

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

berikut ini merupakan penelitian terdahulu berupa jurnal-jurnal yang terkait dengan penelitian, antara lain :

1. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Bagus Heri Santoso (2007) Universitas Sanata Dharma Yogyakarta yaitu tentang “Pengaruh Waktu Karburising Dengan Quenching Media Air Terhadap Kekerasan Sproket Sepeda Motor.” Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pada kekerasan dan perubahan struktur mikro, jadi semakin tinggi waktu karburising yakni 1 jam, 3 jam, dan 5 jam maka hasil yang didapat semakin keras permukaan benda kerja dan juga semakin halus struktur yang terjadi. Inti butir berangsur-angsur mengecil dan pada kulit struktur ferit tertutup perlit sejalan dengan masuknya karbon.
2. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Hamzah dan Iqbal (2008) hasil penelitian mengenai peningkatan ketahanan aus baja karbon rendah dengan metode carburizing. Hasil penelitian tersebut menginformasikan bahwa semakin tinggi temperatur proses carburizing maka akan menghasilkan ketahanan aus spesifik yang lebih baik dan pada proses carburizing dengan temperatur 950°C yang dilanjutkan dengan proses pengerasan pada temperatur 840°C memberikan peningkatan ketahanan aus tertinggi sebesar 83,6% dibandingkan dengan ketahanan aus raw material
3. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Dewa Made Kirshna Muku (2015), yaitu tentang “Pack Carburizing Baja Karbon Rendah” hasil dari pengujian yang didapatkan adalah Baja karbon rendah yang dicarburizing menggunakan carburizer 80%

arang bamboo dan 20% BaCO₃, dipanaskan sampai 950°C, ditahan selama 4 jam dan didinginkan dengan media air mengalami perubahan sifat mekanis yaitu mengalami peningkatan kekerasan sebesar 100,68% yang awalnya 183,60 HV1 menjadi 368,46 HV1 pada bagian permukaan, sementara kekerasan pada bagian inti tetap

4. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Adi Dermawan, Mustaqim, Fajar Shidiq (2017) dengan judul “Pengaruh temperature carburizing pada proses pack carburizing terhadap sifat-sifat mekanis baja S 21 C” dengan hasil pengujian Suhu optimal temperatur carburizing untuk meningkatkan kekerasan baja S 21 C yaitu pada temperatur 910°C dengan rata – rata 369,67 HB yang mengalami kenaikan sebesar 155,53% dari raw material, Sedangkan untuk suhu optimal temperatur carburizing untuk meningkatkan kekuatan tarik pada baja S 21 C yaitu pada temperatur 910°C yang mengalami kenaikan sebesar 47,86% dari raw material dengan kekuatan tarik 756,69 N/mm²
5. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Nota Ali Sukarno, Anton Setiawan (2021) dengan judul “Pengaruh variasi tekanan terhadap sifat kekerasan Baja hasil plasma karburasi” Penelitian ini dilakukan dengan variasi tekanan 1.2, 1.6, dan 2.0 mBar dengan suhu 500 °C serta waktu 3 jam. Dari hasil penelitian menunjukkan kekerasan yang terbesar atau optimum diperoleh pada tekanan 1.6 mBar, yaitu pada 201,07. Disebabkan karena laju deposisi terlalu besar tetapi laju difusi dan kelarutan secara interstisi atom karbon pada Baja tidak dapat mengikuti laju, yang berakibat menumpuknya atom karbon di permukaan substrat maka kekerasan permukaan tidak naik melainkan menurun.
6. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Wayan Sujana, Komang Astana Widi, 2016) Serbuk Alumina Sebagai Katalis Didalam Reaktor Fluidised Bed Teknologi fluidized bed saat ini telah dimanfaatkan untuk proses perlakuan termokimia gas dalam menghasilkan kekerasan permukaan baja. Serbuk alumina dimanfaatkan sebagai media pada

teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari dinding dapur menuju ke specimen baja dengan demikian akan menghasilkan peningkatan kualitas kekerasan permukaan. Namun kualitas pengerasan permukaan sangat ditentukan oleh paduan dari baja tersebut. Perbedaan unsur paduan bahan akan menghasilkan lapisan pasif yang berbeda pada permukaan masing-masing bahan tersebut sehingga tentunya akan mempengaruhi perbedaan transfer panas dipermukaan specimen. Pada penelitian ini akan memanfaatkan berbagai jenis baja dengan paduan berbeda yaitu baja paduan rendah (baja perkakas), baja paduan tinggi (baja tahan karat) dan baja lapis paduan murni (baja hard khrom) yang akan diberi perlakuan didalam dapur fluidized bed dengan dan tanpa memanfaatkan serbuk alumina. Karakterisasi specimen hasil proses ini akan diamati kualitas lapisan kerasnya dengan memanfaatkan pengujian distribusi kekerasan (metode Vickers), pengujian distribusi komposisi kimia (metode EDAX) dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop electron dan scanning electron microscope (SEM). Hubungan dan peran serbuk alumina dan unsur paduan didalam baja akan memberikan informasi fenomena yang terjadi sehingga didapatkan suatu analisis yang tepat terhadap metode dalam menghasilkan peningkatan kualitas pengerasan permukaan thermokimia

2.2 Baja

Baja adalah salah satu logam dengan paduan antara besi dan karbon, dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Pada baja sendiri mengandung karbon sekitar 0,1% hingga 1,7% sesuai dengan tingkatannya (MURTIONO, 2012). Jika menambah logam kedalam baja karbon dalam jumlah banyak maka akan diperoleh sifat-sifat baja yang baru, hasil paduan tersebut disebut juga dengan baja paduan. Adapun jenis logam yang dipadukan dan sering digunakan adalah nikel, mangan, khrom, vanad, dan molibden. Baja karbon biasanya diklasifikasikan sebagai berikut :

2.2.1 Baja karbon rendah

Baja Karbon Rendah mengandung karbon antara 0,05% hingga 0,2%. Disamping lebih lunak dan lemah tetapi mempunyai ketangguhan dan keuletan yang sangat kuat. Baja karbon rendah sendiri juga memiliki sifat yang mudah ditempa, dan mudah dilas. Untuk pengaplikasiannya sendiri baja karbon rendah digunakan untuk body mobil, bentuk struktur (profil I, L, C, H), dan pipa saluran.

2.2.2 Baja karbon sedang

Baja Karbon Sedang mengandung karbon antara 0,2% hingga 0,5%. Memiliki tingkat kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja karbon sedang sendiri juga memiliki sifat yang sulit dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Untuk pengaplikasiannya sendiri baja karbon menengah digunakan untuk poros, roda gigi, dan crankshaft.

2.2.3 Baja karbon tinggi

Baja Karbon Tinggi mengandung karbon antara 0,6% hingga 1,4%. Baja karbon tinggi termasuk yang paling sulit untuk dibentuk, ditempa, dilas, dan dipotong tetapi memiliki tingkat keuletan sangat tinggi. Baja ini juga memiliki sifat yang sangat keras dan tahan terhadap aus. Untuk pengaplikasiannya sendiri baja karbon tinggi ini biasa digunakan untuk mesin pemotong, pisau, pisau gergaji besi, per (spring), dan kawat baja berkekuatan tinggi (Afandi, 2015).

2.3 Baja paduan

Baja paduan (alloy steel) adalah baja yang memiliki sedikit kandungan dari satu atau lebih elemen paduan (selain karbon) seperti silicon, nikel, chromium, manganese, silicon, titanium, copper, serta alumunium. Pencampuran tersebut menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh baja karbon regular. Baja paduan sering kali digunakan di industri karena biayanya yang ekonomis, mudah didapat, mudah diproses dan memiliki sifat mekanik yang baik. Baja paduan lebih responsif terhadap perlakuan panas dan perlakuan mekanik dibandingkan dengan baja karbon. Baja dapat dikatakan baja paduan jika memiliki kandungan unsur paduannya khusus, paduan yang terkandung sesuai dengan kebutuhan dari

konsumen. Paduan yang banyak digunakan yakni Cr, Mn, Si, Ni, Ti, Al, Cu. Menurut jumlah paduannya baja paduan digolongkan menjadi :

2.3.1 Baja paduan rendah

Baja paduan rendah (low alloy steel) adalah baja dengan unsur paduan (misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain) dengan presentase rendah. Baja jenis ini biasanya memiliki paduan kurang dari 2.5% (rudney, 2003). Material baja ini sering digunakan sebagai material pada mesin perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji. Contoh low alloy steel dengan persentase karbon 0,4% - 0,55% yaitu AISI 4140, 4150, 1552 dan 5150.

2.3.2 Baja paduan sedang

Baja karbon sedang adalah baja dengan kandungan karbon antara 0,2–0,5%. Sifat-sifat mekanik dari baja karbon sedang dapat diperoleh melalui perlakuan panas. Baja karbon sedang ini memiliki tingkat kekerasan yang begitu rendah.

2.3.3 Baja paduan tinggi

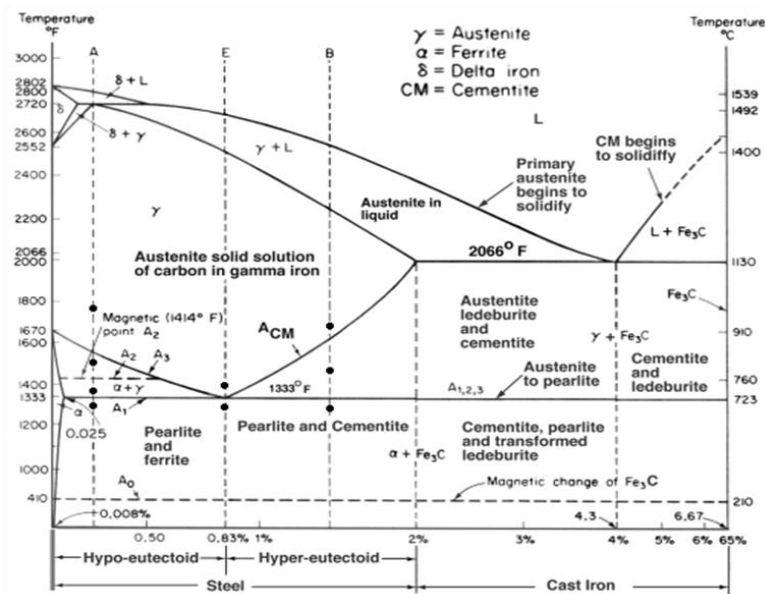
Baja paduan tinggi adalah baja paduan yang memiliki kandungan unsur paduan lebih dari 10%, Sifat dari baja karbon tinggi sendiri adalah sangat keras dan kuat tetapi memiliki keuletan yang rendah. baja paduan ini biasanya diaplikasikan sebagai cetakan penarikan kawat, rol derat, dll.

2.3.4 Struktur Mikro Baja

Struktur mikro baja adalah suatu gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Metalografi adalah bentuk metode yang dapat mengetahui suatu struktur logam dengan alat tertentu yaitu mikroskop optis dan mikroskop elektron dengan perbesaran antara 50 – 3000 kali. Kemudian struktur yang sudah terlihat pada alat mikroskop disebut dengan mikro struktur. Pada dasarnya pengujian mikro struktur ini bertujuan untuk dapat melihat butiran-butiran struktur pada logam yang sedang diuji dengan menggunakan alat mikroskop yang dapat dilihat sifat dan struktur dari logam yang diuji tersebut.

Diagram fase adalah diagram yang digunakan untuk menentukan hubungan antara temperatur dan kandungan karbon dimana terjadi perubahan

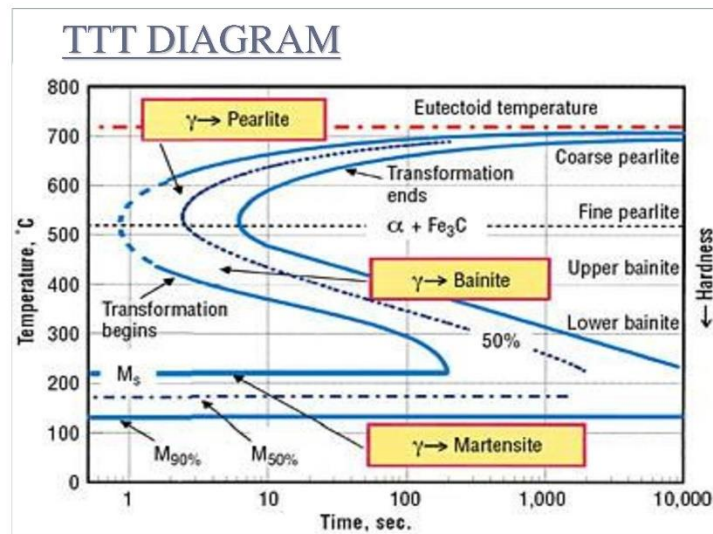
fase selama proses pemanasan atau pendinginan. Diagram fasa Fe-C adalah diagram yang digunakan sebagai panduan untuk mengetahui semua fasa yang terdapat pada baja, dan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi pada baja paduan sehubungan dengan jenis perlakuan yang berbeda. (Sutrisno, 2012)



Gambar 2. 1 Diagram fasa Fe3C

(Sumber : garispendang.blogspot.com)

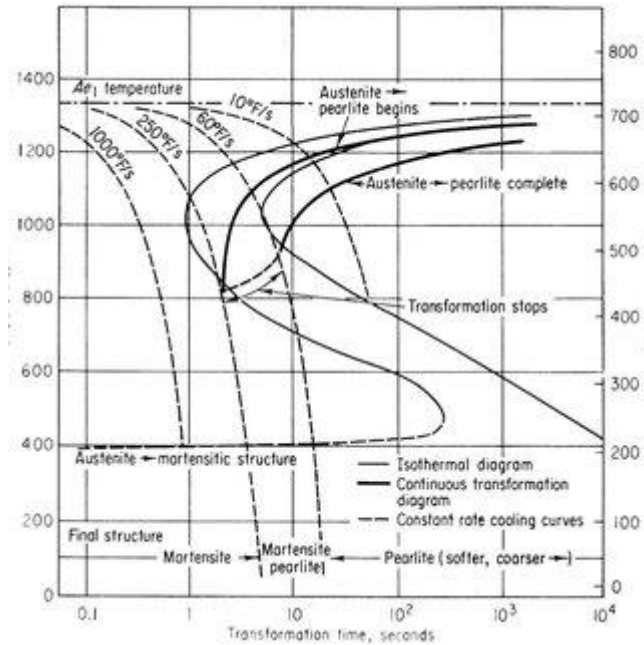
Tujuan utama dari proses perlakuan panas baja adalah untuk mendapatkan struktur yang diinginkan sesuai dengan tujuan penggunaan. Struktur dapat dievaluasi menggunakan proses perlakuan panas tertentu. Struktur yang dihasilkan merupakan hasil dari proses transformasi keadaan awal atau sebelumnya. Beberapa proses transformasi dapat dilihat dari diagram fasa. Diagram fasa Fe-C dapat digunakan untuk mengestimasi beberapa kondisi transformasi, tetapi diagram fasa tidak dapat digunakan pada kondisi setimbang. Oleh karena itu, sebaiknya menggunakan diagram TTT (Time - Temperature - Transformation) untuk setiap kondisi transformasi. Grafik ini menunjukkan perubahan austenit dengan waktu dan suhu. Nama lain untuk diagram ini adalah diagram S atau diagram C.



Gambar 2. 2 Diagram Time, Temperature, Transformation (TTT)

(Sumber : nasukhamesin.blogspot.com)

Diagram ini dapat menjelaskan perilaku baja pada setiap tahapan perlakuan panas. Diagram ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi struktur dan sifat mekanik baja yang diquenching dari suhu austenisasinya ke suhu di bawah A1. Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat dijelaskan menggunakan diagram TTT untuk kualifikasi baja tertentu. Dalam diagram ini, sumbu vertikal mewakili suhu sedangkan sumbu datar mewakili waktu dalam skala logaritmik. Diagram ini merangkum beberapa jenis struktur mikro yang berbeda dan diperoleh dari serangkaian percobaan yang dilakukan pada sampel kecil yang dipanaskan hingga temperatur austenit dan kemudian diquenching pada temperatur di bawah titik eutektoid A1 selama periode waktu tertentu hingga semua austenit tertransformasi. Proses transformasi dari austenit menjadi baja diamati dan diperiksa di bawah mikroskop.



Gambar 2. 3 Diagram CCT

(Sumber : researchgate.net)

Diagram CCT, atau Diagram Continuous Cooling Transformation, dapat digunakan untuk memprediksi jenis struktur mikro yang terbentuk pada berbagai tingkat pendinginan. Oleh karena itu, terdapat berbagai jenis struktur mikro yang terbentuk pada akhir pendinginan tergantung pada tingkat laju pendinginan.

2.3.5 Pengaruh Unsur Paduan

1. Karbon (C)

Karbon merupakan unsur penting dalam baja karena karbon dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon dalam baja kira-kira 0,1-1,7%, sedangkan unsur-unsur selain baja dibatasi tergantung tujuan penggunaannya. Penggunaan karbon yang berlebihan pada baja dapat mengakibatkan penurunan kekuatan baja tersebut.

2. Mangan (Mn)

Mangan merupakan komponen penting dalam proses produksi baja. Kandungan mangan sekitar 0,6% tidak mempengaruhi sifat baja, atau dapat diartikan mangan dalam jumlah kecil tidak mempengaruhi baja. Tujuan penambahan mangan pada baja adalah untuk

meningkatkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga setelah ditambahkan mangan, baja tersebut memiliki sifat yang kuat dan ulet.

3. Silikon (Si)

Kandungan silikon dalam baja biasanya lebih dari 0,4% karena penambahan silikon dapat meningkatkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Selain itu, penambahan silikon pada baja meningkatkan kekerasan, keuletan, keausan, serta ketahanan terhadap panas dan karat. Elemen silikon ini menghasilkan sementit yang tidak stabil, menyebabkan sementit terpisah dan membentuk grafit. Silikon adalah pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida. Silikon cenderung mengandung partikel oksida yang meningkatkan pengintian kristal dan memperlambat pertumbuhan karena struktur butiran yang lebih halus.

4. Nikel (Ni)

Nikel memiliki sifat yang sama dengan mangan, untuk meningkatkan kekuatan tarik dan meningkatkan ketangguhan dan ketahanan panas. Ketika kandungan nikel dari baja paduan adalah 25%, paduan tersebut menunjukkan sifat tahan korosi. Seperti unsur Mn, unsur paduan nikel juga memiliki efek menurunkan temperatur kritis dan kecepatan kritis, dan yang terpenting, membuat struktur butiran lebih halus dan meningkatkan ketangguhan. (Wahyono Suprpto, 2015)

5. Kromium (Cr)

Sifat kromium adalah dapat menurunkan laju pendinginan kritis. Kandungan kromium tambahan 1,5% dapat meningkatkan kekerasan minyak. Menambahkan kromium ke baja membuat struktur lebih halus dan meningkatkan sifat kekerasan baja karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat meningkatkan kelenturan dan kekuatan tarik serta berguna untuk membentuk lapisan pasif yang melindungi baja dari korosi dan tahan terhadap suhu tinggi.

2.4 Baja Aisi 4140

Menurut AISI (American Iron and Steel Institute) baja paduan rendah yang banyak dibuat untuk komponen industri AISI 4140 didesain dengan menggunakan four-digit number (empat digit angka). Hal ini berguna untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu chromium molybdenum. Angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$). Namun ketika komponen-komponen tersebut berada pada kondisi pengoperasian yang keras secara terus-menerus, maka komponen-komponen yang menggunakan material AISI 4140 tersebut rentan terhadap kerusakan permukaan yang serius seperti micropitting, keausan abrasive, dan korosi yang akan memperpendek usia pakai. Baja AISI 4140 memiliki kekerasan yang baik, kekuatan, ketangguhan serta ketahanan aus, maka jenis material ini cocok digunakan sebagai bahan baku material seperti poros engkol, roda gigi, as roda, spindle mesin bubut hingga material mur dan baut untuk konstruksi berat

Paduan	Presentase (%)
C	0,38-0,43
Mn	0,75-1,00
Si	0,20-0,35
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,25
P	$\leq 0,035$
S	$\leq 0,04$

Tabel 2. 1 Kandungan Unsur Baja Paduan AISI 4140

2.5 Perlakuan Panas

Menurut Bahri (2018), perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam paduan yang bertujuan untuk merubah sifat mekanik yang diinginkan dari baja tersebut, baja dapat dikeraskan hingga tahan aus serta kemampuan potong meningkat atau dapat dilunakkan agar dapat mempermudah saat proses permesinan lanjut.

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) merupakan salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan logam tersebut pada

temperature tertentu selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Pada proses ini baja dapat memperoleh sifat-sifat tertentu yang dapat digunakan sesuai kebutuhan. (Santoso, et al. 2021)

Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam bisa dihilangkan, ukuran butir bisa diperbesar maupun diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

Berikut Adalah Beberapa Tujuan Perlakuan Panas Pada Baja:

1. Pemanasan benda uji pada suhu 800°C , langkah ini bertujuan untuk mendapatkan struktur *austenite* sehingga dapat ditentukan struktur yang diinginkan.
2. Penahanan suhu (*holding*), *Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan *diffusi* karbon dan unsur paduannya
3. Pendinginan/Quenching, untuk proses *hardening* kita melakukan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media seperti air, oil, dll. Tujuannya adalah untuk mendapatkn struktur martensit, semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensite yang terbentuk juga akan semakin banyak, karena martensit terbentuk dari fase austenit yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat. (Saputra & Tyastomo, 2016)

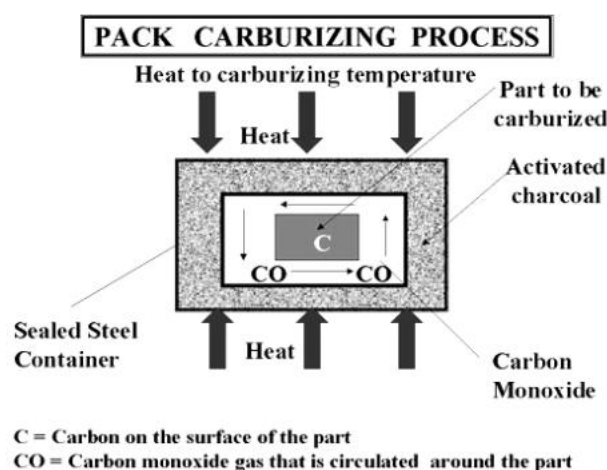
2.6 Proses Perlakuan Carburizing

Karburisasi, juga dikenal sebagai *carburizing*, adalah metode untuk menghasilkan lapisan permukaan yang keras pada material baja atau besi dengan kadar karbon rendah, atau untuk meningkatkan kadar karbon pada lapisan permukaan. Biasanya, suhu yang digunakan dalam proses karburisasi adalah 1700°F. Setelah proses pendinginan, struktur permukaan baja dapat diamati dengan mikroskop, di mana terlihat adanya bagian *hypereutectoid*, yang terdiri dari perlit dan jaringan sementit berwarna putih. Kemudian, diikuti oleh zona *eutectoid* yang hanya terdiri dari perlit, dan terakhir adalah zona *hypo-eutectoid*, yang terdiri dari perlit dan ferrit, di mana konsentrasi ferrit meningkat menuju pusat material.

2.7 Macam-Macam Carburizing

1. Pack carburizing

Bahan dipadatkan pada medium yang kaya akan karbon, seperti bubuk karbon dan dipanaskan pada tungku pemanas pada suhu 800°C – 900°C. pada temperatur ini CO diproduksi sebagai bahan reduksi yang kuat. Reaksi reduksi terjadi pada permukaan besi yang mengeluarkan karbon, yang kemudian berdifusi ke permukaan akibat temperatur yang tinggi. Ketika cukup karbon di absorsi ke dalam bahan, bahan tersebut dapat dipindahkan dari tungku/furnace.



Gambar 2. 4 Proses *Pack Carburizing*

(Sumber : Rhenny, 2010)

2. Gas carburizing

Dalam proses ini gas yang dapat dipakai antara lain dapat digunakan gas alam atau hidro karbon atau propan (Gas Karbit). Prosesnya yaitu benda yang akan dipanaskan dimasukkan dalam oven atau furnace dengan temperature bervariasi antara 870°C sampai 950°C. atmosfer gas untuk karburasi diproduksi dari cairan (metanol, isopropanol), atau gas hidrokarbon (propana dan metana). Generator gas endotermik dipakai untuk menyuplai gas endotermik. Komposisi gas dalam proses karburasi gas adalah:

- Nitrogen: 40%
- Hydrogen: 40%
- karbon monoksida: 20%
- Karbon dioksida: 0,3%
- Metana: 0,5%
- Uap air: 0,8%
- Oksigen: in traces

Oven dialiri dengan gas karbon. Atom - atom karbon akan tertarik menembus kedalam logam. Sehingga permukaan logam menjadi kaya karbon. Cara ini diterapkan dalam karburasi dalam bagian - bagian yang kecil yang dapat dicelupkan langsung setelah pemanasan dalam dapur. Kelebihan dari gas carburizing yaitu lebih cepat dibandingkan dengan pack carburizing. Proses ini hanya membutuhkan sedikit tenaga kerja dan penanganan. Juga lebih praktis dari pada pack carburizing untuk jumlah yang banyak. Kekurangan, alat dan bahan yang digunakan dalam proses ini lebih mahal.

3. Carburasi Cair

Karburasi jenis ini menggunakan lelehan sianida (CN) pada logam berkarbon rendah yang dipanaskan dengan menggunakan bejana pemanas yang dipanaskan dengan minyak atau gas. Suhu kira - kira 815°C - 900°C. proses ini dilakukan dengan kontinue dan otomatis karena memberikan hasil akhir yang baik. Permukaan

lelehan ditutup dengan grafit atau batu bara untuk mengurangi hilangnya radiasi dan dekomposisi sianida yang berlebihan. Selain sodium dan potassium sianida, lelehan yang digunakan juga mengandung sodium dan potassium klorida dan barium klorida yang berperan sebagai aktifator. Proses ini mirip dengan proses sianida, hanya disini kulit luar mempunyai kadar karbon yang tinggi dan kadar nitrogen yang rendah. Karburasi cair dapat digunakan untuk membentuk lapisan setebal 6,35mm, meskipun umumnya tidak melebihi 0,64 mm. Cara ini baik untuk pengerasan permukaan benda yang berukuran kecil dan sedang. Kelebihan, karena cairan mentransfer dengan cepat maka karbon yang ditambahkan juga lebih cepat. Juga pengerasan yang dihasilkan lebih merata. Kekurangan, beberapa nitrogen terserap Bersama-sama dengan karbon dan menyebabkan pengerasan mendadak. Juga material harus dikeringkan setelah proses ini untuk menghindari korosi, hal tersebut memakan waktu dan biaya.

2.7.2 Hal Yang Mempengaruhi *Carburizing*

Hal-hal yang mempengaruhi hasil proses karburasi adalah sebagai berikut:

1. Potensial Karbon

Semakin tinggi potensial karbon, semakin cepat karbon diserap ke dalam baja, menghasilkan gradien konsentrasi yang lebih tinggi di permukaan. Potensial karbon mengacu pada kandungan karbon yang mencapai kesetimbangan dengan atmosfer dalam tungku pada suhu tertentu, di mana atmosfer tersebut merupakan campuran berbagai macam gas potensial karbon. Biasanya, kondisi ini ditentukan oleh aktivitas karbon dalam atmosfer, yang dapat diestimasi dari potensial oksigen, CO, dan CO₂ yang ada dalam atmosfer, jika fase gas dalam atmosfer tersebut berada dalam kesetimbangan.

2. Kecepatan Reaksi

Pada permukaan baja, sifat dan konsentrasi spesies molekul dalam atmosfer mempengaruhi laju reaksi. Sebagai contoh, reaksi permukaan akan lebih cepat terjadi dalam atmosfer gas endotermik dibandingkan dengan atmosfer metana-hidrogen.

3. Temperatur Karburasi

Dengan meningkatnya kecepatan reaksi permukaan, akibat peningkatan proses, penetrasi karbon ke dalam logam akan lebih dalam. Hal ini menghasilkan lapisan karburasi dengan ketebalan yang lebih besar.

4. Paduan Logam

Unsur-unsur paduan dalam baja memiliki pengaruh pada dua hal, yaitu kandungan karbon dalam lapisan karburasi dan kecepatan difusi karbon ke dalam baja. Hal ini disebabkan karena elemen-elemen paduan tersebut mengisi posisi pengganti dan interstisial di dalam matriks logam, yang menghambat pergerakan atom karbon yang berdifusi. Sebagai hasilnya, terbentuklah variasi dalam proses karburasi.

5. Waktu Karburasi

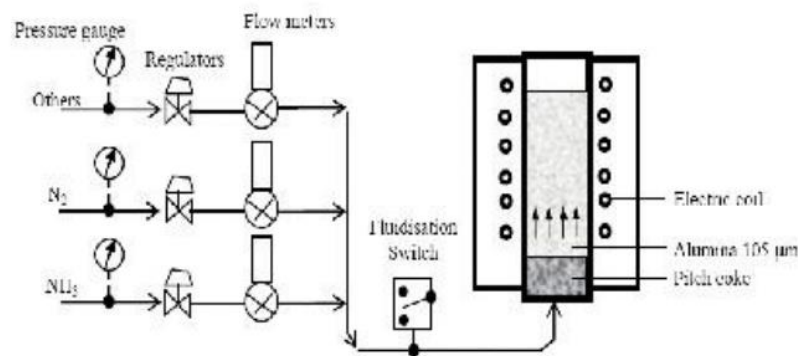
Kedalaman penetrasi karbon meningkat seiring dengan peningkatan waktu karburasi. Hal ini berkontribusi pada terbentuknya pemanasan yang homogen, yang pada gilirannya menyebabkan struktur austenit menjadi homogen. Proses ini juga melibatkan kelarutan karbida ke dalam austenit serta difusi karbon dan unsur paduan lainnya.

2.8 Fluidized Bed Furnace

Teknologi *fluidised bed* telah digunakan saat ini untuk perlakuan panas termokimia gas guna mengerasakan permukaan baja dan besi cor (Sujana dan Astana, 2016). Dalam teknologi ini, serbuk alumina digunakan sebagai media untuk meningkatkan transfer panas dari dinding dapur ke spesimen, sehingga menghasilkan peningkatan pengerasan permukaan. Namun, kualitas kekerasan

permukaan bergantung pada paduan material yang akan diproses. Perbedaan unsur paduan pada material akan membentuk lapisan pasif yang berbeda di permukaan masing-masing bahan, yang pada gilirannya akan mempengaruhi transfer panas di permukaan spesimen.

Pemanfaatan *fluidised bed* memberikan beberapa keuntungan, seperti pemanasan permukaan material yang lebih cepat dan pengaruh panas yang lebih rendah, kontrol yang presisi selama perlakuan panas permukaan, dan proses perlakuan yang tidak terkontaminasi oleh udara luar. Hal ini tercapai berkat peran serbuk alumina dalam reaktor *fluidised bed* (Sujana dan Astana, 2016).



Gambar 2. 5 Skema *Fluidized-bed Furnace*

(Sumber : Teguh Rahardjo (2008) Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies)

2.8.1 Keunggulan dan Kelemahan *Fluidised-Bed Furnace*

Dalam *Fluidized-Bed Furnace* terdapat berbagai keuntungan yang dijelaskan dalam penelitian Rahardjo (2008), yaitu :

- Dapat digunakan untuk memproses material logam dan non-logam (*ferrous* and *non-ferrous*).
- Kecepatan perpindahan panas yang tinggi dapat tercapai.
- Waktu awal perlakuan panas lebih singkat dan dapur dapat ditiup sepanjang malam tanpa mengurangi waktu proses berikutnya.
- Efisiensi thermal yang dihasilkan tinggi dengan konsumsi listrik yang rendah.

- Dapat digunakan untuk berbagai jenis pengerasan permukaan kimia (*thermochemical treatment*).

2.8.2 Kekurangan *Fluidized Bed Furnace*

Selain memiliki kelebihan, *Fluidized Bed Furnace* juga memiliki beberapa kekurangan yang dijelaskan dalam penelitian Sujana dan Astana (2016), antara lain:

- Sangat potensial terjadinya peledakan, bila terdapat kebocoran.
- Arah dari aksi *fluidised bed* pada permukaan benda kerja yang berorientasi secara berbeda-beda.
- Variasi ukuran komponen kerja yang diinginkan sulit diketahui.

2.8.3 Suplay Gas dalam *Fluidised Bed Furnace*

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada *fluidised bed* menggunakan beberapa jenis gas tergantung proses yang dilakukan. Jenis-jenis gas yang digunakan antara lain:

1. Oksigen (O₂)

Gas oksigen berfungsi sebagai *fluidising* pada waktu *heating* sampai temperatur 500°C dan *cooling* dari temperatur 500°C sampai temperatur kamar.

2. Nitrogen (N₂)

Nitrogen berfungsi sebagai *fluidising* untuk *heating* dari temperatur 500°C sampai temperatur proses perlakuan untuk mencegah terjadinya oksidasi terhadap material atau logam yang dipanaskan karena pada temperatur tersebut getaran atom sangat tinggi sehingga udara luar masuk kedalam sistem untuk membantu proses reaksi kimia pada gas proses.

3. Natural Gas (LPG dan Metana)

Berfungsi sebagai gas pembentuk karbon akibat reaksi kimia dengan Fe dan nitrogen untuk membentuk karbida dalam karbon rendah. Gas ini digunakan dalam proses *carburizing*, *carbunitriding* dan *nitrocarburizing*.

4. Ammonia (NH₃)

Ammonia digunakan pada proses *nitriding*, *carbonitriding* dan *nitrocarburizing* dimana unsur N dari ammonia (NH₃) membentuk reaksi kimia dengan Fe, Al, Cr, Mo, V untuk membentuk lapisan nitrida pada permukaan logam.

2.9 Quenching

Quenching adalah proses memanaskan logam hingga mencapai suhu austenit dan kemudian didinginkan dengan cepat untuk membentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan lebih tinggi daripada struktur ferlit dan ferit. Tujuan dari *quenching* adalah untuk meningkatkan kekerasan baja, yang umumnya dilakukan untuk mendapatkan sifat tahan aus yang tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Media pendingin yang digunakan dalam *quenching* akan memberikan tingkat pendinginan yang berbeda, yang akan mempengaruhi kekerasan yang dihasilkan. Pendinginan yang cepat akan menghasilkan logam yang keras dan rapuh, sedangkan pendinginan yang lambat akan menghasilkan logam yang lembut dan lentur. (Arfis A, 2012)

Salah satu media pendingin yang umum digunakan dalam proses perlakuan panas adalah air. Air adalah senyawa kimia dengan rumus H₂O, yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak memiliki rasa. Air memiliki titik beku pada 0°C dan titik didih pada 100°C (Halliday dan Resnick, 1985). Penggunaan air sebagai media pendingin lebih disukai daripada oli (minyak) karena air memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap panas dan mendinginkan benda dengan cepat. Kemampuan panas air adalah sekitar 10 kali lebih besar dari minyak (Soedjono, 1978). Oleh karena itu, penggunaan air sebagai media pendingin akan menghasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Namun, pendinginan dengan air juga dapat menyebabkan tegangan dalam, distorsi, dan retak pada benda kerja (Gary, 2011).

Proses *quenching* dapat dilakukan dengan tiga cara berikut:

1. Pendinginan Langsung (*Direct Quenching*)

Benda kerja langsung didinginkan dari media *carburizing*. Efek dari pendinginan langsung ini adalah kemungkinan terjadinya pengelupasan pada permukaan benda kerja, dan permukaan benda kerja akan menjadi rapuh. Untuk mencapai struktur yang diinginkan, austenit harus didinginkan dengan cepat, setidaknya pada laju pendinginan yang kritis untuk baja tersebut. Jenis media pendingin yang digunakan umumnya ditentukan oleh jenis baja/paduannya. (Pieter Th. ST. MT, 2014)

2. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

Benda kerja didinginkan setelah proses *carburizing* dan telah mencapai suhu kamar.

3. *Double Quenching*

Proses pendinginan atau pengerasan benda kerja dilakukan setelah benda kerja dikarburasi dan didinginkan pada suhu kamar. Kemudian, benda kerja dipanaskan di luar kotak karburizing pada suhu kamar dan kemudian didinginkan kembali (Budinski, 1999).

2.10 Media Carburizing

2.10.1 Arang Kelapa

Arang kelapa telah digunakan secara luas dalam proses carburizing. Dalam carburizing, arang kelapa berfungsi sebagai media karburasi yang efektif untuk meningkatkan kadar karbon pada permukaan logam. Arang kelapa memiliki struktur poros yang besar, memungkinkan penyerapan dan pelepasan gas-gas karbon yang diperlukan dalam proses karburasi. Ketika dipanaskan, arang kelapa menghasilkan gas-gas seperti karbon monoksida (CO) dan metana (CH₄), yang berinteraksi dengan logam untuk membentuk lapisan karbida yang keras dan tahan aus. Keunggulan arang kelapa juga termasuk kemampuannya untuk menyediakan panas yang stabil dan merata selama proses carburizing, yang penting untuk mendapatkan hasil yang konsisten dan menghindari distorsi pada logam. Dengan keandalannya dan kemampuannya menghasilkan lapisan permukaan yang keras, arang kelapa merupakan pilihan yang populer dalam industri carburizing untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan logam.

2.10.2 Serbuk Limbah Fotocopy

Toner adalah bahan berbentuk serbuk biasa disebut dengan tinta kering yang digunakan dalam mesin fotokopi atau printer laser. Pada dasarnya toner terbuat dari bubuk karbon namun karbon tersebut biasanya dicampur dengan beberapa bahan adiktif seperti styrene akrilat kopolimer styrene kopolimer styrene polimer resin hidrokarbon atau bahan lain sehingga meningkatkan kualitas cetak dan daya rekat pada kertas. Bahan Toner di dimonasi oleh bahan Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 . Kualitas toner di tentukan oleh beberapa hal salah satunya ukuran bulir toner. Proses sintesis pada penelitian ini dilakukan dengan metode pencampuran dan penggerusan bahan kemudian sampel yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan alat XRD sehingga didapatkan fase dari hasil sintesis toner berbahan baku pasir besi yang kemudian fase tersebut dibandingkan dengan hasil sintesis standar toner. Serta dapat mengetahui ukuran bulir dan persentase komposisi toner hasil sintesis dengan menggunakan SEM-EDAX.

Sampel merupakan mineral toner yang terdiri atas 65% polimer, 15% Pasir Besi, dan 20 % Karbon. Seluruh bahan tersebut di campur dengan metode milling menggunakan alat ball milling selama 20 jam. Dari hasil EDAX di atas tampak bahwa hasil milling dari bahan Toner 1 mengandung komposisi bahan antara lain karbon, O, dan Fe dengan persentase atomik karbon sebanyak 70.75%, Oksigen 23.38%, Fe 01.79%. dari hasil uji EDAX juga terlihat bahwa persentase berat karbon sebanyak 58,44% berat Oksigen 25,73%, berat Fe 06,86.(Prita Yustisia Wardani, 2013)

2.11 Pengujian yang dilakukan

2.11.1 Uji Kekerasan

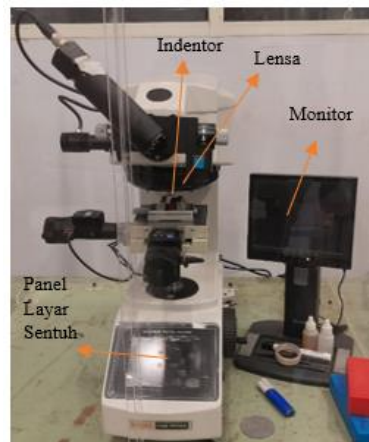
Prinsip dasar pengujian *microvickers* sama dengan uji Brinell, perbedaannya penggunaan indentor intan yang berbentuk piramid beralas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 1360. Pengukuran diagonal segi empat lebih akurat dibandingkan pengukuran pada lingkaran. Pengujian ini dapat dilakukan untuk specimen tipis hingga 0,006 inchi. Nilai yang

diperoleh akurat hingga nilai 1300 (setara dengan Brinell 850). Indentor relatif tidak menjadi rata seperti pada Brinell. Beban yang digunakan pada uji vickers antara 1 hingga 120 kgf. Perubahan beban relatif tidak mempengaruhi hasil pengujian, penggunaan beban yang berbeda akan tetap menghasilkan nilai yang sama untuk material yang sama. Nilai Hardness Vickers dapat dihitung dengan persamaan :

<i>Type of Steel</i>	<i>Rockwell</i>		<i>Brinell</i>
	B	C	
<i>Low carbon steel</i>	65		100
<i>Medium carbon steel</i>		16	212
<i>High alloy steel</i>		31	294
<i>High carbon steel</i>		42	390
<i>Tool steel</i>		42	390
<i>Hardened tool steel</i>		50	481
<i>Case hardened parts</i>	64		

Tabel 2. 2 Nilai *Hardness & Vickers*

(Sumber: Neely, J. E. & Bertone, T. J., 2003)



Gambar 2. 6 Alat uji Kekerasan Vickers

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Spesifikasi Alat :

Merk : MITUTOYO

Tipe : HM-200

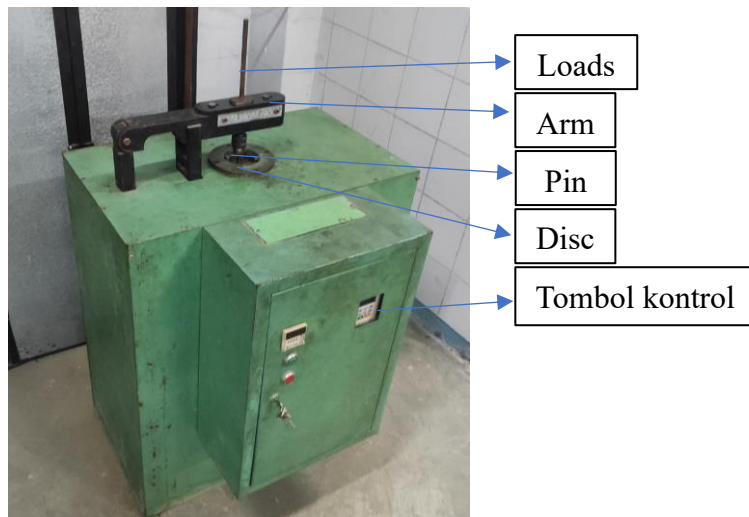
Tegangan : 220 – 240 V

Frekuensi : 50 Hz

Dimensi lensa pelindung : 855mm x 815mm x 810mm

2.11.2 Uji Keausan

Secara umum keausan (*wear*) didefinisikan sebagai kerusakan pada permukaan padat yang disebabkan oleh hilangnya atau perpindahan material akibat gaya mekanik dari sebuah hubungan padat (solid), cair (liquid), atau gas. Fenomena ini dianggap normal karena adanya gesekan antara dua permukaan dapat mengakibatkan keausan atau perpindahan material. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan antara lain pembebanan, pelumasan, panjang lintasan, dan sifat material yang digunakan. Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur keausan adalah Tribometer *Pin-on-Disc* yang terdiri dari pin sebagai permukaan tetap dan disc sebagai permukaan datar yang bergerak.



Gambar 2. 7 Alat Uji Keausan Pin On Disk

(Sumber : Dokumen Pribadi)

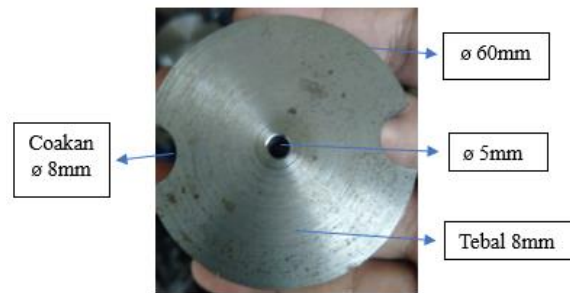
Spesifikasi Alat :

Kecepatan rotasi (RPM)	: 500
Beban normal (Kgf)	: 1 – 15
Jumlah maksimum putaran	: 9999

1. Standar pengujian Keausan

Berdasarkan ASTM G 99 metode pengujian ini menjelaskan prosedur laboratorium untuk menentukan keausan material saat meluncur menggunakan metode *pin on disc*. Untuk pengujian ini, diperlukan dua spesimen yaitu dengan pin berbentuk silinder

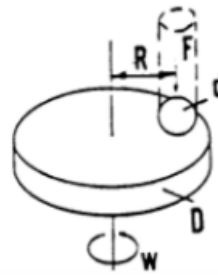
yang diberi beban dan diposisikan tegak lurus terhadap disk datar yang berbentuk bundar. Diameter pin berkisar antara 2 hingga 10 mm dan diameter disk berkisar dari 30 hingga 100 mm dan memiliki ketebalan dalam kisaran 2 hingga 10 mm. Dalam pengujian ini menyebabkan spesimen disk atau spesimen pin berputar di sekitar pusat disk. Bidang pada disk bisa diposisikan secara horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 8 Bentuk Spesimen Uji Keausan

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Dimana F adalah gaya normal (N), d adalah diameter pin pengaus, D adalah diameter disk (mm), R adalah jari-jari jejak goresan keausan (mm), dan W adalah kecepatan rotasi *disk* (rpm). Jumlah keausan ditentukan dengan mengukur dimensi linier yang sesuai dari kedua spesimen sebelum dan sesudah pengujian, atau dengan menimbang kedua spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Jika langkah-langkah keausan linear digunakan, perubahan panjang atau perubahan bentuk pin dan perubahan kedalaman atau bentuk trek keausan *disk* (dalam milimeter) ditentukan oleh teknik metrologi yang cocok seperti pengukur jarak elektronik. Hasil dari pengukuran keausan dinyatakan dalam satuan mm^3



Gambar 2. 9 Skema pengujian Keausan Pin On Disc

(Sumber : Suryana, 2019)

1. Metode pengujian Keausan

Metode pengujian ASTM memungkinkan penggunaan metode kehilangan geometris dan massa untuk menentukan keausan, namun dalam kedua kasus, pengukuran harus dikonversi menjadi kehilangan volume dengan membagi kehilangan massa dengan kepadatan. (Permana & Rumendi, 2018) Dalam pendekatan geometris, ini dilakukan dengan mengubah dimensi linier yang dapat diukur menjadi volume menggunakan hubungan yang sesuai untuk geometri bekas goresan aus. (Rahardjo, 2008) Pengujian keausan yang akan dilakukan menggunakan mesin uji pin on disc dengan rumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$W = \frac{v_i - v_f}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

Dimana :

W : Wear Rate atau Laju Aus (mm^3/menit) atau (gram/menit)

V_i : Volume awal spesimen sebelum uji aus (mm^3) atau (gram)

V_f : Volume akhir spesimen setelah uji aus (mm^3) atau (gram)

T : Waktu lama pengausan

ΔV : Volume goresan yang hilang (mm^3) atau (gram)

Dalam standart ASTM G99 persamaan lanjutan merupakan laju aus dengan kehilangan volume dan kehilangan berat sebagai berikut :

$$Volume\ loss = \frac{mass\ loss}{density} \times 1000$$

Dimana :

Volume loss : Volume akhir spesimen setelah uji aus (mm³)

Mass loss : Berat akhir spesimen setelah uji aus (gram)

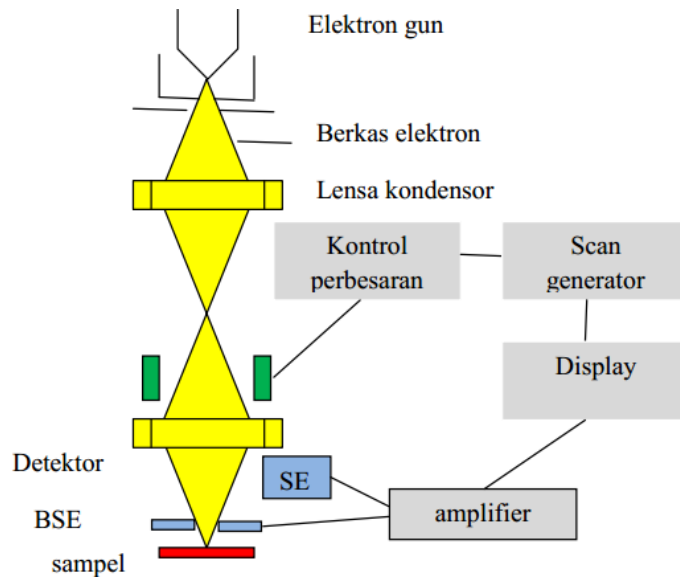
Density : Berat jenis spesimen (g/cm³)

(Cahyadi et al, 2020)

2.11.3 Uji Mikrostruktur SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy sendiri adalah mikroskop perbesaran tinggi untuk melihat permukaan suatu material atau bahan dan dapat memberikan data mengenai komposisi kimia dalam suatu material, baik bahan konduktif maupun bahan non-konduktif. Mikroskop ini menggunakan eletro magnetic dan elektro static sebagai ganti dari sinar cahaya untuk mengontrol cahaya yang akan masuk dan gambar yang dihasilkan. Memiliki *field view* yang besar dan bisa melakukan pembesaran pada objek hingga duajuta kali, dan mendapatkan resolusi gambar yang jauh lebih baik dari mikroskop cahaya.

Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan bagaimana mikroskop SEM- EDX bekerja dengan prinsipnya :

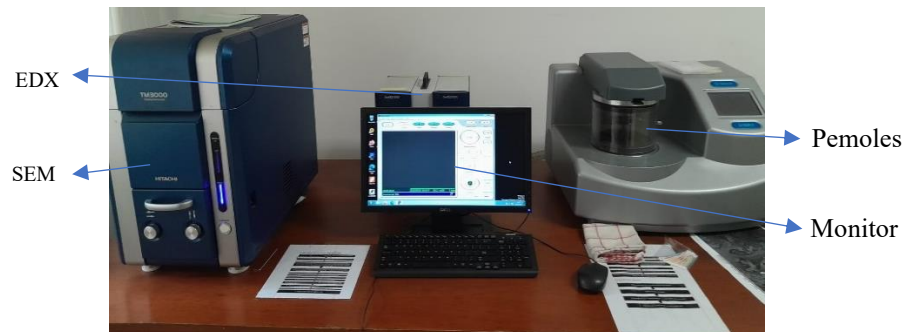


Gambar 2. 10 Prinsip Uji SEM/EDX

(Sumber : Health and Nutrition Corner.com)

Dalam SEM, posisi sampel ditempatkan di bawah kolom elektron dan elektron yang tersebar atau terpecah dari sampel akan ditangkap oleh detektor elektron. Sinyal voltase yang dihasilkan kemudian diperkuat dan dikonversi menjadi gambar pada layar PC menggunakan photomultiplier.

SEM-EDS adalah sebuah *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang memiliki sistem Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS). SEM digunakan untuk mengamati morfologi atau struktur permukaan dari suatu sampel padatan melalui gambar, sedangkan EDS berfungsi untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari material tersebut



Gambar 2. 11 Alat Uji SEM-EDX

Spesifikasi Alat :

Merk	: Hitachi
Tipe	: TM-300
Perbesaran	: 100x – 30.000x
Tegangan pemercepat	: 5kV – 15kV