

**PENGENDALIAN MUTU STATISTIK TERHADAP ALAT
SKIR KATUP OTOMATIS *VALVE GRINDING AUTOMATIC*
SYSTEM MENGGUNAKAN PETA KENDALI DAN
ANALISIS KAPABILITAS**

SKRIPSI



**Oleh:
YUVANI OKSARIANTI
NIM. 18337036/2018**

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

**PENGENDALIAN MUTU STATISTIK TERHADAP ALAT
SKIR KATUP OTOMATIS *VALVE GRINDING AUTOMATIC*
SYSTEM MENGGUNAKAN PETA KENDALI DAN
ANALISIS KAPABILITAS**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika*



**Oleh:
YUVANI OKSARIANTI
NIM. 18337036/2018**

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

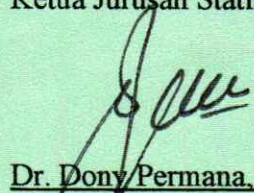
PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGENDALIAN MUTU STATISTIK TERHADAP ALAT SKIR KATUP OTOMATIS *VALVE GRINDING AUTOMATIC* SYSTEM MENGGUNAKAN PETA KENDALI DAN ANALISIS KAPABILITAS

Nama : Yuvani Oksarianti
NIM : 18337036
Program Studi : S1 Statistika
Jurusan : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2022

Mengetahui:
Ketua Jurusan Statistika



Dr. Dony Permana, M. Si
NIP. 197501272006041001

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Dina Fitria, S. Pd., M. Si
NIP. 172019

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Yuvani Oksarianti
NIM : 18337036
Program Studi : S1 Statistika
Jurusan : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGENDALIAN MUTU STATISTIK TERHADAP ALAT SKIR KATUP OTOMATIS *VALVE GRINDING AUTOMATIC* SYSTEM MENGGUNAKAN PETA KENDALI DAN ANALISIS KAPABILITAS

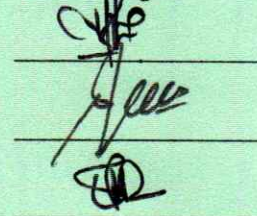
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Februari 2022

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dina Fitria, S. Pd., M. Si
Anggota	: Dr. Dony Permana, M. Si
Anggota	: Drs. Atus Amadi Putra, M. Si

Tanda tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

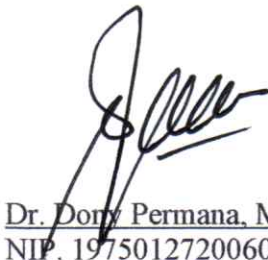
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuvani Oksarianti
NIM : 18337036
Program Studi : S1 Statistika
Jurusan : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul **“Pengendalian Mutu Statistik Terhadap Alat Skir Katup Otomatis *Valve Grinding Automatic System* Menggunakan Peta Kendali Dan Analisis Kapabilitas”** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam tradisi keilmuan. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

Demikian pertanyaan ini saya buat dengan penuh kesadaran rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Statistika,



Dr. Dony Permana, M. Si
NIP. 197501272006041001

Saya yang menyatakan,



Yuvani Oksarianti
NIM. 18337036

Pengendalian Mutu Statistik Terhadap Alat Skir Katup Otomatis *Valve Grinding Automatic System* Menggunakan Peta Kendali dan Analisis Kapabilitas

Yuvani Oksarianti

ABSTRAK

Kebocoran kompresi terjadi pada katup yang disebabkan oleh kotoran dari jelaga yang dihasilkan dari proses pembakaran motor bakar. Untuk mengatasi kebocoran katup tersebut diperlukan penyekiran katup. *Valve Grinding Automatic System* merupakan alat skir katup otomatis yang dirancang untuk mempermudah proses penyekiran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mutu dari alat tersebut berdasarkan peta kendali dan kapabilitas proses menggunakan metode *bootstrap*.

Jenis penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan metode deskriptif kuantitatif melalui pendekatan analisis ekperimental. Penelitian ini diawali dengan mempelajari dan menganalisis teori-teori yang relevan dengan permasalahan, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data. Data yang digunakan adalah data sekunder yang bersumber dari hasil penelitian Yodi A.P, mahasiswa Jurusan Teknik Otomotif UNP mengenai Rancang Bangun Alat Skir Katup pada Mobil Menggunakan Pemutar Motor Listrik dengan Pengaturan *Dimmer* AC. Penelitian ini dimulai dengan uji asumsi normalitas, menentukan batas kendali dan membuat peta kendali $\bar{X}$ dan R menggunakan metode *bootstrap*, kemudian menghitung nilai kapabilitas prosesnya.

Berdasarkan hasil penelitian, peta kendali $\bar{X}$ dan R menggunakan *bootstrap* menunjukkan bahwa setiap proses penyekiran pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* berada dalam keadaan terkendali dan stabil (*in statistical control*). Dilihat dari kapabilitas proses, nilai C_p (0,1543) $\approx$ C_{pk} (0,1513). Dalam kondisi ini, hasil penyekiran katup pada alat ini menunjukkan proses berpusat pada titik tengah spesifikasi yang ditentukan. Nilai presisi yang ditunjukkan dari kapabilitas proses dari alat dapat dikatakan *capable* dan batas kontrol percobaan cocok untuk mengontrol penyekiran saat ini atau masa depan. Alat ini mampu menghasilkan penyekiran yang berada di antara batas spesifikasi standar. Namun, karena nilai C_p dan C_{pk} < 1,0 beberapa bagian dari variasi proses terletak di luar spesifikasi yang diharapkan.

Kata kunci: *Bootstrap*, Kapabilitas Proses, Peta Kendali

Statistical Quality Control of Valve Grinding Automatic System Using Control Chart and Capabilities Analysis

Yuvani Oksarianti

ABSTRACT

Compression leakage occurs in the valve caused by impurities from the soot produced from the combustion process of the combustion engine. To overcome the valve leak, it is necessary to clean the valve. Valve Grinding Automatic System is an automatic valve screening tool designed to simplify the cleaning process. The purpose of this study was to determine the quality of the tool based on the control chart and process capability using the bootstrap method.

This type of research is an applied research with a quantitative descriptive method through an experimental analysis approach. This research begins with studying and analyzing relevant theories to the problem, then proceed with data collection. The data used is secondary data sourced from the research results of Yodi A.P, a student of Automotive Engineering Department UNP regarding the Design and Build of Valve Screening In Car Using Electric Motor Dimmer With AC Dimmer Setting. This research begins by testing the normality assumption, determining control limits and making control charts $\bar{X}$ dan R using the bootstrap method, then calculating the value of the process capability.

Based on the results of the study, the $\bar{X}$ dan R control charts using bootstrap show that every cleaning process on the Valve Grinding Automatic System valve skir is in a controlled and stable state (in statistical control). Judging from the process capability, the value of C_p (0.1543) $\approx$ C_{pk} (0.1513). In this condition, the results of cleaning the valve on this tool indicate the process is centered at the midpoint of the specified specification. The precision value indicated by the process capability of the tool can be said to be capable and the experimental control limits are suitable for controlling current or future thinking. This tool is capable of producing clearances that are within the limits of standard specifications. But, due to the values of C_p and $C_{pk} < 1.0$ some part of the process variation are outside the expected specifications.

Keywords: Bootstrap, Process Capability, Control Chart

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengendalian Mutu Statistik Terhadap Alat Skir Katup Otomatis Valve Grinding Automatic System Menggunakan Peta Kendali dan Analisis Kapabilitas”**. Shalawat beserta salam tidak lupa pula penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya dari zaman ked bodohan ke zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan saat sekarang ini.

Penulisan Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Statistika Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Dalam menyelesaikan Skripsi ini, tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dina Fitria, S. Pd, M. Si, selaku pembimbing Skripsi sekaligus Penasehat Akademik yang telah memberikan bimbingan dan saran dalam menyelesaikan Skripsi.
2. Bapak Dr. Dony Permana, M. Si, selaku Ketua Jurusan Statistika dan Koordinator Program Studi S1 Statistika FMIPA UNP sekaligus sebagai dosen penguji.
3. Bapak Drs. Atus Amadi Putra, M. Si sebagai dosen penguji.
4. Bapak dan Ibu Dosen, Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Statistika FMIPA UNP yang telah membimbing dan berbagi ilmu pengetahuan kepada penulis selama duduk di bangku perkuliahan.
5. Teristimewa untuk kedua orang tua yang telah memberikan semangat, nasehat, dukungan, dan bantuan dalam bentuk moril maupun materi kepada penulis.
6. Semua sahabat, teman, serta rekan-rekan yang selalu memberikan semangat serta dukungan kepada penulis.

Semoga dorongan, bimbingan, dan bantuan yang diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah yang diridhai Allah SWT. Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, masukan dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga Skripsi ini dapat memberikan sumbangan pemikiran bagi setiap pembaca dan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Padang, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah	8
C. Rumusan Masalah.....	8
D. Pertanyaan Penelitian.....	8
E. Tujuan Penelitian.....	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II. KERANGKA TEORITIS.....	10
A. Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	10
B. Statistika Deskriptif	13
C. Uji Distribusi Normal	15
D. Peta Kendali (<i>Control Chart</i>) $\bar{X}$ dan R	18
E. Kapabilitas Proses.....	25
F. Metode <i>Bootstrap</i>	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	32
A. Jenis Penelitian	32
B. Jenis dan Sumber Data	32
C. Variabel Penelitian.....	33
D. Struktur Data.....	33
E. Teknik Analisis Data	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. Deskripsi Data	39
B. Analisis Data.....	41
C. Pembahasan	54
BAB V. PENUTUP.....	58

A. Kesimpulan.....	58
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Tahun 2016-2020....	1
2. Struktur Katup.....	10
3. Desain Alat dan Komponen <i>Valve Grinding Automatic System</i>	12
4. Elemen Peta Kendali	19
5. Skema Simulasi <i>Bootstrap</i>	30
6. Data Penyekiran yang Telah Diinput Ke Dalam RStudio.....	43
7. Box-Cox Data Hasil Skir Sebelum dan Sesudah Transformasi	44
8. <i>Range</i> Data Sampel Baru Hasil <i>Bootstrap</i>	47
9. Hasil Penyekiran Berdasarkan Peta Kendali R pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	48
10. <i>Mean</i> data Sampel Baru Hasil <i>Bootstrap</i>	49
11. Hasil Penyekiran Berdasarkan Peta Kendali $\bar{X}$ pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai λ dan Transformasinya.....	17
2. Struktur Data Hasil Penyekiran Katup pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	33
3. Data Hasil Skir Katup pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	39
4. Statistika Deskriptif Data Hasil Skir Katup pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i>	40
5. Rataan dan Range Data Hasil Penyekiran.....	43
6. Hasil Uji Normalitas Data.....	44
7. Data Hasil Penyekiran Katup Pada Alat Skir Katup Otomatis <i>Valve Grinding Automatic System</i> Setelah Transformasi	45
8. Hasil Uji Normalitas Menggunakan Data yang Telah Ditransformasikan	45
9. Rataan dan <i>Range</i> Data Setelah Transformasi	46
12. Data Hasil Pengujian (Server 1).....	66
13. Data Hasil Pengujian (Server 2).....	66
14. Data Hasil Pengujian (Sever 3)	66
15. Rekap Hasil Pengujian (Server 1, 2 dan 3) Menit Ke-5.....	67
16. Rekap Hasil Pengujian (Sever 1, 2 dan 3) Menit Ke-10	67
17. Rekap Hasil Pengujian (Server 1, 2 dan 3) Menit Ke-15.....	67
18. Rekap Hasil Uji Kebocoran Katup (Server 1, 2 dan 3) Menit ke-5	67
19. Rekap Hasil Uji Kebocoran Katup (Server 1, 2 dan 3) Menit ke-10	68
20. Rekap Hasil Pengujian Kebocoran (Server 1, 2 dan 3) Menit ke-15	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Dirinci Menurut Jenisnya Tahun 2016-2020 (unit).....	63
2. Tabel Harga Quantil Statistik Kolmogorov Distribusi Normal	64
3. Tabel Konstanta Grafik Peta Kendali	65
4. Data Penelitian Hasil Tebal Margin Katup	66
5. R <i>Script</i> Analisis Data.....	69

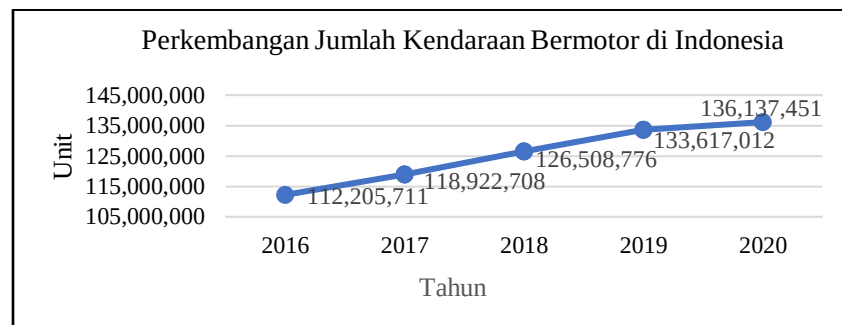


BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan kendaraan bermotor semakin meningkat. Hal ini merupakan salah satu indikator semakin tingginya kebutuhan masyarakat terhadap alat transportasi yang memadai. Seiring bertambahnya populasi penduduk, permintaan akan kendaraan bermotor juga semakin meningkat seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Sumber: Badan Pusat Statistik

Gambar 1. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Tahun 2016-2020 (unit)

Berdasarkan pemaparan Badan Pusat Statistik (2021: 26), sejak tahun 2016-2020 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mengalami peningkatan. Peningkatan ini terjadi sebanyak 4,95% per tahun dan terjadi pada semua jenis kendaraan bermotor (rincian dapat dilihat pada Lampiran 1). Semakin meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor maka semakin banyak pula kita jumpai berbagai macam kerusakan yang ada pada mesin kendaraan bermotor.

Kerusakan yang paling sering terjadi adalah kebocoran katup pada *cylinder head*, yaitu timbulnya tumpukan kerak yang melekat pada *seating* katup sehingga mengganggu proses kompresi dan menurunkan kinerja mesin.

Menurut Nugroho dan Saputra (2017), kebocoran kompresi sering terjadi pada katup dan dudukannya karena kotoran dari udara bebas ataupun jelaga yang dihasilkan dari proses pembakaran. Gejala yang timbul adalah kinerja mesin berkurang karena kompresi kurang maksimal, mesin cepat mati karena kinerja mesin tidak stabil, serta borosnya bahan bakar. Suyadi (2018) juga mengatakan bahwa salah satu penyebab tumpukan kerak adalah masuknya oli ke ruang pembakaran. Untuk memperbaiki keadaan katup dan mengatasi kebocorannya maka diperlukan penyekiran katup (*valve lapping*).

Penyekiran katup akan membuat katup dan duduknya menjadi rapat kembali. Dalam penyekiran, umumnya mekanik menggunakan cara manual (tradisional) yakni dengan cara memutar dengan tangan gagang katup ke kanan ke kiri dan ke atas ke bawah. Nugroho dan Saputra (2017) menyatakan bahwa penyekiran katup yang terbaik adalah menggunakan metode penyekiran satu arah tanpa tumbukan. *Valve Grinding Automatic System* merupakan alat skir katup otomatis yang dirancang berdasarkan penerapan dari ide Program Kreatifitas Mahasiswa tahun 2020. Alat skir katup ini bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi gerak rotasi.

Alat ini dirancang agar mampu mengatasi kesulitan mekanik dalam mengatur gerakan penyekiran manual dengan tangan. Gerakan tangan yang tidak stabil dapat menyebabkan hasil penyekiran katup tidak teliti sehingga permukaan katup tidak rata dan terjadi kebocoran. Rancang bangun dan pembuatan alat *Valve Grinding Automatic System* ini telah dilakukan oleh Yodi Agus Pratama mahasiswa Jurusan Teknik Otomotif untuk penelitian Tugas Akhir pada Desember 2020 sampai dengan Maret 2021.

Berdasarkan pemaparan Pratama, Y. A. (2021), pengujian dari alat dilakukan untuk mengetahui perbandingan tebal *margin* katup dari hasil penyekiran. Dari penelitian tersebut, kecepatan dinamo pada alat berkisar antara 0-10.500 rpm. Namun kecepatan yang digunakan untuk penyekiran adalah 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Hal ini dikarenakan kecepatan yang berada di bawah 1000 rpm akan menyebabkan dinamo tidak dapat berputar untuk melakukan penyekiran. Sebaliknya, jika kecepatan berada di atas 2500 rpm maka putaran yang diberikan oleh dinamo menjadi tidak stabil. Putaran dinamo dengan kecepatan 1000-2500 rpm akan membuat permukaan katup lebih halus dan akan kembali ke bentuk yang memenuhi standar.

Pada dasarnya, tujuan utama dari alat skir katup *Valve Grinding Automatic System* adalah mempermudah dan mempercepat proses penyekiran secara efektif serta efisien. Menurut Pratama, Y. A. (2021: 4) penyekiran katup yang biasa dilakukan oleh mekanik memakan waktu yang cukup lama dan gerakannya tidak stabil. Alat ini diharapkan mampu menghasilkan penyekiran katup yang stabil dan optimal. Hal ini berarti setiap penyekiran yang dilakukan oleh alat ini dapat bekerja secara konstan menghasilkan penyekiran yang rata dan tidak mengalami kebocoran dengan waktu yang singkat.

Untuk memastikan bahwa proses yang sedang berlangsung dalam penyekiran katup berjalan telah memenuhi standar, diperlukan *quality control* untuk dapat melihat apakah setiap proses penyekiran dengan menggunakan *Valve Grinding Automatic System* didalam kendali atau sebaliknya. Statistika kendali mutu menurut Selvamuthu (2018: 353) merupakan penerapan teknik

statistik yang digunakan untuk memeriksa kualitas produk. Menurut Sonalia dan Hubies (2013) pengendalian mutu atau *quality control* merupakan serangkaian proses yang terdiri dari pengukuran kinerja produk, membandingkan dengan standar dan spesifikasi produk, serta melakukan tindakan koreksi apabila terdapat penyimpangan.

Ketidaksesuaian kemiringan dari *margin width* yang dihasilkan dari penyekiran dapat menjadi ukuran kemampuan dari proses yang dihasilkan oleh alat *Valve Grinding Automatic System* sehingga dapat memperkirakan seberapa baik alat tersebut bekerja stabil dari waktu ke waktu. Atau sebaliknya, menunjukkan bahwa proses dari alat tersebut terganggu. Umumnya, suatu proses dari sistem sering memunculkan penyimpangan berupa hasil yang sifatnya diluar kendali.

Salah satu metode dalam pengendalian mutu statistika adalah peta kendali. Menurut Selvamuthu (2018: 365) suatu proses dikatakan terkendali atau tidak terkendali dapat diketahui melalui peta kendali ini. Sesuai dengan pendapat ini, Montgomery, D. C. (2013: 190) menjelaskan bahwa peta kendali merupakan tampilan grafis dari karakteristik mutu yang telah diukur atau dihitung dari sampel versus jumlah atau waktu sampel. Menurut Walpole (2012: 681-682), peta kendali bertujuan untuk menentukan apakah kinerja suatu proses dapat mempertahankan tingkat kualitas yang dapat diterima. Peta kendali ini dimaksudkan sebagai alat untuk mendeteksi keadaan yang tidak terkendali dari suatu proses. Walpole (2012: 682) juga menjelaskan bahwa proses tersebut dikatakan terkendali apabila pola titik acak yang dihasilkan oleh semua nilai yang diplot terbukti berada di dalam batas kendali (kontrol).

Pengendalian mutu untuk data variabel (meliputi ukuran berat, panjang, tinggi, diameter, volume dan ukuran variabel lainnya) sering disebut dengan metode peta kendali variabel. Peta kendali $\bar{X}$ dan R merupakan peta kendali variabel yang umum digunakan untuk memantau apakah proses dalam kondisi stabil atau tidak. Metode ini digunakan untuk menggambarkan variasi atau penyimpangan yang terjadi pada kecenderungan memusat dan penyebaran observasi. Peta kendali $\bar{X}$ akan menunjukkan apakah rata-rata produk yang dihasilkan sesuai dengan standar pengendalian yang digunakan. Karena menurut Walpole (2012: 684), tendensi sentral dikendalikan oleh peta kendali $\bar{X}$, dimana rata-rata sampel yang relatif kecil diplot pada peta kendali ini. Kendali mutu dari peta kendali $\bar{X}$ akan menunjukkan apakah telah terjadi pergeseran nilai karakteristik kinerja secara rata-rata. Selain itu, beberapa perubahan dalam kondisi proses akan menghasilkan penurunan presisi, yaitu peningkatan variabilitas.

Tujuan akhir dari kendali mutu adalah menghilangkan variabilitas dalam proses. Menurut Montgomery, D. C. (2013: 189) peta kendali adalah alat yang efektif untuk digunakan dalam mengurangi variabilitas. Salah satunya yaitu menggunakan peta kendali R yang bertujuan untuk mengontrol variasi. Sejalan dengan ini Walpole (2012: 688) mengatakan bahwa variabilitas suatu proses dapat dikendalikan melalui penggunaan plot rentang sampel dari peta kendali R . Peta kendali R ini digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi atau ketepatan proses yang diukur dengan *range* dari sampel yang diambil dalam observasi. Oleh karena itulah, peta kendali $\bar{X}$ dan R ditujukan untuk

mengetahui dan menghilangkan penyebab khusus yang menyebabkan terjadinya penyimpangan dalam proses.

Setiap peta kendali memiliki *Upper Control Limit* (UCL) sebagai batas atas dan *Lower Control Limit* (LCL) sebagai batas bawahnya. Pada peta kendali $\bar{X}$ dan R , proses dikatakan terkendali (*in control*) apabila nilai rata-rata serta *range* tidak melebihi batas atas dan batas bawah dari pengamatan yang telah ditentukan. Artinya, nilai rata-rata dan *range* tersebut berada di daerah *Center Line* (CL). Namun, proses dikatakan *out of control* apabila nilai rata-rata serta *range* berada diluar kendali. Untuk penentuan batas kendali dalam peta kendali $\bar{X}$ dan R dapat digunakan pendekatan metode *bootstrap*.

Metode *bootstrap* merupakan salah satu metode resampling yang digunakan dalam menghitung akurasi dugaan rata-rata dari suatu sampel. Metode ini juga dapat digunakan ketika sampel yang diperoleh tidak memenuhi asumsi normalitas. Seperti yang dikatakan Efron (1993: 10), *bootstrap* adalah metode berbasis komputer yang digunakan untuk menetapkan ukuran akurasi dalam perkiraan statistik. Dalam hal ini, akurasi yang dimaksud adalah dugaan variansi untuk statistik rata-rata yang diperoleh. Sedangkan Atinri (2014) menjelaskan bahwa metode *bootstrap* adalah metode yang digunakan untuk mengestimasi distribusi populasi yang tidak diketahui dengan menggunakan distribusi empiris yang diperoleh dengan melakukan *resampling* sampel asli dengan ukuran yang sama dengan pengembalian. Untuk itu, kedudukan sampel asli pada metode *bootstrap* dipandang sebagai populasi.

Pada peta kendali $\bar{X}$ dan R , metode *bootstrap* digunakan untuk mencari batas kontrol yaitu UCL, CL, dan LCL yang diharapkan dapat mewakili data

aslinya sehingga menjadi lebih baik. Sebagai evaluasi hasil dari penyekiran dengan alat *Valve Grinding Automatic System* yang dilakukan dengan mengukur ketebalan *margin width* akhir (dalam satuan milimeter), apabila didapatkan hasil proses dalam kondisi terkendali (*in control*) maka dapat dianalisis mengenai kapabilitas prosesnya. Hasil *bootstrap* peta kendali $\bar{X}$ dan R yang telah terkendali inilah yang juga akan digunakan untuk menduga rasio kapabilitas proses.

Kapabilitas proses didefinisikan sebagai kemampuan proses untuk memenuhi spesifikasi, dengan kata lain kapabilitas proses digunakan untuk mengukur kinerja proses. Menurut Selvamuthu (2018: 376), rasio dari kemampuan proses merupakan pengukuran yang dikendalikan secara statistik untuk melihat kemampuan proses. Salah satu rasio tersebut disebut Kapabilitas Proses (C_p) yang dihitung saat proses berjalan di tengah. Lebih lanjut Ratnaningsih (2020) menjelaskan bahwa kapabilitas proses akan menunjukkan hingga seberapa jauh suatu proses mampu memenuhi spesifikasi atau standar.

Analisis kapabilitas dimaksudkan untuk memprediksi variabilitas proses yang ada dengan tujuan jika proses penyekiran belum kapabel maka akan dilakukan identifikasi penyebab masalah penyekiran dalam keadaan *out of control* dan menentukan langkah selanjutnya guna memperbaiki mutu penyekiran pada alat agar memenuhi standar penyekiran yang telah ditentukan. Oleh sebab itu, dilakukan penelitian tentang **“Pengendalian Mutu Statistik Terhadap Alat Skir Katup Otomatis Valve Grinding Automatic System Menggunakan Peta Kendali dan Analisis Kapabilitas”**.

B. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pembahasan dalam pengendalian mutu statistik ini berdasarkan data hasil skir katup pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System*.
2. Data yang diambil hanya data hasil skir katup di menit ke-15 dengan tebal *margin* awal 2,10 mm dengan kecepatan dinamo 1000 rpm–2500 rpm.
3. Peta kendali yang digunakan dalam pembahasan hanya peta kendali $\bar{X}$ dan R dimana metode *bootstrap* digunakan untuk menentukan batas kendali dan rasio kapabilitas prosesnya.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil proses skir katup yang dihasilkan alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* berdasarkan peta kendali $\bar{X}$ dan R dengan metode *bootstrap*?
2. Bagaimana kapabilitas proses hasil skir katup pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* menggunakan metode *bootstrap*?

D. Pertanyaan Penelitian

1. Apakah hasil proses dari alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* terkendali secara statistik berdasarkan peta kendali $\bar{X}$ dan R dengan metode *bootstrap*?

2. Apakah kapabilitas proses dengan metode *bootstrap* pada percobaan alat cocok untuk mengontrol penyekiran saat ini atau masa depan?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis hasil proses skir katup pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* berdasarkan peta kendali $\bar{X}$ dan R dengan menggunakan metode *bootstrap*.
2. Mengetahui kapabilitas proses hasil skir katup pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* menggunakan metode *bootstrap*.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi penulis, penelitian ini bermanfaat sebagai pengalaman praktik dalam menganalisis data yang diperoleh langsung dari lapangan dengan menggunakan penerapan teori yang diperoleh di bangku perkuliahan.
2. Bagi mahasiswa lain, penelitian ini bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan alat untuk mengambil keputusan yang berkaitan dengan *quality control* pada proses penyekiran katup.
3. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi kepada khalayak mengenai penyekiran katup menggunakan alat penyekir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* untuk meningkatkan *performance* sistem sehingga penyekiran katup dapat dilakukan dengan target standar terpenuhi.

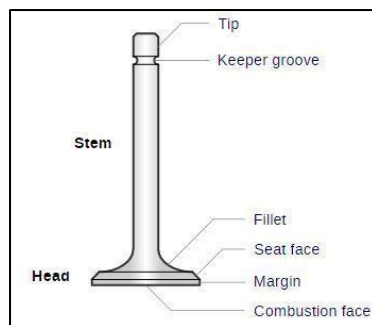


BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Alat Skir Katup Otomatis *Valve Grinding Automatic System*

Katup merupakan komponen mesin yang digunakan untuk memodifikasi aliran laju tekanan pada sebuah sistem proses yang menggunakan daya untuk operasinya. Sejalan dengan pendapat Irwan (2014) katup (*valve*) merupakan komponen mesin yang dipasang di atas silinder pada mesin pembakaran internal yang memerlukannya. Katup memiliki fungsi penting dalam kinerja mesin motor bakar. Van Harling (2020) mengatakan bahwa katup akan mempengaruhi tampilan dan kinerja dari mesin hal ini karena katup merupakan pintu masuk campuran antara udara dan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran. Struktur katup dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Pratama, Y. A. (2021: 14)

Gambar 2. Struktur Katup

Pada Gambar 2 terlihat bagian luar permukaan katup memiliki bagian yang disebut *margin* katup. *Margin* katup memiliki ketebalan dimana ketebalan ini menjadi indikator pemakaian dari katup tersebut. Tebal *margin* katup dalam kondisi awal umumnya adalah 2,10 mm. Menurut Pratama, Y. A. (2021: 14) spesifikasi dari *margin* katup di industri otomotif tidak kurang dari 1,5 mm. Spesifikasi *margin* katup ini juga berlaku bagi katup yang telah

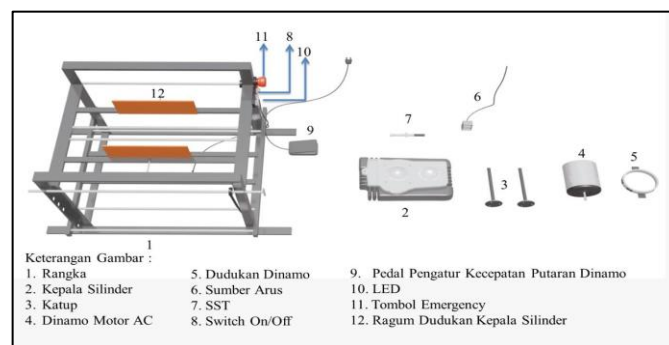
dilakukan penyekiran. Berbeda dengan katup Toyota Corona tipe 12R yang digunakan dalam penelitian Pratama, Y. A (2021: 15) dimana limit atau batasnya berkisar antara 0,7 mm dan 2,10 mm baik sebelum penyekiran (katup dalam kondisi standar) dan sesudah dilakukan penyekiran (katup tidak dalam keadaan bocor lagi). Jika katup tidak mengalami kebocoran, dalam spesifikasi ini katup dikatakan dalam keadaan standar. Tekanan yang didapatkan oleh katup dapat menyebabkan kerusakan dan kebocoran pada katup jika bagian sisi *margin* katup terlalu tipis/tajam (tebalnya di bawah standar katup setelah dilakukan penyekiran).

Ada 3 variasi metode dalam penyekiran katup, secara rinci Nugroho dan Saputra (2017) menyebutkan sebagai berikut.

Tiga variasi metode penyekiran katup ialah metode satu arah putaran dan terus ditekan ke dudukan katup menggunakan bor, metode penyekiran dengan penggerak tangan satu arah putaran disertai tumbukan, serta metode penyekiran dengan arah putaran bolak-balik dan disertai tumbukan.

Dengan metode manual, permasalahan yang sering terjadi adalah proses skir katup yang lama, hasil tidak optimal, serta mudah lelahnya mekanik saat memutar selang. Seperti yang Widodo (2001) katakan bahwa kapasitas kemampuan servis dalam hal jasa servis untuk perbaikan kerusakan ringan maupun *overhoul* mesin sangat menyita waktu dan melelahkan para pekerjanya. Sedangkan jika menggunakan bor, proses penyekiran dapat lebih cepat namun berdampak lebih besar jika terjadi kesalahan. Biasanya hasil skir pada penyekiran akan miring dan akan berdampak pada kebocoran kompresi pada mesin atau motor bakar sehingga mesin tidak bisa menyala.

Valve Grinding Automatic System merupakan alat skir katup yang dirancang khusus dalam penelitian Yodi Agus Pratama mahasiswa Jurusan Teknik Otomotif untuk penelitian Tugas Akhir pada Desember 2020 sampai dengan Maret 2021. Alat ini dirancang sebagai inovasi alat skir katup untuk membantu penyekiran katup motor bakar yang akan memberikan putaran yang signifikan dan bertahap sehingga menghasilkan sudut kerataan dari permukaan kepala katup akan lebih sempurna. Desain alat dan komponen *Valve Grinding Automatic System* dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: Pratama (2021: 36)

**Gambar 3. Desain Alat dan Komponen
*Valve Grinding Automatic System***

Pada Gambar 3, alat ini terdiri dari beberapa komponen dimana yang menjadi komponen utama adalah dinamo. Menurut Pratama, Y. A. (2021) alat ini memanfaatkan energi gerak putar dari dinamo untuk memutar katup agar menghasilkan gerakan yang konstan sesuai dengan pengaturan kecepatan yang diberikan operator dengan pengaturan dari *dimmer AC*. *Dimmer AC* ini telah dirancang untuk menentukan batas-batas dari kecepatan putaran dinamo.

Kecepatan dinamo pada alat berkisar antara 0-10.500 rpm. Berdasarkan hasil penelitian dari Pratama, Y. A. (2021: 49-50), kecepatan yang digunakan untuk penyekiran adalah 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Apabila kecepatan berada di bawah 1000 rpm, dinamo tidak dapat berputar

untuk melakukan penyekiran dan sebaliknya jika kecepatan berada di atas 2500 rpm maka putaran yang diberikan oleh dinamo menjadi tidak stabil. Putaran dinamo dengan kecepatan 1000-2500 rpm akan membuat permukaan katup lebih halus dan akan kembali ke bentuk yang memenuhi standar.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3, ragum sebagai penjepit yang terbuat dari besi akan menjadi kedudukan dan sekaligus pengunci dari kepala silinder yang akan dilakukan penyekiran dan katup akan diposisikan sejajar dengan dinamo. Pada alat ini terdapat tombol *emergency* yang dapat digunakan jika sewaktu-waktu alat ini *error* dan tidak bisa dimatikan dengan saklar (*switch*). Tombol *emergency* berfungsi memutuskan arus utama apabila dinamo berputar terlalu cepat dan tidak bisa di atur oleh pengatur kecepatan (*variable resistor* atau *dimmer AC*).

B. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif berkaitan erat dengan penerapan metode statistik untuk mengumpulkan, mengolah, menyajikan, serta menganalisis data kuantitatif secara deskriptif. Menurut Sutedja & Ahmaddien (2020: 5), statistika deskriptif merupakan statistika yang hanya dapat digunakan untuk menggambarkan dan juga menganalisis kelompok data tanpa disertai dengan penarikan kesimpulan tentang besar mana di antara kelompok yang ada. Dua ukuran umum dalam statistika deskriptif yang sering dipakai yakni ukuran pemusatan data dan ukuran penyebaran data. Adapun rumus statistika deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini yakni sebagai berikut.

1. Mean

Menurut Bluman (2012: 106) *mean* adalah jumlah keseluruhan nilai pada data dibagi dengan banyaknya nilai pada data. Rumus yang digunakan untuk menghitung mean dari data tunggal adalah sebagai berikut.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{X}$ = rata-rata (mean)

X_i = data ke-i

n = banyak data

(Bluman, 2012: 106)

2. Range

Salah satu ukuran penyebaran atau variabilitas kumpulan data adalah *range*. Bluman (2012: 124) mengatakan bahwa *range* merupakan ukuran yang paling sederhana di antara ukuran dua ukuran penyebaran lainnya yaitu variansi dan standar deviasi. *Range* disimbolkan dengan huruf R yang didapat dari selisih nilai tertinggi dan nilai terendah pada data. Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (2)$$

(Montgomery, 2013: 236)

3. Standar Deviasi

Standar deviasi adalah akar dari variansi. Simbol untuk standar deviasi yang berasal dari populasi adalah σ . Rumus yang digunakan untuk menghitung standar deviasi populasi adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Keterangan:

σ = standar deviasi populasi

μ = rata-rata (mean) populasi

X_i = data ke-i

N = banyak data (ukuran populasi)

(Bluman, 2012: 127)

C. Uji Distribusi Normal

Uji distribusi normal merupakan prasyarat dalam analisis peta kendali. Menurut Walpole (2012: 688), batas kendali pada peta kendali didasarkan pada distribusi variabel acak $\bar{X}$ dan bergantung pada asumsi normalitas pada pengamatan individu. Menurut Cahyono (2015: 1) uji normalitas digunakan untuk membuktikan data dari sampel yang ada berasal dari populasi berdistribusi normal atau data populasi yang dimiliki berdistribusi normal.

Statistik uji yang umum digunakan dalam pengujian normalitas data, adalah statistik Kolmogorov Smirnov. Nasrum, A. (2017) mengatakan bahwa prinsip uji Kolmogorov Smirnov yaitu mencari deviasi terbesar dari fungsi distribusi data kumulatif dari data observasi ke distribusi kumulatif teoritis. Adapun langkah-langkah untuk melakukan uji Kolmogorov Smirnov yakni sebagai berikut.

a. Menentukan Hipotesis

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

b. Menentukan taraf signikansi (α)

c. Statistik Uji

Statistik uji *Kolmogorov Smirnov* dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$D = \text{Max } |F_T(x_i) - F_S(x_i)| \sim \text{berdistribusi } D_{\alpha;n}$$

dengan nilai $D_{\alpha;n}$ secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

Berikut merupakan perhitungan statistik uji Kolmogorov Smirnov.

- 1) Data pengamatan disusun dan diurutkan dari nilai data terkecil hingga terbesar.
- 2) Menentukan distribusi frekuensi masing-masing nilai data.
- 3) Hitung distribusi frekuensi relatif kumulatif, notasikan dengan $F_T(x_i)$
- 4) Hitung distribusi frekuensi teoritis (ekspektasi), notasikan dengan $F_S(x_i)$.

d. Daerah Kritis

Nilai $|F_T - F_S|$ atau nilai D_{hitung} terbesar dibandingkan dengan nilai D_{tabel} pada Lampiran 2 tabel Kolmogorov Smirnov. Jika nilai D_{hitung} terbesar $< D_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima. Sebaliknya, Jika nilai D_{hitung} terbesar $> D_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak.

e. Membuat kesimpulan

Kesimpulan pada uji Kolmogorov Smirnov dapat juga menggunakan *p-value*, yakni jika signifikansi (*p-value*) $< \alpha$ (0.05) artinya data yang akan diuji mempunyai perbedaan yang signifikan dengan data normal baku yakni data tersebut tidak berdistribusi normal. Sebaliknya, jika signifikansi (*p-value*) $> \alpha$ (0.05) berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data yang akan diuji dengan data normal, sehingga berdistribusi normal.

Salah satu cara yang dapat dilakukan apabila hasil uji statistik ini menyatakan sebaran data tidak normal menurut Csilik, O., dkk (2015) adalah menggunakan transformasi Box-Cox. Menurut Ispriyanti (2004), transformasi Box-Cox merupakan transformasi pangkat dari sebuah variabel respon Y yang berparameter tunggal, yaitu λ (*rounded value*) sehingga hasil transformasinya menjadi Y^λ . Parameter λ merupakan nilai yang perlu diduga dan dapat dilakukan secara iteratif. Hal ini dijelaskan oleh Csilik, O., dkk (2015) bahwa skala transformasi Box-Cox dapat ditentukan secara iteratif, namun nilainya perlu dibatasi karena eksponen yang lebih ekstrim akan memberikan hasil yang tidak masuk akal. Dalam hal ini Csilik, O., dkk (2015) juga mengatakan bahwa skala yang digunakan untuk transformasi adalah seperti transformasi yang umum digunakan pada “tangga” Tukey. Beberapa nilai λ dan transformasinya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai λ dan Transformasinya

Nilai λ	Transformasi
5	Y^5
4	Y^4
3	Y^3
2	Y^2
1	Y
0,5	$\sqrt{Y}$
0	$\log Y$
-0,5	$1/\sqrt{Y}$
-1	$1/Y$
-2	$1/Y^2$
-3	$1/Y^3$
-4	$1/Y^4$
-5	$1/Y^5$

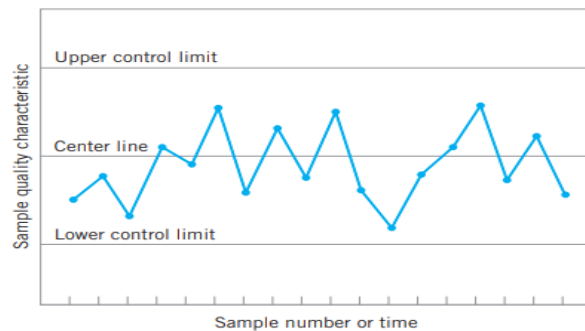
D. Peta Kendali (*Control Chart*) $\bar{X}$ dan R

Statistika kendali mutu merupakan teknik statistik yang digunakan untuk memastikan bahwa proses memenuhi standar. Menurut Render dan Heizer (2017: 229), *statistical process control* (SPC) merupakan sebuah proses yang digunakan untuk mengawasi standar, membuat pengukuran dan mengambil tindakan perbaikan selagi sebuah produk atau jasa sedang diproduksi. Wardhana (2018) mengatakan *statistical process control* dibuat dengan tujuan untuk mendeteksi penyebab khusus yang mengakibatkan terjadinya kecacatan atau proses diluar kontrol sedini mungkin sehingga mutu produk dapat dipertahankan.

Salah satu indikator yang digunakan untuk memantau proses apakah di dalam batas kendali atau di luar kendali yakni melalui grafik pengendali (peta kendali). Walpole (2012: 681) menjelaskan peta kendali pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Walter Andrew Shewhart dari *Bell Telephone Laboratories*, Amerika Serikat pada tahun 1924. Peta kendali ditujukan dengan maksud menghilangkan variasi tidak normal melalui pemisahan variasi yang disebabkan oleh penyebab umum (*common causes variation*) yang berasal dari dalam sistem (seperti kerusakan mesin dan keterlambatan operasional yang tidak dapat dihindari) serta variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special causes variation*) yang berasal dari luar sistem itu sendiri (seperti kesalahan operator dan penggunaan alat)

Peta kendali berisi garis tengah (*Center Line/CL*) yang menunjukkan nilai rata-rata karakteristik mutu yang terkait dengan status dalam kontrol. Selain itu, terdapat dua garis lainnya yakni batas kontrol atas (*Upper Control*

Limit/UCL) dan batas kontrol bawah (*Lower Control Limit/LCL*). Garis yang ada pada peta kendali ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: Montgomery, D. C. (2013: 190)

Gambar 4. Elemen Peta Kendali

Seperti yang terlihat pada Gambar 4, plot berwarna biru menunjukkan proses yang terkendali karena berada di antara UCL dan LCL. Sesuai dengan yang dikatakan oleh Montgomery, D. C. (2013: 190), jika proses terkendali maka hampir semua titik sampel akan berada di antara UCL dan LCL. Hal ini berarti selama plot poin dalam batas kontrol, proses diasumsikan memegang kendali dan tidak ada tindakan yang diperlukan. Namun, jika berada di luar batas kontrol maka ditafsirkan sebagai bukti bahwa prosesnya diluar kendali sehingga diperlukan tindakan korektif untuk menemukan serta menghilangkan penyebab dari penyimpangan tersebut.

Data variabel merupakan data kuantitatif yang diukur untuk keperluan analisis. Contoh dari data variabel karakteristik mutu adalah diameter pipa, ketebalan produk, berat produk dan lain-lain. Ukuran-ukuran berat, panjang, tinggi, diameter, volume biasanya merupakan data variabel. Pengendalian mutu untuk data variabel sering disebut dengan metode peta kendali variabel. Metode ini digunakan untuk menggambarkan variasi atau penyimpangan yang terjadi pada kecenderungan memusat dan penyebaran observasi.

Menurut Montgomery, D. C. (2013: 195) peta kendali yang umum digunakan untuk data variabel adalah peta kendali $\bar{X}$ dan peta kendali R . Peta kendali $\bar{X}$ digunakan untuk mengendalikan kecenderungan pusat, dimana grafiknya didasarkan pada *range* sampel atau standar deviasi sampel yang digunakan untuk mengontrol variabilitas proses. Selvamuthu (2018: 369) mengatakan bahwa grafik dari peta kendali $\bar{X}$ dibuat untuk melihat apakah rata-rata proses dalam kendali atau di luar kendali. Artinya peta kendali ini memantau variabilitas antar sampel, yakni variabilitas dalam proses dari waktu ke waktu.

Peta kendali R digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi atau ketepatan proses yang diukur dengan *range* dari sampel yang diambil dalam observasi. Artinya, peta kendali R mengukur variabilitas dalam sampel, yakni variabilitas proses ketika pada waktu tertentu. Abdullah (2015) mengatakan bahwa sama halnya dengan peta kendali $\bar{X}$, peta kendali R digunakan untuk mengetahui dan menghilangkan penyebab khusus yang membuat terjadinya penyimpangan. Data yang berada dalam batas pengendalian statistik disebut *in statistical control* dimana terdapat penyimpangan karena penyebab umum. Hal ini dijelaskan Montgomery, D. C. (2013: 189) jika sebuah proses berada dalam batas kendali, artinya data tersebut dikatakan terkendali secara statistik. Sedangkan data yang berada diluar batas pengendali statistik disebut sebagai *out statistical control* yang disebabkan oleh sebab khusus.

Misalkan karakteristik berdistribusi normal dengan mean μ dan standar deviasi σ , dengan μ dan σ keduanya diketahui. Jika $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ sampel berukuran n , maka rata-rata sampel ini diberikan oleh persamaan (1). Dalam

praktek biasanya μ dan σ tidak diketahui. Oleh karena itu, nilai-nilai tersebut harus ditaksir dari sampel pendahuluan. Misalkan tersedia m sampel, masing-masing memuat n observasi pada karakteristik mutu itu. Misalkan $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ adalah rata-rata tiap sampel, maka penafsiran terbaik untuk rata-rata proses μ adalah mean keseluruhan, yaitu:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad (3)$$

Keterangan:

$\bar{\bar{X}}$ = mean dari rata-rata sampel

$\bar{X}_i$ = rata-rata (mean) sampel ke- i

(Montgomery, 2013: 236)

Batas pengendalian dapat ditentukan dengan penaksiran standar deviasi (σ) atau rentang m sampel. Jika $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ sampel berukuran n , maka rentang sampel adalah selisih nilai observasi terbesar dengan nilai observasi terkecil yang diberikan oleh persamaan (2). Misalkan $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ adalah *range* m sampel itu, maka *range* rata-ratanya adalah:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (4)$$

$\bar{R}$ = rata-rata rentang (*range*)

R_i = *range* sampel ke- i

(Montgomery, 2013: 237)

Dengan demikian persamaan (3) akan digunakan sebagai garis tengah pada peta kendali $\bar{X}$, sehingga diperoleh rumus untuk batas bawah dan batas atas peta kendali $\bar{X}$:

$$CL = \bar{\bar{X}} \quad (5)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (6)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (7)$$

(Montgomery, 2013: 237)

dengan:

$\bar{\bar{X}}$ = mean dari rata-rata sampel

$\bar{R}$ = rata-rata rentang atau *range* (persamaan 4)

A_2 = konstanta yang nilainya tergantung pada ukuran sampel (Lampiran 3)

Persamaan yang dituliskan di atas dapat dibuktikan secara sederhana, oleh Montgomery, D. C. (2013: 237) dijelaskan bahwa terdapat hubungan di antara *range* sampel dari distribusi normal dan standar deviasi dari distribusi tersebut. Variabel acak $W = \frac{R}{\sigma}$ disebut *range* relatif, dimana parameter distribusi W adalah fungsi dari ukuran sampel n . Rata-rata dari W adalah konstanta d_2 . Akibatnya, penduga tak bias dari simpangan baku σ dari distribusi normal adalah $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$. Untuk nilai d_2 ini disebutkan oleh Montgomery, D. C. (2013: 116) bahwa $E(W) = d_2$ (secara ringkas, nilai dari konstanta d_2 untuk berbagai ukuran sampel diberikan dalam Lampiran 3). Oleh karena itu, jika $\bar{R}$ adalah rata-rata *range* dari m sampel pendahuluan, kita dapat menggunakan:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

untuk mengestimasi σ yang merupakan penduga tak bias dari σ . Jika kita menggunakan $\bar{\bar{X}}$ sebagai estimator dari μ dan $\frac{\bar{R}}{d_2}$ sebagai estimator dari σ , maka parameter dari peta kendali $\bar{\bar{X}}$ dengan batas kendali tiga sigma adalah:

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

dan konstanta A_2 dapat didefinisikan sebagai:

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$$

(Montgomery, 2013: 237)

Dengan demikian, rumus untuk peta kendali $\bar{X}$ ini diberikan oleh persamaan (5), persamaan (6) dan persamaan (7). Untuk peta kendali R , persamaan (4) akan digunakan sebagai garis tengah, sehingga rumus pada kendali R adalah sebagai berikut.

$$CL = \bar{R} \tag{8}$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \tag{9}$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \tag{10}$$

(Montgomery, 2013: 237)

dengan:

$\bar{R}$ = rata-rata rentang atau *range* (persamaan 4)

D_3 dan D_4 = konstanta yang nilainya tergantung pada ukuran sampel (Lampiran 3)

Dalam penentuan batas kendali peta kendali R , estimasi atau perkiraan dari σ_R juga dibutuhkan dalam pembuktian persamaan yang dituliskan di atas. Montgomery, D. C. (2013: 238) mengatakan bahwa dengan asumsi bahwa karakteristik yang ada berdistribusi normal, $\hat{\sigma}_R$ dapat ditemukan juga dari

distribusi *range* relatif $W = \frac{R}{\sigma}$. Standar deviasi dari W dapat disebut sebagai d_3 ,

yaitu fungsi yang diketahui dari n . Sehingga:

$$R = W\sigma$$

dan standar deviasi dari R adalah:

$$\sigma_R = d_3\sigma$$

Karena σ tidak diketahui, kita dapat mengestimasi σ_R dari:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Oleh karena itu, parameter dari peta kendali R dengan batas kontrol tiga sigma diberikan oleh:

$$CL = \bar{R}$$

$$UCL = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LCL = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

dan konstanta D_3 dan D_4 dapat didefinisikan sebagai:

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \text{ dan } D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

(Montgomery, 2013: 237)

Dengan demikian, rumus untuk peta kendali R ini diberikan oleh persamaan (8), persamaan (9) dan persamaan (10).

Pada peta kendali $\bar{X}$ dan peta kendali R , jika semua titik plot di dalam batas kontrol dan tidak ada perilaku sistematis yang terbukti, sesuai dengan yang dikatakan oleh Montgomery, D. C. (2013: 238-239) maka dapat disimpulkan bahwa proses telah terkendali dan batas kontrol percobaan cocok untuk mengontrol produksi saat ini atau masa depan. Menurut Lindsay dan

Evans (2007), jika nilai sampel jatuh di luar batas pengendalian atau jika pola yang tidak acak terjadi di dalam diagram, maka dapat diartikan bahwa penyebab khusus mempengaruhi proses tersebut dan dapat dikatakan proses tidak stabil, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan cara membuang outlier (objek yang tidak terkendali). Montgomery, D. C. (2013: 239) juga menyebutkan untuk melakukan perbaikan dalam peta kendali, objek yang tidak terkendali dibuang dan batas kontrol percobaan dihitung ulang menggunakan poin atau objek yang tersisa. Proses ini dilanjutkan sampai semua titik peta terkendali.

E. Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan analisis yang digunakan untuk memprediksi seberapa konsisten proses memenuhi standar spesifikasi suatu produk. Meskipun proses tersebut secara statistik dikatakan terkendali (*in control*), output dari proses tersebut berkemungkinan tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Menurut Montgomery, D. C. (2013: 241) peta kendali $\bar{X}$ dan R menyediakan informasi tentang performa kapabilitas proses dari suatu proses. Kapabilitas proses yang dimaksud akan memberikan informasi apakah proses yang dikendalikan mampu memenuhi spesifikasi atau tidak.

Menurut Ratnaningsih (2020), suatu proses dikatakan kapabel apabila memenuhi 3 (tiga) asumsi, yaitu karakteristik kualitas telah berdistribusi normal, proses tersebut terkendali, dan rata-rata proses berada di antara batas

spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah (*in control*). Kapabilitas proses memiliki kegunaan diantaranya sebagai berikut.

- a. Memberi informasi mengenai variabilitas dalam proses produksi.
- b. Memprediksi kebaikan proses dalam memenuhi toleransi.
- c. Membantu perancangan produk dalam memilih dan memodifikasi proses.
- d. Membantu menetapkan interval sampling untuk pengendalian proses.
- e. Membuat spesifikasi persyaratan *performance* untuk alat baru.

Selvamuthu (2018: 376) mengatakan bahwa kapabilitas proses secara statistik diukur oleh rasio kapabilitas proses dimana salah satu rasio tersebut disebut sebagai C_p . Nilai inilah yang digunakan untuk menyatakan tingkat presisi, yakni ukuran kedekatan antara satu pengamatan dengan pengamatan lain yang ukurannya dapat ditunjukkan oleh variabilitas (σ). Secara matematis C_p didefinisikan dengan persamaan berikut.

$$\hat{C}_p = \frac{UCL - LCL}{6\hat{\sigma}} \quad (11)$$

(Montgomery, 2013: 362)

dengan $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ dan UCL serta LCL merupakan batas spesifikasi standar.

Montgomery, D. C. (2013: 242) menjelaskan bahwa penyebaran proses dari nilai 6σ merupakan definisi dasar dari kapabilitas proses tersebut. Nilai σ umumnya tidak diketahui, namun nilai ini dapat dihitung menggunakan estimasi $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$, dimana $\bar{R}$ merupakan rata-rata rentang atau *range* pada persamaan (4) dan nilai d_2 merupakan nilai konstanta yang nilainya tergantung pada ukuran sampel (Lampiran 3), sehingga nilai $\hat{C}_p$ menghasilkan estimasi dari nilai C_p . Kemudian untuk nilai UCL dan LCL Selvamuthu (2018: 376)

mengatakan bahwa UCL dan LCL pada kapabilitas proses masing-masing mewakili batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah dari proses.

C_p mengukur kapabilitas dari sebuah proses yang terpusat. Selvamuthu (2018: 378) mengatakan bahwa semua proses tidak selalu berpusat pada dimensi nominal yang berarti juga dapat berjalan di luar pusat sehingga kemampuan aktual dari proses tersebut akan lebih kecil dari yang ditunjukkan oleh C_p . Untuk itu, kapabilitas proses ini dapat diukur dengan ukuran rasio lain yang disebut C_{pk} . Menurut Render dan Heizer (2017: 261) indeks kapabilitas proses (C_{pk}) mengukur perbedaan antara dimensi yang diinginkan dan dimensi aktualnya dari output suatu proses. Indeks ini merupakan kriteria standar yang digunakan untuk mengekspresikan kinerja (*performance*) proses. Sadeghpour, B. (2014) mengatakan bahwa nilai C_{pk} digunakan jika data berdistribusi normal. Untuk itu, menurut Selvamuthu (2018: 378) C_{pk} dirumuskan sebagai berikut.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{UCL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LCL}{3\sigma} \right] \quad (12)$$

Kriteria kapabilitas proses untuk C_p dan C_{pk} dijelaskan oleh Ratnaningsih (2020) dengan rincian sebagai berikut.

- a. Nilai $C_p = C_{pk}$ berarti proses tersebut berada ditengah-tengah spesifikasinya.
- b. Nilai $C_p > 1,33$ berarti menunjukkan bahwa kapabilitas proses sangat baik.
- c. Nilai $C_p < 1,00$ berarti bahwa proses tersebut menghasilkan produk dengan spesifikasi yang tidak sesuai dan tidak *capable*.
- d. Nilai C_{pk} negatif berarti menunjukkan bahwa rata-rata proses berada di luar batas spesifikasi produk.

- e. Nilai $C_{pk} = 1,0$ berarti menunjukkan bahwa satu variasi proses berada pada salah satu batas spesifikasi.
- f. Nilai $C_{pk} < 1,0$ berarti menunjukkan bahwa proses menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi produk.
- g. Nilai $C_{pk} = 0$ berarti menunjukkan rata-rata, dan nilai $C_{pk} = 1$ berarti sama dengan batas spesifikasi.

Kriteria kapabilitas proses secara umum juga dijelaskan oleh Montgomery, D. C. (2013: 366), yaitu apabila nilai $C_p = C_{pk}$ artinya proses berpusat pada titik tengah spesifikasi yang ditentukan. Namun, apabila $C_{pk} < C_p$ maka hal ini berarti proses berada di luar pusat.

F. Metode *Bootstrap*

Metode resampling merupakan metode penarikan ulang sampel dari suatu gugus data sampel. Salah satu metode resampling yang digunakan untuk memperoleh dugaan variansi untuk suatu statistik adalah metode *bootstrap*. Menurut Efron (1993: 10), *bootstrap* adalah metode berbasis komputer yang digunakan untuk menetapkan ukuran akurasi dalam perkiraan statistik.

Tujuan dari metode *bootstrap* ini dijelaskan oleh Chernick (2011: 3-4) adalah untuk mengestimasi parameter berdasarkan data seperti *mean*, *median*, atau standar deviasi. Metode ini tidak membatasi asal distribusi dari data yang dibentuk. Sebagian besar parameter umumnya merupakan fungsi dari distribusi populasi yang tidak diketahui juga digunakan dalam hal sampel yang diperoleh tidak memenuhi asumsi normalitas. Adapun metode *bootstrap* ini juga dapat

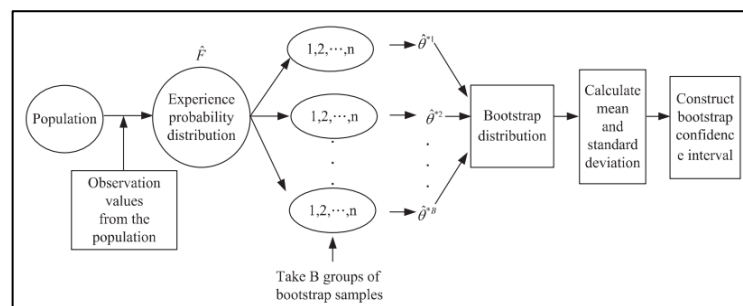
digunakan apabila dalam pemenuhan sampel tidak memungkinkan (akan memakan biaya yang lebih tinggi).

Dasar dari metode *bootstrap* ini adalah penarikan sampel dengan pengembalian. Dari data yang ada dapat dibangun n buah sampel *bootstrap*. Menurut Chernick (2011: 2) *bootstrap* biasa melibatkan pengambilan sampel dengan pengembalian sebanyak n kali untuk sampel berukuran n . Artinya terdapat n^n kemungkinan sampel hasil *bootstrap*. Namun, hal ini menjadi tidak layak atau efektif jika ukuran sampel yang digunakan sangat besar.

Untuk sampel yang berukuran besar, Sembiring (2014: 2) mengatakan bahwa pada metode *bootstrap* biasanya ukuran *resampling* diambil secara acak dengan ribuan kali pengambilan agar dapat mewakili data populasinya. Karena dalam praktik penggunaan *bootstrap* Chernick (2011: 5) menjelaskan bahwa untuk sampel yang besar, *bootstrap* secara acak ditetapkan untuk menghasilkan 10.000 atau 100.000 sampel *bootstrap*, dalam hal ini berarti semakin besar ukuran *resampling* yang digunakan maka semakin dekat histogram yang dihasilkan untuk mendekati distribusi yang sebenarnya. Estimasi *bootstrap* yang tepat dari parameter (dalam hal ini *mean*) dihitung dengan rata-rata secara tetap atas semua sampel *bootstrap*.

Menurut Solih, A. A. (2015), metode *bootstrap* menganggap sampel yang ada sebagai populasi. Ia menjelaskan bahwa metode ini dapat membangun interval kepercayaan (*confidence interval*) untuk setiap parameter distribusi seperti *mean*, *median*, dan *varians* dari distribusi yang tidak diketahui dengan menggunakan ukuran sampel kecil. Wang, C.-H., & Chen, K.-S. (2019)

mengatakan bahwa *bootstrap* memungkinkan ekspansi populasi sampel untuk memperkirakan interval kepercayaan melalui simulasi. Adapun prosedur atau skema dalam simulasi metode *bootstrap* secara rinci dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: Wang, C.-H., & Chen, K.-S. (2019)

Gambar 5. Skema Simulasi *Bootstrap*

Dapat dilihat berdasarkan Gambar 5, simulasi pada *bootstrap* dimulai dari sampel acak kelompok yang diambil dari populasi dengan ukuran n . Misal $X_1, X_2, \dots, X_n$ adalah sampel dari X yang diambil dari sebuah proses yaitu dengan urutan dari n variable acak berdistribusi F ($X_1, X_2, \dots, X_n \sim F$). Distribusi probabilitas F merupakan ketetapan dan kelompok sampel tersebut disebut sebagai sampel asli. Pengulangan sampling dengan penggantian digunakan dan sampel kelompok lain dengan ukuran sampel n diambil disebut sampel *bootstrap*, dengan demikian $X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^* \sim F$.

Dalam prosedur *bootstrap* Wang, C.-H., & Chen, K.-S. (2019) menjelaskan statistik sampel baru akan dihitung, dimana kelompok sampel diganti lagi. Langkah ini diulang melalui sejumlah iterasi dengan statistik masing-masing kelompok simulasi data diatur dari yang kecil hingga terbesar. Hal inilah yang akan memberikan hasil distribusi *bootstrap* dimana akan menggantikan distribusi populasi awal. Selanjutnya maka statistik inferensi dan perhitungan dari interval kepercayaan dapat dilakukan. Ketika distribusi

populasi tidak diketahui, teorema limit pusat dapat menentukan apakah sampel *bootstrap* yang disampel ulang dengan ukuran yang memadai terdistribusi normal menurut statistiknya. Menurut Wang, C.-H., & Chen, K.-S. (2019) untuk mencapai ini, *mean* dan standar deviasi dari statistik yang diperoleh dari sampel *bootstrap* dihitung sebagai berikut.

$$\text{Mean} \quad : \hat{\theta}^* = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \hat{\theta}_i \quad (13)$$

$$\text{Standar deviasi} \quad : S_{\hat{\theta}}^* = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{i=1}^B (\hat{\theta}_i^* - \hat{\theta}^*)^2}$$

Kemudian, $(1-\alpha)100\%$ interval kepercayaan (*confidence interval*) dari $\hat{\theta}$ adalah:

$$(\hat{\theta}^* - z_{\alpha} S_{\hat{\theta}}^*, \hat{\theta}^* + z_{\alpha} S_{\hat{\theta}}^*)$$

Keterangan:

θ = parameter populasi penduga *bootstrap*

$\hat{\theta}^*$ = *mean bootstrap*

$\hat{\theta}_i$ = *mean sampel bootstrap ke-i*

B = jumlah *bootstrap*

$S_{\hat{\theta}}^*$ = standar deviasi *bootstrap*

Adapun beberapa kelebihan dari metode *bootstrap* disebutkan oleh Sembiring (2014: 6) sebagai berikut.

- Metode *bootstrap* tidak memerlukan asumsi ketat seperti distribusi yang harus dipenuhi.
- Metode ini bisa digunakan untuk ukuran data sampel yang relatif kecil.
- Metode ini dapat menghasilkan estimasi parameter dari variabel yang independen dan berdistribusi identik dengan data asli.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai peta kendali yang telah dibuat dan kapabilitas prosesnya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil proses skir katup yang dihasilkan alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* berdasarkan peta kendali $\bar{X}$ dan R dengan metode *bootstrap* terkendali dan stabil (*in statistical control*).
2. Kapabilitas proses menggunakan metode *bootstrap* pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* berpusat pada titik tengah spesifikasi yang ditentukan. Namun, beberapa bagian dari variasi proses terletak di luar spesifikasi yang diharapkan.

B. Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat skir katup katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* ini dapat digunakan untuk membantu proses penyekiran agar lebih cepat dan efisien. Namun, evaluasi terhadap alat perlu dilakukan secara khusus dan periodik (berkala) agar hasil penyekiran berikutnya tetap sesuai dengan spesifikasi standar penyekiran serta tidak terganggu oleh penyebab atau kesalahan, baik dari luar sistem dari maupun dalam sistem alat itu sendiri.
2. Untuk peneliti selanjutnya, mutu penyekiran pada alat skir katup otomatis *Valve Grinding Automatic System* dapat diteliti lebih lanjut dengan memperbanyak observasi pengamatan yang digunakan, sehingga mutu alat

dapat diketahui lebih mendalam dan hasil penelitian ini dapat dibandingkan dengan metode lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Arafat M. (2015). Aplikasi Peta Kendali Statistik Dalam Mengontrol Hasil Produksi Suatu Perusahaan. *Jurnal Saintifik*, 1(1).
- Atinri, O. Yozza, H. Asdi, Y. (2014). Penentuan Ukuran Contoh dan Replikasi Bootstrap Untuk Menduga Model Regresi Linear Sederhana. *Jurnal Matematika UNAND*, Vol. 3, No. 2, Hal. 53-61.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Statistik Transportasi Darat 2020*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Bluman, Allan G. (2012). *Elementary Statistics: A Step by Step Approach*. 8th edition, New York: McGraw-Hill.
- Cahyono, Tri (2015). *Statistik Uji Normalitas*. Purwokerto: Yayasan Sanitarian Banyumas (Yasamas).
- Csillik, O., Evans, I.S., and Drăguț, L. (2015). Transformation (normalization) of slope gradient and surface curvatures, automated for statistical analyses from DEMs. *Geomorphology*, vol. 232, pp. 65-77, doi: 10.1016/j.geomorph.2014.12.038.
- Chernick, Michael R., and LaBudde, Robert A. (2011). *An Introduction to Bootstrap Methods with Applications to R*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Efron, B., and J. Tibshirani, Robert. (1993). *An introduction to the Bootstrap*. German: Springer-Science+Business Media, B.V.
- Irwan, Suyatno A., Fuhaid N. (2014). Pengaruh Celah Katup Terhadap Daya dan Efisiensi Pada Motor Matic. *PROTON*, 6(1), 36-41.
- Ispriyanti, Dwi. (2005). Pemodelan Statistika dengan Transformasi Box Cox. *Jurnal Matematika dan Komputer*, vol. 7, no 3, pp. 8-17.
- Lindsay, W. M. and J. R. Evans. (2007). *An Introduction to 6 Sigma and Process Improvement*. Jakarta: Salemba Empat.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. 7th edition, USA: Wiley.
- Nasrum, A. (2017). Statistical Determination of Kolmogorov-Smirnov (D) by Using Manual Way. *Journal of Math Sciences*, 2(2), 1-4.
- Nugroho, E., dan Saputra, D. (2017). Pengaruh Arah Variasi Putaran dan Tumbukan Terhadap Performa Hasil Penyekiran Menggunakan Mesin Skir Klep. *Turbo. Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(2).
- Pratama, Y. A., (2021). Design and Build of Valve Screening In Car Using Electric Motor Dimmer With AC Dimmer Setting. *Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 2(1), 36.