

Optimasi Parameter dan Metode Karakterisasi Lapisan *Black Oxide* untuk Komponen *Braking System* Industri Otomotif

Agus Sentana, Yogi Pratama

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan
Email: agussentana3@unpas.ac.id

Abstrak. Produk silinder master rem saat ini masih ada kerusakan, ini terjadi pada industri pelapisan *black oxide* lokal. Sedangkan sebelumnya silinder master rem dibuat di Jepang dan digunakan pada kendaraan terkenal di Indonesia. Hal tersebut menyebabkan semua mobil yang menggunakan silinder master rem dibuat lokal ditarik dan diganti dengan produk Jepang. Pada penelitian ini dikemukakan mengenai bagaimana komponen mesin seperti piston silinder master rem yang dilapisi *black oxide* yang memiliki kualitas yang sama dengan produk luar. Dalam proses *black oxide coating* larutan yang sering digunakan adalah *Hot Alkaline Solution* untuk pembentukan lapisan oksida hitam pada permukaan bagian yang direndam dalam larutan alkali encer dari garam pengoksidasi. Tergantung pada prosesnya, ketebalan lapisan oksida hitam dapat berkisar dari 0,5 hingga 3 μm . Standar umum untuk mendefinisikan perlakuan permukaan oksida hitam pada bahan besi adalah DIN 50938. Dari penelitian ini diperoleh bahwa ketebalan tersebut terlihat bahwa harga ketebalan rata-rata lapisan *black oxide* sebesar 2,85 μm , sedangkan prosentase kesalahannya dibawah 10 % yaitu sebesar 4,162 %. ini menunjukkan bahwa pengukuran ketebalan lapisan *black oxide* memiliki ketelitian yang baik. Dan dari pengamatan secara visual bahwa proses pelapisan mengubah warna *base metal (substrate)* menjadi hitam dengan sifat permukaannya menjadi halus dan licin.

Kata kunci, Black oxide, brake master cylinder, coating, karakterisasi, ketebalan lapisan.

1 Pendahuluan

Komponen sistem pengereman merupakan elemen kritis dalam menjamin keselamatan kendaraan. Salah satu komponen utama adalah brake master cylinder yang berfungsi mengubah gaya mekanik menjadi tekanan hidrolik. Kegagalan pada komponen ini dapat menyebabkan penurunan performa pengereman hingga potensi kecelakaan.

Produk brake master cylinder lokal masih menghadapi berbagai permasalahan, seperti keausan tinggi, ketahanan gesek rendah, dan umur pakai yang relatif pendek. Hal ini

berkaitan erat dengan kualitas material dan proses perlakuan permukaan yang digunakan. Sebelumnya, produk impor menunjukkan performa yang lebih baik sehingga mendorong kebutuhan peningkatan kualitas produk lokal.

Salah satu metode peningkatan performa permukaan adalah black oxide coating, yang termasuk dalam conversion coating. Metode ini tidak mengubah dimensi komponen secara signifikan, namun mampu meningkatkan sifat tribologi dan ketahanan korosi.

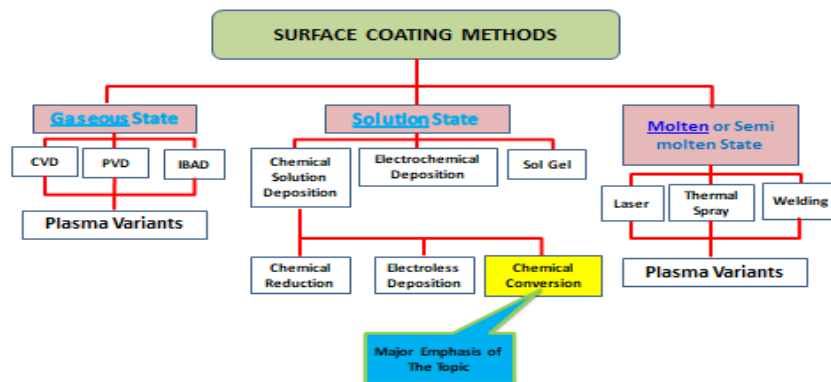
2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Material dan Spesimen

Material yang digunakan adalah baja karbon (mild steel) sebagai bahan dasar piston brake master cylinder.

Conversion coating merupakan jenis pelapisan permukaan logam yang termasuk kedalam kelompok *Chemical Solution Deposition* seperti terdapat pada gambar berikut.

Classification Of Various Coating Methods



Gambar 1. Cetakan Kampas Rem.

Proses pembentukan dan deposisi pelapis tipe konversi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu kimia dan elektrokimia. Secara umum *Conversion Coating* ada tiga jenis yaitu ^[5]:

1. Black Oxide Coating,
2. Phospate Coating,
3. Chromate Coating.

Black Oxide Coatings pelapisan yang menghasilkan lapisan oksida yang memiliki sifat adhesif yang baik. Proses ini dapat dilakukan secara thermal, kimiawi ataupun secara elektrokimia. ketebalan lapisan oksida ini adalah kurang dari 2,5 mikron.

Phospate Coatings: lapisan yang terbentuk dari kristal-kristal fosfat pada permukaan logam (baja karbon, baja paduan rendah, besi cor, seng, cadmium, aluminium dan timah). Jenis lapisan ini adalah: besi fosfat, seng fosfat dan mangan fosfat. Lapisan fosfat ini tergolong lapisan jenis non metalik.

Chromate Coatings: lapisan yang terbentuk oleh reaksi dari larutan asam kromik atau garam kromium. Lapisan ini memiliki sifat ketahanan korosi yang baik pada kondisi atmosfer biasa serta dapat diterapkan pada logam: aluminium, seng, cadmium dan magnesium.

2.2. Pengujian dan Karakterisasi

Uji Kekerasan

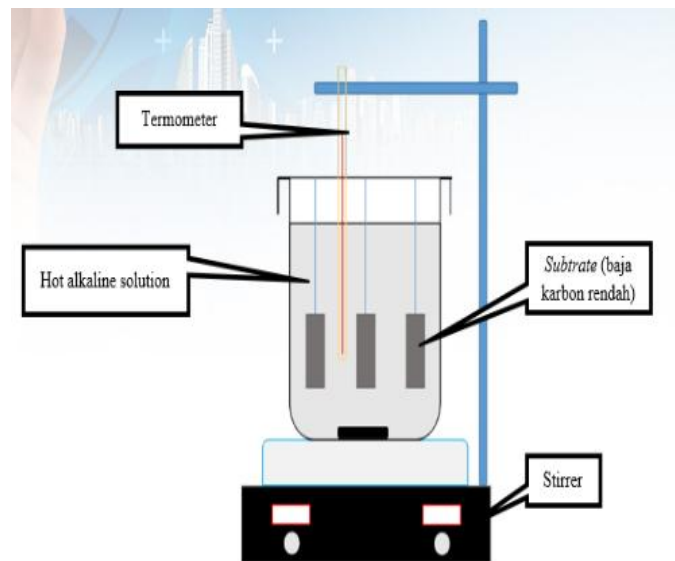
Menggunakan metode Vickers dengan beban 0,1 kgf selama 10 detik pada 7 titik pengujian.

Pengujian Ketebalan Lapisan

Menggunakan metode mikroskopis sesuai standar ASTM B487.

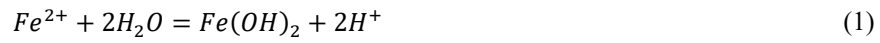
Analisis Mikrostruktur

Dilakukan menggunakan SEM-EDX untuk mengamati morfologi dan komposisi lapisan.

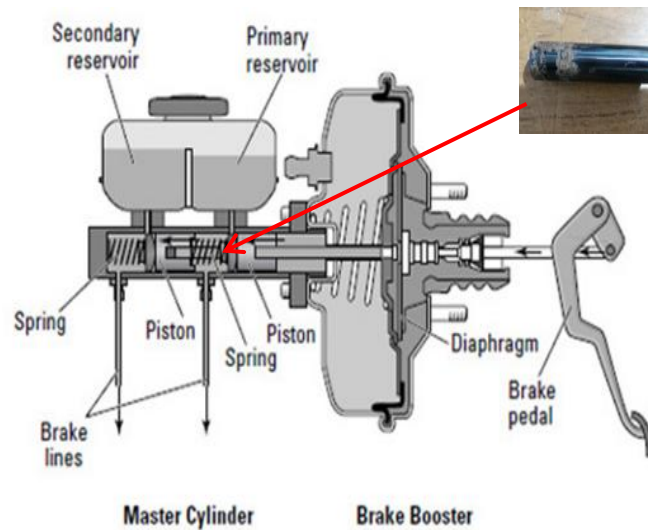


Gambar 2. Skematik Pengujian (*Schematic Experiment*)

Persamaan reaksi kimia pada proses pelapisan *black oxide* [2]:

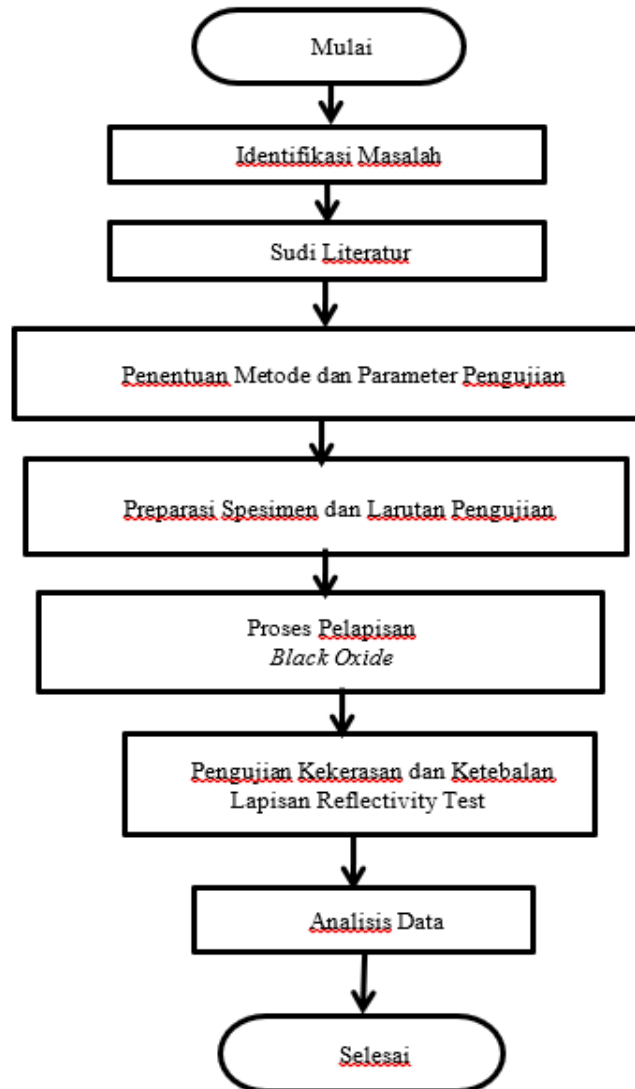


ada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi parameter dan karakterisasi material untuk komponen piston silinder master rem seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Silinder master rem yang mengalami kegagalan /cacat

Untuk mendapatkan data dan target penelitian ini agar terarah dan sistematis, maka dibuat metodologi penelitian seperti pada gambar berikut.

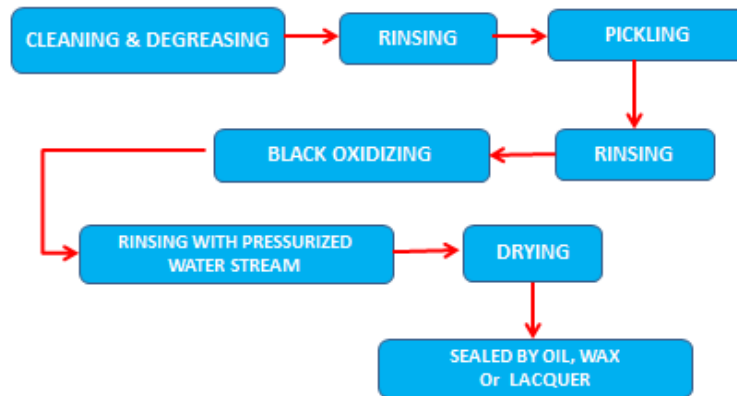


Gambar 4. Diagram Alir

2.3. Tahapan Proses Pelapisan *Black Oxide*

Dalam proses *black oxide coating* larutan yang sering digunakan adalah **Hot Alkaline Solution** untuk pembentukan lapisan oksida hitam pada permukaan bagian yang direndam dalam larutan alkali encer dari garam pengoksidasi. Tergantung pada prosesnya, ketebalan lapisan oksida hitam dapat berkisar dari 0,5 hingga 3 μm . Standar umum untuk mendefinisikan perlakuan permukaan oksida hitam pada bahan besi adalah DIN 50938.^[4]

Stages of hot alkaline process



Gambar 5. Tahapan proses pelapisan *black oxide*

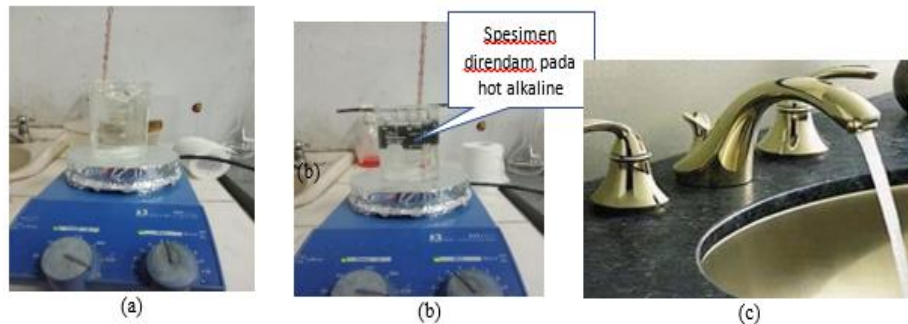
Pada gambar 5 diperlihatkan bagaimana tahapan proses pelapisan *black oxide* yang dilakukan tentunya juga harus memperhatikan komposisi larutan *hot alkaline* yang digunakan seperti yaitu sodium hydroxide (NaOH), sodium nitrate (NaNO₃), sodium nitrite (NaNO₂) dan potassium hydroxide (KOH). Proses pelapisan *black oxide* dapat dilaksanakan dengan perlengkapan dan bahan berikut ini.

Peralatan yang dipergunakan pada eksperimen pelapisan *black oxide* ini adalah:

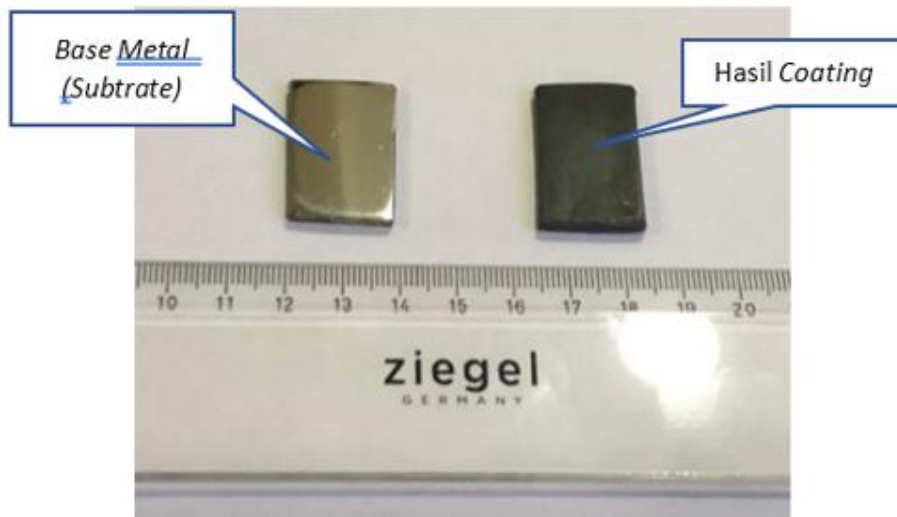
1. Gelas ukur
2. Stirrer
3. Magnetite Stirrer
4. Termometer 0 – 200°C

Dan bahannya antara lain sbb:

1. Aceton,
 2. HCl 32%
 3. NaOH
 4. NaNO₃
 5. Aqua DM,
- Degreasing solution.



Gambar 6. (a) Proses pemanasan awal produk, (b) Proses pelapisan *black oxide*, dan (c) Proses Pembilasan



Gambar 7. Spesimen *Base Metal* dan Hasil *Coating*

2.4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan alat pengujian *Microhardness Vickers*. Pengujian ini dilakukan pada 7 titik secara acak dengan beban sebesar 0,1 kgf dan waktu pembebanan dilakukan selama 10 detik. Dari hasil pengujian *Microhardness Vickers* diperlihatkan pada tabel 1 dan tabel 2.

- A. *Sample name* : *Base Metal (Mild Steel)*
- Calibration* : 0.09414225 $\mu\text{m}/\text{pixel}$
- Magnification* : 50x
- Force* : 100 gf = 0,1 kgf
- Time* : 10 sec.

Tabel 1. Hasil engujian Base Metal

Titik Uji	Nilai Kekerasan (HV)	Diagonal jejak indentor Horizontal (μm)	Diagonal jejak indentor Vertical (μm)
1	159.67	34.1	34.1
2	157.05	35.1	33.6
3	149.59	35.5	34.9
4	157.92	34.4	34.2
5	156.62	34.4	34.5
6	150.79	34.9	35.2
7	144.52	36.0	35.7
Rata ²	153,74	34.9	34.6

B. *Sample name* : Hasil Pelapisan/Coating (Mild Steel)
Calibration : 0.094142258167 $\mu\text{m}/\text{pixel}$
Magnification : 50x
Force : 100 gf = 0,1 kgf
Time : 10 sec.

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan hasil coating

Titik Uji	Nilai Kekerasan (HV)	Diagonal jejak indentor Horizontal (μm)	Diagonal jejak indentor Vertical (μm)
1	294.60	28.1	22.0
2	241.25	27.5	28.0
3	314.34	25.7	22.9
4	241.25	27.1	28.3
5	259.42	27.3	26.2
6	247.09	27.6	27.2
7	290.23	26.2	24.4
Rata ²	269.74	27.0	25.5

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Vickers pada spesimen base metal dan spesimen setelah pelapisan black oxide menunjukkan adanya perbedaan nilai yang signifikan. Nilai kekerasan rata-rata base metal tercatat sebesar 269,74 HV, sedangkan pada spesimen hasil pelapisan menurun menjadi 153,74 HV.

Penurunan nilai kekerasan ini menunjukkan bahwa lapisan black oxide yang terbentuk memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan dengan material substrat. Hal ini merupakan karakteristik umum dari lapisan oksida magnetit (Fe_3O_4) yang terbentuk melalui proses oksidasi kimia pada suhu tinggi.

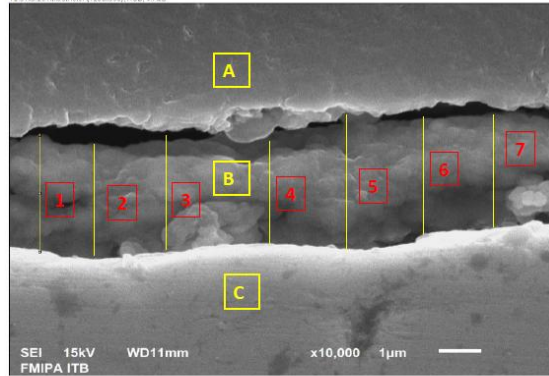
Namun demikian, penurunan kekerasan tidak selalu berdampak negatif terhadap performa komponen. Dalam aplikasi sistem pengereman, lapisan yang lebih lunak justru dapat memberikan efek self-lubricating yang mampu mengurangi koefisien gesek serta meminimalkan keausan permukaan selama operasi.

3.2. Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan menggunakan metode mikroskopis sesuai standar ASTM B487. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh ketebalan rata-rata lapisan black oxide sebesar 2,85 μm .

Nilai ini berada dalam rentang teoritis ketebalan lapisan black oxide yaitu antara 0,5 hingga 3 μm . Hal ini menunjukkan bahwa parameter proses pelapisan yang digunakan dalam penelitian ini telah sesuai dan mampu menghasilkan lapisan dengan ketebalan optimal.

Selain itu, diperoleh nilai persentase kesalahan pengukuran sebesar 4,16%, yang menunjukkan tingkat akurasi pengukuran yang baik. Nilai error yang relatif kecil ini mengindikasikan bahwa metode pengujian yang digunakan memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi.



Note :
 A = Resin, B = Lapisan Oksida, C = Subtrat (baja karbon)
 1, 2, 3,.....7 = Lokasi pengukuran

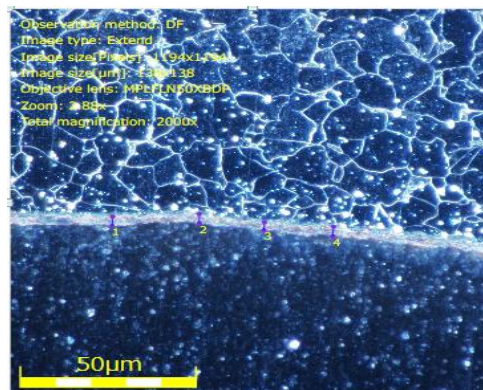
Gambar 8. Pengukuran ketebalan lapisan *black oxide* dengan pembesaran 10000 x

3.3. Analisis Mikrostruktur Lapisan

Hasil pengamatan menggunakan SEM menunjukkan bahwa lapisan *black oxide* terbentuk secara relatif homogen pada permukaan substrat. Struktur lapisan tampak menyelimuti permukaan logam dasar tanpa adanya cacat signifikan seperti retak (*crack*) atau delaminasi.

Lapisan yang terbentuk didominasi oleh senyawa magnetit (Fe_3O_4), yang memiliki sifat adhesi yang baik terhadap substrat baja karbon. Hal ini menunjukkan bahwa proses difusi dan reaksi kimia selama pelapisan berlangsung secara optimal.

Selain itu, hasil analisis EDX menunjukkan adanya dominasi unsur Fe dan O pada lapisan, yang mengonfirmasi terbentuknya lapisan oksida besi sebagai hasil proses konversi kimia.



Gambar 9. Hasil pengujian mikro struktur penampang lapisan *black oxide* di MIDC

Dasi hasil pengukuran ketebalan tersebut terlihat bahwa harga ketebalan rata-rata lapisan *black oxide* sebesar 2,85 μm , sedangkan prosentase kesalahannya dibawah 10

% yaitu sebesar 4,162 % . ini menunjukkan bahwa pengukuran ketebalan lapisan *black oxide* memiliki ketelitian yang baik.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses pelapisan *black oxide* menggunakan metode hot alkaline solution berhasil menghasilkan lapisan oksida yang homogen dan melekat baik pada permukaan baja karbon (mild steel). Ketebalan rata-rata lapisan yang diperoleh sebesar 2,85 μm dengan tingkat kesalahan pengukuran sebesar 4,16%, yang menunjukkan bahwa proses pelapisan berlangsung secara optimal dan konsisten. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan dari 269,74 HV menjadi 153,74 HV setelah pelapisan, yang disebabkan oleh terbentuknya lapisan oksida yang relatif lebih lunak dibandingkan substrat. Meskipun demikian, lapisan *black oxide* memberikan keuntungan berupa peningkatan sifat pelumasan (lubricity), permukaan yang lebih halus, serta potensi peningkatan ketahanan terhadap keausan dan korosi. Dengan demikian, metode pelapisan ini memiliki prospek yang baik untuk diaplikasikan pada komponen brake master cylinder guna meningkatkan kualitas dan daya saing produk industri otomotif lokal.

Referensi

- [1] Geoger E. Dieter, “*Materials Science and Engineering*,” McGraw Hill. 2018.
- [2] Ray M. Hurd and Norman Hackerman, “*Kinetic Studies on Formation of Black-Oxide Coatings on Mild Steel in Alkaline Nitrite Solutions*” Defense Research Laboratory and Department 05 Chemistry, The University of Texas, Austin, Texas, 2016.
- [3] Croccolo, Dario et al. “*Tribological Properties Of Bolts Depending On Different Screw Coatings And Lubrications: An Experimental Study*”. Tribology International. 2016
- [4] H. Hager Jr, Carl and Ryan D. Evans. “*Friction and wear properties of black oxide surfaces in rolling/sliding contacts*”. Elsevier, 2015.
- [5] ISO 11408: Chemical conversion coatings — Black oxide coating on iron and steel — Specification and test methods. 1999.
- [6] MIL-DTL-13924D. “*Detail Specification Coating, Oxide, Black, For Ferrous Metals*”. 1980
- [7] Parts in a Tool Company”. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*.
- [8] Pereira, Giliane Corrêa et. all. “*Application of Black Oxidation in Carbon Steel*. 2019.