

Pengendalian Mutu Alat Skir Katup Otomatis Menggunakan Peta Kendali dengan Metode *Bootstrap*

Yuvani Oksarianti¹, Dina Fitria²

¹ Prodi Statistika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam Universitas Negeri Padang (UNP)

² Dosen Statistika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam Universitas Negeri Padang (UNP)

Article Info

Article history:

Received February 03, 2022

Revised August 01, 2022

Accepted September 15, 2022

Keywords:

Bootstrap

Control Chart

Valve

Quality Control

Kata Kunci:

Bootstrap

Peta Kendali

Katup

Kendali mutu

ABSTRACT

Compression leaks occur in valves caused by soot resulting from the combustion process of the combustion engine. To overcome valve leaks, it's necessary to clean using an innovative tool called valve grinding automatic system. The purpose of this study was to determine the quality of this tool based on the control chart using the bootstrap method. Based on the research results, the control charts \bar{X} dan R show that the cleaning process is in a controlled and stable state (in statistical control). The quality of the valve cleaning process using this tool is able of producing cleaning according to standard cleaning specifications.

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 menggunakan inovasi alat dalam penyekiran katup yang disebut alat skir katup otomatis yang dapat membantu efisiensi penyekiran katup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mutu dari alat skir katup otomatis berdasarkan peta kendali menggunakan metode *bootstrap*. Berdasarkan hasil penelitian, peta kendali \bar{X} dan R menunjukkan bahwa proses penyekiran berada dalam keadaan terkendali dan stabil (*in statistical control*). Kualitas proses hasil penyekiran katup menggunakan alat skir katup otomatis ini mampu menghasilkan penyekiran yang sesuai dengan spesifikasi standar penyekiran.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Yuvani Oksarianti

(Yuvani Oksarianti)

Prodi Statistika, Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar barat, Padang Utara, Padang, 25171

Padang, Sumatera Barat

Email: yuvanioksarianti2@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Sejak tahun 2016-2020 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat sebanyak 4,95% per tahun dan terjadi pada semua jenis kendaraan bermotor [1]. Semakin meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor maka semakin banyak pula dijumpai berbagai macam kerusakan yang ada pada mesin kendaraan bermotor. Kerusakan yang sering terjadi adalah kebocoran katup pada kepala silinder, yakni timbulnya tumpukan kerak yang melekat pada kedudukan (*seating*) katup sehingga mengganggu proses kompresi dan menurunkan kinerja mesin.

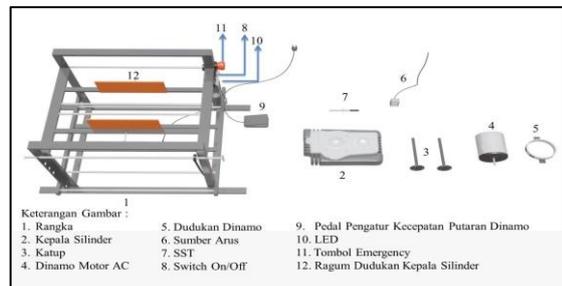
Katup memiliki fungsi penting dalam kinerja mesin motor bakar. Katup (*valve*) merupakan komponen mesin yang dipasang pada silinder mesin pembakaran internal yang memerlukannya [2].



Kebocoran kompresi sering terjadi pada katup dan dudukannya yang timbul karena kotoran dari udara bebas ataupun jelaga yang dihasilkan dari proses pembakaran [3]. Adapun gejala yang muncul seperti kinerja mesin yang berkurang dikarenakan kompresi kurang maksimal, mesin yang akan cepat mati karena tidak stabilnya kinerja mesin, serta borosnya bahan bakar. Salah satu penyebab tumpukan kerak adalah karena masuknya oli ke ruang pembakaran [4]. Katup akan mempengaruhi tampilan dan kinerja dari mesin, hal ini dikarenakan katup merupakan pintu masuk campuran antara udara dan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran [5]. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan penyekiran katup (*valve lapping*) untuk memperbaiki dan mengatasi kebocoran katup tersebut.

Penyekiran katup dapat dilakukan dengan metode manual, permasalahan yang sering terjadi adalah proses skir katup yang lama, hasil tidak optimal, serta mudah lelahnya mekanik saat memutar selang. Dalam hal ini juga, kapasitas kemampuan servis dalam hal jasa servis untuk perbaikan kerusakan ringan maupun *overhaul* mesin sangat menyita waktu dan melelahkan para pekerjanya [6]. Sedangkan jika dilakukan 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.

Alat skir katup otomatis merupakan alat bantu penyekiran yang dirancang berdasarkan penerapan dari ide Program Kreativitas Mahasiswa tahun 2020 [7]. Alat skir katup ini bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi gerak rotasi yang mampu mengatasi kesulitan mekanik dalam mengatur gerakan penyekiran manual dengan tangan. Desain dari alat skir katup otomatis dapat diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Alat dan Komponen Alat Skir Katup Otomatis

Pada dasarnya, tujuan utama dari alat skir katup otomatis adalah mempermudah proses penyekiran secara efektif dan efisien. 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. Untuk memastikan bahwa proses yang sedang berlangsung dalam penyekiran katup berjalan telah memenuhi standar, maka diperlukan *quality control* untuk dapat melihat apakah setiap proses penyekiran dengan menggunakan alat skir katup otomatis didalam kendali atau sebaliknya.

Statistika kendali mutu merupakan penerapan teknik statistik yang digunakan untuk memeriksa kualitas produk [8]. Pengendalian mutu atau *quality control* merupakan serangkaian proses yang terdiri dari pengukuran kinerja suatu produk, membandingkannya dengan standar dan spesifikasi produk, serta mengambil tindakan korektif apabila terdapat penyimpangan [9]. Ketidaksesuaian kemiringan dari *margin width* yang dihasilkan dari penyekiran dapat menjadi ukuran kemampuan dari proses yang dihasilkan oleh alat sehingga dapat memperkirakan seberapa baik alat tersebut bekerja stabil dari waktu ke waktu, atau sebaliknya menunjukkan bahwa proses dari alat tersebut terganggu.

Salah satu metode dalam pengendalian mutu statistika adalah peta kendali. Peta kendali merupakan tampilan grafis dari karakteristik mutu yang telah diukur atau dihitung dari sampel versus jumlah sampel atau waktu sampel [10]. Peta kendali bertujuan untuk menentukan apakah kinerja suatu proses dapat mempertahankan tingkat kualitas yang dapat diterima [11].

Pengendalian mutu untuk data variabel (berat, panjang, tinggi, diameter, volume) 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 stabil. Metode ini digunakan untuk menjelaskan variasi atau menggambarkan penyimpangan yang terjadi ketika pengamatan cenderung menyebar dan tidak memusat. Peta kendali \bar{X} akan menunjukkan apakah rata-rata produk atau pengamatan yang dihasilkan memenuhi standar pengendalian yang digunakan. Sedangkan peta kendali R digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan atau akurasi proses, namun diukur dengan *range* dari sampel yang diambil dalam pengamatan.

Peta kendali merupakan alat yang efektif untuk digunakan dalam mengurangi variabilitas [10]. Variabilitas suatu proses dapat dikendalikan melalui penggunaan plot rentang sampel dari peta kendali R [11]. Oleh karena itu, peta kendali \bar{X} dan R ditujukan untuk mengetahui dan menghilangkan penyebab khusus yang menyebabkan terjadinya suatu 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). 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 dan ukuran data sampel relatif kecil [12]. *Bootstrap* adalah metode berbasis komputer yang digunakan untuk menetapkan ukuran akurasi dalam perkiraan statistik [13]. Dalam hal ini, akurasi yang dimaksud adalah dugaan variansi untuk statistik rata-rata yang diperoleh. Metode *bootstrap* digunakan untuk mengestimasi sebaran (distribusi populasi) yang tidak diketahui dengan menggunakan distribusi empiris yang diperoleh dengan melakukan *resampling* sampel asli dengan ukuran yang sama dengan pengembalian [14]. Untuk itu, kedudukan sampel pada pengamatan pada metode *bootstrap* seluruhnya dipandang sebagai populasi [15].

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. Statistik *mean* yang diperoleh dari sampel *bootstrap* dihitung sebagai berikut [16].

$$\hat{\theta}^* = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \hat{\theta}_{(i)} \quad (1)$$

Keterangan:

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

$\hat{\theta}_{(i)}$ = *mean populasi bootstrap ke-i*

B = jumlah *bootstrap*

Sebagai evaluasi hasil dari penyekiran dengan alat skir katup otomatis yang dilakukan dengan mengukur ketebalan *margin width* akhir (dalam satuan milimeter). Penelitian ini ditujukan untuk melihat mutu statistik pada alat skir katup otomatis menggunakan peta kendali dengan metode *bootstrap*.

2. METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mengenai pengujian skir katup pada alat skir katup otomatis yang ditulis oleh [7]. Data ini dipilih karena relevan dengan analisis yang dilakukan untuk mengetahui mutu dari alat skir tersebut.

Subgrup pada data yang digunakan ditentukan oleh kecepatan dinamo dari alat yakni 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm dengan masing-masing tiga kali penyekiran. Artinya data ini menghasilkan 12 sampel dengan empat kelompok subgrup. Sedangkan untuk mengukur batas kontrol diperlukan 20-25 sampel atau subgrup berukuran antara tiga hingga lima [10]. Untuk



mendapatkan 12 sampel tersebut dilakukan *bootstrap* terhadap data yang ada. Berikut merupakan prosedur penelitian yang dilakukan.

1. Mengidentifikasi masalah pada mutu hasil penyekiran katup pada alat skir katup otomatis.
2. Mengumpulkan data hasil penyekiran katup dan menginputkan data hasil penyekiran katup ke dalam *software* RStudio.
3. Melakukan pengujian normalitas pada data hasil penyekiran menggunakan uji Kolmogorov Smirnov. Jika data yang digunakan tidak berdistribusi normal, maka transformasikan data menggunakan transformasi Box-Cox.
4. Membuat peta kendali R menggunakan metode *bootstrap* dengan sampel acak baru.

Berikut langkah-langkah metode *bootstrap* untuk peta kendali R .

- a) Definisikan X_i (data sampel) dari data asli dengan *range* masing-masing R_i , dengan $i = 1, 2, 3$.
 Sampel 1: X_1, X_2, X_3, X_4 , dengan *range* R_1
 Sampel 2: X_5, X_6, X_7, X_8 , dengan *range* R_2
 Sampel 3: $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$, dengan *range* R_3
- b) Gunakan *bootstrap* untuk setiap sampel, dengan X^* dan R^* masing-masing didefinisikan sebagai data sampel baru dan *range* hasil *bootstrap*.
 Sampel B 1: $X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*$, dengan *range* hasil *bootstrap* R_1^*
 Sampel B 2: $X_5^*, X_6^*, X_7^*, X_8^*$, dengan *range* hasil *bootstrap* R_2^*
 Sampel B 3: $X_9^*, X_{10}^*, X_{11}^*, X_{12}^*$, dengan *range* hasil *bootstrap* R_3^*
- c) Hitung rata-rata *range* dari data hasil *bootstrap* yang didefinisikan sebagai \bar{R}^* dengan persamaan:

$$\bar{R}^* = \frac{R_1^* + R_2^* + R_3^*}{3} \quad (2)$$

- d) Hitung UCL, CL, dan LCL seperti berikut.

$$CL = \bar{R}^* \quad (3)$$

$$UCL = D_4 \bar{R}^* \quad (4)$$

$$LCL = D_3 \bar{R}^* \quad (5)$$

dengan D_3 dan D_4 merupakan konstanta yang nilainya tergantung pada banyaknya sampel [10].

- e) Lakukan langkah (b) hingga (d) secara berulang sebanyak B kali. *Bootstrap* biasa melibatkan pengambilan sampel dengan pengembalian sebanyak n kali untuk sampel berukuran n . Artinya terdapat n^n kemungkinan sampel hasil *bootstrap* [17]. Sehingga, dalam hal ini ditentukan $B = 3^3 = 27$ kali.
 - f) Buat peta kendali R dengan menggunakan batas kendali dari data yang di-*resample* dan data yang diplot merupakan data asli (data awal yang tidak menggunakan *bootstrap*).
 - g) Jika terdapat outlier, lakukan eliminasi dan ulangi langkah (a) dengan menggunakan data sisa eliminasi.
5. Membuat peta kendali \bar{X} menggunakan metode *bootstrap* dengan sampel acak baru.
 Berikut langkah-langkah *bootstrap* untuk peta kendali \bar{X} .
 - a) Definisikan X (data sampel) dari data asli dengan *mean* dan *range* masing-masing \bar{X}_i dan R_i , dengan $i = 1, 2, 3$.
 Sampel 1: X_1, X_2, X_3, X_4 , dengan *mean* \bar{X}_1 dan *range* R_1
 Sampel 2: X_5, X_6, X_7, X_8 , dengan *mean* \bar{X}_2 dan *range* R_2
 Sampel 3: $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$, dengan *mean* \bar{X}_3 dan *range* R_3
 - b) Gunakan *bootstrap* untuk setiap sampel, dengan X^* dan \bar{R}^* didefinisikan sebagai data sampel baru dan *range* hasil *bootstrap* yang mempunyai rata-rata hasil *bootstrap* \bar{X}^* .
 Sampel B 1: $X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*$, dengan rata-rata hasil *bootstrap* \bar{X}_1^*
 Sampel B 2: $X_5^*, X_6^*, X_7^*, X_8^*$, dengan rata-rata hasil *bootstrap* \bar{X}_2^*
 Sampel B 3: $X_9^*, X_{10}^*, X_{11}^*, X_{12}^*$, dengan rata-rata hasil *bootstrap* \bar{X}_3^*
 - c) Hitung rata-rata sampel dan rata-rata *range* hasil *bootstrap* yang didefinisikan sebagai $\bar{\bar{X}}^*$ dan \bar{R}^* dengan persamaan:

$$\bar{X}^* = \frac{\bar{X}_1^* + \bar{X}_2^* + \bar{X}_3^*}{3} \quad (6)$$

$$\bar{R}^* = \frac{R_1^* + R_2^* + R_3^*}{3} \quad (7)$$

d) Hitung UCL, CL, dan LCL seperti berikut.

$$CL = \bar{X}^* \quad (8)$$

$$UCL = \bar{X}^* + A_2 \bar{R}^* \quad (9)$$

$$LCL = \bar{X}^* - A_2 \bar{R}^* \quad (10)$$

dengan A_2 merupakan konstanta yang nilainya tergantung pada ukuran sampel [10].

- e) Lakukan langkah (b) hingga (d) secara berulang sebanyak B kali. *Bootstrap* biasa melibatkan pengambilan sampel dengan pengembalian sebanyak n kali untuk sampel berukuran n. Artinya terdapat n^n kemungkinan sampel hasil *bootstrap* [17]. Sehingga sama halnya dengan peta kendali R, dalam hal ini $B = 3^3 = 27$ kali.
- f) Buat peta kendali \bar{X} dengan menggunakan batas kendali dari data yang di-*resample* dan data yang diplot merupakan data asli (data awal yang tidak menggunakan *bootstrap*).
- g) Jika terdapat outlier, lakukan eliminasi dan ulangi langkah (a) dengan menggunakan data sisa eliminasi.
6. Menarik kesimpulan. Kesimpulan ditarik berdasarkan hasil analisis dari peta kendali dengan metode *bootstrap*. Jika hasil peta kendali semua titik plot telah berada dalam batas kontrol dan menunjukkan kesesuaian dengan spesifikasi yang ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa proses telah terkendali dan batas kontrol percobaan cocok untuk mengontrol penyekiran saat ini atau masa depan.

Pengujian dari alat ditujukan untuk melihat perbandingan tebal *margin* dari katup yang merupakan hasil penyekiran. Dari penelitian yang telah dilakukan [7], 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 [7].

3. HASIL DAN PAMBAHASAN

Statistika kendali mutu merupakan teknik statistik yang digunakan untuk memastikan bahwa suatu proses sesuai standar. *Statistical process control* (SPC) adalah proses yang digunakan untuk mengawasi serta memantau standar, mengukur dan mengambil tindakan korektif selama suatu produk atau jasa sedang diproduksi [18]. *Statistical process control* dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi penyebab khusus yang menyebabkan terjadinya kesalahan sehingga proses dapat dikontrol sedini mungkin dan mutu produk dapat dipertahankan [19].

Data hasil skir katup pada alat skir katup otomatis merupakan hasil pengukuran 12 buah pengamatan (katup) diukur dari ketebalan *margin* katup setelah penyekiran (dalam satuan milimeter) pada menit ke-15 waktu penyekiran dengan tebal *margin* awal yakni 2,10 mm. Data inilah yang digunakan dalam analisis peta kendali menggunakan metode *bootstrap*. Data ini disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Hasil Skir Katup pada Alat Skir Katup Otomatis

No	Tebal <i>Margin</i> Katup (mm)				\bar{X}	R
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm		
1	1,90	1,35	1,35	1,25	1,4625	0,65
2	1,95	1,30	1,35	1,25	1,4625	0,65
3	1,90	1,35	1,40	1,40	1,5125	0,55



Data penyekiran katup yang dihasilkan pada alat skir katup otomatis pada Tabel 1 merupakan data yang diambil dari pengujian katup yang berbeda. Hal ini dilakukan pada masing-masing katup yang berbeda untuk menghindari keausan yang akan terjadi pada katup dan dudukannya apabila dilakukan berulang kali menggunakan katup yang sama. Kecepatan dinamo yang digunakan pada pengujian adalah 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm dan 2500 rpm. Keempat kecepatan ini menjadi subgrup dari hasil penyekiran yang telah dilakukan. Statistika deskriptif data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Statistika Deskriptif Data Hasil Penyekiran

Subgrup	Mean	Range
1000 rpm	1,9167	0,05
1500 rpm	1,3333	0,05
2000 rpm	1,3667	0,05
2500 rpm	1,3000	1,15

Statistika deskriptif merupakan statistik yang dapat digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis sekelompok data tanpa membuat kesimpulan tentang perbandingan antara kelompok-kelompok yang ada [20]. Berdasarkan analisis, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, apabila penyekiran katup menggunakan alat skir katup otomatis diatur menggunakan kecepatan 1000 rpm maka rata-rata hasil *margin* katup mengalami penipisan dari mulanya 2,10 mm menjadi 1,9167 mm. Hal ini berarti pada kecepatan 1000 rpm, alat dapat melakukan penyekiran katup hingga menghasilkan pengurangan tebal *margin* katup sebesar 0,15 mm-0,20 mm dengan hasil akhir katup tidak mengalami kebocoran. Pada penyekiran katup yang diatur menggunakan kecepatan 1500 rpm, rata-rata hasil *margin* katup mengalami penipisan dari mulanya 2,10 mm hingga menjadi 1,3333 mm. Hal ini berarti pada kecepatan 1500 rpm, alat dapat melakukan penyekiran katup hingga menghasilkan pengurangan tebal *margin* katup sebesar 0,75 mm-0,80 mm dengan hasil akhir katup tidak mengalami kebocoran.

Ketika kecepatan penyekiran yang digunakan adalah 2000 rpm, rata-rata hasil *margin* katup mengalami penipisan dari mulanya 2,10 mm hingga menjadi 1,3667 mm. Hal ini berarti pada kecepatan 2000 rpm, alat dapat melakukan penyekiran katup hingga menghasilkan pengurangan tebal *margin* katup sebesar 0,70 mm-0,75 mm dengan hasil akhir katup tidak mengalami kebocoran. Sedangkan untuk penyekiran katup yang diatur menggunakan kecepatan 2500 rpm, rata-rata hasil *margin* katup mengalami penipisan dari mulanya 2,10 mm hingga menjadi 1,3 mm. Hal ini berarti pada kecepatan 2500 rpm, alat dapat melakukan penyekiran katup hingga menghasilkan pengurangan tebal *margin* katup sebesar 0,70 mm-0,85 mm dengan hasil akhir katup tidak mengalami kebocoran.

Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan yang digunakan pada alat maka tebal *margin* katup akan menipis atau berkurang. Namun, pengurangan hasil penyekiran ini mengakibatkan katup tidak lagi mengalami kebocoran dan kembali dalam keadaan standar. Dari 12 pengamatan tersebut, rata-rata setiap subgrup kecepatan penyekiran apabila dianalisis menurut statistika deskriptif masih berada dalam spesifikasi yang ditentukan, yaitu dengan batas atas 2,10 mm dan batas bawah 0,7 mm. Artinya, dari hasil setiap penyekiran yang telah dilakukan penyekiran dapat dikatakan telah memenuhi spesifikasi dan standar katup secara umum.

Data yang tersaji pada Tabel 1 dapat digunakan untuk melihat hasil proses skir katup berdasarkan peta kendali menggunakan metode *bootstrap*. Data ini dilakukan uji asumsi normalitas terlebih dahulu. Uji normalitas dilakukan sebagai asumsi awal pada data yang harus terpenuhi dalam analisis peta kendali. Uji normalitas digunakan untuk membuktikan bahwa data dalam sampel yang dimiliki berdistribusi normal [21]. Untuk menguji normalitas data, statistik uji yang umum digunakan adalah statistik Kolmogorov Smirnov. Prinsip uji Kolmogorov Smirnov yaitu mencari deviasi terbesar dari fungsi distribusi data kumulatif dari data observasi ke distribusi kumulatif teoritis [22]. Berikut merupakan hasil uji normalitas pada data hasil penyekiran katup.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) Normality Test

 $D = 0.366$ $P\text{-value} = 8.531e-05$

Dapat dilihat berdasarkan Tabel 3, data hasil penyekiran yang diperoleh tidak memenuhi asumsi normalitas. Hal ini dapat dilihat dari nilai $D_{hitung} (0,366) > D_{tabel} (0,338)$ atau signifikansi ($p\text{-value}$) $< \alpha (0.05)$ yang artinya data penyekiran tersebut tidak berdistribusi normal. Untuk mengatasi sebaran data yang tidak normal maka transformasikan data agar data yang digunakan pada analisis berdistribusi normal [23]. Transformasi yang dapat digunakan adalah transformasi Box-Cox, nilai λ (*rounded value*) yang digunakan adalah -5 sebagai hasil iteratif dari skala Box-Cox [23]. Data skir yang telah ditransformasikan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data Hasil Penyekiran Katup Setelah Ditransformasikan

No	Tebal <i>Margin</i> Katup			
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
1	0,0403861	0,223014	0,223014	0,327680
2	0,0354672	0,269329	0,223014	0,327680
3	0,0403861	0,223014	0,185934	0,185934

Uji Kolmogorov Smirnov dapat dilakukan kembali untuk memastikan data yang telah ditransformasikan telah memenuhi asumsi normalitas. Hasil uji ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Setelah Transformasi

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) Normality Test

 $D = 0.22629$ $P\text{-value} = 0.09053$

Berdasarkan Tabel 5, data hasil skir yang telah ditransformasikan telah memenuhi asumsi normalitas. Hal ini dapat dilihat dari nilai $D_{hitung} (0,22629) < D_{tabel} (0,338)$ atau signifikansi ($p\text{-value}$) $> \alpha (0.05)$, sehingga data penyekiran tersebut telah berdistribusi normal dan dapat dilanjutkan dalam analisis peta kendali menggunakan metode *bootstrap*. Peta kendali ini dimaksudkan sebagai alat untuk mendeteksi keadaan yang tidak terkendali dari proses alat skir katup otomatis. Proses tersebut dikatakan terkendali apabila pola titik acak yang dihasilkan oleh semua nilai yang diplot terbukti berada di dalam batas kendali (kontrol) [11].

Data pada Tabel 4 digunakan sebagai data asli untuk menghasilkan sampel acak baru dari *bootstrap*, maka dapat dicari *mean* \bar{X} dan *range* R dari data yang hasilnya disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rataan dan *Range* Data Hasil Penyekiran Katup Setelah Ditransformasikan

No	Tebal <i>Margin</i> Katup (mm)				\bar{X}	R
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm		
1	0,0403861	0,223014	0,223014	0,327680	0,203523525	0,2872939
2	0,0354672	0,269329	0,223014	0,327680	0,21387255	0,2922128
3	0,0403861	0,223014	0,185934	0,185934	0,158817025	0,1826279
					$\bar{\bar{X}} = 0,19207$	$\bar{R} = 0,25404$



Dari Tabel 6, dapat diketahui *mean* dari rata-rata sampel \bar{X} dan *range* rata-rata sampel \bar{R} data tersebut masing-masing adalah 0,19207 dan 0,25404. Perhitungan tersebut menjadi pijakan awal untuk penetapan sampel baru menggunakan metode *bootstrap*. Karena ukuran sampel dari data skir adalah $n = 3$, maka perulangan (replikasi) dalam metode *bootstrap* yang digunakan adalah $n^n = 3^3 = 27$ kali. Dengan penetapan awal yang digunakan adalah *set.seed*(1) maka diperoleh 27 *range* dari data sampel baru hasil *bootstrap* dengan bantuan RStudio seperti yang terlihat pada Gambar 2.

0,2524052	0,2540449	0,2556845
0,2175166	0,2889335	0,2922128
0,2175166	0,2872939	0,2889335
0,2905732	0,2540449	0,2540449
0,2922128	0,2540449	0,2540449
0,2540449	0,2191562	0,2922128
0,2905732	0,2922128	0,2175166
0,2191562	0,2191562	0,2872939
0,2540449	0,2524052	0,2889335

Gambar 2. *Range* Data Sampel Baru Hasil *Bootstrap*

Sehingga dapat diketahui estimasi untuk parameter *range* \bar{R}^* , dimana \bar{R}^* merupakan parameter θ pada persamaan (1) adalah:

$$\bar{R}^* = 0,2607486$$

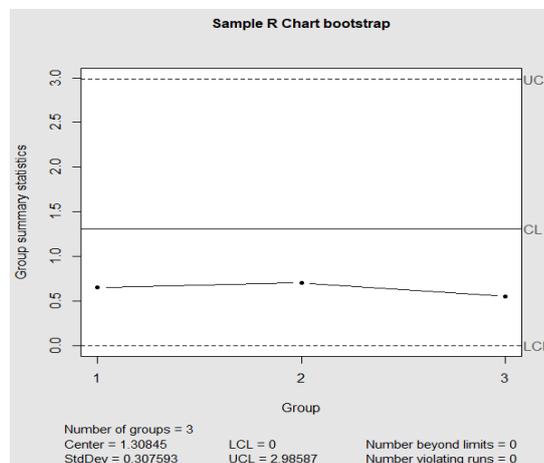
Peta kendali *R* dapat dikonstruksikan dari parameter *range* hasil *bootstrap* dengan mengembalikan nilai yang sebenarnya dari hasil transformasi dimana $\bar{R}^* = 0,2607486 = 1,30844$ mm. Batas kendali UCL, CL, dan LCL ditentukan menggunakan persamaan (3), persamaan (4), dan persamaan (5) dimana nilai konstanta $D_3 = 0$ dan $D_4 = 2,282$ [10]. Oleh karena itu, didapatkan batas kendali untuk peta kendali *R* dari hasil *bootstrap* adalah:

$$CL = \bar{R}^* = 1,30844$$

$$UCL = D_4 \bar{R}^* = 2,282 \times 1,30844 = 2,985872$$

$$LCL = D_3 \bar{R}^* = 0 \times 1,30844 = 0$$

Dari batas kontrol atau limit yang diperoleh, nilai *Upper Control Limit* (UCL) sebagai batas atas penyekiran yaitu 2,985872 mm dan nilai *Lower Control Limit* (LCL) penyekiran yaitu 0 mm, serta *Center Line* (CL) sebesar 1,30844 mm maka dapat digambarkan peta kendali *R*. Data yang diplot merupakan data awal sesuai dengan *range* yang ada pada Tabel 1. Peta kendali *R* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil Penyekiran Berdasarkan Peta Kendali *R* pada Alat Skir Katup Otomatis Menggunakan Metode *Bootstrap*

Peta kendali R digunakan melihat dan menghilangkan penyebab spesifik (khusus) terjadinya penyimpangan [24]. Jika nilai sampel jatuh di luar batas kendali atau pola yang ditunjukkan dalam diagram tidak acak, maka dapat diartikan bahwa terdapat penyebab khusus yang mempengaruhi proses dan dapat dikatakan proses tersebut tidak stabil. Oleh karena itu, outlier (objek yang tidak terkendali) perlu dibuang dan dilakukan perbaikan [25]. Data yang berada dalam batas kendali statistik disebut *in statistical control* dimana penyimpangan yang terjadi hanya disebabkan oleh penyebab umum. Berdasarkan hasil analisis peta kendali R menggunakan metode *bootstrap* yang disajikan pada Gambar 3, dapat terlihat bahwa proses berada dalam batas kendali. Data yang diplot berada di daerah CL yakni berada diantara batas UCL dan LCL yang ditentukan. Ketepatan proses atau tingkat akurasi yang dihasilkan oleh hasil penyekiran menggunakan alat skir katup otomatis dapat dilihat berdasarkan peta kendali R ini. Dilihat dari titik sampel yang diplot, tampak bahwa variabilitas proses pada setiap waktunya berada dalam keadaan stabil karena masih berada di daerah CL.

Tendensi sentral dikendalikan oleh peta kendali \bar{X} , dimana rata-rata sampel yang relatif kecil diplot pada peta kendali ini [11]. Kendali mutu dari peta kendali \bar{X} akan menunjukkan apakah telah terjadi pergeseran nilai karakteristik kinerja secara rata-rata. Sama halnya dengan peta kendali R , untuk membuat peta kendali \bar{X} dapat digunakan pula data pada Tabel 8. Dengan penetapan awal *set.seed* (1) maka diperoleh 27 nilai *mean* dari data sampel baru hasil *bootstrap* dengan bantuan RStudio seperti yang terlihat pada Gambar 4 berikut.

0,1886214	0,1920710	0,1955207
0,1737192	0,2069732	0,2138725
0,1737192	0,2035235	0,2069732
0,2104229	0,1920710	0,1920710
0,2138725	0,1920710	0,1920710
0,1920710	0,1771689	0,2138725
0,2104229	0,2138725	0,1737192
0,1771689	0,1771689	0,2035235
0,1920710	0,1886214	0,2069732

Gambar 4. Mean data Sampel Baru Hasil *Bootstrap*

Sehingga dapat diketahui estimasi untuk parameter *mean* \bar{X}^* , dimana \bar{X}^* merupakan parameter θ pada persamaan (1) adalah:

$$\bar{X}^* = 0,1953418$$

Gunakan penetapan awal *set.seed* (1) maka replikasi data sampel baru ini akan mempunyai hasil yang sama seperti pada data sampel baru pada peta kendali R sebelumnya. Sehingga dapat diketahui data sampelnya mempunyai estimasi untuk parameter *range* \bar{R}^* hasil *bootstrap*-nya adalah:

$$\bar{R}^* = 0,2607486$$

Peta kendali \bar{X} dari hasil *bootstrap* dapat dikonstruksikan pula dengan mengembalikan nilai yang sebenarnya dari hasil transformasi dimana $\bar{X}^* = 0,1953418 = 1,386248$ dan $\bar{R}^* = 0,2607486 = 1,30848$. Untuk peta kendali \bar{X} , batas kendali UCL, CL, dan LCL ditentukan menggunakan persamaan (8), persamaan (9), dan persamaan (10) dimana $A_2 = 0,729$ [10]. Sehingga didapatkan batas kendali untuk peta kendali \bar{X} dari hasil *bootstrap* adalah:

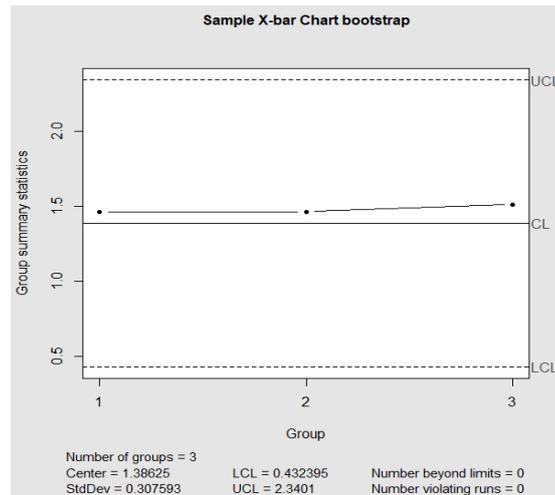
$$\begin{aligned} CL &= \bar{X}^* = 0,1953418 = 1,386248 \\ UCL &= \bar{X}^* + A_2 \bar{R}^* \\ &= 1,386248 + (0,729 \times 1,30848) \\ &= 2,3401 \\ LCL &= \bar{X}^* - A_2 \bar{R}^* \end{aligned}$$



$$= 1,386248 - (0,729 \times 1,30848)$$

$$= 0,432395$$

Dari batas kontrol atau limit yang diperoleh untuk peta kendali \bar{X} , nilai *Upper Control Limit* (UCL) sebagai batas atasnya didapatkan sebesar 2,3401 mm dan nilai *Lower Control Limit* (LCL) yaitu 0,432395 mm serta *Center Line* (CL) sebesar 1,386248 mm. Oleh karena itu, dapat digambarkan peta kendali \bar{X} berdasarkan limit tersebut dengan data yang diplot juga merupakan data awal sesuai dengan *mean* dari rata-rata sampel yang ada pada Tabel 1. Peta kendali \bar{X} tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hasil Penyebaran Berdasarkan Peta Kendali \bar{X} pada Alat Skir Katup Otomatis Menggunakan Metode *Bootstrap*

Dari Gambar 5 yang merupakan hasil dari peta kendali \bar{X} menggunakan *bootstrap*, terlihat bahwa proses juga berada dalam batas kendali, yaitu titik plot yang ada berada diantara batas UCL dan LCL yang ditentukan. Hal ini berarti proses dalam keadaan terkendali dan tidak ada *outlier* yang harus dikeluarkan (eliminasi) dari analisis. Peta kendali \bar{X} ini memberikan gambaran terhadap proses skir katup yang dihasilkan oleh alat skir katup otomatis. Peta kendali ini memantau variabilitas antar sampel, yakni variabilitas dalam proses dari waktu ke waktu. Peta kendali \bar{X} yang diperoleh dengan menggunakan metode *bootstrap* pada Gambar 5 memperlihatkan plot poin setiap hasil penyekiran yang dilakukan berada dalam batas kontrol sehingga batas kontrol percobaan cocok untuk mengontrol proses penyekiran.

Spesifikasi dari tebal *margin* katup hasil penyekiran mempunyai 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). Berdasarkan hasil peta kendali \bar{X} dan *R*, hasil penyekiran dengan menggunakan alat skir katup otomatis dapat dikatakan *in statistical control* karena proses yang berjalan berada dalam keadaan terkendali dan dapat dikatakan stabil dari waktu ke waktu. Proses penyekiran menggunakan alat ini memberikan hasil akhir ketebalan *margin width* yang berada di antara batas spesifikasi yang telah ditentukan. Hal ini berarti mutu hasil penyekiran dari alat skir katup otomatis dapat memenuhi standar penyekiran sehingga proses ini terkendali dan batas kontrol percobaan cocok untuk mengontrol penyekiran saat ini atau masa depan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, peta kendali \bar{X} dan *R* menggunakan metode *bootstrap* menunjukkan bahwa setiap observasi dari hasil proses skir katup yang dihasilkan alat skir katup otomatis berada dalam keadaan terkendali dan stabil (*in statistical control*). Kualitas proses hasil penyekiran katup menggunakan alat skir katup otomatis ini mampu menghasilkan penyekiran yang berada di antara spesifikasi standar penyekiran yakni dengan ketebalan hasil skir rata-rata antara 0,1953418 mm dan 1,386248 mm.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan penulis kepada rekan tim Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) Universitas Negeri Padang tahun 2020 beserta dosen pendamping yang telah berperan dalam menuangkan ide dan penciptaan alat, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan jurnal ini dapat terselesaikan.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, *Statistik Transportasi Darat 2020*, Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2021.
- [2] Irwan, Suyatno A., Fuhaid N., "Pengaruh Celah Katup Terhadap Daya dan Efisiensi Pada Motor Mañic," in *PROTON*, vol. 6, no. 1, pp. 36-41, 2014, doi: 10.31328/jp.v6i1.177.
- [3] Nugroho, E., and Saputra, D., "Pengaruh Arah Variasi Putaran dan Tumbukan Terhadap Performa Hasil Penyekiran Menggunakan Mesin Skir Klep," in *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 61-66, 2017, [Online]. Available: <https://ojs.umm metro.ac.id/index.php/turbo/article/download/71/58>.
- [4] Suyadi, A. P., Putro, W. D., & Mesin, E. A. J. T., "Penerapan Elektro Pneumatik pada Alat Bantu Sekur Katup Menggunakan Gerak Linier Silinder Pneumatik yang diubah menjadi Gerak Rotasi," in *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 67-72, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/download/1249/106351>.
- [5] Van Harling, V. N., "Pengaruh Variasi Penyetelan Katup Terhadap Putaran Pada Engine Stand Motor Bensin," in *Pendidikan Teknik Mesin Undiksha Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 79-85, 2020, doi: 10.23887/jptm.v8i2.26637.
- [6] Widodo, Noto, "Penerapan Mesin Skur Katup Sistem Elektrik Untuk Meningkatkan Produktivitas Bengkel Servis Sepeda Motor," in *Inotek*, vol. 3, no. 2, pp. 11-13, 2001, doi: 10.21831/ino.v3i1.5138.
- [7] Pratama, Y. A., "Journal of Automotive Engineering and Vocational Education," *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, vol. 2, no. 1, pp. 33-44, 2021, doi: 10.24036/aej.v2i1.64.
- [8] Selvamuthu, D., Das, Dipayan, *Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2018.
- [9] Sonalia, D., & Hubeis, M., "Pengendalian Mutu Pada Proses Produksi Di Tiga Usaha Kecil Menengah Tahu Kabupaten Bogor," in *Jurnal Manajemen dan Organisasi*, vol. 4, no. 2, pp. 112-127, 2013, doi: 10.29244/jmo.v4i2.12618.
- [10] Montgomery, D. C., *Introduction to Statistical Quality Control: 7th edition*, USA: Wiley, 2013.
- [11] Walpole, Ronald E., et al., *Probability & Statistics for Engineers & Scientists: Ninth Edition*, USA: Pearson, 2012.
- [12] Sembiring, Safrina, "Estimasi Bias Menggunakan Bootstrap dan Jakknife," M.S. thesis, Dept. Math and Sciens, North Sumatera University, Medan, Indonesia, 2014.
- [13] Efron, B., and Tibshirani, Robert, *An introduction to the Bootstrap*, German: Springer-Science+Business Media, B.V, 1993.
- [14] Atinri, O. Yozza, H. Asdi, Y., "Penentuan Ukuran Contoh dan Replikasi Bootstrap Untuk Menduga Model Regresi Linear Sederhana," in *Matematika UNAND Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 53-61, 2014.
- [15] Solih, A. A., "Estimasi Confidence Interval Bootstrap Untuk Analisis Data Sampel Terbatas," in *ISTEK Journal*, vol. 9, no.1, pp. 17-31, 2015, [Online]. Available: <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/download/168/184>.
- [16] Wang, C. H., & Chen, K. S., "New Process Yield Index of Asymmetric Tolerances for Bootstrap Method and Six Sigma Approach," in *International Journal of Production Economics*, vol. 219, pp. 216-223, 2020, doi:10.1016/j.ijpe.2019.05.004.
- [17] Chernick, Michael R., and LaBudde, Robert A., *An Introduction to Bootstrap Methods with Applications to R*, Canada: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [18] Render B., Heizer J., *Operation Management: Sustainability and Supply Chain Management: Twelfth Edition*, USA: Pearson, 2017.
- [19] Wardhana, M. W., Sulastri, S., & Kurniawan, E. A., "Analisis peta kendali variabel pada pengolahan produk minyak sawit dengan pendekatan statistical quality control (SQC)," in *Rekayasa, Teknologi, dan Sains Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 27-34, 2018, doi: 10.33024/jrets.v2i1.1114.
- [20] Sutedja, A., & Ahmaddin, I., *Pengantar Statistika*, Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung, 2020.
- [21] Cahyono, Tri, *Statistik Uji Normalitas*, Purwokerto: Yayasan Sanitarian Banyumas (Yasamas), 2015.
- [22] Nasrum, A., "Statistical Determination of Kolmogorov-Smimov (D) by Using Manual Way," in *Journal of Math Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 1-4, 2017, [Online]. Available: <http://usnsj.com/index.php/JMS/article/view/2.2.1-4>.
- [23] Csillik, O., Evans, I.S., and Drăguț, L., "Transformation (normalization) of slope gradient and surface curvatures, automated for statistical analyses from DEMs," in *Geomorphology*, vol. 232, pp. 65-77, 2015, doi: 10.1016/j.geomorph.2014.12.038.
- [24] Abdullah, Arafat M., "Aplikasi Peta Kendali Statistik Dalam Mengontrol Hasil Produksi Suatu Perusahaan," in *Saintifik Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 5-13, 2015, doi: 10.31605/saintifik.v1i1.71.
- [25] Lindsay, W. M. and J. R. Evans, *An Introduction to 6 Sigma and Process Improvement*, Jakarta: Salemba Empat, 2007.