *shutter rack* dengan konsep *karakuri* ini pada proses *packing*, waktu siklus total dari proses *packing* ini pun juga mengalami penurunan. Dari yang awalnya belum menerapkan sistim ini, untuk menghasilkan 1 pcs produk memerlukan waktu 78,2 sekon. Setelah dilakukannya pengembangan desain pada *Shutter Rack Karakuri*. Waktu siklus total dari proses *packing* untuk menghasilkan 1 pcs produk menjadi 73,7 sekon. Sehingga efisiensi pada proses *packing* meningkat sebesar 6,53% setelah dilakukannya pengembangan desain

**Kata kunci :** *Karakuri, Shutter Rack, Metode VDI 2221, QC 7 Tools, Waktu Tempuh, Analisa Struktur*



**DESIGN DEVELOPMENT OF SHUTTER RACK KARAKURI  
SPEEDOMETER PACKING PROCESS USING  
QC 7 TOOLS METHODE AND VDI 2221  
TO IMPROVE WORK EFFCICIENCY**  
**Ryan Prasta Zagi Nevangga**

**ABSTRACT**

*This study aims to develop a shutter rack based on Karakuri principles as a material handling system for finished-good boxes in the speedometer packing process, with the intention of improving operator efficiency. The research begins with identifying production needs, followed by designing the system using the QC 7 TOOLS and VDI 2221 method. Additional steps include structural strength analysis, calculation of box travel speed and total travel time, as well as finite element analysis (FEA) to validate the mechanical performance of the structure. The final design features a mechanically operated Karakuri shutter rack with a two-level vertical layout. Structural analysis indicates that an inclination angle of  $10^\circ$ , combined with a track length of 3.2 meters and a total height of 1.5 meters, provides optimal functionality. With a box load of 5 kilograms, the structure experiences a stress value of  $5.38 \text{ N/mm}^2$ . The frame is constructed using 6061-T6 aluminum, which has a yield strength of  $275 \text{ N/mm}^2$ , confirming that the structure can safely withstand operational loads. FEA simulations conducted in SOLIDWORKS show a maximum deformation of 0.78 mm and a strain value of  $5.5 \times 10^{-5}$ , supporting the results of the analytical calculations. From the mathematical analysis, the box velocity increases significantly from an initial speed of 1.26 m/s to 4.84 m/s at the end of the track, reducing travel time from 11.27 seconds to 3.1 seconds. Implementation of the Karakuri shutter rack in the packing area also leads to an improvement in the overall cycle time. Initially, producing one unit required 78.2 seconds. After applying the improved design, the cycle time decreases to 73.7 seconds, resulting in a 6.53% increase in packing efficiency.*

**Keywords :** Karakuri, Shutter Rack, Metode VDI 2221, QC 7 TOOLS, Travel Time, Structure Analysis

## DAFTAR ISI

|                                                                                |          |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------|
| HALAMAN SAMPUL.....                                                            | i        |
| HALAMAN JUDUL .....                                                            | i        |
| HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI .....                                         | ii       |
| HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN .....                              | iii      |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                                                       | iv       |
| KATA PENGANTAR.....                                                            | v        |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR<br>DI REPOSITORI UMB..... | vi       |
| ABSTRAK .....                                                                  | vii      |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                                          | viii     |
| DAFTAR ISI.....                                                                | ix       |
| DAFTAR TABEL .....                                                             | xii      |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                            | xiii     |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                          | xvi      |
| DAFTAR SIMBOL .....                                                            | xvii     |
| DAFTAR SINGKATAN.....                                                          | xviii    |
| <b>BAB I     PENDAHULUAN.....</b>                                              | <b>1</b> |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                       | 1        |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                      | 4        |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                                     | 5        |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                                    | 5        |
| 1.5 Ruang Lingkup Dan Batasan Masalah .....                                    | 5        |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                                                 | 6        |
| <b>BAB II     LANDASAN TEORI.....</b>                                          | <b>7</b> |
| 2.1 Penelitian Terdahulu.....                                                  | 7        |
| 2.2 Konsep Dasar Sistem <i>Karakuri Kaizen</i> .....                           | 11       |
| 2.3 Prinsip Kerja Dan Komponen <i>Shutter Rack Karakuri</i> .....              | 12       |
| 2.3.1 Komponen Utama Sistem <i>Shutter Rack</i> .....                          | 13       |
| 2.4 Hukum Newton Dalam Sistem Mekanis .....                                    | 25       |

|                |                                                                          |           |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.1          | Hukum Newton I.....                                                      | 25        |
| 2.4.2          | Hukum Newton II .....                                                    | 25        |
| 2.5            | Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) .....                               | 26        |
| 2.6            | Gaya Gesek Pada Sistem <i>Karakuri</i> .....                             | 26        |
| 2.6.1          | Gaya Gesek Statis .....                                                  | 26        |
| 2.6.2          | Gaya Gesek Kinetik .....                                                 | 27        |
| 2.7            | Diagram Benda Bebas / <i>Free Body Diagram (FBD)</i> .....               | 27        |
| 2.8            | Metode Energi Kerja ( <i>Work-Energy Method</i> ) .....                  | 28        |
| 2.9            | Perhitungan Tegangan Yang Bekerja Pada Rangka.....                       | 29        |
| 2.10           | Material Dan Sifat Mekanik.....                                          | 29        |
| 2.10.1         | Material Rangka Shutter Rack <i>Karakuri</i> .....                       | 30        |
| 2.10.2         | Sifat Mekanik Material Aluminium 6061-T6 .....                           | 30        |
| 2.10.3         | Peranan Sifat Mekanik dalam Perancangan Struktur.....                    | 31        |
| 2.10.5         | Aplikasi Pemilihan Material dalam Metode <i>VDI 2221</i> .....           | 32        |
| 2.10.6         | Keterkaitan Material dengan Simulasi <i>FEA</i> .....                    | 32        |
| 2.11           | <i>Material Handling</i> .....                                           | 32        |
| 2.12           | Metode Perancangan <i>VDI 2221</i> .....                                 | 33        |
| 2.13           | QC 7 Tools.....                                                          | 34        |
| <b>BAB III</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                                       | <b>38</b> |
| 3.1.           | Diagram Alir Penelitian.....                                             | 38        |
| 3.2.           | Langkah Kerja Diagram Alir Penelitian.....                               | 39        |
| 3.2.1          | Data Aktual Lapangan.....                                                | 39        |
| 3.2.2          | Studi Lapangan.....                                                      | 39        |
| 3.2.3          | Studi Literatur .....                                                    | 39        |
| 3.2.4          | Identifikasi Masalah dengan QC 7 Tools .....                             | 39        |
| 3.2.5          | Metode <i>VDI 2221</i> .....                                             | 41        |
| 3.2.6          | Simulasi <i>Prototype</i> dan <i>Finite Element Analysis (FEA)</i> ..... | 43        |
| 3.2.7          | Penerapan pada Proses Packing .....                                      | 43        |
| 3.3.           | Analisa Masalah dengan QC 7 Tools .....                                  | 44        |
| 3.4.           | Proses Pengembangan Desain dengan Metode <i>VDI 2221</i> .....           | 52        |
| 3.4.1.         | Daftar Periksa.....                                                      | 52        |
| 3.4.2.         | Daftar Kehendak .....                                                    | 53        |

|                            |                                                                                                                          |            |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.3.                     | Abstraksi .....                                                                                                          | 55         |
| 3.4.4.                     | Struktur Fungsi.....                                                                                                     | 57         |
| 3.4.5.                     | Pemilihan Kombinasi Terbaik.....                                                                                         | 66         |
| 3.4.6.                     | Evaluasi Harian .....                                                                                                    | 68         |
| 3.4.7.                     | Meneguhkan Varian Konsep .....                                                                                           | 69         |
| 3.4.                       | Alat dan Bahan .....                                                                                                     | 71         |
| <b>BAB IV</b>              | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                                                         | <b>73</b>  |
| 4.1.                       | Perhitungan Struktur Rangka <i>Karakuri</i> .....                                                                        | 73         |
| 4.1.1.                     | Perhitungan Sudut Kemiringan <i>Karakuri</i> .....                                                                       | 73         |
| 4.1.2.                     | Analisa Gaya Yang Terjadi pada Struktur <i>Shutter Rack</i> .....                                                        | 76         |
| 4.2.                       | Kinematika Dan Dinamika Pada Rancangan .....                                                                             | 80         |
| 4.2.1.                     | Percepatan pada Rancangan <i>Shutter Rack Karakuri</i> .....                                                             | 81         |
| 4.2.2.                     | Perhitungan Waktu Tempuh .....                                                                                           | 82         |
| 4.2.3.                     | Kecepatan pada Titik Akhir.....                                                                                          | 82         |
| 4.3.                       | Kinematika Dan Dinamika Pada Kondisi Aktual.....                                                                         | 84         |
| 4.3.1.                     | Percepatan pada Kondisi Aktual .....                                                                                     | 84         |
| 4.3.2.                     | Perhitungan Waktu Tempuh pada Kondisi Aktual .....                                                                       | 84         |
| 4.3.3.                     | Kecepatan Pada Titik Akhir pada Kondisi Aktual.....                                                                      | 85         |
| 4.4.                       | Perbandingan Kinematika dan Dinamika Antara Desain dan Aktual .86                                                        |            |
| 4.5.                       | Analisa <i>FEA</i> untuk Pembebanan Struktur <i>Shutter Rack</i> Sebelum<br>Dilakukan Pengembangan Desain .....          | 86         |
| 4.6.                       | Analisa <i>FEA</i> untuk Pembebanan Struktur <i>Shutter Rack Karakuri</i><br>Setelah Dilakukan Pengembangan Desain ..... | 90         |
| 4.7.                       | Perbandingan Analisa <i>Finite Element Analysis (FEA)</i> .....                                                          | 93         |
| 4.8.                       | Uji <i>Prototype Shutter Rack Karakuri</i> .....                                                                         | 94         |
| 4.9.                       | Dampak Pengembangan Desain pada Proses Aktual .....                                                                      | 96         |
| 4.10.                      | Pemantauan dengan QC 7 Tools setelah peningkatan desain.....                                                             | 98         |
| <b>BAB V</b>               | <b>PENUTUP .....</b>                                                                                                     | <b>105</b> |
| 5. 1.                      | Kesimpulan.....                                                                                                          | 105        |
| 5. 2.                      | Saran.....                                                                                                               | 106        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b> |                                                                                                                          | <b>107</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>       |                                                                                                                          | <b>109</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....                                                                                   | 8  |
| Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Aluminium 6061-T6 .....                                                                       | 30 |
|                                                                                                                        |    |
| Tabel 3. 1 Daftar Periksa .....                                                                                        | 52 |
| Tabel 3. 2 Daftar Kehendak .....                                                                                       | 54 |
| Tabel 3. 3 Abstraksi I dari Daftar Kehendak .....                                                                      | 55 |
| Tabel 3. 4 Abstraksi II dari Daftar Kehendak .....                                                                     | 56 |
| Tabel 3. 5 Abstraksi III dari Daftar Kehendak .....                                                                    | 56 |
| Tabel 3. 6 Matriks Prinsip Solusi untuk Sub-Fungsi.....                                                                | 59 |
| Tabel 3. 7 Kekurangan dan Kelebihan dari Tiap Komponen .....                                                           | 60 |
| Tabel 3. 8 Lembar Solusi .....                                                                                         | 67 |
| Tabel 3. 9 Kriteriar Penilaian berdasarkan Bobot ( $W_i$ ) Nilai Parameter ( $V_i$ ) .....                             | 68 |
| Tabel 3. 10 Hasil Evaluasi Harian.....                                                                                 | 68 |
| Tabel 3. 11 Konfigurasi Varian 1.....                                                                                  | 70 |
| Tabel 3. 12 Alat yang digunakan.....                                                                                   | 71 |
| Tabel 3. 13 Bahan yang digunakan .....                                                                                 | 72 |
|                                                                                                                        |    |
| Tabel 4. 1 Pengaruh Sudut Kemiringan terhadap Percepatan dan Waktu Tempuh Box Material pada Shutter Rack Karakuri..... | 75 |
| Tabel 4. 2 Perbandingan Kinematika dan Dinamika antara desain dan aktual .....                                         | 86 |
| Tabel 4. 3 Perbandingan hasil uji FEA Struktur Shutter Rack sebelum dan sesudah dilakukan pengembangan desain.....     | 93 |
| Tabel 4. 4 Hasil Uji Prototype Shutter Rack Karakuri .....                                                             | 94 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1 Data Jumlah Produksi Bulanan di PT.X.....              | 1  |
| Gambar 1. 2 Diagram Alir Proses Perakitan Speedometer di PT.X..... | 2  |
| Gambar 1. 3 Grafik Waktu Siklus Proses Produksi .....              | 3  |
| Gambar 1. 4 Gerakan Operator Pada Proses Packing .....             | 3  |
| <br>                                                               |    |
| Gambar 2. 1 Contoh Shutter Rack Karakuri .....                     | 12 |
| Gambar 2. 2 Frame Karakuri .....                                   | 13 |
| Gambar 2. 3 Stopper Railway Frame .....                            | 13 |
| Gambar 2. 4 Inner Cap Frame.....                                   | 14 |
| Gambar 2. 5 Multi Frame Connector .....                            | 14 |
| Gambar 2. 6 Multi Frame Connector .....                            | 15 |
| Gambar 2. 7 Free Angle Multi Frame Connector .....                 | 15 |
| Gambar 2. 8 Point Connector.....                                   | 16 |
| Gambar 2. 9 Cross Connector .....                                  | 16 |
| Gambar 2. 10 Parallel Frame Connector.....                         | 17 |
| Gambar 2. 11 Straight Frame Connector .....                        | 17 |
| Gambar 2. 12 End Foot Frame.....                                   | 18 |
| Gambar 2. 13 Rotary Connector .....                                | 18 |
| Gambar 2. 14 Pergerakan Rotary Connector .....                     | 19 |
| Gambar 2. 15 Folding Connector.....                                | 19 |
| Gambar 2. 16 Pergerakan Folding Connector.....                     | 20 |
| Gambar 2. 17 Roller Mounting .....                                 | 20 |
| Gambar 2. 18 Pergerakan Roller Mounting .....                      | 21 |
| Gambar 2. 19 Idler .....                                           | 21 |
| Gambar 2. 20 Pergerakan Idler .....                                | 21 |
| Gambar 2. 21 Idler Wire.....                                       | 22 |
| Gambar 2. 22 Shock Absorber.....                                   | 22 |
| Gambar 2. 23 Railway Stopper .....                                 | 23 |
| Gambar 2. 24 Tension Spring.....                                   | 23 |

|                                                                                                        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Gambar 2. 25 Corocon Roller .....                                                                      | 24     |
| Gambar 2. 26 Corocon Roller Hook .....                                                                 | 24     |
| Gambar 2. 27 Check Sheet.....                                                                          | 34     |
| Gambar 2. 28 Histogram.....                                                                            | 34     |
| Gambar 2. 29 Pareto Diagram.....                                                                       | 35     |
| Gambar 2. 30 Scatter Diagram.....                                                                      | 36     |
| Gambar 2. 31 Peta Kendali (Control Chart).....                                                         | 36     |
| Gambar 2. 32 Diagram Sebab Akibat (Fishbone Diagram) .....                                             | 37     |
| Gambar 2. 33 Diagram Alir.....                                                                         | 37     |
| <br>Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....                                                           | <br>38 |
| Gambar 3. 2 Diagram Kerja Proses Packing.....                                                          | 44     |
| Gambar 3. 3 Check Sheet data studi waktu proses packing.....                                           | 45     |
| Gambar 3. 4 <i>Histogram Time Study</i> proses elemen kerja pada proses <i>packing</i> ....            | 46     |
| Gambar 3. 5 Pareto Diagram Elemen Proses Kerja (D) .....                                               | 47     |
| Gambar 3. 6 Scatter Diagram hubungan antara Extra handling dan dengan Total Waktu Proses Packing ..... | 48     |
| Gambar 3. 7 Stabilitas ketika Operator melakukan Extra Handling.....                                   | 49     |
| Gambar 3. 8 Fishbone Diagram 5M 1E Extra Handling Operator .....                                       | 50     |
| Gambar 3. 9 Fungsi Keseluruhan Alat .....                                                              | 58     |
| Gambar 3. 10 Konsep Rancangan Varian 1 (A1 - B1 - C1 - D3).....                                        | 64     |
| Gambar 3. 11 Konsep Rancangan Varian 2 (A1 – B1 – C3 – D1).....                                        | 65     |
| Gambar 3. 12 Konsep Rancangan Varian 3 (A1 – B3 – C2 – D2).....                                        | 65     |
| Gambar 3. 13 Konsep Varian 1 Shutter Rack Karakuri yang Terpilih .....                                 | 70     |
| <br>Gambar 4. 1 Diagram Benda Bebas (FBD) Laju Box pada Bidang Miring .....                            | <br>73 |
| Gambar 4. 2 Grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap waktu tempuh dan percepatan .....                | 76     |
| Gambar 4. 3 FBD Pergerakkan Box pada Lintasan Shutter Rack Karakuri .....                              | 77     |
| Gambar 4. 4 Reaksi Gaya yang Bekerja pada Lintasan Shutter Rack Karakuri ..                            | 78     |
| Gambar 4. 5 Rancangan Shutter Rack Karakuri dari Konsep terpilih .....                                 | 81     |
| Gambar 4. 6 FBD Reaksi Box Bidang Miring Lintasan Shutter Rack Karakuri ..                             | 83     |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4. 7 FBD Reaksi Box pada Bidang Miring Lintasan Aktual.....                                                                           | 85  |
| Gambar 4. 8 Hasil Uji tegangan di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack sebelum dilakukan pengembangan desain .....                | 87  |
| Gambar 4. 9 Hasil Uji deformasi di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack sebelum dilakukan pengembangan desain .....               | 88  |
| Gambar 4. 10 Hasil Uji Safety Factor di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack sebelum dilakukan pengembangan desain .....          | 89  |
| Gambar 4. 11 Hasil Uji tegangan di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack karakuri setelah dilakukan pengembangan desain .....      | 90  |
| Gambar 4. 12 Hasil Uji deformasi di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack karakuri setelah dilakukan pengembangan desain .....     | 91  |
| Gambar 4. 13 Hasil Uji Safety Factor di FEA pada SOLIDWORKS untuk struktur shutter rack karakuri setelah dilakukan pengembangan desain ..... | 92  |
| Gambar 4. 14 Uji Prototype Pengembangan Desain Shutter Rack Karakuri.....                                                                    | 94  |
| Gambar 4. 15 Pegerakan Operator <b>Sebelum</b> penerapan Shutter Rack Karakuri..                                                             | 96  |
| Gambar 4. 16 Pergerakan Operator <b>Sesudah</b> Penerapan Shutter Rack Karakuri.                                                             | 96  |
| Gambar 4. 17 Dampak Penerapan Shutter Rack Karakuri.....                                                                                     | 97  |
| Gambar 4. 18 Diagram Kerja Proses Packing.....                                                                                               | 99  |
| Gambar 4. 19 Studi Waktu <b>Setelah</b> penerapan Shutter Rack Karakuri .....                                                                | 100 |
| Gambar 4. 20 Studi Waktu <b>Sebelum</b> penerapan Shutter Rack Karakuri .....                                                                | 100 |
| Gambar 4. 21 Histogram <b>Setelah</b> penerapan Shutter Rack Karakuri .....                                                                  | 101 |
| Gambar 4. 22 Histogram <b>Sebelum</b> penerapan Shutter Rack Karakuri.....                                                                   | 101 |
| Gambar 4. 23 Pareto Diagram pada Elemen Proses Kerja (D) <b>Setelah</b> .....                                                                | 102 |
| Gambar 4. 24 Pareto Diagram pada Elemen Kerja Proses (D) <b>Setelah</b> .....                                                                | 102 |
| Gambar 4. 25 Control Chart <b>Sebelum</b> dilakukannya pengembangan desain .....                                                             | 103 |
| Gambar 4. 26 Control Chart Elemen Kerja Proses (D) <b>Setelah</b> Dilakukan Peningkatan Desain.....                                          | 104 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran A Spesifikasi Material 6061-T6 .....                                          | 110 |
| Lampiran B Gambar <i>Shutter Rack</i> Aktual Sebelum Pengembangan .....                | 111 |
| Lampiran C Gambar <i>Shutter Rack Karakuri</i> Hasil Pemilihan Konsep .....            | 112 |
| Lampiran D FEA <i>Stress</i> untuk <i>Shutter Rack</i> Aktual Sebelum Pengembangan...  | 113 |
| Lampiran E FEA <i>Displacement</i> untuk <i>Shutter Rack</i> Aktual Sebelum .....      | 114 |
| Lampiran F FEA <i>Stress</i> untuk <i>Shutter Rack Karakuri</i> Hasil Pemilihan Konsep | 115 |
| Lampiran G FEA <i>Displacement</i> untuk <i>Shutter Rack Karakuri</i> Hasil Pemilihan  | 116 |



## DAFTAR SIMBOL

|                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| $F$             | = gaya atau beban (N)               |
| $m$             | = massa benda (kg)                  |
| $a$             | = percepatan ( $m/s^2$ )            |
| $v$             | = kecepatan akhir (m/s)             |
| $v_0$           | = kecepatan awal (m/s)              |
| $s$             | = jarak tempuh (m)                  |
| $t$             | = waktu (s)                         |
| $F_s$           | = gaya gesek statis (N)             |
| $\mu_s$         | = koefisien gesek statis            |
| $N$             | = gaya normal (N)                   |
| $F_k$           | = gaya gesek kinetik (N)            |
| $\mu_k$         | = koefisien gesek kinetik           |
| $W$             | = Usaha / <i>Work</i> (J)           |
| $E_k$           | = Perubahan Energi Kinetik (J)      |
| $\sigma$        | = tegangan ( $N/m^2$ )              |
| $A$             | = luas penampang ( $m^2$ )          |
| $\rho$          | = massa jenis ( $kg/m^3$ )          |
| $E$             | = Modulus Elastisitas (Pa)          |
| $\sigma_y$      | = Tegangan luluh (Pa)               |
| $\sigma_u$      | = Tegangan tarik maksimum (Pa)      |
| $\nu$           | = Rasio Poisson                     |
| $\sigma_{izin}$ | = tegangan izin (Pa)                |
| $I$             | = momen inersia penampang ( $m^4$ ) |
| $D$             | = diameter luar pipa (m)            |



## DAFTAR SINGKATAN

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| VDI  | = <i>Verein Deutscher Ingenieure</i> |
| GLBB | = Gerak Lurus Berubah Beraturan      |
| FBD  | = <i>Free Body Diagram</i>           |
| CAD  | = <i>Computer Aided Design</i>       |
| FEA  | = <i>Finite Element Analysis</i>     |

