

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pelapisan plastik ABS menggunakan metode *electroless plating* perlu memerhatikan beberapa aspek penting, diantaranya adalah tingkat kecerahan suatu lapisan, kekerasan bahan setelah proses pelapisan dan ketebalan lapisan. Dari beberapa penelitian sebelumnya, perbedaan konsentrasi katalis Pd/Sn akan mempengaruhi hasil dari *electroless*. Semakin tinggi konsentrasi katalis yang digunakan maka hasil yang diperoleh memiliki karakteristik fisik dan mekanik berbeda.

Yuniati (2010) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa daya lekat logam pelapis dengan plastik sebagai bahan dasar sangat bergantung pada tahap etsa, tahap netralisasi, serta tahap aktivasi. Langkah aktivasi adalah bagian yang paling penting dari proses elektroless nikel dimana partikel-partikel kecil dari logam palladium yang kompleks menempel pada permukaan plastik, dimana palladium berfungsi sebagai katalisator pada proses elektroless. Pada penelitian tersebut, peneliti berfokus pada pengaruh palladium terhadap hasil dari proses elektroless. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan Palladium Chlorida dan konsentrasi larutan Stannous Chlorida pada tahap aktivasi untuk proses elektroless nikel pada plastik ABS. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat bahwa kondisi operasi optimal tahap aktivasi untuk bahan plastik ABS adalah dengan melarutkan larutan Stano Chloride dengan konsentrasi 10 g/l selama 3 menit dan larutan Palladium Chloride dengan konsentrasi 0,5 g / l selama 3 menit dimana logam palladium pada tahap aktivasi menempel dengan baik pada permukaan plastik. Namun ada penelitian ini tidak dijelaskan bagaimana karakteristik fisik dan mekanik seperti kekerasan, kekasaran, keausan, serta ketebalan lapisan yang dihasilkan dari variasi yang dilakukan.

Santhiarsa (2016) menyebutkan bahwa material plastik memiliki keunggulan seperti ringan, kuat, mudah dibentuk, tahan korosi serta bahan kimia. Namun dibalik kelebihannya, plastik juga memiliki kelemahan yaitu kemampuannya untuk tahan gores dan kekerasan yang rendah. Dalam penelitiannya peneliti menggunakan plastik ABS sebagai bahan yang dilapisi, dengan variasi temperatur, 30°C, 40°C

dan 50°C, dengan variasi waktu elektroless 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Katalisasi palladium yang digunakan pada tahap aktivasi adalah PS katalis 2 140 ml, asam klorida 150 ml, dan aqua DM 1 liter dalam suhu ruangan dan lama waktu 2-10 menit. Pengujian yang dilakukan adalah pengukuran ketebalan hasil lapisan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur dan waktu pada proses electroless plating berpengaruh terhadap ketebalan lapisan, dimana pada temperatur 50°C dan waktu elektroless 15 menit didapat hasil ketebalan paling tinggi sebesar 3,83 µm. Pada penelitian tersebut peneliti hanya berfokus pada ketebalan yang dihasilkan dari variasi yang diberikan. Namun peneliti tidak menunjukkan bagaimana struktur permukaan dan ketebalan menggunakan SEM sehingga tidak tampak bagaimana perbedaan ketebalan dan rekatan antara pelapis dengan plastik dari masing-masing variasi yang diteliti.

Gui-xiang *et al* (2006) melakukan penelitian dengan mengetsa plastic ABS menggunakan larutan CrO₃/H₂SO₄ dengan menambahkan ion palladium (Pd²⁺) kedalam larutan etsa, kemudian plastik dikatalisasi menggunakan larutan Pd/Sn koloid dan di akselerasi menggunakan larutan alkali yang mengandung temaga. Kandungan Pd²⁺ yang terdapat pada larutan etsa tadi mampu mengurangi kekasaran permukaan lapisan nikel yang dihasilkan dan meningkatkan daya adsorpsi plastic terhadap logam pelapis. Setelah tahap akselerasi, ketika kestabilan ion Cu²⁺ kompleks relatif rendah, Sn²⁺ teroksidasi oleh Cu²⁺ dalam larutan alkali sementara CuO₂ terbentuk. Reaksi redoks dari CuO₂ membentuk lapisan logam diantara partikel palladium, sehingga konduktivitas permukaan plastic ABS meningkat dan lapisan tembaga terbentuk secara merata dan sempurna.

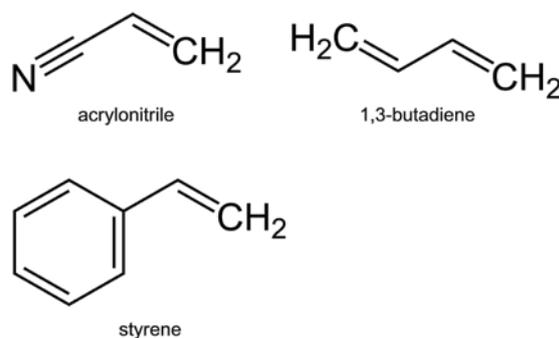
Dechasi & Trakarnpruk (2011) dalam penelitiannya melakukan perbandingan larutan aktivasi pada proses electroless nickel plating plastic ABS. Mereka membandingkan antara proses aktivasi menggunakan larutan campuran PdCl₂-SnCl₂ dengan larutan nikel asetat (CH₃CO₂)₂Ni dan kobal klorida (CoCl₂) dalam konsentrasi berbeda. Plastik ABS pertama-tama dietsa kemudian diaktivasi menggunakan ketiga larutan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan jumlah dan ketebalan film nikel yang tertinggi didapat menggunakan 3 g / L larutan nikel asetat, larutan natrium borohidrida 0,5 M pada 60 detik pada saat reduksi. Kekuatan adhesi lapisan Ni yang terbentuk jika dibandingkan dengan adhesi lapisan menggunakan

aktivasi Paladium sama baiknya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan $(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Ni}$ dan CoCl_2 Hasil penelitian menunjukkan tanpa menggunakan katalis konvensional yang terbuat dari palladium permukaan plastic AS yang katalik bias didapat. Penggunaan $(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Ni}$ dan CoCl_2 juga lebih hemat biaya jika dibandingkan dengan katalis palladium konvensional. Pencelupan plastik yang sudah katalis kedalam larutan pereduksi NaBH_4 setelah tahap aktivasi juga meningkatkan ion logam yang tereduksi ke permukaan plastic sehingga permukaan plastic lebih sempurna pelapisannya.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Akrilonitril Butadiena Stirena (ABS)

Acrylonitrile-butadiene-styrene umumnya dikenal sebagai plastik ABS merupakan material thermoplastic yang mengandung acrylonitrile, butadiene dan styrene. Dengan rumus kimia $(\text{C}_8\text{H}_8)_x (\text{C}_4\text{H}_6)_y (\text{C}_3\text{H}_3\text{N})_z$. Pada gambar 2.1, Komposisi ketiga jenis monomer ini dapat bervariasi dari 15% - 35% akrilonitril, 5% - 30% butadiena, 40% - 60% stirena, dan kandungan monomer atau polimer lainnya.



Gambar 2.1. Struktur monomer plastik ABS (Olivera *et al*, 2015)

Akrilonitril bersifat stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimia, butadiena bersifat dapat memberikan perbaikan dalam sifat ketahanan pukul dan liat. Stirena mengatur kekakuan (*rigidity*) sehingga plastik mudah diproses. Plastik ABS dapat dicetak untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan dengan cara injection molding dan dapat dielektroplating dengan terlebih dahulu dilakukan tahap metalisasi. Ada berbagai macam kualitas plastik ABS dan sifat yang bervariasi, mulai dari tingkat kilap, ketahan impak, ketahanan temperatur dan lain sebagainya tergantung bahan aditif yang ditambahkan didalamnya.

Dibandingkan dengan jenis plastik lainnya, plastik ABS merupakan jenis plastik yang mempunyai faktor keberhasilan untuk diplating lebih besar. Hal tersebut disebabkan oleh mudahnya permukaan plastik ABS dietsa secara kimiawi. Kondisi tersebut berpengaruh pada tingginya tingkat daya lekat (adhesive) lapisan logam yang menempel pada permukaan plastik ABS.

Secara umum plastik ABS memiliki sifat tahan terhadap bahan kimia, dapat mudah dirubah bentuk, memiliki kilap permukaan yang baik, mudah direkatkan, liat, keras, kaku serta biaya proses yang rendah. Karena memiliki sifat seperti itu, plastik ABS sering digunakan dalam tujuan dekoratif-protektif logam chrom. Banyak aplikasi penggunaannya dalam berbagai bidang, seperti berikut ini :

1. Komponen otomotif, misalnya: body kaca spion, bumper, horn grill, radiator grill, reflektor lampu dan lain-lain.
2. Peralatan elektronik, misalnya: plastik knob, remote control, body dispenser, body AC, kipas angin dan lain-lain.
3. Peralatan rumah dan bangunan, misalnya: kran air, handle pintu, sanitary ware, bak air dan lain-lain.



Gambar 2.2. Produk hasil pelapisan logam pada plastik ABS(Wahyudi, 2012)

2.2.2. Logam Pelapis

Logam pelapis adalah salah satu bahan utama dalam proses pelapisan logam pada plastik ABS. Logam pelapis yang akan digunakan pada pelapisan nikel pada plastik ABS adalah nikel. Penambahan logam pelapis ini berguna untuk menambah kekuatan fisik dan mekanis dari plastik ABS (Zohari,2013).

Nikel (*nickel*) adalah logam yang sering digunakan pada industri material, kimia dan pelapisan logam. Sifatnya yang fleksibel seperti tidak mengalami perubahan ketika terkena udara, resistansi terhadap oksidasi serta mampu mempertahankan

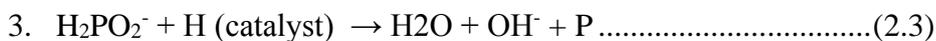
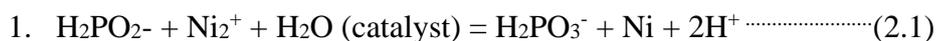
sifat-sifat aslinya ketika berada pada temperatur rendah yang ekstrim serta tahan terhadap korosi. Nikel berwarna putih keperak-perakan, berkilat halus, sehingga bila dipoles dan sebagai lapis lindung akan kelihatan tampak rupa yang indah dan mengkilap.

Selain memiliki sifat dan karakteristik tertentu. Nikel juga memiliki Sifat kimia yang unik, yaitu:

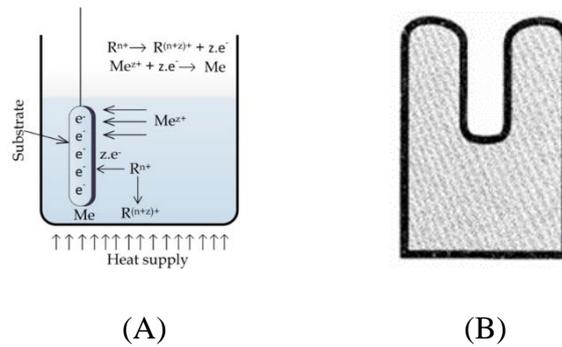
1. Pada suhu kamar, reaksi dengan udara lambat.
2. Jika dibakar, reaksi berlangsung cepat membentuk oksida NiO.
3. Jika bereaksi dengan Cl₂ membentuk Klorida (NiCl₂).
4. Jika bereaksi dengan uap H₂O membentuk Oksida NiO.
5. Jika bereaksi dengan HCl *liquid* dan H₂SO₄ *liquid*, reaksi berlangsung lambat.
6. Tidak bereaksi dengan basa alkali.
7. Jika bereaksi dengan H₂S akan menghasilkan endapan hitam berupa NiS dengan reaksi pembentukan $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) \rightarrow \text{NiS}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$.

2.2.3. *Electroless Plating*

Electroless Plating merupakan proses pelapisan tanpa menggunakan arus listrik pada proses pelapisannya atau dikenal sebagai pelapisan *auto-catalytic*. Proses ini terjadi karena terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi pada permukaan bahan, sehingga terbentuk lapisan logam yang berasal dari larutan garam logam tersebut (santhiarsa,2016). Contoh reaksi di elektroless nikel plating:



Namun dikarenakan tidak menggunakan energi listrik pada reaksinya, pelapisan yang terjadi menjadi lebih pelan jika dibandingkan dengan menggunakan listrik, namun dilain hal lapisan yang dihasilkan lebih merata seperti yang ditunjukkan gambar 2.3(B). Untuk mempercepat proses pelapisan, temperatur larutan elektrolit harus ditingkatkan dengan alat pemanas.



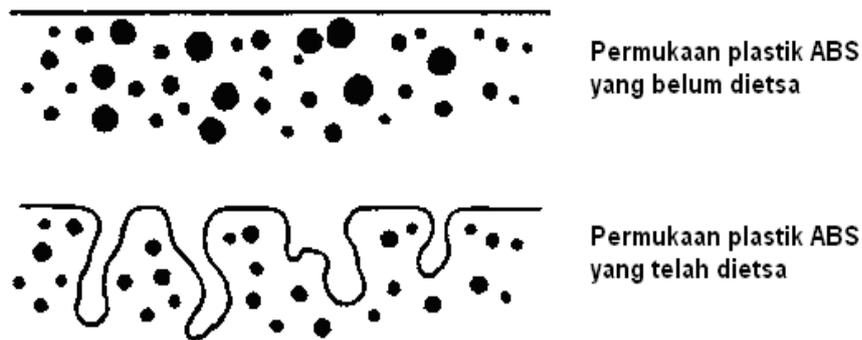
Gambar 2.3. Skema sistem *electroless nickel* (A) dan hasil pelapisannya (B).
(Wahyudi, 2012)

Dalam proses *electroless plating* pada plastik ABS, jenis pelapisan nikel sering dilakukan dibandingkan pelapisan tembaga karena logam nikel mempunyai bersifat lebih tahan korosi dan kekerasannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan tembaga. Pada proses elektroless nikel, larutan membutuhkan bahan kimia reduktor berupa sodium hypophosphite (NaH_2PO_2). Bahan kimia tersebut memiliki fungsi untuk mereduksi ion nikel (Ni^{2+}) menjadi logam nikel (Ni^0).

2.2.4. Preparasi Permukaan

Preparasi permukaan merupakan tahap pertama dalam proses elektroless plating untuk mengubah struktur permukaan benda kerja agar dapat mengikat paladium. Preparasi permukaan terdiri dari beberapa proses yaitu pembersihan, *etching* (etsa), dan netralisasi.

1. Tahap pembersihan yang berfungsi untuk pembersihan permukaan plastik ABS dari berbagai macam zat pengotor dengan menggunakan soak cleaning sebagai larutan pembersihnya. Plastik ABS harus terbebas dari zat pengotor agar tidak mengganggu reaksi kimia yang terjadi pada proses selanjutnya. Ada beberapa kegagalan jika pada tahap pembersihan tidak dilakukan secara sempurna yaitu: tidak terbentuk lapisan pada daerah tertentu, lapisan mudah terkelupas, dan lapisan menggelembung.
2. Tahap *etching* (etsa) berfungsi untuk membuat permukaan plastik agar terbentuk pori-pori. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 fungsi dari pori-pori ini untuk meningkatkan daya lekat yang akan diisi oleh paladium yang menyebabkan terjadi ikatan antara plastik dengan logam pada proses elektroless nikel.



Gambar 2.4. Permukaan plastik ABS sebelum dan sesudah Dilakukan proses *etching* (Wahyudi, 2012)

3. Tahap netralisasi adalah tahap yang berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa kromium dari proses etsa yang masih mengendap pada pori-pori permukaan plastik ABS. Hal ini diperlukan sebab terdapatnya sisa kromium dapat menghambat proses electroless berlangsung.

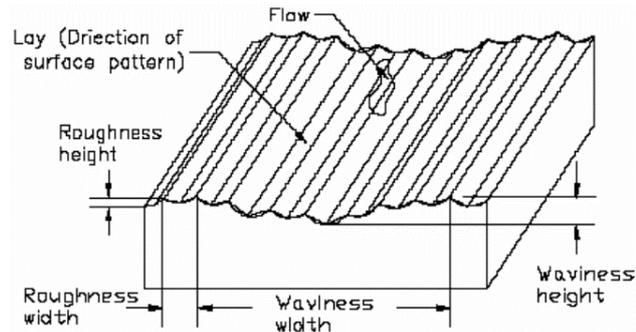
2.2.5. Metalisasi

Metalisasi merupakan proses yang berfungsi untuk membuat plastik ABS menjadi material yang konduktor. Tahapan ini terdiri dari katalisasi palladium, akselerasi, dan elektroless nikel.

1. Katalisasi palladium berfungsi untuk membuat permukaan plastik ABS menjadi katalis. Indikasi untuk mengetahui palladium menempel pada material adalah ketika dibilas permukaan plastik akan berwarna kehitam-hitaman. Permukaan plastik yang bersifat katalis sangat diperlukan karena dengan begitu logam dapat menempel dengan baik pada permukaan plastik.
2. Tahap akselerasi berfungsi untuk melarutkan lapisan tipis timah yang menutupi lapisan palladium, sebab terdapatnya lapisan timah pada permukaan plastik dapat menghambat terjadinya pelapisan logam pada saat elektroless berlangsung. Dan juga tahap ini berfungsi untuk menghilangkan bahan pencemar logam yang berada dipermukaan plastik ABS.
3. Tahap elektroless nikel merupakan tahap pelapisan logam nikel pada permukaan plastik ABS sehingga memiliki sifat logam dan bersifat konduktor

2.2.6. Pengujian Kekasaran Permukaan

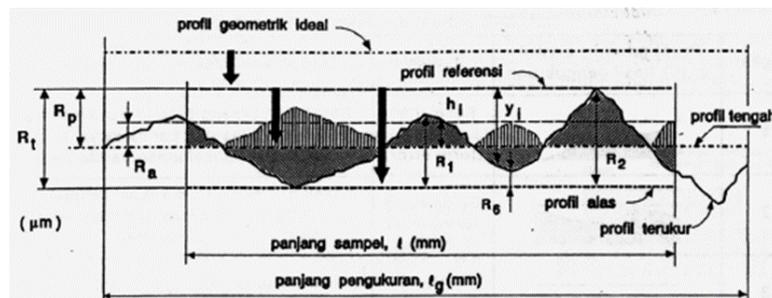
Kekasaran merupakan ketidakraturan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin atau peralatan. Dalam beberapa hal, kekasaran permukaan perlu dinyatakan sejelas-jelasnya terutama jika berhubungan dengan bertemunya 2 komponen mesin dalam suatu sistem.



Gambar 2.5 Tekstur Permukaan Benda Kerja (Zulhendri *et al*, 2007)

Menurut Rochim (2001) kekasaran akhir dari suatu permukaan benda bisa dipengaruhi oleh beberapa parameter. Kekasaran rata-rata (R_a) merupakan salah satu parameter dalam proses produksi yang paling sering digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan adalah. Parameter ini adalah juga dikenal sebagai perhitungan nilai kekasaran AA (*Arithmetic Average*) atau CLA (*Center Line Average*). R_a bersifat universal dan merupakan parameter internasional kekasaran yang paling sering digunakan.

Hasil bentuk profil yang terbaca oleh alat ukur kekasaran dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.6. Profil Permukaan yang Terbaca oleh *Surface Roughness Tester* (Zulhendri *et al*, 2007)

Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*), R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara

profil terukur dengan profil tengah dan dinyatakan dengan persamaan 2.4..

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |hi| dx \dots\dots\dots(2.4)$$

Pada gambar teknik harga kekasaran rata-rata (Ra) maksimal ditulis dengan satuan metrik atau inci diatas simbol segitiga, angka kekasaran Ra minimum dapat dituliskan jika diperlukan dibawah kekasaran maksimal. Angka kekasaran (ISO number) digunakan agar kesalahan penafsiran pada kekasaran dapat terhindarkan. Sehingga spesifikasi kekasaran dapat langsung dituliskan dengan angka kelas kekasaran pada tabel 2.2.

Tabel 2.1. Angka kekasaran menurut ISO atau DIN 4763: 1981 (Saputro, 2010)

Harga Kekasaran, Ra (µm)	Angka Kelas Kekasaran	Panjang Sampel (m)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,005	N2	
0,025	N1	0,08

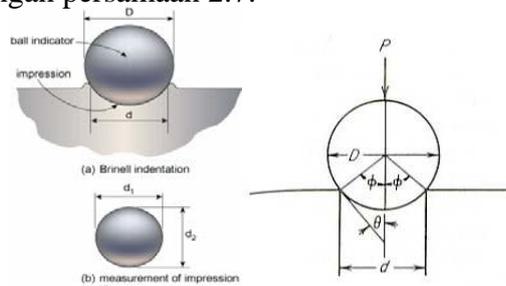
2.2.7. Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis yang sifatnya terlokalisasi pada suatu material yang dapat disebabkan oleh tusukan maupun goresan. Material yang akan mengalami pergesekan atau frictional force perlu diketahui nilai kekerasannya. Pada umumnya kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi. Deformasi plastis sendiri merupakan suatu keadaan dari material ketika material tersebut diberikan gaya maka material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asalnya artinya material tersebut tidak bisa kembali ke bentuk asalnya (Haryanto, 2016).

Pengujian kekerasan memiliki fungsi untuk mengetahui karakteristik dan mutu suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu. Terdapat 4 metode pengujian kekerasan yaitu :

2.2.7.1 Metode *Brinell*

Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan suatu material dengan cara memberikan beban tekan kepada spesimen menggunakan indenter yang terbuat dari bola baja *chrom* dan mengukur jejak indenter yang dihasilkan. Metode ini memiliki kekurangan yaitu hanya terbatas pada spesimen yang kecil dan tegangan yang dihasilkan indenter berpotensi terjadinya kegagalan. Prinsip metode Brinell dapat kita lihat pada Gambar 2.7. Nilai kekerasan *brinell* dapat ditentukan dengan persamaan 2.7.



Gambar 2.7 Prinsip metode *Brinell* (Haryanto, 2016)

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t} \dots\dots\dots (2.7)$$

- Dimana : P : Beban yang diberikan (Kg).
- D : Diameter indenter (mm).
- d : Diameter indentasi (mm).
- t : Kedalaman indentasi (mm).

2.2.7.2 Metode Rockwell

Pengujian kekerasan dengan metode rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada material uji. Pengujian kekerasan didasarkan pada kedalaman masuknya penekan benda uji. Nilai kekerasan dapat langsung dibaca setelah beban utama dihilangkan. Untuk menghitung nilai kekerasan Rockwell dapat dihitung dengan rumus pada persamaan 2.8.

$$HRN = N - \frac{d}{S} \dots\dots\dots (2.8)$$

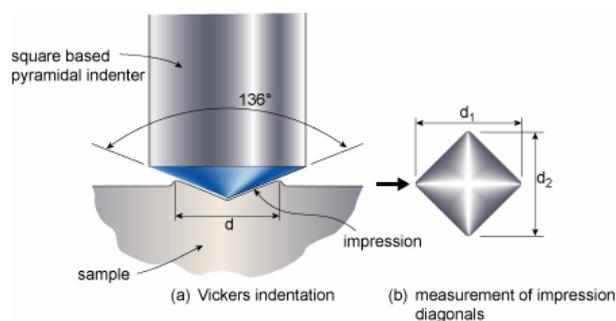
Dimana : d : kedalaman indenter setelah beban dilepas (mm)

Tabel 2.2. Skala Rockwell (Haryanto, 2016)

Scale	Abbreviation	Load	Indenter	Use	N	s
A	HRA	60 kgf	120° diamond spheroconical [†]	Tungsten carbide	100	0.002mm
B	HRB	100 kgf	¹ / ₁₆ -inch-diameter (1.588 mm) steel sphere	Aluminium, brass, and soft steels	130	0.002mm
C	HRC	150 kgf	120° diamond spheroconical	Harder steels >B100	100	0.002mm
D	HRD	100 kgf	120° diamond spheroconical		100	0.002mm
E	HRE	100 kgf	¹ / ₈ -inch-diameter (3.175 mm) steel sphere		130	0.002mm
F	HRF	60 kgf	¹ / ₁₆ -inch-diameter (1.588 mm) steel sphere		130	0.002mm
G	HRG	150 kgf	¹ / ₁₆ -inch-diameter (1.588 mm) steel sphere		130	0.002mm

2.2.7.3 Metode *Vickers*

Pengujian ini menggunakan intendor berbentuk piramida yang terbuat dari *diamond* berbentuk bujur sangkar dengan besar sudut 136° terhadap kedua sisi yang berhadapan. Besar beban intendor bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan tingkat kekerasan spesimen. Kekurangan dari metode ini yaitu membutuhkan waktu lama dan persiapan spesimen yang sangat hati-hati. Prinsip dari pengujian *Vickers* yaitu besar beban di bagi dengan luas daerah identasi. Panjang diagonal di ukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak.



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Metode *Vickers* (Haryanto, 2016)

Untuk menghitung kekerasan material dapat dihitung dengan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

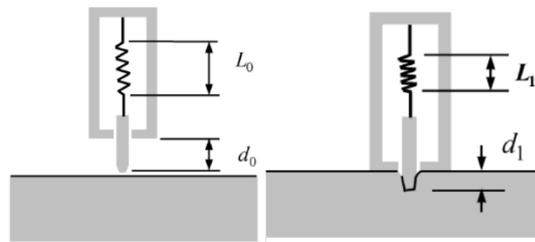
Dimana : P : Beban yang diberikan (Kg)

L : Panjang rata-rata diagonal (mm)

Θ : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

2.2.7.4 Metode Shore Hardness

Shore Durometers Hardness Tester atau durometer merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menguji kekerasan material *elastomer*. Pada dasarnya prinsip kerja durometer yaitu dengan mengukur reaksi gaya pada indentor melalui pegas yang sudah dikalibrasi ketika ditekan pada spesimen. seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Prinsip Kerja *Shore Hardness Tester* (Qi et al,2003)

Nilai kekerasan yang ditampilkan diperoleh dari persamaan 2.10 yaitu

$$SHN = \frac{\Delta L}{0.025 \text{ mm}}, \Delta L = L_0 - L \dots \dots \dots (2.10)$$

Ada 2 tipe Shore Durometers yang umum digunakan, yaitu Shore tipe A dan tipe D. Shore tipe A digunakan untuk mengukur material yang tidak keras seperti karet, kulit dan wax. Sedangkan Shore tipe D untuk mengukur material yang keras seperti ebonite, resin keras, akrilik, kaca, piringan cetak dan fiber. Pada penelitian ini menggunakan shore tipe D karena yang akan diukur merupakan plastik ABS berlapis nikel.

Berdasarkan *ASTM D2240* ada 12 skala, tergantung dari penggunaan gaya pegas serta indentor yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Skala pada Durometer Hardness (Qi *et al*,2003)

Scale	Configuration	Diameter	Extension	Spring force
A	35° truncated cone (frustum)	1.40 mm (0.055 in)	2.54 mm (0.100 in)	822 gf (8.06 N)
C	35° truncated cone (frustum)	1.40 mm (0.055 in)	2.54 mm (0.100 in)	4,536 gf (44.48 N)
D	30° cone	1.40 mm (0.055 in)	2.54 mm (0.100 in)	4,536 gf (44.48 N)
B	30° cone	1.40 mm (0.055 in)	2.54 mm (0.100 in)	822 gf (8.06 N)
M	30° cone	0.79 mm (0.031 in)	1.25 mm (0.049 in)	78 gf (0.76 N)
E	2.5 mm (0.098 in) spherical radius	4.50 mm (0.177 in)	2.54 mm (0.100 in)	822 gf (8.06 N)
O	1.20 mm (0.047 in) spherical radius	2.40 mm (0.094 in)	2.54 mm (0.100 in)	822 gf (8.06 N)
OO	1.20 mm (0.047 in) spherical radius	2.40 mm (0.094 in)	2.54 mm (0.100 in)	113 gf (1.11 N)
DO	1.20 mm (0.047 in) spherical radius	2.40 mm (0.094 in)	2.54 mm (0.100 in)	4,536 gf (44.48 N)
OOO	6.35 mm (0.250 in) spherical radius	10.7–11.6 mm (0.42–0.46 in)	2.54 mm (0.100 in)	113 gf (1.11 N)
OOO-S	10.7 mm (0.42 in) radius disk	11.9 mm (0.47 in)	5.0 mm (0.20 in)	197 gf (1.93 N)

Nilai akhir dari kekerasan bergantung pada kedalaman yang dihasilkan setelah ditekan selama 15 detik pada material. Jika indenter menembus 2,54 mm (0.100 inci) atau lebih ke dalam spesimen, durometer adalah 0 untuk skala itu. jika tidak menembus sama sekali, maka skala durometernya adalah 100. Hasil yang diperoleh dari tes ini adalah nilai kekerasan dalam skala Shore. Inilah mengapa berbagai skala tersebut ada. Durometer berdimensi kuantitas, dan tidak ada hubungan sederhana antara durometer bahan bahan dalam satu skala, dan durometer dalam setiap skala lain, ataupun dengan uji kekerasan lainnya.

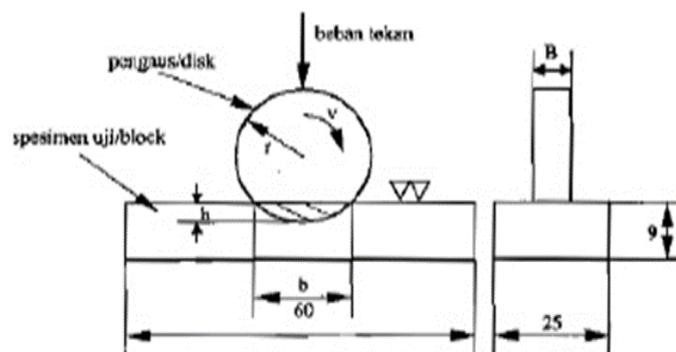
2.2.8. Pengujian Keausan

Keausan merupakan hilangnya suatu bahan dari permukaan material yang disebabkan adanya perbedaan mekanisme dan terbentuk oleh beberapa parameter

yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan benda yang mengalami keausan (Nurdiansyah, 2011).

Pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi dimana benda uji diberi beban gesek dari cincin yang diputar (*revolving disc*). Pembebanan ini akan menghasilkan kontak berulang-ulang pada spesimen sehingga sebagian material yang ada permukaan benda uji terlepas. Besarnya jejak permukaan yang muncul pada permukaan spesimen menjadi penentu dari keausan material

Keausan dinyatakan sebagai jumlah hilangnya volume material dengan satuan panjang spesimen per satuan waktu. Prinsip keausan spesimen dengan *disk on block* dapat dilihat seperti tertera pada gambar 2.10 di bawah ini:



Gambar 2.10. Prinsip pada Pengujian Keausan *Disc on Block* (Nurdiansyah, 2011)

Keausan yang terjadi pada spesimen didapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$W = \frac{V_i - V_f}{t} = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2.11)$$

- Dimana :
- Vi: volume awal spesimen (mm³)
 - Vf: volume akhir spesimen setelah pengausan (mm³)
 - t: waktu atau lama pengausan (menit)
 - V: volume goresan yang hilang (mm³)

Volume goresan hilang (V) pada specimen uji didapat menggunakan persamaan :

$$V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12r \cdot x} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan : x : jarak luncur (setting pada mesin uji).

Keausan spesifik dihitung dari lebar material yang termakan oleh piringan yang berputar. Keausan spesifik (Ws dalam mm³/kg) dinyatakan dengan:

$$W_s = \frac{B.b^3}{8.r.P_o.l_o} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan : B : tebal piringan (mm)

r : radius piringan (mm)

b : lebar keausan hasil pengamatan mikroskop(mm).

Po : Beban tekan saat pengausan (Kg)

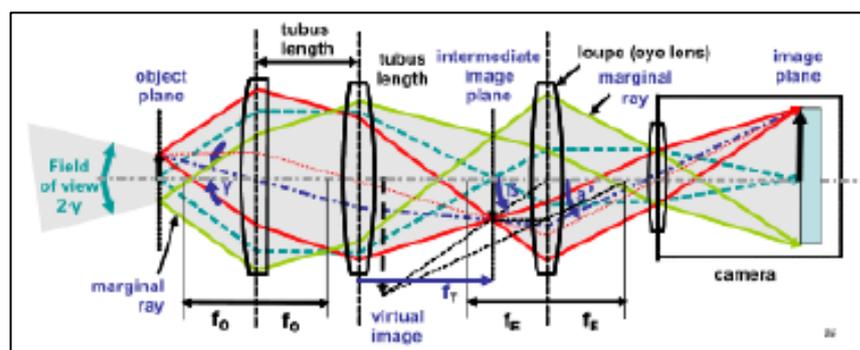
lo : jarak tempuh dari proses pengausan (mm)

2.2.9. Pengujian Ketebalan dan Struktur Lapisan

2.2.9.1. Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan jenis mikroskop yang memanfaatkan cahaya tampak dan lensa yang disusun sedemikian rupa membentuk suatu sistem untuk memperbesar gambar spesimen yang kecil. Mikroskop optik banyak digunakan karena menggunakan cahaya langsung yang tampak oleh mata sehingga sampel dapat langsung diamati. Dewasa ini, gambar yang dihasilkan mikroskop optik sudah dapat langsung dilihat dengan menghubungkan mikroskop ke layar monitor komputer menggunakan kamera normal dengan sensitivitas cahaya tinggi. Perbesaran yang dihasilkan mencapai mencapai 1000x perbesaran.

Komponen mikroskop optik umumnya terdiri dari lensa objektif dan lensa okuler. Skema susunan lensa pada mikroskop seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



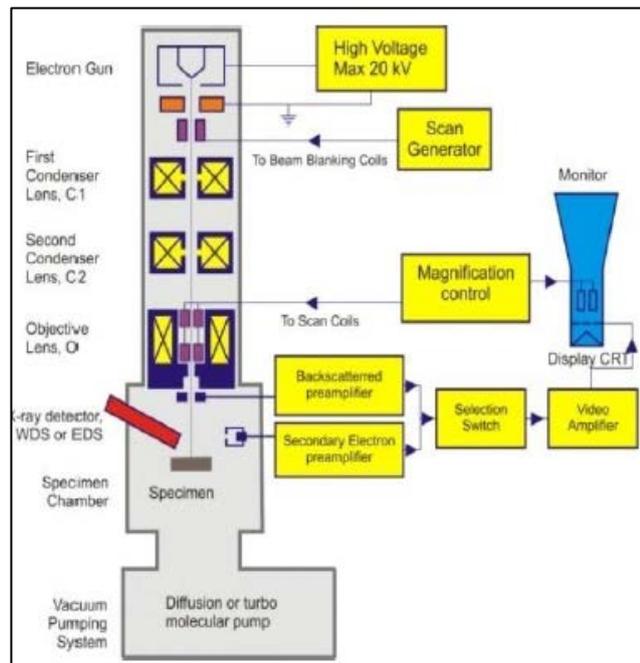
Gambar 2.11. Skema Mikroskop optik (Nugroho, 2012)

Lensa objektif adalah kaca pembesar yang memiliki panjang fokus sangat pendek namun memiliki kekuatan yang besar. Lensa objektif akan menampilkan gambar terbalik. Pencitraan yang sangat besar dapat dilihat dengan memfokuskan spesimen. Untuk menghasilkan pencitraan gambaran yang nyata, maka diperlukan

lensa okuler. Pada mikroskop, umumnya lensa okuler menggunakan lensa majemuk pada setiap bagiannya. Lensa pertama memberikan gambar nyata sedangkan pada lensa kedua untuk meningkatkan fokus gambar virtual yang dihasilkan.

2.2.9.2. Scanning Electron Microscope (SEM))

Merupakan mikroskop yang menggambar spesimen dengan cara memindai spesimen tersebut dengan sinar elektron berenergi tinggi. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Gambar dapat diambil dari fotografi tabung sinar katoda beresolusi tinggi. Pada mesin modern gambar diambil dan ditampilkan pada monitor komputer serta disimpan ke dalam *hard disk* yang dimiliki.



Gambar 2.12 Skema SEM (Sujatno *et al*, 2015)

Sumber elektron *SEM* biasanya berupa filamen dengan bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride* (LaB_6) atau *Cerium Hexaboride* (CeB_6), kedua bahan ini dapat menyediakan berkas elektron yang teoritis memiliki energi tunggal (monokromatik) (Agus Sujatno *et al*, 2015).