

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Santhiarsa (2016) mengemukakan *electrolessplating* adalah sebuah proses pelapisan yang dalam tahap pelapisannya tidak menggunakan listrik, proses ini terjadi akibat reaksi redoks pada permukaan spesimen, yang selanjutnya akan terbentuk lapisan logam pada permukaan spesimen yang berasal dari garam logam tersebut. Plastik ABS memiliki banyak kelebihan dibanding plastik lain diantaranya kuat, ringan, mudah dibentuk dan tahan terhadap bahan kimia. Sedangkan kekurangan dari plastik ABS yaitu tidak tahan terhadap goresan dan kekerasan yang rendah. Pelapisa *electroless* nikel yaitu pelapisan benda kerja menggunakan larutan nikel tanpa menggunakan listrik. Lapisan nikelnya terdiri dari paduan Ni-P (nikel phosphor) dikarenakan memiliki karakteristik lebih keras serta tahan korosi dibandingkan lapisan yang menggunakan zat pelapis logam tembaga. Pada penelitian dengan variasi temperatur masing-masing 30,40, dan 50°C serta waktu *electroless* 5, 10 dan 15 menit menghasilkan ketebalan lapisan, ketebalan lapisan dari variasi temperatur dan waktu *electroless* terlihat dengan nilai ketebalan terendah sebesar 2,29 μm sedangkan lapisan tertinggi sebesar 4,79 μm .

Nurhakim, dkk (2018) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap karakteristik lapisan *electroless* Ni-P pada baja tahan karat martensik SS 420, menjelaskan bahwa seiring meningkatnya suhu dan waktu pemanasan akan menyebabkan butiran lapisan Ni-P yang terbentuk semakin seragam. Perlakuan panas juga menyebabkan komposisi nikel dan posfor akan semakin tinggi. Dengan meningkatnya suhu dan waktu pemanasan maka akan meningkatkan ketahanan material terhadap korosi. Variasi yang digunakan yaitu perlakuan panas dengan suhu 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C, sedangkan variasi waktunya yaitu perlakuan panas selama 60 menit, 120 menit dan 180 menit. Hasil dari penelitiannya yaitu kandungan nikel dan posfor tertinggi dicapai dengan variasi perlakuan panas dengan suhu 400°C dan dalam waktu 180 menit.

Zohari & Kusmono (2013) menyatakan bahwa *Akrilonitril Butadiena Stirena* (ABS) saat ini banyak digunakan untuk pengganti kayu, kaca dan material logam. Akan tetapi plastik ABS memiliki kekurangan seperti kekerasan yang rendah, tidak tahan terhadap gesekan dan daya tahan panas yang rendah. Oleh karena itu dilakukan pelapisan pada pada plastik ABS. Teknik pelapisan yang digunakan yaitu *electroplating* dengan bahan pelapis *chrome*. Variasi penelitian yang digunakan adalah kuat arus dan waktu pelapisan *chrome* pada plastik ABS. Dengan variasi arus 2, 4, 6 *ampere* dan waktu pelapisan 5, 10, 15 menit. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil berupa peningkatan kekerasan, ketahanan aus dan kehalusan pada permukaan plastik ABS.

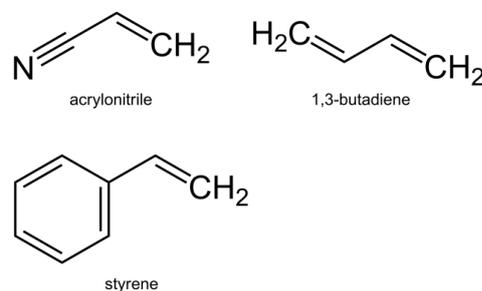
Olivera, dkk (2016) mengemukakan ABS adalah plastik yang memiliki unsur butadiena yang terdistribusi secara merata pada matriks akronitril-stirena. ABS memiliki ketangguhan yang baik, kemampuan proses yang mudah, ketahanan kimia dan harganya yang tergolong murah. Namun ABS memiliki kekurangan yaitu kekuatan mekanik yang rendah dan rentan terhadap kondisi lingkungan. Maka dari itu perlu dilakukan perlakuan khusus seperti pelapisan. Pelapisan pada plastik ABS berfungsi untuk menghasilkan sifat logam pada plastik ABS sehingga meningkatkan nilai kekuatan material serta meningkatkan ketahanan terhadap panas. *Electroplating* pada plastik merupakan tipe pelapisan modern. Dibandingkan logam, produk plastik yang telah terlapisi unsur logam memiliki berat yang lebih ringan dan penampilannya yang lebih baik serta dapat berfungsi seperti logam. ABS merupakan pemilihan material yang tepat dan banyak digunakan untuk keperluan *electroplating*, meskipun polypropylene, polysulfone, polycarbonat, nylon, phenol glass dan polystirena yang biasa dilapisi. Pemilihan plastik ABS dikarenakan penyesuaian dari sifat material, sifat mekanik, jenis plastik, akurasi dimensi dan biaya material.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Akrilonitril Butadiena Stirena (ABS)

Akrinitril butadiene stirena (ABS) merupakan kelompok engineering thermoplastic yang berisi 3 monomer pembentuk (Mujiarto, 2005). ABS mempunyai sifat unik dan luar biasa. ABS berasal dari akronitril, butadiene, dan stirena. Akronitril adalah monomer sintesis yang bersifat stabil terhadap panas, tahan terhadap bahan kimia dan memiliki kekuatan tinggi. Butadiene mempunyai sifat ketahanan pukul dan sifat kekerasan (*toughness*), sedangkan stirena yaitu bersifat kaku (*rigidity*) dan mudah untuk diproses.

Plastik ABS memiliki rumus kimia $((C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z)$ seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1. perbandingan komposisi dapat bervariasi mulai dari 15 sampai 35% akrilonitril, 5 sampai 30% butadiena dan 40 sampai 60% stirena.



Gambar 2.1 Rumus kimia Akrinitril Butadiene Stirena (Olivera, dkk, 2016)

ABS dapat diproses dengan tehnik cetak ekstrusi, injeksi, thermoforming, roto moulding, cetak tiup dan cetak kompresi (Mujiarto, 2005). ABS memiliki sifat dasar yang paling yaitu ketahanan terhadap benturan dan ketangguhan. ABS mempunyai keunggulan sifat mekanis dan ketahanan terhadap bahan kimia yang baik, liat, keras, tahan korosi, mudah diproses dengan berbagai bentuk, dapat *dielectroless*, *dielectroplating* dan direkatkan, serta biaya proses murah dibandingkan polikarbonat. Komposisi monomer pada ABS dapat dimodifikasi sehingga akan menyebabkan variasi terhadap ketahanan pada benturan, suhu dan ketangguhan. Berbagai sifat lanjutan juga dapat diperoleh dengan berbagai

penambahan zat aditif sehingga diperoleh grade ABS yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi, tahan terhadap sinar UV, dll. Data propertis dari plastik ABS dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 data karakteristik plastik ABS (Rtpcompany, 2005)

Property	Value
Technical Name	Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
Chemical Formula	$(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$
Glass Transition	105 °C (221 °F)
Typical Injection Molding Temperature	204 - 238 °C (400 - 460 °F)
Heat Deflection Temperature (HDT)	98 °C (208 °F) at 0.46 MPa (66 PSI)
UL RTI	60 °C (140 °F)
Tensile Strength	46 MPa (6600 PSI)
Flexural Strength	74 MPa (10800 PSI)
Specific Gravity	1.06
Shrink Rate	0.5-0.7 % (.005-.007 in/in)

Pada *electroplating*, plastik ABS merupakan jenis plastik yang memiliki tingkat keberhasilan tinggi dibandingkan jenis plastik lainnya (Zohari, 2015). Hal itu dikarenakan permukaan plastik ABS mudah dietsa secara kimiawi, dan mengakibatkan permukaan plastik ABS memiliki daya lekat (*adhesive*) yang tinggi terhadap logam pelapis yang menempel pada permukaan plastik.

ABS dapat di gunakan atau di aplikasikan dalam bidang peralatan, otomotif, barang yang tahan lama, pada bangunan, perumahan dan electroplated ABS. Contoh produk yang dapat dihasilkan dari plastik ABS adalah komponen mesin, telepon, radiator grill, rumah-rumah lampu, kran air, komponen AC, kotak kamera, cabinet tv, pintu dan body kulkas, dudukan closet, frame kaca, pegangan payung, regulator knob dan sparepart kendaraan bermotor. Berikut contoh produk hasil pelapisan logam yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 produk hasil pelapisan logam terhadap plastik ABS (Anonim, 2017)

2.2.2 Logam Pelapis

Logam pelapis merupakan logam yang digunakan untuk melapisi material tertentu (Sutomo, 2010). Fungsi utama dari logam pelapis adalah untuk mengubah atau membuat kualitas permukaan suatu benda menjadi lebih baik. Misalnya, membuat benda atau material menjadi lebih tahan korosi dan memiliki tampilan yang lebih baik, lebih tahan terhadap abrasi, lebih keras, dan menambah kualitas lainnya. Dengan demikian benda yang telah dilapisi oleh logam pelapis akan memiliki sifat fisis dan mekanis yang lebih baik daripada sebelumnya.

Menurut Andinata, dkk (2012) dibidang industri ada beberapa macam logam pelapis yang sering digunakan dalam proses pelapisan secara *electroplating*, yaitu tembaga (Cu), Nikel (Ni), dan krom (Cr). Pemilihan logam pelapis harus dipertimbangan atau diperhitungkan dengan cermat agar memberikan keuntungan, mengingat hal tersebut dapat meningkatkan distribusi endapan, mengurangi kontaminasi larutan, menghemat biaya bahan kimia, meningkatkan efisiensi dalam produksi dan menghindari masalah yang timbul selama proses pelapisan.

Para peneliti mengincar material yang dapat digunakan sebagai pelapis dengan ketebalan yang tipis namun memiliki fungsi yang kompleks, seperti tahan korosi, murah dan memiliki tampilan yang menarik. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa minat atau ketertarikan pada material nikel meningkat, hal itu dikarenakan material

nikel memiliki sifat tahan terhadap korosi, tahan aus, penghantar listrik yang baik, bersifat magnetik dan memiliki tampilan yang menarik (Wang, 2018)

Nikel merupakan jenis logam yang banyak digunakan dalam bidang industri pelapisan logam (Andinata & Munasir, 2013). Nikel mempunyai sifat keliatan dan keuletan yang baik, memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup, tahan terhadap korosi, serta memiliki daya hantar listrik yang baik. Nikel berwarna putih keperak-perakan, berkristal halus, sehingga apabila dipoles akan terlihat indah dan mengkilap. Sifat fisik dan mekanik logam nikel dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Sifat fisik dan mekanik logam nikel (Zohari & Kusmono, 2013)

Keterangan Umum Unsur	
Nama Unsur	Nikel (Ni)
Nomor atom	28
Golongan, Periode	10, 4d
Penampilan	Kemilau dan Metalik
Massa Atom	58,6934(2) g/mol
ciri-ciri atom	
Struktur kristal	<i>cubic face centered</i>
Jari-jari atom	135 pm
Jari-jari kovalen	121 pm
jari-jari Van der Waals	163 pm
Ciri-ciri fisik	
Fase	Padat
Massa jenis pada suhu ruangan	8,908 g/cm ³
Massa jenis cair pada titik lebur	7,81 g/cm ³
Titik lebur	1455° C
Titik didih	2913° C
Kalor peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor penguapan	377,5 KJ/mol
Kapasitas kalor	26,07 J/(mol-k)

Keterangan Umum Unsur	
Sifat magnetic	Ferromagnetic
Resisvilitas listrik	(20 °C) 69.3 nΩ•m
Konduktivitas termal	(300 K) 90.9 W/(m.K)
Ekspansi termal	(25 °C) 13.4 μm/(m.K)

2.2.3 *Electrolessplating*

Electrolessplating adalah proses pelapisan permukaan yang tidak memerlukan arus listrik (Harper, 2006). Proses dari metode *electroless* menggunakan metode autokatalitik dimana terjadi reduksi ion logam dalam larutan dan pengendapan logam melalui oksidasi unsur kimia yang terdapat pada larutan tersebut (Lestari, dkk, 2016). *Electrolessplating* mengendapkan logam terlarut, seperti tembaga atau nikel dalam bentuk larutan kimia pada bagian permukaan plastik. Sebelum melakukan proses *electrolessplating* pada plastik, harus terlebih dahulu dilakukan *pre-treatment* pada permukaan plastik yang akan dilapisi untuk memastikan tingkat adhesi pada permukaan plastik.

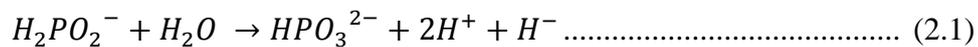
Metode *electrolessplating* telah digunakan secara luas karena sifatnya yang menguntungkan, seperti ketebalan deposisi yang seragam bahkan pada bagian berbentuk kompleks dan berongga, tidak membutuhkan listrik, dapat melapisi material nonkonduktor seperti plastik, memiliki porositas rendah, dan memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik, misalnya ketahanan korosi dan keausan (Hashmi, 2014). Karena proses ini tidak menggunakan listrik maka diperlukan pemanas eksternal dengan tujuan mempercepat laju reaksi. Laju pelapisan nikel dalam media aqueous merupakan fungsi eksponensial temperatur pelapisan pada metode *electroless* (Koswara, 2006). Laju pelapian atau laju reaksi pada *electroless* akan meningkat seiring meningkatnya temperatur mendekati titik didih larutan.

Irzal & Putra (2009) menyatakan pada dasarnya larutan *electroless* nikel mengandung bahan reduktor yaitu sodium hipophosphit yang berfungsi untuk mereduksi garam nikel contohnya memanaskan larutan nikel sulfat (NiSO₄) dan mengendapkannya pada permukaan yang katalitik. Proses pelapisan dilakukan

dengan cara mencelupkan material yang akan dilapis ke dalam larutan *electroless* yang mengandung bahan pelapis dan reduktor. Dengan demikian reaksi akan terjadi secara spontan atau autocatalytic.

Pada umumnya pelapisan nikel pada proses *electroless* nikel menggunakan reduktor hipofosfit (NaH_2PO_2) dikarenakan dapat dilakukan dalam larutan asam maupun basa yang dibedakan berdasarkan pH larutan. Reaksi yang terjadi saat proses pengendapan nikel dengan larutan hipofosfit pada permukaan yang katalitik adalah sebagai berikut.

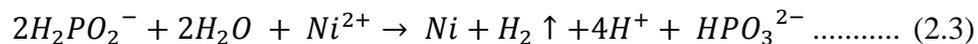
- i. Terjadi dehidrogenisasi katalitik dari hipofosfit dengan transfer hidrida ke permukaan katalitik.



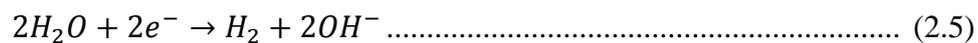
- ii. Ion-ion hidrida selanjutnya akan bereaksi dengan ion-ion nikel dan membentuk endapan.



- iii. Reaksi keseluruhannya menjadi sebagai berikut

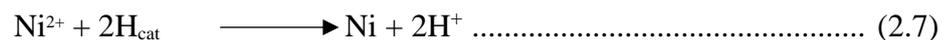


- iv. Jika sodium hypophosphite direaksikan maka akan terbentuk fosfor



Kandungan fosfor dalam lapisan nikel pada *electrolessplating* yaitu sekitar 3-15%.

- v. Adapun teori deposisi Ni-P selama proses pelapisan adalah sebagai berikut



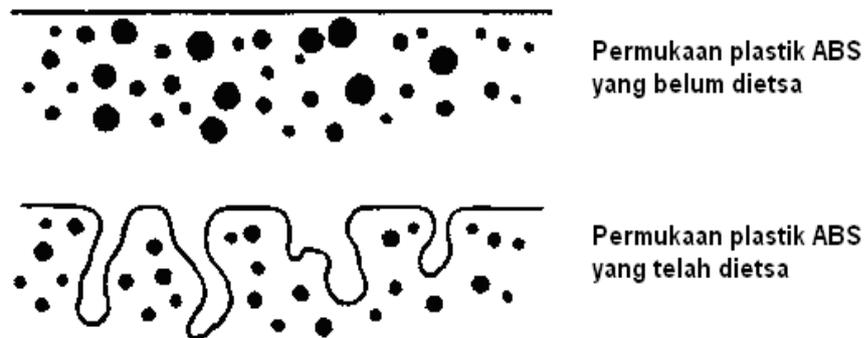
Pada proses pengendapan nikel menggunakan reduktor *hipofosfit*, bukan hanya pengendapan nikel yang berlangsung. Namun, terjadi juga pengendapan fosfor dan pembentukan gelembung gas hydrogen. Biasanya, ketebalan pelapis menggunakan metode *electrolessplating* sekitar 0,5 mil atau 0,0127 mm (Hashmi, 2014). Material seperti Plastik yang telah dilapisi dengan logam menggunakan metode *electroless* dapat diberi pelapisan logam elektrolitik lainnya. Hal Ini menawarkan lebih banyak kemungkinan untuk memodifikasi material mengenai jenis dan ketebalan lapisan logam serta sifat fisis dan mekanis material.

2.2.4 Preparasi Permukaan

Proses pelapisan nikel pada plastik abs menggunakan metode *electrolessplating* membutuhkan beberapa langkah. Terdapat beberapa langkah dalam Preparasi permukaan. Preparasi permukaan merupakan tahap pertama dalam proses pelapisan nikel menggunakan metode *electrolessplating* untuk mengubah struktur permukaan benda kerja agar dapat mengikat. Preparasi permukaan terdiri dari beberapa langkah yaitu pembersihan (*soak cleaning*), *etching* (*etsa*), dan netralisasi.

1. Tahap pembersihan (*soak cleaning*) merupakan tahap pembersihan permukaan plastik ABS dari berbagai macam zat pengotor seperti debu, lemak, oli maupun bekas telapak tangan. Permukaan plastik ABS harus di jaga kebersihannya agar tidak mengganggu reaksi kimia yang terjadi pada proses berikutnya sehingga proses *electroless* nikel *plating* dapat lebih besar peluang keberhasilannya. Ada beberapa kegagalan akibat 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 mengikis permukaan plastik abs supaya terbentuk pori-pori (Santhiarsa, 2016). Fungsi dari pori-pori tersebut adalah untuk meningkatkan daya lekat lapisan dan lebih memudahkan terbentuknya lapisan. Prinsip proses ini adalah substitusi secara kimia pada substrat plastik abs, supaya terbentuk ikatan antara logam dengan permukaan plastik abs.

Proses etsa ini sangat berpengaruh terhadap proses katalisasi palladium dan *electroless* nikel. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 permukaan plastik ABS sebelum dan sesudah Dilakukan proses etsa (Wahyudi, 2012).

3. Tahap netralisasi adalah tahap yang dilakukan setelah proses etsa. Proses netralisasi berfungsi untuk menghilangkan bekas larutan *chemical etching* yang masih ada atau tertinggal pada pori-pori permukaan plastik ABS.

2.2.5 Metalisasi

Metalisasi merupakan proses yang berfungsi untuk menjadikan plastik ABS menjadi konduktor. Fungsi pelapisan nikel terhadap plastik ABS adalah sebagai pelapis dasar dari dari proses electroplating, selain itu membentuk permukaan menjadi lebih dekoratif dan menaikkan nilai fisis yang meliputi ketebalan, kekasaran, dan sifat mekanis yang meliputi kekerasan, dan keausan. Tahap metalisasi terdiri dari pre dip, katalisasi, palladium, akselerasi, dan *electroless* nikel.

1. Pre dip berfungsi untuk menghilangkan bekas larutan etsa yang masih tersisa dipermukaan plastik abs serta meningkatkan efisiensi reaksi kimia pada tahap katalisasi palladium.
2. Katalisasi palladium berfungsi menghasilkan permukaan plastik ABS bersifat katalis. Jika permukaan plastik abs telah terlapsi palladim maka permukaan plastik tersebut dapat dinyatakan katalis. palladium mempunyai sifat dapat ditumbuhkan dalam struktur yang stabil dan baik sebagai katalis (Umar, 2011). Indikasi untuk mengetahui menempelnya palladium adalah ketika dibilas permukaan plastik akan berwarna kehitam-hitaman. Permukaan plastik yang

bersifat katalis sangat diperlukan karena pada permukaan dapat terbentuk lapisan logam. Untuk melakukan proses *electrolessplating* permukaan plastik harus bersifat katalis, oleh karena itu proses katalisasi palladium sangat diperlukan.

3. Tahap akselerasi berfungsi melarutkan lapisan timah tipis (Sn) yang menutupi lapisan palladium. Lapisan tipis timah terbentuk secara simultan pada proses katalisasi palladium (Zohari & Kusmono, 2013). Lapisan tipis Sn yang terbentuk pada permukaan plastik abs dapat menjadi penghambat/penghalang bagi terbentuknya lapisan logam saat proses *electrolessplating* berlangsung. Dengan dihilangkannya lapisan tipis Sn tersebut maka permukaan plastik abs benar-benar bersifat katalis sehingga mudah untuk dilapisi nikel saat berada di tahap *electroless nikel plating*. Maka dari itu menghilangkan bahan pencemar tersebut maka dapat mengurangi efektifitas reaksi *electroless nikel plating* dan mencegah kerusakan larutan *electroless*.
4. Tahap *electroless nikel* berfungsi untuk menghasilkan permukaan plastik konduktif dan lebih dekoratif. Pelapisan *electroless nikel* dilakukan dengan cara mencelupkan plastik abs yang akan dilapisi ke dalam larutan aqueous yang mengandung ion logam pelapis (*ion nikel*) serta reduktor kimia (*ion hipofosfit*). Dengan bantuan reduktor hipofosfit, ion nikel akan direduksi ke bentuk logam dan mengendap di permukaan plastik yang dilapisi. Meskipun diindikasikan sebagai proses yang sederhana, akan tetapi aksi reduksi hanya berlangsung pada permukaan yang katalitik, hal ini memberi penjelasan bahwa pengendapan diionisasi di permukaan. Pelapisan *electroless nikel* dapat juga dinyatakan sebagai proses reduksi kimia pengendapan nikel yang dikontrol secara autokatalitik karena endapan nikel yang dihasilkan juga merupakan permukaan katalitik.

Jika proses pengendapan yang menggunakan reduktor *hipofosfit*. Selama proses pengendapan nikel berlangsung juga terjadi pengendapan fosfor dan pembentukan gelembung gas hydrogen (Koswara, 2006). Setelah plastik abs dilapisi nikel maka dapat menghantarkan arus listrik dan dapat dilanjutkan ke tahap *electroplating*.

2.2.6 Laju Pelapisan

Laju pelapisan *electroless* nikel dalam larutan merupakan fungsi eksponensial temperatur pelapisan. Laju pengendapan nikel akan meningkat seiring meningkatnya temperatur. Laju pelapisan akan meningkat dengan cepat pada temperatur yang mendekati titik didih larutan, namun pada keadaan ini stabilitas larutan pelapis akan cenderung menurun. Sudagar, dkk (2013) menyatakan bahwa temperatur terbaik pelapisan *electroless* nikel pada logam adalah 90°C - 95°C. Meskipun demikian, beberapa industri pelapisan logam melakukan pelapisan *electroless* nikel pada temperatur 80°C - 85°C. Hal ini ditujukan untuk menghindari terjadinya dekomposisi larutan pelapis yang akibatkan kurang stabilnya larutan tersebut pada temperatur yang lebih tinggi. Dekomposisi larutan ditandai dengan terbentuknya gelembung gas pada daerah yang bukan bagian dari pelapisan di larutan, atau adanya partikel-partikel kecil berwarna hitam yang mengambang di permukaan larutan pelapis. Apabila dekomposisi meningkat maka evolusi gas hydrogen akan meningkat sampai larutan kelihatan mendidih dan dalam waktu yang singkat larutan akan menjadi bersih dengan partikel kecil berwarna hitam berkilauan yang mengendap di dasar tangki, hal ini diindikasikan sebagai nikel fosfat dan nikel oksida (Koswara, 2006).

2.2.7 Temperatur pelapisan (pencelupan)

Temperatur rendaman merupakan faktor penting yang mempengaruhi laju deposisi pelapisan nikel menggunakan metode *electroless*. Banyak rendaman dilakukan pada temperatur tinggi, hal ini untuk mempercepat laju dekomposisi larutan namun pemilihan temperatur pelapisan lebih penting. Jika temperatur tinggi dengan rapat arus yang optimum maka hasil pelapisan menjadi tidak merata namun jika temperatur larutan terlalu rendah dan rapat arus yang cukup optimal maka akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam (Santosa & Syamsa, 2007). Meningkatnya temperatur akan menyebabkan peningkatan konduktivitas dan difusitas larutan elektrolit, dengan demikian tahanan elektrolit akan mengecil

sehingga potensial akan dibutuhkan untuk mereduksi ion-ion logam berkurang. Sedangkan menurut (Nurmawati, 2008) penggunaan temperatur rendah dalam proses pelapisannya mengurangi terjadinya oksidasi pada substrat.

Menurut (Koswara, 2006) berikut hubungan antara laju deposisi terhadap temperatur.

$$\frac{\propto \log r}{\propto \left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{E^x}{2,3R_G} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana: r = laju pelapisan (mg/cm²)

T = temperatur absolut (K)

E^x = energi aktivasi (cal/g .mol.K)

R_G = konstanta gas (cal/g .mol.K)

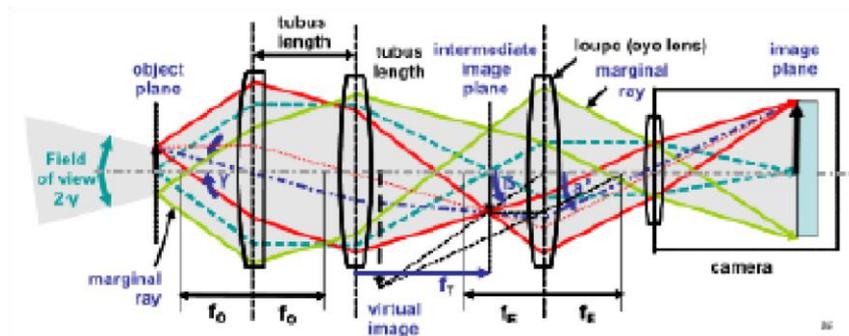
2.2.8 Pengujian Ketebalan Lapisan

Terdapat banyak cara untuk menguji ketebalan lapisan pada suatu benda kerja. Salah satunya yaitu uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan uji SEM menggunakan alat uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.2.8.1 Uji Mikro menggunakan Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan jenis mikroskop yang memanfaatkan cahaya tampak dan lensa yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu sistem yang berfungsi untuk memperbesar gambar spesimen yang berukuran 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

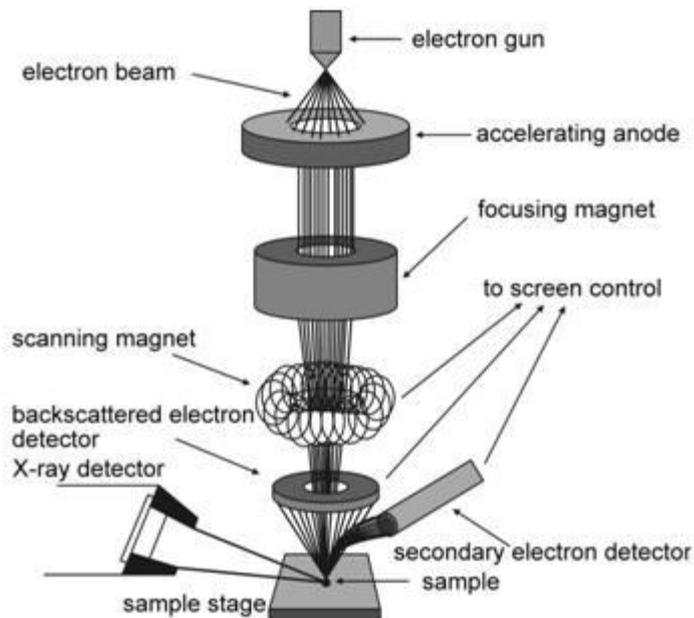


Gambar 2.4 Skema mikroskop optik (Nugroho & Bayuseno, 2012)

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.

2.2.8.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

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



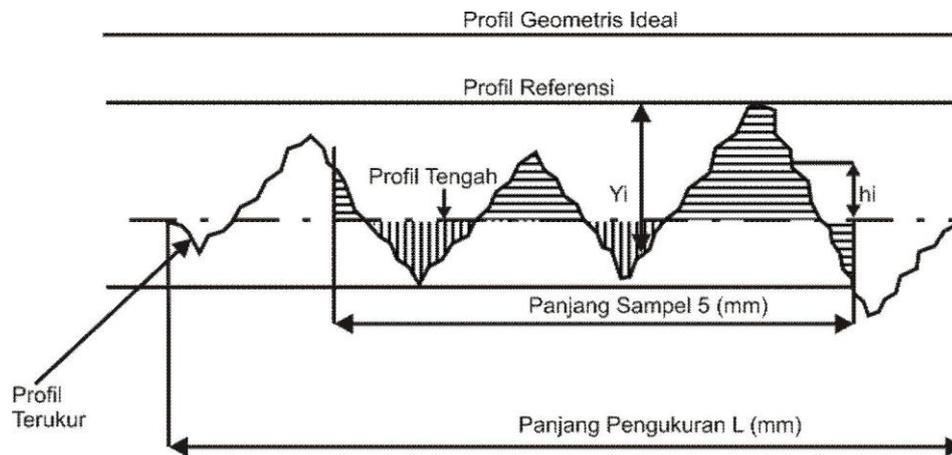
Gambar 2.5 Diagram Skematik Fungsi Dasar dan Cara Kerja SEM (Haryanto, 2016)

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) (Sujatno, 2017).

2.2.9 Pengujian Kekasaran Permukaan

(Fariza, 2016) kekasaran permukaan adalah ketidakteraturan konfigurasi dan penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata permukaan yang terlihat pada profil permukaan. Istilah profil permukaan sering disebut dengan istilah bentuk permukaan. Menurut Wijayanto, dkk (2016) profil permukaan terdiri dari beberapa jenis diantaranya: Profil *Geometric ideal* yaitu garis permukaan sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung abusur, seperti pada Gambar 2.8. Profil terukur yaitu garis permukaan yang terukur. Profil referensi / puncak / acuan yaitu merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakteraturan suatu bentuk permukaan. Profil alas merupakan garis yang berada dibawah yaitu lembah. Profil tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam. Kekasaran permukaan dapat juga

dinyatakan sebagai jarak rata-rata dari profil ke garis tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam dari suatu permukaan. Kekasaran permukaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti faktor manusia, faktor dari mesin atau alat yang digunakan, dan faktor perlakuan permukaan.



Gambar 2.6 Profil suatu permukaan (Munadi, 1980)

Kekerasan atau kehalusan permukaan dapat dilihat dari tekstur permukaannya. Dalam istilah teknik, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Setiap permukaan dari suatu benda memiliki bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil prosesnya. Bentuk dari permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*) (Munadi, 1980). Tingkat kehalusan suatu permukaan mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu material. Hal ini dikarenakan kehalusan menyangkut masalah gesekan pelumasan, tahanan terhadap kelelahan, keausan dan sebagainya. Oleh sebab itu, diperlukan parameter yang tepat untuk menjelaskan secara sempurna mengenai keadaan yang sesungguhnya dari suatu permukaan.

Berikut beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan dalam kekasaran permukaan diantaranya ialah:

1. Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t

Kedalaman total ini adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar. Satuannya adalah dalam micron (μm).

2. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p

Kedalaman perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Satuannya adalah dalam micron (μm).

3. Kekasaran Rata-rata Aritnetis (*Mean Roughness Indec/Center Line Average, CLA*), R_a (μm).

Kekasaran rata-rata merupakan harga kekasaran rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah. Secara umum parameter R_a lebih banyak digunakan dalam menentukan karakteristik permukaan. Parameter R_a sangat cocok untuk digunakan dalam pemeriksaan kekasaran permukaan dari komponen-komponen mesin. parameter R_a ternyata lebih peka dari pada parameter yang lain terhadap adanya perubahan kehalusan permukaan (Munadi, 1980). Dengan demikian, apabila diketahui adanya penyimpangan maka dapat segera diambil tindakan pencegahannya. Nilai R_a dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_a = \frac{1}{s} \int_0^s hi^2. dx (\mu\text{m}) \dots\dots\dots (2.11)$$

Atau

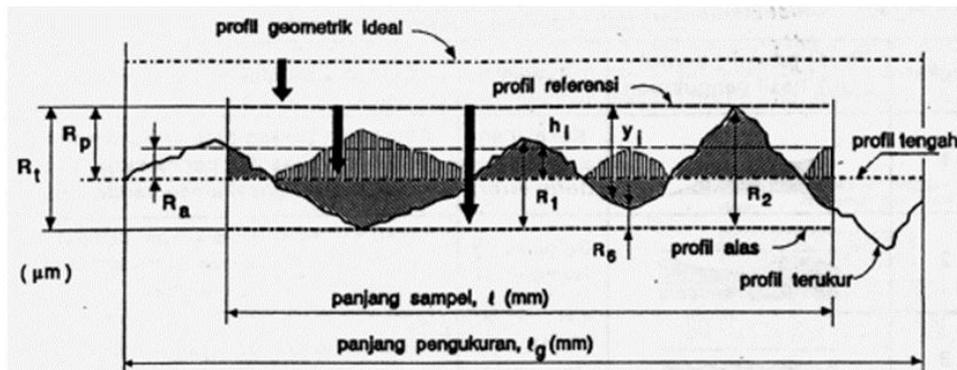
$$R_a = \frac{a+b+c+ \dots+n}{n} \dots\dots\dots (2.12)$$

4. Kekasaran rata-rata kuadratik R_g (μm)

Kekasaran rata-rata kuadratik adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

5. Kekasaran total rata-rata R_z (μm)

Kekasaran total rata-rata merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah



Gambar 2.7 Parameter Profil Permukaan yang Terbaca oleh *Surface Roughness Tester* (Zulhendri & Rosa, 2007)

6. Toleransi Harga R_a

Nilai kekasaran rata-rata aritmetis (R_a) mempunyai harga toleransi kekasaran dengan masing-masing harga kekasarannya mempunyai kelas kekasaran mulai dari N_1 sampai dengan N_{12} . Besarnya harga toleransi untuk R_a biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah. Tabel 2.2 menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.3 Toleransi harga kekasaran rata-rata R_a (Munadi, 1980)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm).	Harga R_a (μm).	Toleransi $N_{-25\%}^{+50\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	0.25
N3	4	0.0	0.08 – 0.15	
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	0.8
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	2.5
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	
N11	1000	25.0	18.75 – 37.5	8
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	

Untuk mengetahui harga kekasaran dari material dibutuhkan alat uji yang memiliki sensor mencapai ukuran micron dengan tujuan untuk mendapatkan hasil optimal dengan ukuran yang sangat kecil. Cara pengukuran kekasaran permukaan dapat dibedakan menjadi dua yaitu: pengukuran kekasaran permukaan secara langsung dan pengukuran kekasaran permukaan secara tak langsung. Pada umumnya cara pengukuran kekerasan permukaan yang digunakan yaitu pengukuran permukaan secara langsung menggunakan alat ukur kekasaran permukaan *surface roughness tester*.

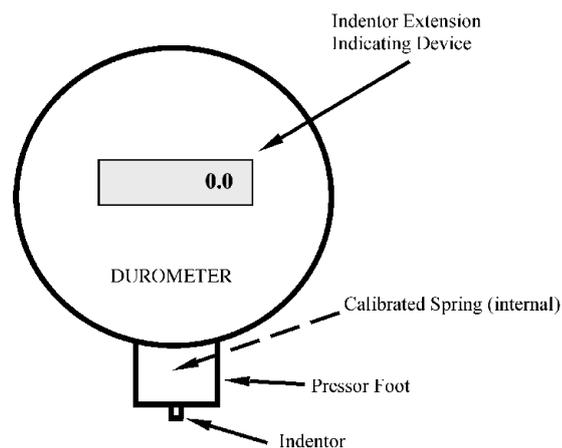
Nilai kekasaran permukaan diperoleh dari sensor pergerakan *stylus* yang berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat *indicator* pengukur kekasaran permukaan benda uji. Bagian ujung dari *stylus* ini ada yang berbentuk rata dan ada pula yang berbentuk radius. Untuk ujung *stylus* yang berbentuk radius, jari-jari keradiusannya biasanya sekitar 2 μm . Secara umum perlengkapan dari alat ukur kekasaran permukaan menggunakan kerja *stylus* adalah peraba (*stylus*), *skid*, *amplifier*, perekam (*recorder*) dan bagian pencatat semua profil kekasaran yang direkam. *Surface Roughness Tester* dapat digunakan di lantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di manapun. Instrumen *surface roughness tester* ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO, ANSI, DIN, dan JIS.

2.2.10 Pengujian Kekerasan

Kekerasan yaitu ketahanan suatu material terhadap penetrasi dari benda lain (Haryanto, 2016). Sedangkan menurut (Zohari & Kusmono, 2013) kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang dimiliki suatu material yaitu kemampuan untuk menahan indentasi atau goresan. Material yang akan mengalami gesekan atau *frictional force* harus diketahui kekerasannya. Biasanya kekerasan dinyatakan sebagai ketahanan terhadap *deformasi*. Sedangkan *deformasi* plastik sendiri merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis dari benda uji. Pengujian kekerasan berfungsi untuk mengetahui *karakteristik* suatu material dan mengetahui mutu untuk memastikan suatu material mempunyai spesifikasi kualitas tertentu. (Kirono & Amri, 2011) uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan distribusi kekerasan lapisan karburasi dari suatu material, hingga dapat

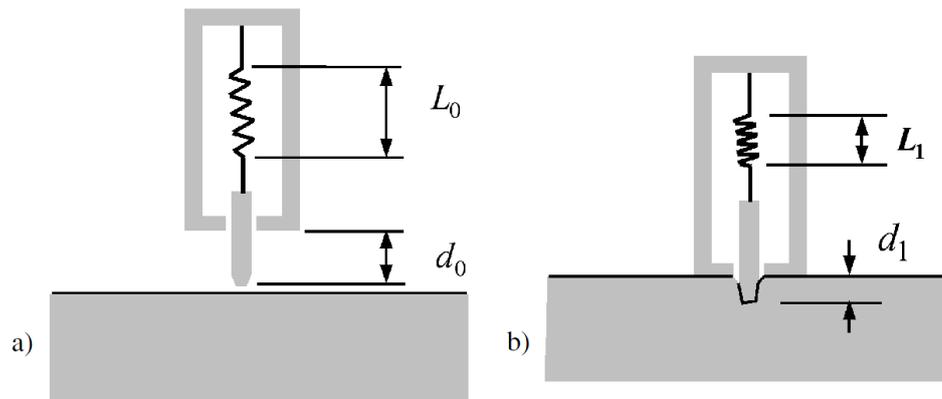
diperkirakan akan tahan aus, ketahanan terhadap tekanan dan goresan akibat pengaruh perlakuan panas serta variasi pendinginannya terhadap nilai kekerasan dari spesimen asli yang diuji.

Terdapat berbagai macam alat pengujian kekerasan untuk material plastik salah satunya adalah Shore Hardness Tester (Durometers). Shore Hardness Tester adalah alat uji kekerasan untuk material jenis rubber, polimer, elastomer dan plastik. Tes kekerasan Durometer adalah salah satu pengukuran yang paling umum digunakan untuk menilai secara kualitatif dan membandingkan sifat mekanis material elastomer dan bahan elastis lainnya. Prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan menggunakan shore hardness tester didasarkan pada pengukuran reaksi gaya pada identor melalui pegas yang telah dikalibrasi dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas.



Gambar 2.8 Tipe Shore Durometers Hardness Tester (Qi, 2003)

Seperti pengujian kekerasan material lainnya, *shore hardness tester* (*durometer*) mengukur kedalaman lekukan dalam materi yang diciptakan oleh sebuah kekuatan yang diberikan pada kaki *presser standar*. Skema kerja durometer dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.9 skema kerja shore hardness tester (Qi, 2003)

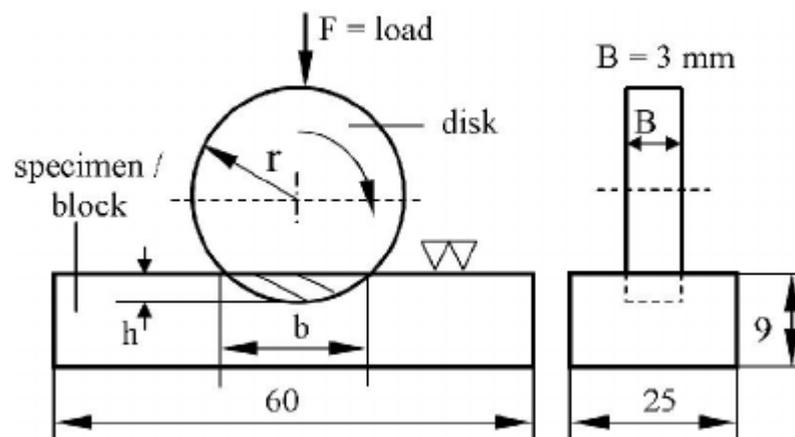
(a) Durometer sebelum ditekan ke specimen (b) durometer setelah ditekan ke specimen

2.2.11 Pengujian Keausan

Menurut Nurdiansyah & Jamari, (2011) keausan merupakan hilangnya suatu bahan dari permukaan atau perpindahan bahan pada permukaan material ke bagian lain. Sedangkan definisi lain dari keausan yaitu hilangnya bagian dari suatu permukaan yang saling berinteraksi, terjadi sebagai hasil gerak relatif pada permukaan material. Keausan yang terjadi disebabkan oleh adanya mekanisme berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang meliputi, geometri permukaan material, bahan, kondisi lingkungan, dan kondisi operasi (Wahyuni & Adnan, 2016).

Hokkirigawa & Kato (1989) Mekanisme keausan dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, diantaranya keausan yang disebabkan oleh perilaku mekanis (*mechanical*), keausan yang disebabkan oleh perilaku panas (*thermal wear*) dan keausan yang disebabkan oleh kimia (*chemical*). Pada keausan yang disebabkan oleh perilaku mekanis pada dasarnya digolongkan menjadi beberapa macam yaitu Abrasi, Adhesi, Erosi, Fatik dan Korosi. Pada umumnya mekanisme keausan yaitu ketika terjadi kontak diantara dua permukaan material. Keausan terjadi ketika beban ditambahkan maka bagian kasar pada suatu permukaan akan terdeformasi secara plastis dan menghasilkan zona sub-shear.

Pengujian keausan dapat dilakukan melalui berbagai macam metode, tujuannya yaitu untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satu metodenya adalah dengan menggunakan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari *disk* yang berputar (*revolving disc*). Dengan beban gesek akan menghasilkan kontak antar permukaan secara berulang dan pada akhirnya akan memakan sebagian material pada permukaan spesimen. Besarnya bekas gesekan pada permukaan material yang tergesek akan dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada suatu material. Semakin besar dan dalam jejak atau bekas gesekan maka semakin tinggi laju keausannya. Laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan / pengurangan material (massa, volume, atau ketebalan) tiap satuan panjang lurus spesimen dengan satuan waktu (Malau & Khasani, 2008). Prinsip keausan pada suatu material atau benda uji menggunakan *disk on block* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.10 Skema pengausan rotating disc on block (Sidharta, dkk, 2012)

Laju keausan dinyatakan dengan :

$$W = \frac{V_i - V_f}{t} = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana : V_i : volume awal spesimen (mm^3)

V_f : volume akhir spesimen setelah pengausan (mm^3)

t : waktu atau lama pengausan (menit)

V : volume goresan yang hilang (mm^3)

Volume goresan hilang (V) pada specimen uji (block) di tentukan dengan persamaan :

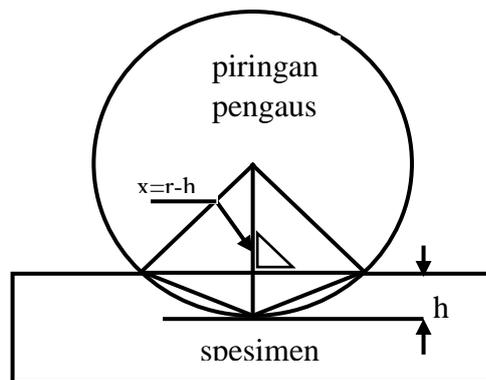
$$V = B \left[r^2 \sin^{-1} \left(\frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana : B : tebal disk (mm)
 r : radius disk (mm)
 b : lebar keausan yang diperoleh dari pengamatan melalui mikroskop pada bekas alur.

Keausan dapat juga di ungkapkan denga keausan spesifik. Keausan spesifik dihitung berdasarkan lebar keausan benda uji yang termakan oleh pengausan yang berputar. Keausan benda uji yang termakan oleh pengaus yang berputar . Keausan spesifik (W_s dalam mm^3/kg) dinyatakan sebagai berikut:

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_o \cdot l_o} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana: B : lebar disk (mm)
 b_o : lebar keausan pada benda uji (mm)
 r : jari-jari (mm)
 P_o : beban tekan (kg)
 l_o : jakar tempuh dari proses pengausan (mm)



Gambar 2.11 skema pengukuran kedalaman hasil goresan pada specimen (Zohari & Kusmono, 2013).

$$h = r - \sqrt{r^2 - (0,5b)^2} \ (\mu\text{m}) \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana : b : lebar keausan pada benda uji (mm)
 h : kedalaman goresan (μm)
 r : radius oiringan pengaus (mm)