

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. *Continuously Variable Transmission (CVT)*

Sistem *Continuously Variable Transmission (CVT)* merupakan susunan atau mekanisme yang ada pada sepeda motor matic, yang bertugas mengalirkan perputaran mesin ke roda belakang sehingga memungkinkan motor berjalan dan dapat digunakan untuk berkendara. Dalam sistem ini, terdapat komponen yang disebut *V-Belt* yang berperan dalam mengalirkan perputaran mesin ke bagian roda belakang. Komponen ini terbuat dari karet dan memiliki sifat kekuatan serta daya tahan yang memadai, sehingga mampu bertahan dari suhu panas dan juga tahan terhadap tarikan yang kuat dan energi yang tinggi.



Gambar 2.1. Continuously Variable Transmission Sepeda Motor
(PT. Astra Honda Motor,2012)

Sistem *CVT* merupakan sistem pemindah daya yang terdiri 2 puli, yaitu puli penggerak (*drive*) yang terhubung dengan crankshaft serta puli yang digerakkan (*driven*) yang terhubung dengan roda belakang melalui reduksi akhir pada *gear box*. Permukaan kedua puli dapat melebar dan menyempit sehingga rasio percepatan ditentukan oleh perbedaan radius putar *v-belt* pada puli drive dan puli driven

1. Keunggulan Sistem *CVT*

Sistem *CVT* merupakan teknologi mutakhir yang diterapkan pada motor matic, berikut adalah beberapa kelebihan atau keunggulan yang dimiliki oleh sistem *CVT* pada motor matic saat ini:

- Proses perubahan kecepatan dan torsi kendaraan dilakukan secara otomatis.
- Tidak diperlukan pergeseran gigi secara manual karena sistem ini memiliki rasio gigi yang sangat tepat sesuai dengan putaran mesin.
- Tidak menimbulkan guncangan saat terjadi perubahan gigi.
- Perubahan kecepatan terjadi dengan sangat halus, mirip dengan kemampuan kendaraan dalam mendaki yang relatif baik.
- Sistem ini sangat efektif digunakan pada jalur padat lalu lintas atau area perkotaan yang padat.

2. Kelemahan Sistem CVT

Setiap sistem memiliki kelebihan dan kekurangan, begitu juga dengan sistem CVT yang memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Berikut adalah beberapa kelemahan yang terkait dengan sistem CVT:

- Kapasitas torsi yang dapat dihasilkan relatif lebih terbatas dibandingkan dengan kendaraan bertransmisi manual. Ini dapat mengakibatkan percepatan awal terasa kurang responsif.
- Jika terjadi kerusakan, biaya perbaikan cenderung lebih mahal daripada kendaraan dengan transmisi manual.
- Terdapat potensi slip pada puli dan sabuk V-Belt pada sistem CVT, yang dapat mengakibatkan respons transmisi terasa lebih lambat.
- Tidak cocok untuk kendaraan yang sering digunakan dalam kondisi medan berat atau ekstrem seperti jalan berlumpur atau daerah pegunungan.

3. Komponen Sistem CVT

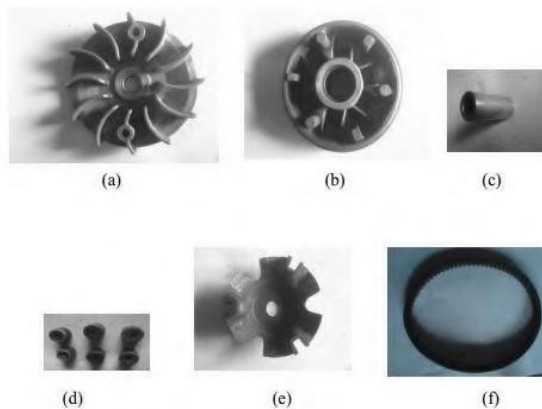
Menurut Johan 2016, Komponen CVT motor terdiri dari :

1) Puli Penggerak / Puli primer (*Drive Pulley / Primary Pulley*)

Puli primer memiliki peran utama dalam mengatur kecepatan sepeda motor dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh roller akibat putaran mesin. Bagian-bagian puli primer meliputi :

- a. Bagian luar puli penggerak serta kipas pendingin: Ini adalah bagian tetap dari puli penggerak yang tidak hanya memperbesar perbandingan rasio di tepinya, tetapi juga memiliki kipas pendingin. Fungsi kipas ini adalah menjaga suhu di dalam CVT agar sabuk tidak cepat panas dan aus.

- b. Bagian dalam puli penggerak (movable drive face): Bagian ini bergerak untuk menekan CVT agar mencapai kecepatan yang diinginkan.
- c. *Bushing* / Poros puli: Komponen ini mendukung pergerakan bagian dalam puli dengan lancar saat berpindah posisi.
- d. Enam buah peluru sentrifugal (roller): Roller berfungsi untuk menyeimbangkan gaya berat serta menekan bagian dalam puli primer saat mesin berputar pada kecepatan tinggi. Roller terdiri dari bahan teflon sebagai lapisan luarnya dan tembaga atau aluminium sebagai lapisan dalamnya.
- e. Plat penahan: Komponen ini bertugas mengendalikan gerakan bagian dalam puli agar dapat bergeser ke luar saat didorong oleh roller.
- f. Sabuk V-belt: Bagian ini menghubungkan perputaran dari puli primer ke puli sekunder. Diameter V-belt bervariasi tergantung merek dan model motor. V-belt terbuat dari karet berkualitas tinggi yang tahan terhadap panas dan gesekan. Keunggulan sabuk ini meliputi :
 1. Lebih sedikit gaya yang dibutuhkan untuk memutar poros input.
 2. Menghasilkan lebih sedikit getaran.
 3. Gesekan yang terjadi tidak signifikan.
 4. Proses produksi lebih ringan dibandingkan dengan gigi.

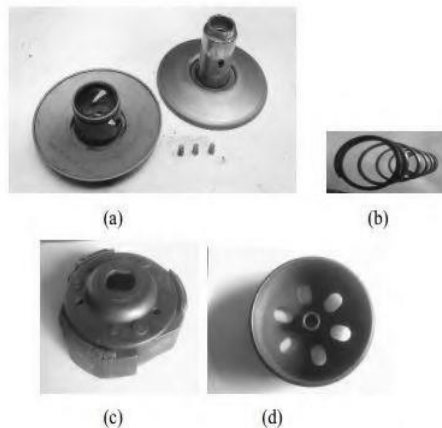


- a) Dinding luar puli penggerak
- b) Dinding dalam puli penggerak
- c) *Bushing*
- d) 6 Buah peluru sentrifugal
- e) Plat Penahan
- f) Sabuk V-belt

Gambar 2.2. Komponen Puli Primer (Johan,2016)

2.) Puli yang digerakkan / Puli Sekunder (*Driven Pulley / Secondary Pulley*)

Puli sekunder adalah komponen yang berinteraksi dengan puli primer untuk mengatur kecepatan berdasarkan gaya tarik sabuk dari puli primer. Bagian-bagian puli sekunder termasuk.

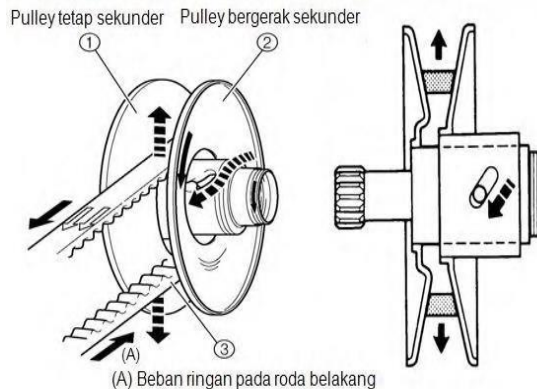


- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| a) Bagian luar puli sekunder | c) Kampas Kopling |
| b) Pegas pengembali | d) Bagian dalam puli sekunder |

Gambar 2.3. Komponen puli sekunder (Johan,2016)

- a. Bagian luar puli sekunder: Fungsi bagian ini adalah memberikan lintasan bagi sabuk agar bisa bergerak ke luar. Bagian ini dibuat ringan dengan permukaan halus untuk memudahkan pergerakan sabuk.
- b. Pegas pengembali: Pegas ini mengembalikan puli sekunder ke posisi awal, yaitu posisi sabuk paling luar. Prinsipnya adalah semakin kuat pegas, semakin lama sabuk berada di posisi terluar. Namun, kombinasi yang salah antara roller dan pegas bisa menyebabkan keausan atau kerusakan pada sistem CVT.
- c. Kampas kopling dan rumah kopling: Kopling berfungsi mengalirkan putaran dari puli sekunder ke gigi reduksi. Cara kerja kopling sentrifugal adalah pada putaran mesin rendah, kopling tidak mengirimkan putaran. Gaya sentrifugal dari kampas kopling menjadi lebih kuat saat putaran meningkat, mendorong kampas ke rumah kopling yang berputar.
- d. Bagian dalam puli sekunder: Fungsinya adalah memberikan lintasan untuk sabuk agar dapat bergerak ke posisi paling dalam pada puli sekunder.

- e. Torsi cam: Bagian ini mengizinkan sliding sheave bergerak secara otomatis saat torsi putaran yang besar diperlukan.



Gambar 2.4. Torsi Cam (Johan,2016)

2.1.2. Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

Metalurgi serbuk, yang juga dikenal sebagai *powder metallurgy*, merujuk pada berbagai teknik produksi yang digunakan untuk menciptakan produk dari serbuk atau partikel logam padat tanpa melibatkan peleburan komponen utamanya. Selain itu, konsep metalurgi serbuk juga melibatkan proses untuk menghasilkan produk dengan karakteristik logam dari serbuk non-logam (Sutanto, 2020). Prinsip dasar di balik metalurgi serbuk melibatkan pemadatan serbuk logam ke dalam bentuk yang diinginkan dan selanjutnya memanaskannya di bawah titik lelehnya untuk membentuk struktur padat. Proses ini melibatkan partikel logam yang saling berinteraksi melalui difusi atom pada permukaan partikel (Kalpakjian, 2010).

Teknik manufaktur metalurgi serbuk memanfaatkan kemampuan partikel logam atau serbuk logam untuk membentuk produk akhir. Keunggulan metalurgi serbuk meliputi:

1. Kemampuan untuk mengontrol sifat-sifat produk, terutama sifat mekanik dan fisik, sesuai dengan kebutuhan bahan yang dipilih.
2. Fleksibilitas dalam menciptakan produk dari berbagai kombinasi bahan mentah, seperti serbuk logam, bahan non-logam, keramik, dan bahan lainnya, sesuai dengan karakteristik produk yang diinginkan.

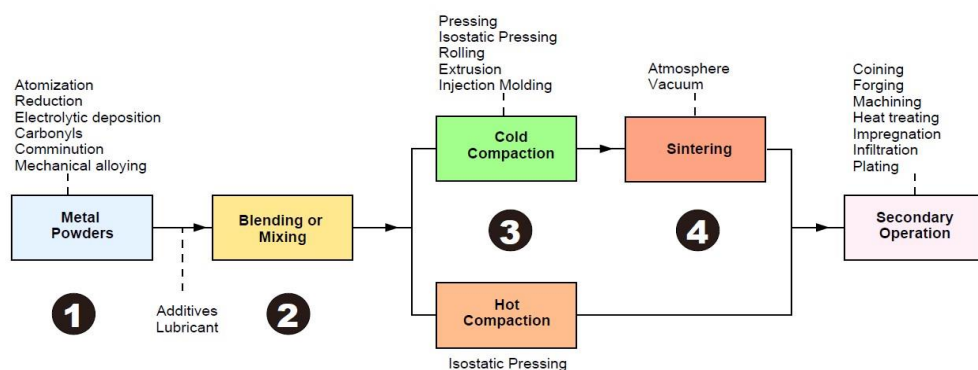
3. Penggunaan suhu rendah dalam prosesnya, termasuk langkah pemadatan partikel melalui sintering di bawah titik leleh, mengurangi konsumsi energi.
4. Alur kerja yang sederhana yang memfasilitasi produksi massal dalam jumlah besar.
5. Pendekatan ekonomis dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah selama proses produksi.

Namun, ada beberapa batasan dalam proses dan hasil metalurgi serbuk:

1. Batasan dimensi produk terkait dengan kapabilitas mesin press dan proses sintering.
2. Terbentuknya porositas dalam produk dapat mengurangi berat jenis, tetapi porositas ini juga mempengaruhi kekuatan produk.
3. Penyimpanan serbuk bahan baku memerlukan perlakuan khusus karena rentan terhadap oksidasi.

Metode metalurgi serbuk memberikan kendali yang akurat terhadap komposisi dan campuran yang sulit dihasilkan melalui metode lain dengan dimensi yang ditentukan oleh cetakan. Langkah-langkah umum dalam proses metalurgi serbuk meliputi:

1. Persiapan serbuk logam
2. Pencampuran bahan
3. Pemadatan bahan
4. Pemanasan atau sinterisasi.



Gambar 2.5. Proses Powder Metallurgy (Kalpakjian,2010)

1. Persiapan Serbuk Logam

Persiapan material berbentuk serbuk merupakan tahap penting dalam proses metalurgi serbuk. Kesiapan serbuk serta perlakuannya sebagai bahan mentah menjadi krusial, sehingga memahami produksi serbuk dengan karakteristik yang dapat menentukan sifat produk yang dihasilkan.

2. Pencampuran

Pencampuran adalah proses menggabungkan dua bahan atau lebih yang tidak sama menjadi campuran homogen yang seragam dan tersebar dengan baik. Prinsip pencampuran didasarkan pada peningkatan pengadukan dan distribusi dua atau lebih bahan yang memiliki sifat yang berbeda. Pencampuran dapat melalui metode pencampuran kering dan pencampuran basah (Juriani, 2019). Dalam metode pencampuran serbuk secara kering, tingkat homogenitas sangat dipengaruhi oleh durasi proses pencampuran. (Aswar, 2022)

3. Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah proses untuk membentuk, merubah bentuk, dan mengeraskan serbuk dengan penerapan tekanan. Dalam kondisi tertentu, pemanasan dapat digunakan bersamaan dengan pemberian tekanan (German, 2005). Beberapa metode pemadatan yang ada meliputi, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*).

- *Cold compaction*, yaitu perlakuan penekanan pada kondisi suhu ruang.
- *Hot compaction*, yaitu penekanan dengan temperatur di atas suhu ruang.

Tekanan ditentukan oleh karakteristik, bentuk, metode pencampuran serbuk, serta pendekatan pelumasan yang digunakan. Tekanan dalam proses pemadatan serbuk logam berkisar antara 70 MPa hingga 800 MPa, dan data tekanan logam ditampilkan dalam Tabel 2.1 (Kalpakjian, 2010).

Tabel 2.1. Nilai tekanan tekanan pada beberapa logam

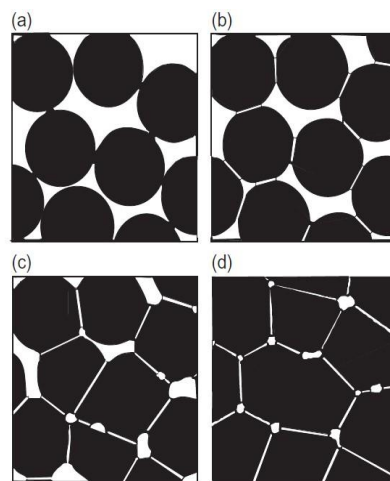
Metal Powder	Pressure (MPa)
Aluminum	70-275
Brass	400-700
Bronze	200-275
Iron	350-800
Tantalum	70-140

Tungsten	70-140
Other	
Aluminum Oxide	110-140
Carbon	140-165
Cemented Carbides	140-400

Sampel dengan tingkat kepadatan yang tinggi dicapai melalui metode tekanan. Ketika tekanan diaplikasikan, area kontak antara partikel-partikel meningkat, memungkinkan partikel untuk mengisi celah dan membentuk suatu susunan koordinasi. Selama periode tekanan, deformasi elastis terjadi pada titik-titik kontak, di mana energi elastis kemudian disimpan sebagai bentuk pemadatan.

4. Proses Sinterisasi (*Sintering*)

Sintering, suatu proses pemanasan hingga mencapai suhu tinggi, menyebabkan partikel-partikel bersatu dan reaktivitas antar permukaan meningkat. Suhu sintering biasanya berkisar antara 70% hingga 90% dari suhu lebur utama serbuk. Dalam proses ini, partikel-partikel menggabung, mengakibatkan peningkatan kepadatan (Kalpakjian, 2010). Sintering melibatkan difusi partikel akibat suhu, dan terdiri dari beberapa tahapan dalam proses konsolidasi. Terdapat empat tahapan yang teridentifikasi dalam proses sintering, yakni titik kontak, tahap awal, tahap menengah, dan tahap akhir (Francis, 2016).



(a) titik kontak, (b) tahap awal, (c) tahap menengah, (d) tahap akhir

Gambar 2.6. Tahapan Proses sinter (Francis, 2016)

a) Fase Titik Sentuh (Point Contact)

Dalam tahap ini, partikel-partikel terlepas mulai membentuk titik-titik kontak dengan partikel lain dalam orientasi acak. Ikatan yang muncul masih lemah dan dimensi partikel masih belum berubah. Ketika kepadatan partikel semakin tinggi, jumlah bidang kontak antar partikel juga bertambah, menghasilkan ikatan yang lebih kuat selama proses sinterisasi. Kehadiran pengotor yang menempel pada titik-titik kontak dapat mengurangi jumlah bidang kontak, yang berdampak pada penurunan kekuatan produk sinter.

b) Fase Awal (Tahap Awal)

Dalam tahap ini, daerah kontak antara partikel-partikel serbuk mulai tumbuh membentuk leher. Pertumbuhan leher antar partikel sangat dipengaruhi oleh mekanisme perpindahan massa. Pada tahap ini, pori-pori mulai terisolasi karena titik-titik kontak membentuk batas butir. Selain itu, pada tahap ini terjadi penyusutan, pengurangan luas permukaan, dan pepadatan.

c) Fase Menengah (Tahap Menengah)

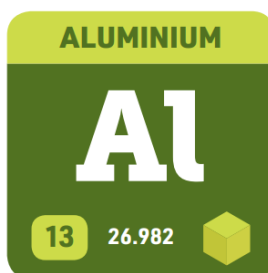
Tahap ini memiliki peran dalam menentukan sifat mekanis dari bahan mentah yang telah disinter. Pertumbuhan butir dan struktur pori menjadi lebih halus terjadi pada tahap ini. Geometri batas butir dan pori pada tahap ini bergantung pada tingkat laju sinterisasi. Awalnya, pori terlokalisasi di batas butir yang menyusun struktur pori. Proses pepadatan yang terjadi pada tahap ini disertai dengan difusi volume dan difusi batas butir. Faktor-faktor seperti suhu, waktu proses sinterisasi, dan ukuran partikel memengaruhi ikatan dan pepadatan yang terjadi.

d) Fase Akhir (Tahap Akhir)

Pada tahap ini, prosesnya berlangsung lambat. Pori-pori yang berbentuk bulat mengalami penyusutan melalui mekanisme difusi bulk. Setelah batas butir terbentuk, pori-pori akan berdifusi menuju batas butir, menyebabkan penyusutan yang terjadi perlahan. Dengan pemanasan yang berkepanjangan, pengurangan ukuran pori akan menyebabkan peningkatan ukuran pori rata-rata sementara jumlah pori akan berkurang. Jika pori mengandung gas yang terperangkap, kelarutan gas dalam matriks akan memengaruhi tingkat penyusutan pori.

2.1.3. Aluminium (*Aluminium*)

Aluminium merupakan mineral yang melimpah di permukaan bumi, dengan proporsi sekitar 7,6%. Ini menempatkan aluminium sebagai unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. Aluminium memiliki sifat mekanik, konduktivitas listrik yang sangat baik dan ketahanan terhadap korosi. Logam ini memiliki penggunaan yang luas, tidak hanya dalam peralatan rumah tangga, tetapi juga di berbagai industri lainnya.



Gambar 2.7. Simbol periodik unsur aluminium
(Royal Society of Chemistry, 2019)

Dalam proses pembuatan komposit dengan matrik logam, logam aluminium sering digunakan sebagai matrik karena keunggulannya, seperti densitas rendah, ketahanan terhadap korosi, kemampuan menghantarkan panas, dan konduktivitas listrik yang baik. Logam aluminium sering kali digunakan dalam bentuk paduan seperti Al-Si, Al-Cu, dan lain sebagainya. Komposit matrik aluminium umumnya memanfaatkan penguat berbahan keramik seperti Al_2O_3 , SiC, atau penguat lainnya.

Beberapa sifat fisik yang dimiliki oleh aluminium meliputi (Mufidah, 2015):

- a) Keberatan yang ringan, dimana aluminium memiliki massa sekitar 1/3 dari massa baja atau tembaga, sehingga sangat umum digunakan dalam industri transportasi.
- b) Kemudahan dalam pembentukan, proses pengerjaan aluminium mudah dilakukan menggunakan berbagai metode pembentukan dan penyambungan.
- c) Daur ulang yang efisien, aluminium dapat didaur ulang tanpa mengurangi kualitasnya. Selanjutnya, proses peleburan hanya memerlukan sekitar 5% dari energi yang dibutuhkan untuk memproduksi logam primer.

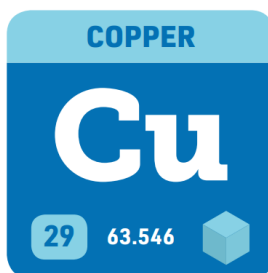
- d) Kekuatan lentur (Ductility), yaitu kemampuan suatu bahan untuk mengalami deformasi plastis tanpa retakan.
- e) Kemampuan pantul (Reflectivity), aluminium memiliki kemampuan yang baik untuk memantulkan cahaya dan panas, dengan bobot yang ringan.
- f) Ketahanan terhadap korosi, aluminium memiliki sifat tahan korosi yang kuat, sehingga cocok digunakan dalam lingkungan yang terpapar oleh air, udara, suhu, dan bahan kimia.
- g) Konduktivitas, aluminium memiliki kemampuan baik dalam menghantarkan listrik dan panas.

Tabel 2.2. Karakteristik Aluminium (Callister, 2007)

Sifat-Sifat	Nilai
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20 °C (g/cm ³)	2,70
Titik cair (°C)	660
Koefisien mulur panas kawat 20°-100°C (10 ⁻⁶ /K)	23,9
Konduktivitas panas 20°-400°C (W/m.K)	238
Tahanan listrik 20 °C (10 ⁻⁶ , K□.m)	2,69
Modulus elastisitas (GPa)	70,5
Modulus kekakuan (GPa)	26,0

2.1.4. Tembaga (*Copper*)

Tembaga (Cu) adalah unsur logam dengan nomor atom 29 dalam tabel periodik (lihat Gambar 2.8). Tembaga memiliki massa atom sebesar 65,37, titik lebur pada suhu 1083 °C, dan titik didih pada suhu 2.595 °C. Tembaga merupakan logam transisi (golongan IB) yang memancarkan warna merah kemerahan, memiliki keuletan yang tinggi, serta mudah untuk ditempa. Karena sifat konduktor listriknya yang unggul dan ketangguhannya terhadap korosi, tembaga sering digunakan sebagai material penghantar listrik yang utama.



Gambar 2.8. Simbol Periodik Unsur Tembaga
(Royal Society of Chemistry, 2019)

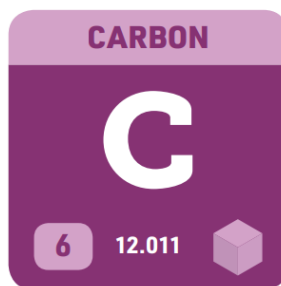
Tembaga memiliki konduktivitas listrik dan termal yang luar biasa. Tambahan pula, tembaga bisa digunakan sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan kekuatan mekanik, terutama kekerasan, dari komposit tersebut (Wijayanti, 2012). Karakteristik tembaga ditampilkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik Tembaga (Callister, 2007)

Sifat-Sifat	Nilai
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20 °C (10^3 kg/m^3)	8,95
Titik Cair (°C)	1084,62
Koefisien mulur panas kawat 20°-100°C ($10^{-6}/\text{K}$)	17,1
Konduktivitas Panas 20°-400°C (W/m.K)	893
Tahanan Listrik 20 °C ($10^{-6}, \text{K}\cdot\text{m}$)	1,673
Modulus Elastisitas (GPa)	128
Modulus Kekakuan (GPa)	46,8

2.1.5. Grafit (*Graphite*)

Grafit merupakan unsur yang terdiri dari karbon dengan nomor atom 6. Bahan ini memiliki beragam karakteristik yang khas. Struktur kristal grafit adalah heksagonal, tampak seperti sekelompok lembaran tipis yang dapat terkelupas, dengan warna hitam dan sifat opak. Grafit adalah suatu bentuk dimorfisme dari intan, meskipun memiliki tingkat kekerasan yang sangat rendah. Dengan berat jenis sekitar $2,26 \text{ g/cm}^3$, permukaan grafit terasa berminyak saat disentuh. Material ini juga memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan kecenderungan untuk tidak larut dalam air.



Gambar 2.9. Simbol Periodik Unsur Karbon
(Royal Society of Chemistry,2019)

Grafit juga menjadi satu-satunya mineral non-logam yang mampu menghantarkan listrik. Karakteristik unik ini memberi grafit berbagai kegunaan. Diantaranya, grafit digunakan sebagai bahan dasar dalam baterai kering, pelumas, cat, pembuatan crucibles (wadah pencairan logam), sikat dinamo, elektroda untuk proses galvanisasi, bahan pembuatan sepatu rem kendaraan, serta digunakan dalam industri peleburan baja (foundry) dan menjadi komponen utama dalam pensil (ESDM, 2021).

Komposit yang mencakup kandungan grafit dalam matriksnya menunjukkan ketahanan aus yang baik, karena sifat grafit yang mempunyai sifat pelumasan alami (self-lubricating) (Aswar, 2022).

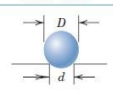

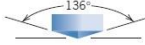

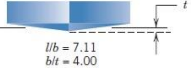

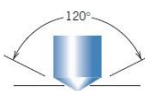


2.1.6. Uji Karakteristik

1. Kekerasan

Kekerasan logam mengacu pada sifat ketahanan suatu bahan logam terhadap penetrasi. Ini menunjukkan seberapa sulit bahan tersebut ditembus, dan kekerasan dapat memberikan gambaran cepat tentang bagaimana bahan akan berperilaku saat mengalami deformasi. Nilai kekerasan dari bahan ini diperoleh melalui analisis yang mempertimbangkan beban yang diterapkan pada area tertentu (Callister, 2007). Menurut Ichwanul Charis (2013), kekerasan produk dari proses powder metallurgy dipengaruhi oleh tekanan, luas area kontak antar butir, dan porositas

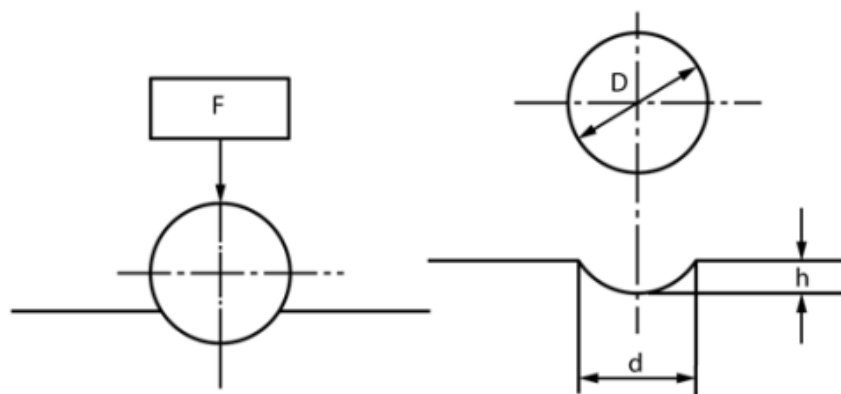
Metode umum yang digunakan saat ini untuk menguji kekerasan material atau logam adalah metode indentasi. Ini melibatkan pengukuran tahanan plastis permukaan material terhadap penetrator. Terdapat berbagai metode indentasi yang

digunakan, disesuaikan dengan spesifikasi bahan. Macam -macam pengujian kekerasan indentasi ditunjukkan pada gambar 2.10.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> Diamond cone; $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres 		 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg } 	

Gambar 2.10. Teknik pengujian indentasi (Callister, 2015)

Metode pengujian yang sering diterapkan adalah metode Brinell. Dalam pengujian kekerasan dengan metode Brinell, tujuannya adalah untuk mengukur tingkat kekerasan bahan dengan melihat resistensinya terhadap penetrasi bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan bahan uji (Fakhriza, 2021). Ilustrasi skema pengujian kekerasan Brinell diperlihatkan dalam gambar 2.11. (ASTM E10).



Gambar 2.11. Prinsip Tes Kekerasan Brinell (ASTM E10, 2015)

Angka kekerasan Brinell (BHN) dapat ditentukan dengan persamaan 2.1

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

P : Beban yang diberikan (Kgf)

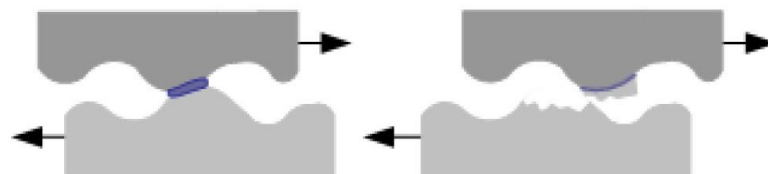
D : Diameter indenter (mm)

d : Diameter bekas lekukan (mm)

2. Keausan

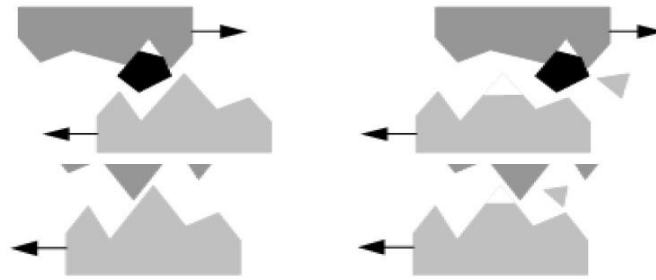
Keausan merupakan hasil dari pengikisan bagian permukaan yang bersentuhan akibat dari pergerakan relatif yang terjadi pada permukaan tersebut. Penyebab keausan pada suatu permukaan bisa timbul dari berbagai mekanisme serta kondisi seperti karakteristik material, lingkungan, kondisi operasional, dan geometri permukaan. Ada dua jenis mekanisme yang menyebabkan keausan, yakni keausan mekanis dan keausan kimia. Pada tahun 1957, Burwell mengklasifikasikan proses keausan menjadi empat jenis (Kurnia, 2016):

- 1) Keausan Gesek (*Sliding Wear / Adhesive Wear*): Keausan gesek terjadi ketika dua permukaan bersentuhan dan bergerak relatif sambil dikenai beban. Ini mengakibatkan perlekatan (*adhesive*) dan deformasi plastis pada kontak permukaan, yang pada akhirnya menghasilkan pengikatan (*bonding*) dan pelepasan sebagian kecil permukaan material satu oleh material lain



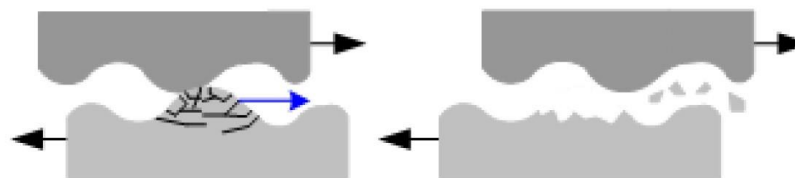
Gambar 2.12. Mekanisme keausan gesek (Aswar,2022)

- 2) Keausan Abrasif (*Abrasive wear*), merupakan proses pengikisan yang terjadi ketika partikel abrasif kasar dan keras berinteraksi dengan permukaan material yang lebih lembut, menyebabkan pemotongan pada permukaan yang lebih lembut.



Gambar 2.13. Mekanisme keausan abrasif (Aswar,2022)

- 3) Keausan lelah, Mekanisme keausan ini muncul dari interaksi permukaan saat materi mengalami beban berulang. Ini mengarah pada pembentukan retakan mikro yang pada akhirnya bergabung dan menyebabkan pengelupasan material, (lihat gambar 2.10)



Gambar 2.14. Mekanisme keausan lelah (Aswar,2022)

- 4) Keausan Korosi, Proses ini terjadi ketika lingkungan korosif mempengaruhi material secara kimiawi. Ini mengakibatkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan karakteristik berbeda dari bahan dasar. Ini bisa menyebabkan perpatahan pada antarmuka lapisan dan material dasar, akhirnya menyebabkan pengelupasan keseluruhan lapisan.

Memahami fenomena dan mekanisme keausan menjadi penting karena ini mempengaruhi bagaimana material merespons faktor-faktor eksternal. Proses ini memerlukan pengujian yang sesuai, seperti menggunakan metode tribometer "pin on abrasive", dimana perilaku keausan material diukur berdasarkan hilangnya sebagian material akibat gesekan, sebagai contoh mekanisme keausan mekanik. Metode tribometer pin on abrasive melibatkan pin yang diam tetap dan spesimen yang bersentuhan dengan permukaan yang berputar saat diberikan beban. Gesekan terjadi selama kontak, yang mengakibatkan hilangnya volume material. Besarnya

volume yang hilang akibat gesekan dan perpindahannya dapat digunakan sebagai indikator laju keausan.

Besar volume keausan pada spesimen dapat ditentukan dengan persamaan 2.2. (ASTM G99-17, 2017)

$$V (mm^3) = \frac{m_1 - m_2}{p} \times 1000 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- V = volume keausan (mm^3)
- m_1 = massa sebelum pengujian (gram)
- m_2 = massa setelah pengujian (gram)
- p = massa jenis spesimen ($gram/cm^3$)

$$Wa = \frac{\Delta V}{F.S} (mm^3 / Nm) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

- Wa : Laju keausan (mm^3 / Nm)
- ΔV : Volume loss (mm^3)
- F : Beban yang diberikan (N)
- S : limit distance (m) , $S = (\pi . D . \text{Jumlah Putaran})$

Keausan dapat diartikan sebagai hilangnya sebagian volume bahan akibat kerusakan pada permukaan padatnya. Umumnya, ini melibatkan proses progresif kehilangan material karena adanya gesekan antara permukaan-padat yang bersentuhan. Keausan tidak muncul sebagai karakteristik intrinsik bahan, tetapi sebagai respons bahan terhadap pengaruh lingkungan eksternal. Ketahanan aus merujuk pada kapabilitas bahan dalam menahan pengelupasan material yang diakibatkan oleh proses keausan.

2.2. Kajian Pustaka

Ali Medi dan Djoko W. Karmiadi (2010) meneliti pengaruh Tekanan dan Kandungan Grafit Terhadap Karakteristik Mekanis Bantalan Luncur Connecting Rod . Variasi tekanan adalah 400 MPa, 500 MPa, 600 MPa dan suhu sintering 550 C, dengan variasi holding times (HT) 1 jam, 2 jam and 3 jam. Dari pengujian didapatkan hasil laju aus mengalami nilai terendah pada tekanan 600 MPa dan holding time 3 jam, untuk spesimen kering dengan nilai 0,0044863 mm³ /gr.m, sedangkan untuk spesimen dilumasi oli adalah 0,0008973 mm³/gr.m. Ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu tahan maka laju aus dari material paduan aluminium grafit akan semakin meningkat artinya material semakin tidak tahan aus.

Aswar (2022) melakukan Studi komposit matrik aluminium berpenguat grafit dan tembaga dengan metode metalurgi serbuk. Pada penelitian ini, komposit matrik aluminium melalui teknik metalurgi serbuk disintesis dari campuran serbuk dengan variasi fraksi volume grafit (0, 1, 3 dan 5%) dan variasi fraksi volume tembaga (0, 4, 7 dan 10%). Green compact dihasilkan dengan metode cold uniaxial pressing pada tekanan 150 MPa dan suhu sinterisasi 600°C selama 90 menit. Hasil penelitian didapatkan kandungan grafit menurunkan tingkat porositas hingga 5,10% pada fraksi 5% grafit, peningkatan kekerasan dicapai hingga 81,52 HV yang diikuti laju ketahanan aus terbaik ditemukan pada komposit dengan fraksi 10% tembaga .

Sutoyo Siburian (2018) meneliti pengaruh penambahan grafit terhadap kekerasan dan laju keausan bantalan luncur connecting rod yang disinter pada Temperatur 800°C dan tekanan dengan tekanan 275 mPa. Bantalan luncur terbuat dari material perunggu dengan variasi penambahan grafit mulai 0%, 0,5%, 1%, 1,5% sampai 2,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat grafit yang rapuh dan licin dapat menambah usia pemakaian bantalan. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya laju keausan bantalan pada penambahan fraksi berat grafit mulai dari 0,50%, hingga sebesar 1,00%. Namun penambahan fraksi berat grafit di atas 1,00% tidak lagi efektif dalam menurunkan laju keausan namun sebaliknya nilai kekerasan menjadi semakin menurun dan laju keausan semakin besar.

Sri Endah, Ahmad Fudholi & Didit Sumardiyanto (2022) meneliti tentang efek grafit terhadap sifat mekanik bantalan Cu-Sn-Zn. Variasi berat grafit yang

digunakan adalah 0, 0,5, 1, 1,5 2. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan, densitas dan kekuatan luluh meningkat pada grafit 0,5 dan 1,0 wt%, namun nilai laju keausan dan porositas menurun. Sedangkan pada wt% 1,5 atau 2,0 nilai kekerasan, densitas dan kekuatan luluh menurun, sedangkan laju keausan dan porositas meningkat. Dengan demikian, sifat mekanik paduan Cu–Sn–Zn/Gr yang terbaik terjadi pada grafit% berat 1,0, dengan nilai kekerasan, laju keausan, densitas, porositas, dan kekuatan tekan 55 BHN, $1,88 \times 10^6 \text{mm}^3/\text{mm}$, $6,67 \text{gr}/\text{mm}^3$, 23,3% dan 538 mPa

Sai Mahesh dan Kumar Khanra (2019) dalam penelitiannya yang berjudul Studi Deformasi Panas Komposit Paduan Metalurgi Serbuk Al–Cu–Mg. Sai dan Kumar mensintesis komposit matrik aluminium (Al-4%Cu) dengan variasi Mg (0.25, 0.5, 0.75, 1%) kemudian disinterisasi pada suhu 550 °C selama 1 jam, hasil eksperimen menunjukkan peningkatan kekerasan sebanding dengan penambahan Mg, diperoleh kekerasan maksimum 110 HV