

## METALURGI SERBUK

### 9.1. Pendahuluan

#### 9.1.1. Sejarah Metalurgi Serbuk

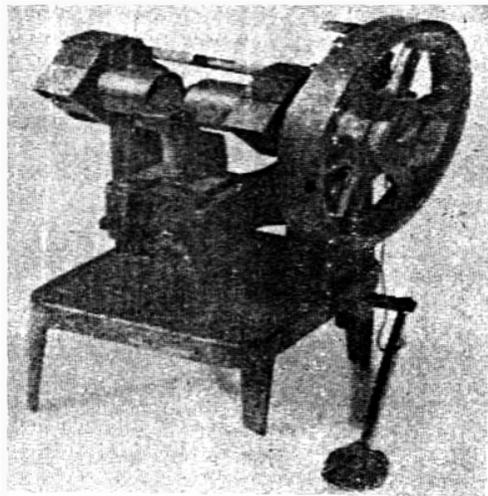
Proses produksi logam secara metalurgi serbuk sudah cukup dikenal sekitar abad ke – 18. Namun pada saat itu logam yang paling banyak diproduksi dengan proses ini sebatas emas dan perak. Hal itu mungkin dikarenakan logam ini memiliki sifat komersial yang tinggi dan membutuhkan waktu yang paling lama dalam prosesnya. Dan ketika mesin pres tekan mulai dipergunakan, yakni pada sekitar tahun 1870, metalurgi serbuk berkembang kepada bahan-bahan logam lainnya.

#### 9.1.2. Defenisi Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial, baik yang jadi atau masih setengah jadi (disebut *kompak mentah*), dari serbuk logam melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah *sinter* menghasilkan pengikatan partikel halus. Dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya meningkat. Produk hasil metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda jadi secara keseluruhan. Kobalt atau jenis logam lainnya diperlukan untuk mengikat partikel tungsten, sedang grafit ditambahkan pada serbuk logam bantalan untuk meningkatkan kualitas bantalan.

Serbuk logam jauh lebih mahal harganya dibandingkan dengan logam padat dan prosesnya, yang hanya dimanfaatkan untuk produksi massal sehingga

memerlukan die dan mesin yang mahal harganya. Harga yang cukup mahal ini dapat dibenarkan berkat sifat-sifat khusus yang dimiliki benda jadi. Beberapa produk hanya dapat dibuat melalui proses serbuk; produk lainnya mampu bersaing dengan proses lainnya karena ketepatan ukuran sehingga tidak diperlukan penyelesaian lebih lanjut. Serbuk emas dan perak serta yang lainnya telah lama dikenal dan penemuan pres tekan lainnya terlihat pada gambar 9.1 menggalakkan perkembangan metalurgi serbuk.



**Gambar 9.1.** Pres tekan yang digunakan sekitar tahun 1870

## 9.2. Sifat – sifat Khusus Serbuk Logam

Ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam, mempengaruhi karakter dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat menurut spesifikasi antara lain bentuk, kehalusan, distribusi ukuran partikel, mampu alir (flowability), sifat kimia, mampu tekan (compressibility), berat jenis semu dan sifat-sifat sinter.

### 1. Bentuk

Bentuk partikel serbuk tergantung pada cara pembuatannya, dapat bulat, tidak teratur, dendritik, pipih atau bersudut tajam.

## 2. Kehalusan

Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir dan ditentukan dengan mengayak serbuk dengan ayakan standar atau dengan pengukuran mikroskop. Ayakan standar berukuran mesh 36 - 850 $\mu\text{m}$  digunakan untuk mengecek ukuran dan menentukan distribusi ukuran partikel dalam daerah tertentu.

## 3. Sebaran Ukuran Partikel

Dengan sebaran ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari setiap ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh sebaran terhadap mampu alir, berta jenis semu dan porositas produk cukup besar. Sebaran tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran benda tekan.

## 4. Mampu Alir

Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak. Dapat digambarkan sebagai laju alir melalui suatu celah tertentu.

## 5. Sifat Kimia

Terutama menyangkut *kemurnian* serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya.

## 6. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volume serbuk semula dengan volume benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir. Kekuatan tekan mentah tergantung pada kompresibilitas.

## 7. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah atau berat jenis serbuk dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Harga ini harus tetap, agar jumlah serbuk yang mengisi cetakan setiap waktunya tetap sama.

### 8. Kemampuan Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan.

Bila disingkat sbb. → SKKBBD-MA-MS :

<u>S</u> ifat kimia	<u>K</u> ompresibilitas	<u>K</u> ehalusan	<u>B</u> entuk	<u>l. B.</u> jenis curah	<u>D</u> istribusi size	<u>M</u> ampu <u>A</u> lir	Mampu Sinter
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemurnian serbuk</li> <li>• J. oksidasi diperbolehkan</li> <li>• Kadar elemen lainnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribusi ukuran</li> <li>• Bentuk butir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses Pengayakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cara buanya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalam <math>\text{kg/m}^3</math></li> <li>• Harus sama dalam tiap prosesnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran benda tekan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daya memenuhi ruang cetak partikel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampu ikat partikel saat proses pemanasan (sinter)</li> </ul>

**Tabel 9.1.** Sifat-sifat serbuk logam

### 9.3. Cara Pembuatan Serbuk

Meskipun semua logam secara teoritis dapat dibuat menjadi serbuk, hanya beberapa jenis logam dimanfaatkan dalam pembuatan benda jadi. Beberapa jenis logam memang tidak dapat dibuat secara ekonomis. Yang digunakan adalah kelompok serbuk besi dan tembaga. Brons digunakan untuk membuat bantalan poreus, bras dan besi banyak digunakan untuk membuat suku cadang mesin yang kecil-kecil. Serbuk nikel, perak, wolfram dan aluminium banyak juga digunakan dalam metalurgi serbuk.

Berbagai jenis serbuk logam, karena mempunyai cirri-ciri fisis dan kimia tertentu memerlukan cara pembuatan yang berbeda. Prosedur berbeda, begitu pula ukuran dan struktur partikel. *Pemesinan* akan menghasilkan partikel yang kasar dan digunakan untuk membuat serbuk magnesium. Proses penggilingan dengan

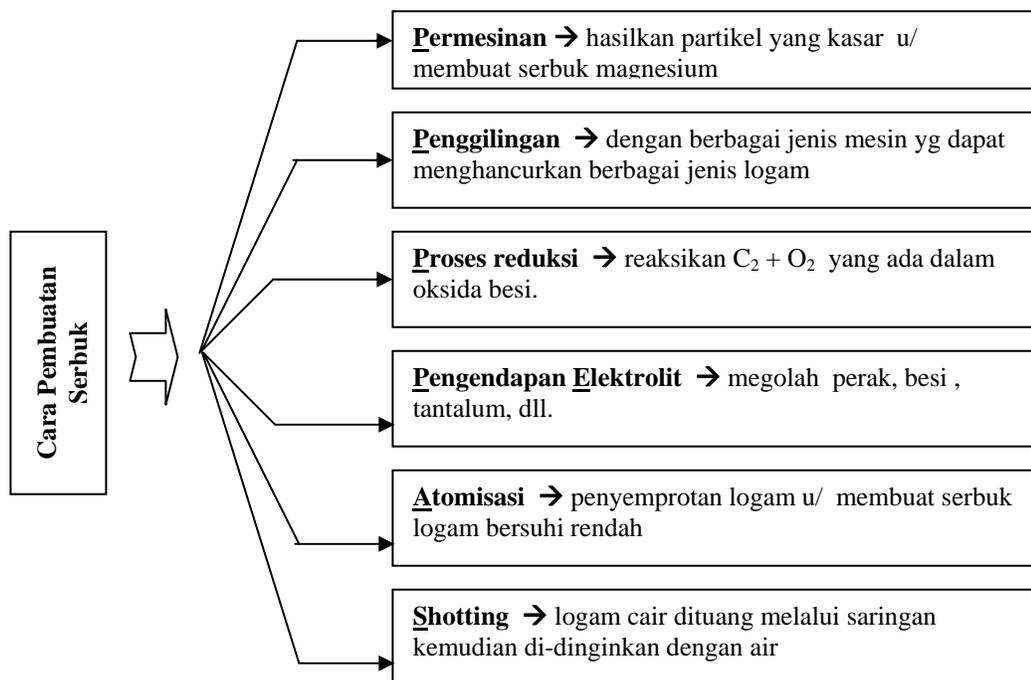
memanfaatkan berbagai macam mesin penghancur, mesin giling dan mesin tumbuk dapat menghancurkan berbagai jenis logam. Bahan yang rapuh dapat dihaluskan dan dihancurkan dengan cara ini. Proses ini juga dimanfaatkan pada pembuatan zat pigmen dari bahan yang duktil dan diperoleh partikel berbentuk serpih. Biasanya ditambahkan minyak untuk memecah penggumpalan. Shotting adalah operasi dimana logam cair dituangkan melalui suatu saringan atau lubang disusul dengan pendinginan dalam air. Proses ini menghasilkan partikel yang bulat atau lonjong. Logam pada umumnya dapat di"shot" namun kerap kali ukuran partikel yang dihasilkan terlalu besar. *Atomisasi* atau penyemprotan logam, merupakan suatu cara yang baik untuk membuat serbuk dari logam suhu rendah seperti timah hitam, aluminium, seng dan timah putih. Bentuk partikel tidak teratur dan ukurannya berbeda-beda. Proses ini disebut granulasi tergantung pada pembentukan oksida pada permukaan partikel selama proses pengadukan,

Pengendapan elektrolit (electrolytic deposition) adalah cara yang umum diterapkan untuk mengolah besi, perak, tantalum dan beberapa jenis logam lainnya. Untuk membuat serbuk besi digunakan elektroda plat baja yang dipasang sebagai anoda dalam tangki yang mengandung elektrolit. Plat baja tahan karat ditempatkan dalam tangki sebagai katoda dan besi mengendap dalam elektroda tersebut. Digunakan arus searah dan setelah  $\pm 48$  jam, diperoleh endapan setebal 2 mm. Plat katoda kemudian dikeluarkan dan besi elektrolitik dikeruk. Besi yang sangat rapuh ini dicuci lalu disaring. Serbuk diambil untuk pelunakan. Pada proses reduksi, oksida logam direduksi menjadi serbuk dengan mengalirkan gas pada suhu di bawah titik cair. Untuk serbuk besi, biasanya digunakan kerak, suatu oksida besi. Oksida ini dicampur dengan serbuk kokas dan dimasukkan ke dalam tanur putar.

Pada ujung pelepasan, campura ini dipanaskan sampai 1050°C, hal ini menyebabkan karbon bereaksi dengan oksigen yang terdapat dalam oksida besi. Terbentuklah gas yang dialirkan keluar. Besi yang tertinggal cukup murni dan berbentuk spons. Serbuk logam lainnya seperti wolfram, molibden, nikel dan kobalt dibuat dengan proses yang sama.

Cara produksi yang lain diikuti presipitasi, kondensasi, dan proses kimia telah dikembangkan untuk menghasilkan serbuk logam.

Beberapa cara fisis dan kimia yang digunakan secara garis besar diberikan oleh diagram berikut (PPPEesss Atom ngeShott.) :



**Diagram 9.1.** Berbagai cara pembuatan serbuk

#### 9.4. Cara Persiapan Serbuk Khusus

Persiapan serbuk dilakukan dengan dua cara, seperti yang dijelaskan berikut ini:

## 1. Serbuk paduan

Serbuk yang dihasilkan melalui pencampuran logam murni tidak akan mempunyai sifat yang sama dengan serbuk paduan. Serbuk campuran lebih disukai dikarenakan lebih mudah membuatnya dan hanya dengan tekanan yang lebih rendah serbuk paduan yang dipadu selama proses pencairan menghasilkan sifat produk yang hampir sama dengan paduan padatnya. Hal ini memungkinkan untuk dihasilkannya paduan seperti baja tahan karat dan komposisi paduan tinggi lainnya, yang sebelumnya tidak mungkin dibentuk melalui pencampuran. Serbuk logam pra-paduan mempunyai sifat-sifat seperti tahan korosi, kekuatan tinggi atau daya tahan terhadap suhu tinggi.

## 2. Serbuk berlapis

Serbuk logam dapat dilapisi dengan unsur tertentu, melalui caramengalirkan gas pembawa. Setiap partikel tersalut (*solute*) dengan merata, sehingga akan menghasilkan suatu produk yang bila disinter akan mengikuti karakteristik tertentu dari sifat bahan pelapisnya. Hal ini memungkinkan penggunaan serbuk murah dengan pengikat bahan aktif pada bagian luarnya. Produk yang dibuat dari serbuk berlapis yang telah disinter, jauh lebih homogen daripada produk yang dihasilkan dengan cara pencampuran.

Perbandingannya sebagai berikut :

<b>Serbuk Paduan</b>	<b>Serbuk Berlapis</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih mudah buatnya (ekonomis)</li> <li>• Tekanan lebih rendah</li> <li>• Hasilkan sifat yang hampir sama dgn paduannya</li> <li>• Komposisi paduannya tinggi</li> <li>• Hasilkan karakteristik yang diinginkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat dilapis unsur tertentu dengan mengalirkan gas pembawa</li> <li>• Setiap partikel tersalut dengan rata</li> <li>• Mengadopsi karakteristik tertentu dari bahan pelapisnya</li> <li>• Lapisan serbuknya jauh lebih homogen</li> </ul>

### 9.5. Mekanisme Pembentukan

Serbuk untuk produk tertentu harus dipilih dengan teliti agar terjamin suatu proses pembentukan yang ekonomis dan diperoleh sifat-sifat yang diinginkan untuk produk akhirnya.

Bila hanya digunakan satu jenis serbuk dengan sebaran ukuran partikel yang tepat, biasanya tidak diperlukan pencampuran lagi sebelum proses penekanan. Kadang-kadang berbagai ukuran partikel serbuk dicampurkan dengan tujuan untuk merubah beberapa karakteristik tertentu seperti yang telah dijelaskan sebelumnya ; mampu alir dan berat jenis, umumnya serbuk yang ada di pasar mempunyai sebaran ukuran partikel yang memadai. Pencampuran akan sangat penting bila menggunakan campuran serbuk, atau bila ditambahkan serbuk bukan logam. Pencampuran serbuk harus dilakukan di lingkungan tertentu untuk mencegah terjadinya oksida atau kecacatan.

Hampir semua jenis serbuk memerlukan pelumas pada proses pembentukan untuk mengurangi gesekan pada dinding cetakan serta untuk memudahkan pengeluaran. Meskipun penambahan pelumas menyebabkan peningkatan porositas namun sebenarnya fungsi pelumas dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat produksi yang banyak digunakan pada mesin peres dengan pengumpan otomatis. Pelumas tersebut antara lain adalah asam stearik, lithium stearat dan serbuk grafit.

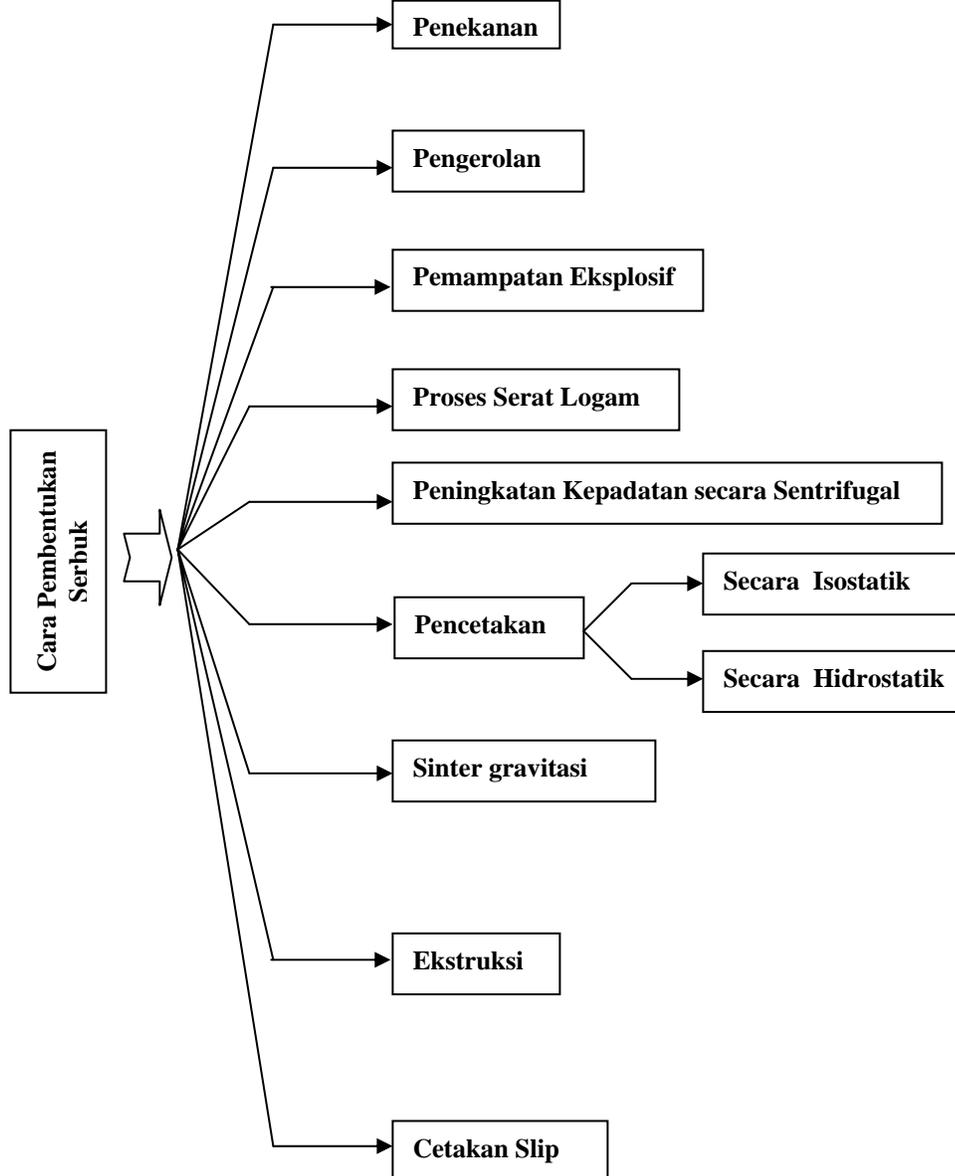
Sehingga disimpulkan faktor penting yang patut diperhatikan sbb. :

1. **P**emilihan mesin dan bahan material,
2. **P**encampuran bahan,
3. **P**elumas,
4. **P**orositas,
5. **Apa** tujuan proses-nya

6. **Karakteristik** → ; Tahan Lunak, Tahan Aus, Tahan Impact pada suhu tinggi,  
Ketangguhan bahan, Kekerasan, Berat jenis, dan Mampu alir

(\* Disingkat : P4ApaKaTahanLunak, Aus, Impact, Keras, Bahan Tangguh, BJ,  
Mampu Alir.

Diagram pembagian berbagai proses-nya :



**Diagram 9.2.** Berbagai cara pembentukan serbuk

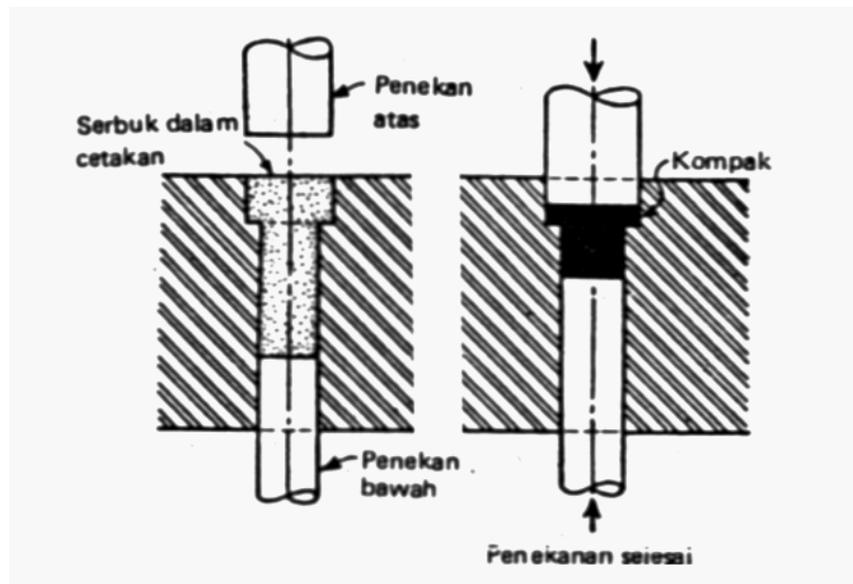
### 9.5.1. Cara Penekanan (*Pressing*)

Serbuk diteka dalam die baja dengan tekanan 20 – 1400 MPa. Karena partikel yang lunak dapat ditekan dengan mudah, dan serbuk yang bersifat plastic tidak memerlukan tekanan tinggi. Sedang untuk serbuk yang lebih keras dengan berat jenis yang memadai memerlukan tekanan yang lebih besar.

Berat jenis dan kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan yang diberikan, akan tetapi selalu ada tekanan optimum (rekomendasi atau yang lebih tepat). Diatas tekanan optimum ini terjadi peningkatan sifat-sifat yang sebenarnya tidak berarti lagi. Untuk tekanan yang lebih tinggi diperlukan die yang kuat dan mesin pres berkapasitas tinggi, sehingga dengan sendirinya ongkos produksi naik karena meningkatnya tekanan yang diperlukan.

Umumnya mesin pres yang dikembangkan untuk proses lain dapat dimanfaatkan pula untuk metalurgi serbuk. Meskipun pres mekanik banyak digunakan karena laju produksi yang tinggi, pres hidraulik digunakan bila benda besar dan bila diperlukan tekanan yang tinggi. Pres “*punch*” tunggal dan pres “*multy-punch rotary*” berkecepatan tinggi didesain sedemikian rupa sehingga operasinya mulai pengisian cetakan dengan serbuk, pengeluaran benda cetak jadi, berlangsung kontinu dan bertahap.

Pres meja putar mempunyai laju produksi yang tinggi, karena dilengkapi dengan serangkaian lubang die, yang masing-masing dilengkapi dengan *pounds* atas dan bawah. Selama produksi meja berputar, operasi pengisian, penekanan dan pengeluaran produk berlangsung secara bertahap. Pada gambar 9.2, tampak susunan *pounds* dan die yang sederhana untuk memadatkan serbuk logam. Ada dua penekan, penekan atas yang sesuai dengan bentuk bagian atas dari benda dan penekan bawah yang sesuai dengan bentuk die bagian bawah.

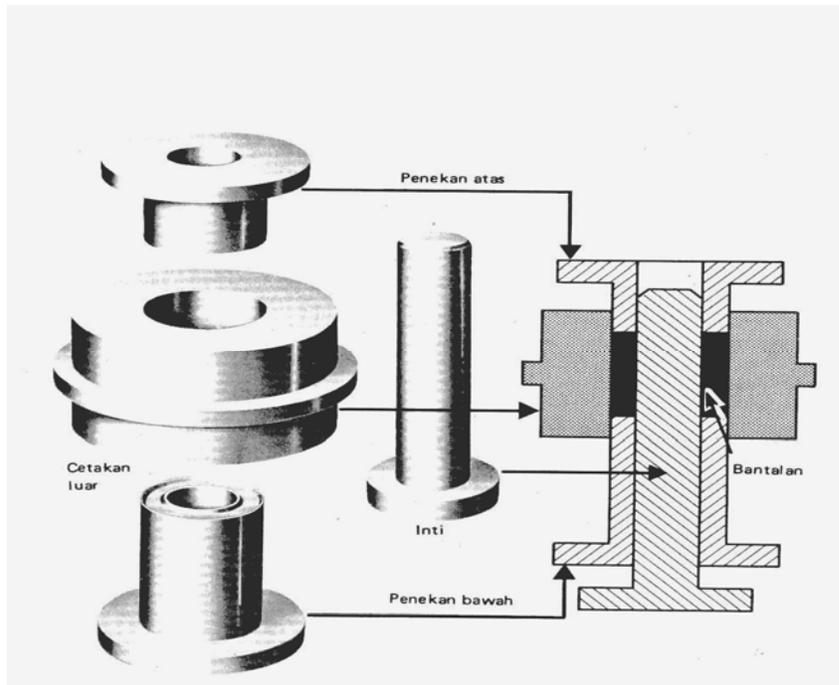


**Gambar 9.2.** Susunan penekan dan die untuk memadatkan serbuk logam

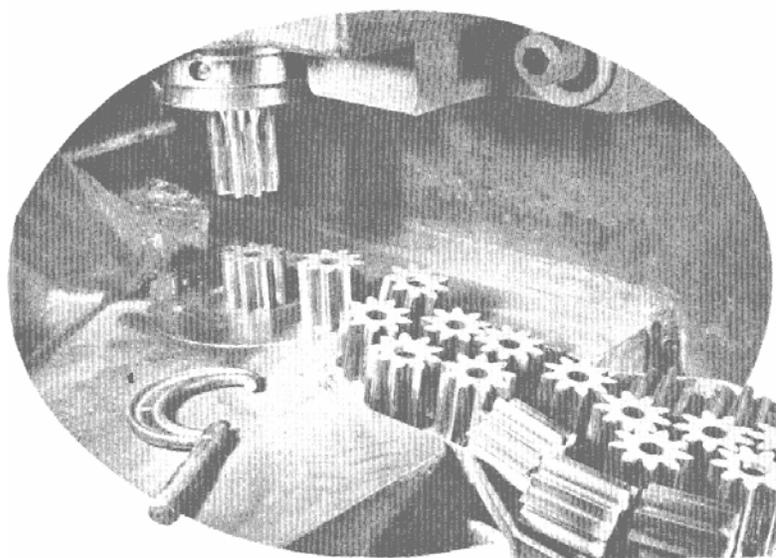
Penekan bawah sekaligus berfungsi sebagai *ejector* untuk mengeluarkan benda yang telah dicetak. Ruang die harus halus untuk mengurangi gesekan dan harus tirus sedikit untuk memudahkan pengeluran benda. Gesekan dinding akan mengurangi tekanan ke serbuk dan bila tekanan bekerja pada satu sisi saja, dalam benda itu sendiri akan timbul perbedaan berat jenis (dari atas ke bawah). Oleh karena itu digunakan penekan baik atas maupun bawah. Jarak penekanan tergantung pada rasio kompresi serbuk. Untuk besi dan tembaga, harga berkisar dari  $2\frac{1}{2} - 1$ . Ruang die diisi sampai ketinggian 3 kali tinggi benda jadi. Bentuk benda yang dikeluarkan atau yang disebut dengan *kompak mentah*, telah menyerupai produk akhir akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir diperoleh setelah proses sinter. Susunan peralatan untuk menekan serbuk brons tampak dalam gambar 9.3.

Pada gambar 9.4. tampak mesin pres untuk membuat roda gigi kecil dari logam, berbagai alat peralatan dapat dibuat dengan proses tekan tanpa pengerjaan lanjutan, cukup disinter. Diperkirakan bahwa diperlukan tekanan sebesar 150 – 500

MPa untuk membentuk kompak mentah. Proses sinter meningkatkan kekuatan dan memperbaiki struktur kristal setelah itu.



**Gambar 9.3.** Susunan peralatan untuk menekan serbuk brons menjadi bantalan



**Gambar 9.4.** Pembuatan roda gigi kecil dari serbuk logam

Besar benda serbuk yang dapat dibuat tergantung pada kapasitas pres. Luas kompak dapat dihitung dari hubungan berikut :

$$A = \frac{F}{P}$$

$A$  = luas ( $m^2$ )

$F$  = kapasitas mesin pres (Newton ~ N)

$P$  = tekanan kompak yang dipersyaratkan (Pascal ~ Pa)

Berat jeni merupakan salah satu cirri khas produk serbuk logam. Tekanan yang lebih besar menghasilkan benda dengan berat jenis yang lebih tinggi, oleh karena itu kekuatannya bertambah. Berat jenis dapat ditingkatkan dengan menggunakan sebruk yang lebih halus.

### **9.5.2. Dengan Peningkatan Kepadatan Secara Sentrifugal**

Pemadatan sentrifugal merupakan suatu cara untuk menghasilkan benda dengan berat jenis yang merata khususnya untuk serbuk logam berat. Cetakan diisi dengan serbuk kemudian diputar hingga mencapai tekanan sekitar 3 MPa. Akan diperoleh berat jenis yang merata, karena gaya sentrifugal bekerja pada masing-masing partikel serbuk. Setelah dikeluarkan dari cetakan, kompak diolah seperti lazimnya. Tehnik ini hanya diterapkan pada benda yang dibuat dari serbuk logam berat seperti karbida wolfram. Bentuk benda sedapat mungkin uniform, oleh karena ketebalan yang berbeda menghasilkan benda yang kurang merata padatnya.

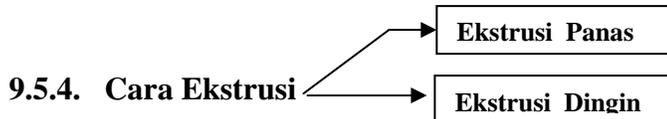
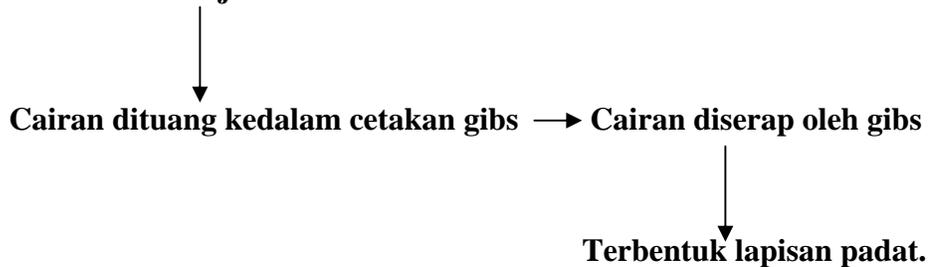
### 9.5.3. Cetakan Slip

Kompak mentah dengan serbuk wolfram, molibden dan serbuk lain kadang-kadang dibuat dengan metode slip. Serbuk yang diubah menjadi campuran kental, mula-mula dituangkan dalam cetakan yang dibuat dari gips,

Karena cetakan ini poreus, cairan terserap dan terbentuklah lapisan bahan yang padat pada permukaan cetakan. Setelah terbentuk lapisan dengan ketebalan tertentu, cairan kental yang berlebihan dituangkan keluar menghasilkan benda yang berongga. Prosedur ini sangat sederhana dan memungkinkan dibentuknya benda dengan berbagai bentuk dan ukuran. Proses ini banyak digunakan untuk membuat benda-benda keramik.

Berikut tahapan proses-nya :

**Serbuk diubah jadi cairan kental**



Cara ini dimaksudkan untuk membuat benda dengan berat jenis tinggi dan memiliki sifat mekanik yang baik, sehingga prosesnya sangat tergantung pada karakter serbuk yang digunakan. Banyak menggunakan elemen bahan bakar nuklir. Bahan logam lainnya yang digunakan : Aluminium, Tembaga, Nikel

Benda berbentuk panjang dibuat dengan proses ekstrusi. Perkembangan di bidang ini memungkinkan dibentuknya benda dari serbuk dengan berat jenis yang tinggi dan sifat mekanik yang baik. Cara ekstrusi tergantung pada karakteristik serbuk, beberapa jenis serbuk memerlukan ekstrusi dingin dengan bahan pengikat sedang lainnya dapat dipanaskan sampai suhu ekstrusi tertentu.

Umumnya serbuk ditekan, membentuk billet, disusul dengan pemanasan atau sinter dalam lingkungan tanpa oksidasi sebelum dimasukkan dalam pres. Ada kalanya untuk menghindarkan oksidasi, billet tadi dimasukkan dalam wadah logam yang ditutup rapat sebelum dimasukkan ke dalam pres. Proses ini banyak diterapkan pada elemen bahan bakar padat nuklir dan bahan-bahan lainnya seperti untuk penggunaan pada suhu tinggi. Logam-logam lainnya seperti aluminium, tembaga, nikel dapat diekstrusi juga.

Berikut tahapan prosesnya :

**Serbuk ditekan**



**Membentuk billet → Billet terbentuk kemudian di-Sinter**



**Dimasukkan ke dalam wadah logam kedap udara (u/  
mencegah oksidasi)**



**Di proses ke Mesin Freis.**

#### **9.5.5. Cara Sinter Gravitasi**

Lembaran logam dengan porositas terkendali dapat dibuat dengan proses sinter gravitasi. Proses ini banyak diterapkan untuk pembuatan lembaran baja tahan karat. Serbuk dengan ketebalan merata diletakkan diatas tatakan keramik dan disinter selama 48 jam dalam lingkungan gas ammonia pada suhu tinggi. Lembaran tersebut kemudian digiling agar ketebalan merata dan agar memiliki penyelesaian permukaan yang lebih baik. Lembaran tadi kemudian dapat dibentuk lebih lanjut. Lembaran baja porous tahan karat digunakan sebagai filter di industri minyak bumi dan kimia.

Output produk → output produk dengan porositas terkendali.

#### **9.5.6. Dengan Mengerol**

Dari tempat pengumpan, serbuk dimasukkan diantara dua rol yang menekan dan membentuknya menjadi lembaran dengan kekuatan yang memadai sehingga dapat dimasukkan ke dalam dapur sinter. Lembaran tersebut kemudian dirol melalui beberapa pasangan rol lainnya dan mengalami perlakuan panas selanjutnya bila diperlukan. Dengan mencampurkan serbuk sebelum memasuki rol, dapat dibuat lembaran paduan. Serbuk logam yang dapat dirol menjadi lembaran adalah tembaga, perunggu, kuningan, monel dan baja tahan karat. Sifat mekanik yang merata dan porositas yang terkendali dapat dihasilkan melalui proses rol ini.

Produk output dalam bentuk lembaran logam. Logam yang digunakan tembaga (Mg), Kuningan, Perunggu, Monel, baja tahan karat.