



# Plagiarism Checker X Originality Report

**Similarity Found: 13%**

Date: Friday, February 21, 2020

Statistics: 1823 words Plagiarized / 14100 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

---

PENDAHULUAN Perkembangan peradaban manusia dapat diukur dari kemampuannya dalam mengolah material untuk memenuhi kebutuhan hidupnya contohnya pada jaman batu, perunggu dan seterusnya. Pada tahap awal manusia hanya mampu mengolah material yang tersedia di alam misalnya : kayu, batu, kulit, tanah dan sebagainya, dengan meningkatnya peradaban manusia bahan - bahan alam tersebut diolah sehingga menghasilkan bahan baru yang memiliki nilai ekonomis dan fungsi lebih tinggi (Gambar 1.1). / Gambar 1.1

Perkembangan Material Ilmu material merupakan disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara pembentuk bahan/material dengan sifat-sifat material pembentuknya. Sedangkan Ilmu rekayasa material merupakan hubungan antara struktur dan sifat material, mendesain struktur bahan untuk memperoleh sifat – sifat yang diinginkan, dimana struktur dari sebuah material merupakan pengaturan atau susunan elemen – elemen di dalam bahan.

Material didalam sebuah produk memiliki beberapa sifat, diantaranya densitas, kekerasan, ketangguhan, kekuatan, konduktifitas termal yang dipilih untuk memenuhi syarat dalam mendesain. Sarjana teknik harus mengerti prinsip dasar dalam menilai suatu produk yang akan didesain atau yang akan dimodifikasi yang didalamnya mencakup sifat-sifat material.

KLASIFIKASI BAHAN/MATERIAL Pengelompokan material didasari pada susunan atom dan sifat kimiawi dari suatu unsur. Demi keseragaman dan dengan maksud memudahkan, material dapat diklasifikasikan atau dikategorikan dalam enam kelompok yang memiliki karakteristik sama seperti berikut : Logam Material logam tersusun dari atom yang saling berikatan dalam bentuk struktur logam, dimana elektron valensinya

bebas bergerak sehingga kelompok material ini memiliki konduktifitas listrik dan konduktifitas termal yang baik. Logam tidak transparan atau tembus cahaya dan umumnya dapat dipoles sehingga mengkilap.

Umumnya logam memiliki kekuatan yang cukup tinggi, namun ulet dan ralatif berat dan mampu dibentuk, contohnya logam besi (Gambar 1.2). / Gambar 1.2 Logam besi Polimer Material yang tergolong dalam polimer adalah Karet dan Plastik yang merupakan senyawa organik dengan unsur pembentuk berupa karbon, oksigen dan hidrogen. Unsur tersebut tersusun dalam bentuk rantai molekul panjang dan memiliki ukuran molekul yang besar.

Atom-atom dalam rantai polimer terikat secara kovalen, sementara ikatan antar rantai terjadi adalah ikatan van der Waals (Gambar 1.3). Polimer dikenal karena densitas yang rendah sehingga sifatnya ringan dan sangat fleksibel sehingga mudah dalam proses pembentukan. / Gambar 1.3 Jenis Polimer Keramik Material Keramik merupakan campuran atau senyawa antara logam dan non logam yang memiliki ikatan ionik.

Banyak sekali contoh material keramik, mulai dari semen pada beton hingga magnet permanen. Umumnya senyawa keramik tersusun dalam bentuk oksida ( $ZnO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  dll), Karbida ( $WC$ ,  $SiC$ , dll), Nitrida ( $TiN$ ,  $AlN$  dll). Material ini umumnya merupakan Isolator, tahan temperature tinggi dan sangat keras.

Beberapa yang termasuk dalam kategori dari keramik adalah semen, kaca dan keramik yang terbuat dari tanah lempung. / Gambar 1.4 Produk keramik Komposit Material komposit merupakan adalah campuran atau gabungan beberapa material yang membentuk sebuah material baru. contohnya umum yang sering kita jumpai adalah beton bertulang yang terdiri baja tulangan pasir batu dan semen sebagai bahan pengikat.

Komposit didesain dengan memanfaatkan sifat-sifat material tertentu yang dipadukan dengan sifat material lainnya hingga sinergi (Gambar 1.5). Fiberglass yang merupakan produk komposit yang terdiri dari serat kaca (glass) dan resin sebagai pengikat didesain agar memiliki kekuatan yang cukup tinggi, tetapi memiliki kelenturan yang cukup baik. / Gambar 1.5

Pemaduan Komposit Semikonduktor Material Semikonduktor merupakan material yang memiliki sifat penghantar setengah menghantar listrik dan isolator contohnya pada elektronik yaitu IC, transistor (Gambar 1.6). Sifat penghantar listrik ini sangat sensitive terhadap adanya atom asing. Material Semikonduktor ini merupakan material rekayasa yang memberikan terobosan sangat besar dalam dunia industri.

Sebagai contoh, ukuran elektronik yang didesain semakin kecil dengan fungsi dan kapabilitas yang tinggi. / Gambar 1.6 Contoh Semikonduktor Biomaterial Biomaterial merupakan material baik logam ataupun polimer yang digunakan untuk menggantikan atau mensupport komponen-komponen pada tubuh manusia.

Material jenis ini tidak boleh menghasilkan unsur racun atau bereaksi dengan tubuh manusia, dengan kata lain biomaterial merupakan material selektif yang komportibel dengan jaringan tubuh. Baja tahan karat (Stainless steel) yang dipadukan dengan polimer dan titanium merupakan salah satu contoh biomaterial yang dimanfaatkan sebagai material pengganti lutut buatan. / Gambar 1.7

Contoh Biomaterial Keseluruhan material yang terdapat dialam maupun material rekayasa membutuhkan suatu proses yang rumit dalam proses pembuatan dalam bentuk produk. Pada bab selanjutnya pada buku ini akan dijabarkan beberapa proses pembentukan material secara umum (terutama logam) mulai dari proses bahan tambang menjadi bahan setengah jadi, hingga proses bahan setengah jadi menjadi sebuah produk.



**PENGECORAN** Pengecoran merupakan proses pembuatan logam tertua yang dikenal manusia, bahkan telah ditemukan benda cor yang diduga berasal dari tahun 2000 S.M. Penelitian yang berkesinambungan dan lama di bidang pengecoran telah menghasilkan berbagai proses pengecoran. Ada dua kecenderungan yang terjadi pada industri pengecoran. Pertama adalah mekanisasi dan otomatisasi dalam proses pengecoran yang berdampak pada peralatan dan tenaga yang digunakan.

Mesin-mesin modern dan sistem kontrol proses otomatis telah menggantikan peran dari mesin-mesin tradisional dengan pengaturan manual. Kedua, semakin besar tuntutan akan kualitas produk dengan toleransi yang semakin teliti. **KLASIFIKASI PENGECORAN** Pengecoran dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan pada material cetakan, proses pencetakan, dan metode pemberian logam cair, yaitu : pengecoran dengan expendable-mold (sekali pakai) dan pengecoran dengan permanent-mold (permanen).

Expandable-mold dibuat dari pasir, plaster, keramik, dan material yang sejenis yang biasanya dicampur dengan berbagai pencampur atau peralatan pengikat. Cetakan ini memiliki kemampuan untuk tahan terhadap tempertur tinggi dari logam melebur. Setelah coran membeku, maka cetakan ini dihancurkan untuk mengeluarkan produk coran.

Pengecoran dengan expandable-mold meliputi: pengecoran pasir (sand casting), pengecoran cetakan kulit (shell-mold casting), pengecoran cetakan plaster (plaster-mold casting), pengecoran cetakan keramik (ceramic-mold casting), pengecoran investmen (investment casting) pengecoran vakum (vacuum casting) Permanent-mold telah didesain sedemikian rupa sehingga coran dapat dengan mudah dikeluarkan dan cetakan dapat digunakan untuk pengecoran selanjutnya.

Cetakan dibuat dari logam-logam yang memiliki kekuatan baik pada temperatur tinggi dan dapat digunakan lagi. Cetakan logam memiliki kemampuan hantar panas lebih baik dari expandable-mold, sehingga proses pembekuan cepat karena laju pendinginan yang terjadi cepat yang mempengaruhi mikrostruktur dan ukuran butir logam coran.

Composite-mold (cetakan gabungan) dibuat dari dua material yang berbeda, seperti pasir, grafit dan logam digabungkan keunggulan dari setiap materil tersebut. Cetakan ini telah digunakan untuk berbagai pengecoran dengan tujuan meningkatkan kekuatan cetakan, laju pendinginan dan proses ekonomis. **PENGECORAN PASIR (SAND CASTING)** Pengecoran pasir merupakan metode pengecoran logam traditionil.

Pengecoran pasir terdiri dari cetakan pasir yang membentuk suatu ruang kosong tertentu (seperti bentuk pola), kemudian sejumlah logam panas di tuangkan. Setelah

solidifikasi coran selesai, cetakan dihancurkan dan coran dipisahkan dari ceyakan. PASIR Sebagian besar operasi pengecoran pasir menggunakan pasir silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan banyak terdapat di seluruh Nusantara.

Pasir ini sangat cocok sebagai bahan cetakan karena tahan terhadap temperatur tinggi tanpa terjadi penguraian dan murah harganya. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan pasir untuk cetakan, diantaranya : ketahanan terhadap tempertur tinggi, permeabilitas, kekuatan dan bentuk dan ukuran butir. Tahan temperatur tinggi merupakan salah satu kriteria yang harus dipenuhi sehingga pasir tidak ikut melebur dan bercampur dengan produk coran.

Permeabilitas meruapakan porositas pasir yang memungkinkan untuk pelepasan gas dan uap yang terbentuk dalam cetakan. Pasir cetak berbutir kasar mempunyai nilai permeabilitas yang tinggi. Nilai permeabilitas dapat diubah dengan mencampurkan pasir berbutir halus. Kekuatan cetakan ditentukan oleh gaya kohesi. Pasir silika murni tidak dapat dimanfaatkan sebagai pasir cetakan karena tidak memiliki daya pengikat.

Pencampuran lempung dalam kadar tertentu dapat meningkatkan daya ikatnya dan dapat dimanfaatkan untuk membuat cetakan. Jenis lempung yang digunakan adalah kaolin, ilit dan bentonit (sejenis abu vulkanik yang telah lapuk). Ukuran dan bentuk butir ditentukan oleh jenis cetakan. Cetakan yang kecil dan rumit digunakan pasir yang halus sehingga dipereloreh benda coran dengan permukaan yang baik.

Cetakan yang besar digunakan pasir yang lebih besar untuk memudahkan pelepasan gas. Butir tajam dan teka berturan sangat baik karena kemampuan merekat baik dan menigkatkan kekuatan cetakan. Persiapan pasir cetak perlu dilakukan dan merupakan faktor penting yang menentukan kualitas cetakan.

Persiapan pasir cetak merupakan proses pengkondisian pasir dengan penambahan bahan-bahan aditif untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu. Mesin Mulling telah digunakan untuk mengaduk pasir dengan bahan-bahan aditif sehingga menjadi campuran yang merata. Tanah liat (bentonite) telah digunakan sebagai pengikat partikel-partikel pasir dan dapat meningkatkan kekuatan cetakan.

Pasir zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), olivine ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) dan iron silicate ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) sering digunakan karena ekspansi temal yang rendah. Sedangkan chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) digunakan karena kemampuannya dalam perperpindahan panas. JENIS CETAKAN PASIR Cetakan pasir dikelompokkan berdasarkan jenis pasir dan metode membuatnya.

: Cetakan pasir basah (green-molding sand) disebut pasir hijau karena pasir tersebut

lembab dan warnanya tidak bisa berubah. Pasir jenis ini merupakan suatu campuran pasir, lempung dan air. Cetakan kulit kering (skin-dried molds) biasanya digunakan untuk cetakan besar karena dimiliki kekuatan yang baik sehingga diperuntukkan untuk pengecoran besar.

Ada dua cara yang dapat dilakukan, yaitu : Cold-box processes, berbagai perekat organik dan bukan organik dicampurkan dalam pasir sehingga kekuatan semakin besar. Dimensi cetakan lebih akurat dibandingkan dengan cetakan pasir basah namun lebih mahal. No-bake mold process, suatu resin cairan sintetik dicampurkan dengan pasir dan campuran mengeras pada temperatur kamar.

Ikatan pada cetakan ini terjadi tanpa melibatkan panas maka proses ini disebut juga dengan cold-setting processes. Cetakan pasir kering (dry-sand molds) dibuat dari pasir yang kasar dengan bahan pengikat. Karena harus dipanaskan dalam dapur sebelum digunakan, tempat cetakan terbuat dari logam.

Cetakan pasir kering tidak menyusut sewaktu kena panas dan bebas dari gelembung udara. Baik cetakan permukaan maupun cetakan pasir kering banyak digunakan dipengecoran baja. Secara umum, pasir dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu: naturally bonded (bank sands) dan synthetic (lake sands).

Penggunaan pasir sintetik lebih disukai, karena komposisinya dapat diatur. Beberapa yang harus diperhatikan dalam memilih pasir untuk cetakan, diantaranya ukuran dan bentuk pasir. Semakin bulat bentuk dan semakin halus ukuran butir akan semakin padat dan halus permukaan cetakan.

Cetakan dapat menyerap air, melewati gas dan uap keluar dari cetakan selama pengecoran. KOMPONEN CETAKAN PASIR Cetakan pasir memiliki beberapa komponen. Komponen-komponen utama dari suatu cetakan akan diuraikan berikut ini (Gambar 2.1). Rangka cetak (flask) merupakan tempat cetakan dibuat. Rangka cetak terdiri dari dua bagian, yaitu bagian atas disebut cope dan bagian bawah disebut drag.

Pak kotak cetak yang terdiri dari tiga bagian, bagian tengahnya disebut cheek. Wadah penuangan (pouring basin atau pouring cup) merupakan tempat logam cair dituangkan. Saluran turun (sprue) merupakan saluran turun bagi logam cair. Saluran masuk (gate) dan pengalir merupakan saluran masuk logam cair ke rongga cetakan. Saluran yang mengarahkan logam cair dari saluran turun ke rongga cetakan disebut juga runner system.

Penambah (riser) merupakan suatu rongga dengan penampang yang cukup besar

sehingga logam dapat dipertahankan dalam keadaan cair selama mungkin. Letaknya dekat rongga cetakan yang agak besar yang diperkirakan akan terjadi penyusutan yang cukup berarti. Inti (core) merupakan bagian dalam dari suatu coran atau bentuk dalam rongga cetakan untuk mencegah pengisian logam pada bagian tertentu.

Lubang angin (vent) diberikan pada cetakan sebagai tempat saluran keluar gas yang terbentuk sewaktu logam cair kontak dengan pasir cetakan maupun inti. Saluran ini juga berfungsi sebagai saluran udara keluar dari rongga cetakan yang telah didesak oleh logam cair. POLA/PATRON Pola dapat dibuat dari kayu, plastik atau logam.

Pemilihan material pola tergantung pada ukuran dan bentuk, keakuratan dimensi kualitas coran dan proses pengecoran. Pola juga dapat dibuat dengan mengkombinasikan penggunaan material untuk mengurangi goresan pada daerah tertentu. Penggunaan kayu untuk pola lebih murah dan mudah dibentuk. Pola dari logam lebih awet sehingga cocok digunakan untuk produksi massal.

Kuningan, besi cor dan aluminium telah digunakan sebagai bahan pola. Aluminium banyak digunakan karena mudah dibentuk, ringan dan tahan korosi. Pola logam mengikuti pola induk yang terbuat dari kayu. Kegiatan mendesain dan membuat pola merupakan suatu aspek yang sangat penting dalam proses pengecoran. Desain suatu pola sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan penggunaan dan ekonomis.

Pola dapat terdiri dari hanya satu bagian atau beberapa bagian untuk memudahkan pembuatan cetakan atau dibentuk dengan menggunakan papan penuntun. Pola tunggal (one-piece patterns) disebut juga loose atau solid pattern biasanya digunakan untuk bentuk-bentuk sederhana dan kualitas produk rendah. Material yang digunakan untuk pola jenis ini adalah kayu dan pola ini tidak mahal.

Pola belah (split patterns) adalah pola yang terdiri dari dua bagian yang merupakan rongga cetakan. Bentuk-bentuk yang rumit dapat dibuat dengan pola ini. Papan penuntun (match-plate patterns) merupakan jenis yang terkenal dimana pola yang terdiri dari dua bagian dapat dibuat dari setengah bagian tersebut atau pola belah terhadap sisi satunya lagi dengan sebuah pelat.

INTI Inti dibutuhkan pada suatu cetakan yang memerlukan rongga atau lubang, seperti pengecoran blok mesin automotif dengan rongga tempat silinder piston, atau pengecoran katup dengan rongga bagian dalam tempat fluida akan dialirkan. Inti dapat didefinisikan sebagai bentuk dalam cetakan untuk mencegah pengisian logam pada bagian tertentu. Inti dapat berupa bagian dari pola itu sendiri atau bagian terpisah yang dipasang kemudian setelah pola dikeluarkan.



Dengan demikian inti dapat membentuk permukaan dalam atau luar dari benda cetak tersebut. Inti bagian dari cetakan **biasanya dibuat dari pasir** basah dan disebut juga inti pasir basah. Sedangkan inti yang terpisah disebut juga inti pasir kering seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2.

Penggunaan inti pasir basah lebih ekonomis daripada inti pasir kering yang menghaluskan pembuatan inti terpisah. MESIN PEMBUAT CETKAN PASIR (SAND-MOLDING MACHINES) Penggunaan mesin dalam proses memadatkan pasir cetakan dapat meningkatkan mutu cetakan dan laju produksi lebih cepat. Mekanisasi proses memadatkan pasir dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu : guncang, pendesak dan pelempar pasir **seperti diperlihatkan pada Gambar** 6.3.

Penguncangan untuk memadatkan pasir dalam rangka cetak dilakukan dengan cara gerak naik-turun rangka cetak. Penguncangan dapat dilakukan dengan atau tanpa kepala. Hasil pemadatan dengan mekanisme penguncangan dan kepala di bagian atas lebih baik daripada tanpa kepala di bagian atas. Umumnya pasir lebih padat disekitar pola dan batas permukaan pemisah.

Proses pemadatan yang merata, cetakan yang lebih bermutu, lebih kuat sehingga kemungkinan terjadi cacat dapat berkurang. Pengguncang merupakan mekanisme pemadatan pasir. Penguncangan dapat dilakukan dengan gerakan naik-turun meja **yang digerakkan oleh udara bertekanan** (Gambar 2.4). Umumnya pasir lebih padat disekitar pola dan pada batas permukaan pemisah. Kepadatan tergantung pada tinggi jatuh dan tinggi/tebal pasir dalam cetakan.

Proses pemadatan yang merata menjadikan cetakan lebih bermutu, lebih kuat dan kemungkinan terjadinya cacat berkurang. Pendesakan juga salah satu mekanisme yang digunakan untuk memadatkan pasir cetakan. Pemadatan dilakukan dengan mendesak pasir cetakan sehingga padat. **Kepadatan tertinggi terdapat pada** sisi cetakan yang searah dengan gaya.

Mesin pendesak umumnya digunakan untuk membuat cetakan yang tipis dengan ketebalan beberapa cm saja, karena sulit untuk memperoleh kepadatan pasir yang merata. Pendesakan dapat dilakukan dengan berbagai jenis kepala pendesak (head), yaitu kepala datar konvensional, kepala berprofil, equalizing piston dan diapragma fleksibel **seperti diperlihatkan pada Gambar** 2.5. Pelempar pasir dapat menempatkan pasir lebih merata dapat dilakukan.

Mekanisme pelempar pasir telah dikembangkan untuk cetakan-cetakan besar seperti

pada Gambar 2.6. Pasir ditempatkan dalam kotak yang besar berkapasitas 8,5 m<sup>3</sup>, yang sewaktu-waktu dapat diisi kembali. Pasir diteruskan melalui ban berjalan ke kepala pelempar pasir yang terdiri dari sudu yang berputar cepat.

Kapasitas mencapai 0,2 sampai 0,28 m<sup>3</sup> atau 450 kg pasir per menit. Kepadatan pasir diatur dengan pengendalian perputaran kepala sudu. Untuk kapasitas produksi tinggi tersedia mesin dengan kemampuan 3,0 kg pasir per detik. PROSES PEMBUATAN CETAKAN Suatu sketsa dari patron untuk pengecoran diperlihatkan pada Gambar 2.7. dengan semua kemiringannya untuk menghasilkan cetakan yang baik.

Prosedur pembuatan cetakan diperlihatkan pada Gambar 2.8. Langkah-langkah dalam proses percetakan sebagai berikut : pasir laut kering, pasir yang dibakar atau tepung tulang. Penaburan bahan-bahan tersebut bertujuan menghindari penempelan pasir cetakan.

Kemudian diikuti dengan suatu lapisan pasir pelapis permukaan (facing sand) yang diayak sekitar patron untuk membentuk suatu lapisan di sekitarnya. Kotak tersebut dipenuhi dengan pasir pengecoran. Pengisian diusahakan tidak mengganggu pasir permukaan dengan cara pasir tersebut ditumbuk dengan penumbuk. Bekas-bekas penumbukan pada permukaan tersebut baik untuk mengikat pasir yang ditambahkan selanjutnya.

Dan sebaliknya, apabila pasir tersebut ditekan rata maka lapisan tersebut tidak akan saling mengikat dan akan lepas bila kotak-kotak tersebut dibalik. Akhirnya, kotak tersebut dipenuhi dan sedikit dilebihkan. Pasir ditumbuk agak kuat dan kelebihannya dibuang dengan menarik suatu goresan lurus sekitar kotak. Pasir tidak boleh ditekan terlalu kuat karena permeabilitasnya akan berkurang sehingga gas akan terperangkap dan menyebabkan terjadinya lubang-lubang udara dalam benda coran. Penumbukan yang terlalu kuat juga akan menyebabkan kropengnya permukaan coran.

Penumbukan yang terlalu lemah akan mengakibatkan cetakan kurang baik yaitu pecah ketika patron ditarik atau aliran logam akan merusak bentuk cetakan. Kotak dibalik bersamaan dengan papan cetakan. Papan cetakan dipindahkan dari kotak dan patron akan kelihatan terletak sebidang datar dengan permukaan pasir. Pasir-pasir lepas disapukan dengan tangan. Rangka cetak atas ditempatkan dan permukaan sambungannya ditaburi pasir pemisah.

Kemudian diikuti pembuatan pelapisan dengan pasir pelapis permukaan (facing sand diayak sekitar patron). Sebuah pipa atau sebuah pena penusuk ditempatkan untuk membentuk lubang penguangan dan ditekan masuk sedikit ke pasir rangka cetak bawah

dan sedikit di luar daripada patron. Pipa atau pena penusuk yang lain membentuk lubang penambahan dan ditempatkan pada bagian atas daripada patron. Kemudian pasir penutup ditimbun dan ditumbuk.

Kotak dipadatkan seperti sebelumnya dan akhirnya diratakan. Lubang penuangan dibuat disekitar pipa sedangkan saluran pengisian dengan bentuk yang serupa dibuat sekitar lubang penambahan. Pipa-pipa (atau pena penusuk) ditarik secara hati-hati sampai terlepas.

Ujung-ujung yang tajam di dalam mangkok penuangan dihaluskan sehingga tidak akan ada pasir yang ikut masuk bersamaan dengan logam. Rangka cetak atas lalu diangkat dan disimpan secara terbalik dan hati-hati. Pipa corong penambahan akan meninggalkan bekas pasir dalam rangka cetak bawah. Pintu masuk dibuat dari bekas tersebut ke patron.

Sekarang patron siap untuk diangkat dengan mengetok-ngetok terlebih dahulu sehingga patron benar-benar bebas dan bisa diangkat secara bersih. Patron yang ringan dapat dilakukan dengan menusuk baja runcing pada permukaan atas patron dan kemudian diangkat. Patron-patron yang lebih berat, pelat-pelat kuningan pengetok dibenamkan rata dengan permukaan patron dan sebagai tambahan untuk lubang-lubang datar dan untuk pengetokan dilengkapi juga dengan lubang-lubang yang ditap untuk menyekrupkan batang pengangkat.

Pengangkatan patron-patron besar dengan paku panjang terlalu terbanyak risikonya, maka biasanya perbaikan cetakan dilakukan bila diperlukan. Cetakan lalu disemprot atau disapu dengan pelapis tertentu. Kedua bagian dari kotak tersebut dipasang pada lantai pengecoran. Penuangan dilakukan hingga kedua lubang penuangan dan lubang penambahan dipenuhi.

Bilamana kotak-kotak tersebut tidak dilengkapi dengan alat-alat keamanan, rangka cetak atas diturunkan secara hati-hati untuk menghindari adanya tarikan dari kepala logam bagian dalam. PENGECORAN CETAKAN KULIT (SHELL-MOLD CASTING) Pengecoran cetakan kulit pertama kali dikembangkan pada tahun 1940-an dan telah berkembang dengan pesat karena dapat menghasilkan berbagai jenis pengecoran dengan toleransi presisi dan permukaan akhir yang halus.

Pada proses ini, pola yang dibuat dari logam besi atau aluminium dipanaskan 175-370°C (350-700 °F) dan disemprotkan material pelepas seperti silicone sebelum dipasangkan pada suatu kotak. Kotak atau ruang berisikan pasir halus yang memiliki kandungan 2,5 hingga 4,0 persen resin thermosetting seperti phenol-formaldehyde

yang melapisi partikel-partikel pasir. Kotak dibalikkan atau campuran pasir dihembuskan sehingga pola terlapiskan kulit pasir dengan ketebalan tertentu.

Pola yang telah terlapisi pasir dimasukkan ke dalam oven dalam waktu yang relatif singkat untuk menghilangkan resin, kemudian kulit keras yang terbentuk dilepaskan dari pola. Belahan cetakan dijepitkan atau dilemkan menjadi satu dan beberapa cetakan disiapkan untuk dituang bersamaan. Skematik proses pembuatan cetakan kulit dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Ketebalan kulit dapat ditentukan secara akurat dengan cara pengontrolan waktu kontak pola dengan pasir. Cetakan yang dibentuk harus kuat dan kaku untuk menahan berat dari logam cair. Biasanya, Kulit ringan dan tipis 5-10 mm (0,2-0,4 in.) dan karakteristik panasnya berbeda dan tergantung pada ketebalan.

Pasir kulit memiliki permeabilitas yang lebih rendah daripada pasir untuk pengecoran pasir-basah, karena pasir yang digunakan memiliki butir pasir lebih halus. Dekomposisi pasir kulit juga menghasilkan gas dalam jumlah yang banyak. Udara dan gas dapat menyebabkan masalah serius dalam pengecoran besi dengan cetakan kulit, kecuali jika lubang angin cukup baik.

Dinding cetakan relatif halus, sehingga gesekan kecil untuk mengalirkan logam cair dan produk-produk coran dengan sudut-sudut tajam, bagian-bagian tipis, proyeksi-proyeksi kecil lebih memungkinkan dari pada pengecoran pasir basah. Pengecoran cetakan kulit jauh lebih ekonomis daripada proses pengecoran lainnya berdasarkan beberapa faktor pengecoran.

Biaya pengikat pasir digantikan dengan hanya penggunaan 5% dari pasir yang digunakan. Pola logam yang relatif mahal menjadi faktor yang sangat kecil karena meningkatkan laju produksi. Kualitas coran yang tinggi secara signifikan dapat mengurangi biaya pembersihan, permesianan, dan operasi lainnya.

Pembuatan produk-produk dengan bentuk rumit dapat dilakukan oleh tenaga dengan keahlian biasa dan proses dapat diotomatiskan. Aplikasi-aplikasi cetak kulit termasuk bagian-bagian mekanikal kecil dan membutuhkan presisi tinggi, seperti rumah roda gigi, kepala silinder, dan batang koneksi. Cetakan kulit juga digunakan secara luas pada pengecoran cetakan inti.

Cetakan komposit dibuat dari dua atau lebih material-material yang berbeda dan telah digunakan dalam cetakan kulit dan cetakan lainnya. Umumnya, cetakan komposit digunakan untuk pengecoran dengan bentuk-bentuk yang rumit, seperti impeler turbin.

Material-material cetakan yang umum digunakan untuk kulit adalah plaster, pasir dengan perekat, logam dan grafit.

Cetakan komposit meningkatkan kekuatan cetakan, meningkatkan keakuratan dimensi dan penyelesaian permukaan coran dan dapat mengurangi biaya secara keseluruhan. Proses pengerasan cetakan dengan CO<sub>2</sub> merupakan pengerasan dengan melewatkan gas CO<sub>2</sub> melalui suatu campuran pasir dan 1,5 hingga 6 persen sodium silicate (waterglass) sehingga terjadi reaksi berikut ini.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 = \text{SiO}_2 (\text{aq}) + \text{Na}_2\text{CO}_3$  Silika gel yang terbentuk mengeras dan merupakan perekat butiran pasir.

Proses ini disebut juga proses silikat sodium (sodium silicate process) atau pasir diikat silika (silicate-bonden sand). Aliran gas CO<sub>2</sub> sangat menentukan berhasil atau tidaknya pengecoran harus dapat dialirkan dengan mudah dan merata (Gambar 2.10). Pembuatan cetakan dengan cara ini cepat, tidak membutuhkan pemanasan, penyelesaian permukaan bagus dan tidak membutuhkan keahlian khusus untuk pekerjaan ini.

Namun cara ini juga mempunyai kelemahan diantaranya cetakan harus digunakan segera, tidak dapat disimpan dan mudah rusak. Proses ini telah digunakan pada tahun 1950-an dan terus berkembang hingga penggunaan berbagai pengikat-pengikat kimia lainnya. Cetakan rammed graphite digunakan untuk pengecoran logam-logam reaktif seperti titanium dan zirconium.

Logam-logam reaktif bereaksi dengan silika dengan demikian pasir tidak dapat digunakan. PENGECORAN POLA DAPAT KEMBANG (EXPANDABLE-PATTERN CASTING) Pengecoran cetakan pola dapat kembang menggunakan pola berbahan polystyrene yang akan mengembang dengan logam cair membentuk suatu rongga untuk pengecoran.

Proses ini juga dikenal dengan pola evaporatif (evaporative-pattern) atau lost-pattern casting dengan nama dagang Full-Mold Casting. Awalnya proses ini dikenal dengan proses polystyrene dikembangkan dan menjadi satu dari beberapa proses pengecoran penting untuk logam besi dan bukan besi, terutama untuk industriomotif.

Pertama, bahan baku polystyrene dapat kembang yang mengandung 5 hingga 8 persen pentane (hidrokarbon yang menguap) diletakkan dalam suatu cetakan pemanasan awal (preheated die) yang biasanya dibuat dari aluminium. Polystyrene mengembang dan mengikuti bentuk rongga cetakan. Panas diberikan untuk meleburkan dan mengikat polystyrene. Kemudian, cetakan didinginkan dan dibukakan, dan pola polystyrene dikeluarkan.

Pola-pola rumit mungkin juga dapat dibuat dengan mengabungkan berbagai bentuk pola dengan meleburkan dan merekatkan dengan pemberian panas (hot-melt adhesive). Selanjutnya, pola polystyrene dilapisi dengan suatu slurry berbasis air, kemudian dikeringkan dan ditempatkan dalam rangka coran. Rangka coran diisi pasir halus yang mengelilingi dan menyokong pola.

Pasir dapat dikeringkan atau dicampur dengan beberapa komponen lain untuk memberikan kekuatan tambahan kemudian campuran pasir dipadatkan. Selanjutnya, logam cair dituangkan ke dalam cetakan tanpa mengeluarkan pola polystyrene. Pola polystyrene akan menguap dan rongga kosong tersebut digantikan oleh logam coran.

Pengecoran ini telah digunakan untuk membuat kepala silinder, poros engkol, komponen rem, dan pipa-pipa pada mobil, dan dasar mesin. Blok mesin aluminium dan komponen-komponen lainnya dari perusahaan General Motors Saturn telah dibuat dengan cara ini. Perkebangan baru, polymethylmethacrylate (PMMA) dan polystyrene carbonate telah digunakan sebagai bahan pola untuk pengecoran besi.

**PENGECORAN CETAKAN-PLASTER (PLASTER-MOLD CASTING)** Pada pengecoran cetakan-plaster, cetakan dibuat dari plaster paris (gypsum atau calcium sulfate). Gypsum banyak digunakan untuk cetakan pengecoran presisi karena cepat mengering dan mempunyai porositas yang baik. Kerugiannya adalah sifatnya yang tidak permanen, karena rusak setiap kali benda cor dikeluarkan. Pola dibuat dengan toleransi yang ketat.

Pola ditata pada pelat dasar rangka cetakan. Sebelum diberi plester, pola disemprot dengan tepung pemisah. Plester yang terdiri dari gypsum dicampur dengan bahan penguat dan pengeras dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Campuran tersebut dituangkan di sekitar pola dan cetakan digetarkan agar diperoleh cetakan yang sempurna.

Setelah plester mengeras, diangkat dari rangka dan dikeringkan dalam dapur pengering pada temperatur 120-260°C (250-500°F) untuk menghilangkan kandungan air. Temperatur pengeringan tergantung pada jenis plester yang digunakan. Setelah logam dituangkan, benda cor dikeluarkan dengan menghancurkan cetakan. Plester yang masih melekat dibersihkan dengan penyemprotan.

Cetakan plester memiliki permeabilitas yang sangat rendah sehingga gas yang timbul selama proses solidifikasi (pembekuan) logam tidak ada jalan keluar. Konsekuensinya, logam cair harus dituang dalam keadaan vakum atau dengan tekanan. Permeabilitas cetakan plester dapat ditingkatkan dengan proses Antioch (Antioch process).

Proses ini merupakan proses pengurangan kandungan air dalam suatu oven berketakanan selama 6 hingga 12 jam, kemudian pengurangan kandungan air dilakukan di ruang terbuka selama 14 jam. Cara lain untuk meningkatkan permeabilitas adalah dengan menggunakan plester yang mengandung gelembung-gelembung udara. Pola untuk pengecoran plester secara umum dibuat dari paduan aluminium, plastik thermosetting, kuningan atau paduan seng.

Temperatur maksimum cetakan mampu tahan sekitar 1200oC (2200oF) dan pengecoran cetak plester hanya digunakan untuk aluminium, magnesium, seng dan beberapa paduan tembaga. Produk coran yang dapat dibuat meliputi suku cadang pesawat, roga gigi kecil, nok, gagang, bagian-bagian dari pompa, peralatan rumah dan beberapa yang mempunyai bentuk rumit..

Kelebihan utama pengecoran cetak plester adalah ketepatan dimensinya, penyelesaian permukaan yang mulus sehingga mampu bersaing dengan pengecoran cetakan pasir. Karena daya hantar panas plaster rendah, logam lambat beku dan bagian-bagian yang sangat tipis dapat dicor dengan baik. Selain itu tidak terjadi porositas atau cacat-cacat yang sering dijumpai pada cetakan pasir.

Umumnya proses ini dapat bersaing dengan proses cetak tekan bila menggunakan paduan temperatur tinggi seperti kuningan. Umur cetakan logam berkurang dengan naiknya suhu. Dengan cetakan plaster yang hanya dipergunakan sekali, maka temperatur tidak menjadisuatu masalah. Untuk benda coran yang sederhana dapat dipertahankan toleransi 0,13 mm. Proses ini dapat digunakan untuk jumlah yang kecil maupun besar.

Impeler yang rumit seperti tampak pada Gambar 2.11 dicor secara vakum dengan cetakan logam dan inti plaster. Tidak ada garis pemisah dan eksentrisitasnya sangat rendah-Peleburan dan teknik pengecoran vakum, cetakan yang kering dan temperatur penuangan yang rendah menghasilkan benda coran berkekuatan tinggi dan permukaan yang mulus.

**PENGECORAN CETAKAN-KERAMIK (CERAMIC-MOLD CASTING)** Proses pengecoran cetakan keramik serupa dengan proses pengecoran cetakan-plaster, kecuali penggunaan material yang tahan terhadap aplikasi dengan temperatur tinggi. Proses ini disebut juga cope-and-drag investment casting. Slurry merupakan suatu campuran antara zircon ( $ZrSiO_4$ ) butiran halus, aluminium oxide, dan silika coran serta dicampur dengan zat-zat perekat.

Selanjutnya dituangkan pada pola yang diletakkan pada rangka cetakan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12. Pola dapat dibuat dari kayu atau logam. Setelah pola terbentuk, cetakan dipindahkan, dikeringkan dan dibakar untuk menghilangkan zat-zat mudah menguap. Cetakan dapat berupa dilapisan muka keramik (Gambar 2.13) atau seluruhnya keramik (Gambar 2.12).

Pada proses Shaw, muka keramik dibuat dari bahan tanah liat tahan api dan dapat meningkatkan kekuatan cetakan. Ketahanan material-material cetakan terhadap temperatur tinggi menjadikan cetakan ini digunakan untuk pengecoran besi dan paduan yang memiliki temperatur tinggi, baja tahan karat dan baja perkakas.

/ PENGECORAN INVESMEN (INVESTMENT -CASTING) Proses pengecoran invesmen disebut juga lost-wax process, pertama kali digunakan selama periode 4000 hingga 3000 SM. Pola dibuat dari lilin atau plastik tertentu, seperti polystyrene. Rangkaian proses pengecoran invesmen diperlihatkan pada Gambar 2.14. Pertama, replika benda coran atau suku cadang dibuat dari baja atau kuningan. Kemudian, replika ini dibuat cetakan belah dari bismut atau paduan timah.

Setelah itu, lilin ditekan ke cetakan dan cetakan didinginkan dengan air sehingga lilin membeku. Selanjutnya, cetakan dibuka dan pola lilin dikeluarkan. Sejumlah pola dapat disatukan menjadi satu cetakan susun dengan tujuan meningkatkan laju produksi ( Gambar 2.14c ). Kemudian, pola dilapisi dengan mencelupkan pola ke dalam suatu slurry material dan mengeluarkannya kembali.

Slurry terdiri dari silica dan perekat, termasuk air, ethyl silicate dan asam-asam. Setelah lapisan pertama mengeras, pola dilapisi kembali dengan cara yang sama sehingga ketebalan lapisan meningkat. Selama proses pembuatan cetakan dengan pola lilin perlu kehati-hatian dalam penanganannya karena daya tahan terhadap gaya-gaya sangat lemah, berbeda halnya dengan pola polystyrene. Cetakan yang telah terbentuk lapisan dipanaskan diudara dengan rentang temperatur 90 - 175oC (200-375oF) selama 12 jam.

Sehingga lilin mencair dan dapat dikeluarkan. Kemudian, cetakan dikeringkan dengan dibakar hingga temperatur 650-1050oC (1200-1900oF) selama 4 jam. Kini, cetakan telah siap untuk digunakn dan dapat dilakukan pengecoran . Setelah cetakan dingin, plester dipecahkan dan produk dibersihkan. PENGECORAN VAKUM (VACUUM CASTING) Campuran pasir dan urethane dicetak pada cetakan logam.

Kemudian, cetakan diikatkan pada lengan robot yang dapat digerakan turun sehingga cetakan dapat dibenamkan dalam logam cair seperti pada gambar 2.15. Logam dicairkan dalam dapur induksi dan dapat dilakukan dengan lingkungan udara terbuka



(CLA process) atau dalam lingkungan vakum (CLV process). / Pengecoran vakum mengurangi tekanan udara bagian dalam sebesar dua hingga tiga tekanan atmosfer. Dengan demikian, logam cair akan mengisi rongga cetakan.

Temperatur logam cair dalam dapur biasanya sekitar 550°C (1000°F) di atas temperatur cair logam. PENGECORAN CETAKAN PERMANEN (PERMANENT-MOLD CASTING) Proses cetakan permanen (permanent-mold casting) atau disebut juga pengecoran cetakan keras (hard-mold casting), cetakan dibuat dari material-material seperti besi cor, baja, perunggu, grafit atau paduan logam.

Rongga cetakan dan sistem saluran masuk ke cetakan dibuat dengan proses permesinan dan menjadi bagian yang terintegrasi. Pengecoran dengan rongga di bagian dalam, inti dibuat dari logam atau agregat pasir yang diletakkan pada cetakan. Material-material inti yang penting adalah pasir yang diikat dengan oil tau resin, plaster, grafit, besi kelabu, baja karbon rendah dan baja cetakan keraj panas.

Besi kelabu sering digunakan, terutama cetakan besar untuk pengecoran aluminium dan magnesium. Upaya untuk memperpanjang umur cetakan permanen, permukaan rongga cetakan biasanya dilapisi dengan slurry, seperti sodium silicate dan tanah liat, atau disemprotkan grafit setiap dilakukan pengecoran. Bahan pelapis juga berfungsi sebagai penghantar termal yang dapat mengatur laju pendinginan coran.

Cetakan-cetakan ditekan dan dipanaskan sekitar 150-200°C (300-400°C) untuk mempermudah aliran logam dan mengurangi bahaya termal terhadap cetakan. Logam cair kemudian dituangkan melalui sistem saluran masuk. Setelah proses solidifikasi selesai, cetakan dibuka dan corang dikeluarkan. Sistem pendinginan cetakan dilakukan dengan pendinginan air atau pendinginan udara dengan bentuan sirip-sirip.

Proses ini sering digunakan untuk aluminium, magnesium dan paduan tembaga dan besi kelabu karena titik leburnya rendah. Besi juga dapat dicor dengan menggunakan grafit atau cetakan logam tahan panas. Proses ini menghasilkan corang dengan permukaan akhir bagus, toleransi ketat, sifat mekanikal baik dan seragam, laju produksi tinggi.

Suku cadang utama yang dihasilkan dari proses ini adalah piston automobil, kepala silinder, batang penghubung, roda gigi, dan peralatan dapur. PENGECORAN TUANG (SLUSH CASTING) Pengecoran tuang digunakan untuk membuat benda cor yang berlubang dengan menggambarkan cetakan logam tanpa inti. Logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang segera dibalik sehingga logam yang masih cair dapat mengalir keluar.

Benda cor yang dihasilkan tipis, dan ketebalan logam tergantung pada efek pendinginan cetakan dan waktu. Cara ini hanya diterapkan untuk menghasilkan barang-barang kerajinan, mainan dan hiasan. Logam yang digunakan meliputi timbal, seng dan logam lainnya dengan titik lebur yang rendah.

Benda-benda setelah dicor, dicat atau disepuh sehingga mirip perak, emas atau logam mulia lainnya. PENGECORAN TEKANAN (PRESSURE CASTING) Proses pengecoran tekan (pressure-casting process) disebut juga tuang bertekanan (pressure pouring) atau pengecoran tekanan rendah (low-pressure casting).

Pada pengecoran ini, logam cair terdorong ke atas dalam cetakan grafit karena tekanan gas yang logam cair seperti diperlihatkan pada Gambar 2.16a. Tekanan dipertahankan sehingga proses solidifikasi logam cair dalam cetakan selesai. Pengecoran tekanan umumnya digunakan untuk pengecoran kualitas tinggi. Sebagai contoh dari proses ini adalah pengecoran roda kendaraan rel. 2.16b.

PENGECORAN CETAK TEKAN (DIE CASTING) Proses pengecoran cetakan telah dikembangkan pada awal-awal tahun 1900-an, merupakan contoh dari pengecoran cetakan permanen. Pengisian logam cair ke dalam rongga cetakan didorong oleh tekanan berkisar 0,7-700 Mpa (0,1-100 ksi). Bagian-bagian penting yang telah dibuat dengan menggunakan pengecoran ini adalah kabulator, motor dan komponen-komponen terapan, perkakas tangan dan mainan.

Mesin pengecoran cetakan dapat diklasifikasi menjadi dua jenis, yaitu : mesin cetak-tekan dengan ruang panas dan mesin cetak tekan dengan ruang dingin. Proses pengecoran cetak tekan dengan ruang panas terdiri dari suatu piston yang mendorong sejumlah logam cair mengisi rongga cetakan melalui leher angsa (gooseneck) dan nosel (gambar 2.17a). Tekanan bisa mencapai 35 Mpa (5000 psi) dengan rata-rata sekitar 15 Mpa (2000 psi).

Tekanan dipertahankan hingga logam cair membeku di dalam cetakan. Cetakan biasanya didinginkan dengan mensirkulasikan air atau oli melalui beberapa saluran di dalam blok cetakan. Hal ini dapat memperpanjang umur cetakan serta mempercepat pendinginan produk.

Siklus waktu biasanya mencapai 900 injeksi per jamnya untuk logam zinc, meskipun komponen-komponen sangat kecil seperti zipper teeth membutuhkan iaya 18,000 injeksi per jam. Pengecoran dengan cara ini dilakukan terhadap logam-logam dengan titik lebur yang rendah seperti paduan seng, timah dan timbal. Proses pengecora cetak

tekan dengan ruang dingin, logam cair dituangkan ke dalam silinder injeksi yang tidak dipanaskan (ruang dingin) seperti diperlihatkan pada gambar 6.17b. Logam mengisi rongga cetakan oleh tekanan yang berkisar 20 Mpa hingga 70 Mpa (3 ksi hingga 10 ksi).

Mesin cetak-tekan dikenal dua jenis, yaitu jenis plunyer vertikal dan horizontal. Paduan dengan titik lebur tinggi dari aluminium, magnesium dan tembaga biasanya dicor dengan metode ini, meskipun logam-logam lain (termasuk logam besi) juga dapat dicor dengan teknik ini. Temperatur logam cair melau dari 600oC untuk paduan aluminium dan magnesium dan lebih tinggi untuk paduan tembaga dan paduan besi.

**PENGECORAN SENTRIFUGAL (CENTRIFUGAL CASTING)** Proses pengecoran centrifugal (centrifugal casting) memanfaatkan gaya inersia disebabkan oleh perputaran untuk mendistribusikan logam cair mengisi rongga cetakan. Metode ini pertama kali digunakan pada awal 1800-an. Pengecoran sentrifugal dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu : pengecoran sentrifugal sejati, pengecoran semisentrifugal dan sentrifuging.

Pengecoran sentrifugal sejati telah digunakan untuk membuat bagian-bagian yang silinder, seperti : pipa-pipa, laras senjata dan lainnya. Logam cair dituangkan ke dalam suatu cetakan berputar seperti diperlihatkan pada Gambar 2.18. Sumbu putaran biasanya horizontal tetapi dalam posisi vertikal memungkinkan untuk benda kerja yang pendek.

Cetakan dibuat dari baja, besi atau grafit dan dapat dilapisi untuk memperpanjang usia cetakan. Permukaan cetakan dapat dibentuk yaitu pipa dengan bentuk permukaan luar bervariasi seperti persegi atau poligonal. Hasil coran memiliki kualitas yang baik, dimensi yang akurat, dan permukaan luar dengan proses ini.

Pengecoran semisentrifugal, cetakan diisi penuh dan berputar pada sumbu vertikal. Apabila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena tekanan di tengah kurang, strukturnya kurang padat dan mungkin mengandung inklusi atau gelembung udara. Cara ini dapat dimanfaatkan untuk membuat benda dengan lubang di tengah seperti roda pada Gambar 2.19. Sentrifuging, logam cair dituangkan di bagian- tengah cetakan.

Di sekelilingnya terdapat beberapa rongga cetakan yang dihubngkan secara radial dengan bagian tengah. Gaya sentrifugal yang bekerja pada logam cair ketika cetakan berputar menghasilkan benda cor yang padat. Gambar 2.20 dengan sekali tuang dihasilkan lima benda cor sekaligus. Bagian dalam coran tidak teratur bentuknya oleh karena itu diperlukan inti pasir kering.

Metode ini dapat digunakan pada bentuk simetris maupun bentuk tiak tertentu. Cara ini

banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk membuat rahang emas. PENGECORAN TEKAN DAN PEMBENTUKAN LOGAM SEMI-PADAT (SQUEEZE CASTING AND SEMISOLID METAL FORMING) Ada dua proses pengecoran yang relatif merupakan kombinasi antara pengecoran dan pembentukan, yaitu pengecoran tekan dan pembentukan logam semi-padat.

Pengecoran tekan (squeeze casting) atau pembentukan logam-cair (liquid-metal forging) telah dikembangkan pada tahun 1960-an. Proses ini mengalami solidifikasi logam cair dibawah pengaruh tekanan tinggi (Gambar 2.21). Mesin untuk pengecoran ini meliputi cetakan, pons, dan pengeluar cetakan. Kontak antara pons dan antarmuka logam meningkatkan laju perpindahan panas. Dengan demikian, mikrostruktur yang terbentuk baik dengan sifat-sifat mekanikal baik.

Tekanan pada pengecoran ini lebih rendah daripada pemebentukan panas dan dingin. Pembentukan logam semi-padat (semisolid-metal forming) aatu disebut juga pengerjaan logam semi-padat (semisolid metalworking) telah dikembangkan sejak tahun 1970-an. Logam atau padunnya yang nondendritic, berbbentuk bola kasar, dan struktur butir halus ketika memasuki cetakan.

Paduan menunjukkan perilaku thixotropic yaitu viskositas berkurang ketika diganggu. Sifat ini dimanfaatkan dalam mengembangkan teknologi mengkombinasikan pengecoran dan pembentukan bagin. Teknologi pembentukan logam semipadat telah dikomersilkan pada tahun 1981 dan juga digunakan dalam mengecor logam dengan komposit matrik.

Teknik pembentukan lain dalam kondisi semisolid adalah rheocasting, slurry dihasilkan dalam suatu campuran dan selanjutnya dijadikan cetakan. Akan tetapi, proses ini tidak sukses secara ekonomis.

PENDAHULUAN Baja diproduksi dalam bentuk ingot-ingot dan membutuhkan pengerjaan lebih lanjut untuk membentuknya menjadi benda yang bermanfaat.

Baja batangan yang tidak dileburkan kembali dan dituangkan dalam cetakan dapat dibentuk dengan beberapa cara, diantaranya : proses pengerolan, penempaan dan ekstrusi. Pada bab ini akan dibahas pembentukan dengan cara proses pengerolan. Pengerolan adalah proses mengurangi ketebalan atau mengubah luas penampang dari suatu benda kerja yang panjang dengan menerapkan gaya tekan melalui seperangkat peralatan rol.

Proses pengerolan dapat diklasifikasi menjadi dua tahap berdasarkan urutan pengerjaan, yaitu: Pengerolan ingot menghasilkan produk setengah jadi, seperti slab, billet dan bloom. Pengerolan menghasilkan produk setengah jadi, seperti slab, billet dan bloom. Pengerolan pemrosesan yang mengubah produk setengah jadi menjadi produk yang lebih berguna, seperti : pelat, lembaran, pipa, batangan persegi maupun batangan berprofil.

Pengerolan juga dapat diklasifikasi menjadi dua pengerjaan berkaitan dengan panas, yaitu : Pengerolan panas Pengerjaan pengerolan dilakukan di atas temperatur rekristalisasi atau di atas daerah penggeseran kerja sehingga gaya deformasi yang diperlukan relatif kecil dan tidak ada perubahan sifat mekanik tidak signifikan. Proses pengerolan panas telah digunakan pada proses pengerolan ingot menjadi slab, billet dan bloom, dan proses pengerolan billet menjadi kawat dan pengerolan dan pengerolan bloom menjadi batangan berprofil.

Pengerolan dingin Pengerjaan pengerolan dilakukan dibawah temperatur rekristalisasi dan kadang-kadang dilakukan pada temperatur ruang sehingga gaya deformasi yang diperlukan relatif besar dan kekuatan logam meningkat dengan cukup berarti. Pengerolan dingin telah digunakan untuk membuat pelat dan lembaran dari slab. Pengerolan INGOT Pada operasi pengerolan ini, baja didiamkan dalam cetakan ingot hingga proses pembekuan (solidification) selesai, kemudian baja dikeluarkan dari cetakan. Ingot panas dimasukkan ke dalam dapur gas yang disebut pit rendam dan dibiarkan sampai mencapai temperatur kerja merata sekitar 1200°C.

Selanjutnya, ingot diubah bentuk dengan pengerolan menjadi barang setengah jadi, seperti : slab, billet dan bloom. Bloom mempunyai dimensi minimal 150x150 mm. Billet lebih kecil daripada bloom dan mempunyai dimensi persegi mulai dari 40x40mm sampai dengan 150x150 mm. Bloom atau billet dapat digiling menjadi slab yang mempunyai lebar minimal 250 mm dan tebal minimal 40 mm.

Slab memiliki ketebalan **tiga (atau lebih) kali tebal** **dengan ukuran maksimal 1500 mm.** PENGGEROLAN PEMROSESAN Pengerolan tahap ini merupakan pengerolan pemrosesan mengubah produk setengah jadi menjadi produk yang lebih berguna, seperti : pelat, lembaran, pipa, batangan persegi maupun batangan berprofil.

Proses dasar dari pengerolan ini adalah pengerolan datar (flat rolling), pengerolan giling (rolling mills), operasi pengerolan bentuk (shape-rolling operation), produksi pipa dan tubing tanpa lasan (seamless tubing and pipe). PENGGEROLAN DATAR (FLAT ROLLING) Sebuah skematik ilustrasi proses pengerolan datar **dapat dilihat pada gambar** 8.2.

Sebuah benda kerja dengan ketebalan tertentu dimasukkan kedalam celah rol (roll gap) sehingga mengalami pengurangan ketebalan. Putaran roda rol konstan sehingga kecepatan benda kerja mengalami peningkatan sama dengan fenomena percepatan laju aliran yang melalui daerah sempit. Kecepatan benda kerja setelah celah rol lebih cepat daripada sebelum celah rol.

Namun, pada titik tertentu kecepatan rol sama dengan kecepatan benda kerja yang dinamakan neutral point (tidak terjadi slip). Kecepatan rol lebih cepat daripada benda kerja pada daerah sebelum neutral point dan benda kerja lebih cepat daripada putaran roda rol dan menyebabkan gaya gesekan. Dengan demikian, gaya gesekan sebelum lebih besar daripada setelah neutral point.

Gesekan antara rol an benda kerja diperlukan sehingga rol dapat menarik benda kerja masuk kedalam celah rol. Namun, gesekan yang besar akan melibatkan gaya yang besar sehingga konsumsi energi yang besar juga. Selain itu, gesekan yang besar juga dapat merusak permukaan produk. Perhitungan gaya dan konsumsi energi yang dibutuhkan pada proses pengerolan sulit karena sulit untuk menentukan geometri kontak secara tepat, koefisien gesekan dan kekuatan material dalam celah rol secara akurat serta sensitivitas material terhadap deformasi pada temperatur tinggi.

Gaya pengerolan dapat dikurangi dengan cara (a) mengurangi gesekan, (b) menggunakan rol-rol berdiameter kecil sehingga bidang kontak kecil, (c) pengurangan ketebalan kecil setiap laluan sehingga bidang kontak kecil (d) pengerolan pada temperatur tinggi untuk mengurangi kekuatan material. Pengurangan gaya pengerolan juga efektif dilakukan dengan menrapkan tegangan longitudinal (longitudinal tensions).

Pelebaran (spreading) terjadi **pada benda kerja yang** mengalami pengerolan dengan perbandingan lebar terhadap ketebalan kecil, seperti bantangan berpenampang bujur sangkar. Pelebaran **ini dapat dicegah dengan** menggunakan rol tegak pada sisi tepi benda kerja. PRODUKSI PELAT DAN LEMBARAN Pelat dan lembaran merupakan produk

yang banyak digunakan secara luas, baik digunakan langsung atau sebagai bahan baku untuk proses pembentukan selanjutnya.

PELAT (PLATE) Pada umumnya mempunyai ketebalan lebih dari 6 mm ( $\frac{1}{4}$ in) yang telah digunakan sebagai bahan struktur untuk lambung kapal, boiler, jembatan, struktur mesin dan bejana nuklir. Pelat dengan ketebalan 100-125 mm (4-5 in.) telah digunakan pada kapal perang dan kendaraan lapis baja, ketebalan 150 mm (6 in.) untuk bejana reaktor dan ketebalan 0,3 m (12 in) untuk boiler besar.

LEMBARAN (SHEET) Lembaran memiliki ketebalan lebih tipis dari 6 mm yang telah digunakan untuk badan automotif, kotak makanan dan minuman, peralatan kantor dan rumah. Badan pesawat komersial biasanya dibuat dari lembaran paduan aluminium dengan ketebalan minimum 1 mm (0,04 in.). Sebagai contoh : ketebalan lembaran untuk badan pesawat Boeing 747 sebesar 1,8 mm (0,071 in.), Lockheed L1011 memiliki ketebalan sebesar 1,9 mm (0,075 in.)

Kaleng minuman dibuat dari lembaran dengan ketebalan sebesar 0,28 mm (0,011 in.) dan sekarang tebal kaleng mencapai 0,1 mm (0,004 in.). Kertas aluminium dengan ketebalan 0,008 mm (0,0003 in.) telah digunakan sebagai pembungkus permen dan rokok. Pengerolan SLAB Pengerolan datar terhadap slab (bahan baku) merupakan salah satu cara memproduksi pelat dan lembaran (gambar 3.1).

Pengerolan ini bertujuan mengurangi ketebalan slab hingga tercapai nilai yang diinginkan. Proses pengurangan ketebalan dapat dilakukan bertahap (bertingkat) dengan serangkaian alat pengerol. Pengerolan ini juga dapat dilakukan dengan pengerolan panas atau pengerolan dingin, tergantung pada operasi pengerolan itu sendiri.

PENGEROLAN KONTINU Pengerolan dan pengecoran kontinu (continuous casting and rolling) merupakan salah satu teknik produksi pelat dan lembaran. Logam atau paduan cair dituangkan dan dirol langsung secara kontinu menjadi lembaran tipis. Operasi pengerolan kontinu ini disebut juga pengecoran helai (strand casting) mampu memproduksi lembaran baja dengan ketebalan 1 mm (0,04 in.) hingga 50 mm (2 in.). Teknik pengecoran langsung menjadi pelat dan lembaran secara signifikan berdampak terhadap penghematan biaya produksi, sehingga sebagian besar produser pelat dan lembaran telah beralih ke teknologi ini terutama penggilingan mini (minimills). Beberapa contoh dari minimills dapat dilihat pada gambar 8.3.

OPERASI PENGEROLAN BENTUK (SHAPE-ROLLING OPERATION) Operasi pengerolan bentuk dapat memproduksi produk dengan berbagai bentuk seperti batangan panjang

dan lurus, cincin, pelat berprofil dan pipa. Pengerolan PELAT DAN BATANG BERPROFIL Produk-produk panjang dan lurus seperti batangan padat atau pelat dengan berbagai profil dapat diproduksi melalui serangkaian pengerolan bentuk yang didesain secara khusus sesuai dengan bentuk yang diharapkan.

Pengerolan PEMBENTUKAN PELAT Pelat berprofil dapat diproduksi dengan pengerolan bentuk. Gambar 3.4 memperlihatkan berbagai bentuk profil yang dibentuk dan tahapan-tahapan pembentukan untuk pembentukan pelat dengan bentuk tertentu. Pengerolan BATANG PROFIL Pengerolan rel kereta dan batangan berprofil seperti siku, kanal, I, H dan T juga diproduksi dengan pengerolan bentuk sama halnya dengan pembentukan pelat.

Namun, pada pengerolan batangan ini membutuhkan gaya yang besar (penekanan dengan pengerolan) dibandingkan pembentukan pelat (pembengkokan dengan pengerolan). Gambar 3.5 memperlihatkan tahapan proses pengerolan pembentukan batang berprofil-H. Pengerolan CINCIN (RING-ROLLING) Proses pengerolan cincin telah diterapkan pada produksi ring tanpa lasan (seamless ring).

Hasil pengerolan berupa ring-ring besar banyak digunakan pada roket dan turbin, gearwheel rim, flange, dan reinforcing ring untuk pipa. Pengerolan cincin dapat memperbesar diameter cincin dengan mengurangi luas penampang. Cincin diletakkan diantara dua, satu diantara sebagai penggerak seperti diperlihatkan pada gambar 3.6a. Berbagai profil penampang cincin (gambar 3.6b) dapat dibentuk dengan menggunakan rol pembentuk yang sesuai.

Benda kerja memiliki volume konstan selama deformasi yaitu pengurangan ketebalan sebagai kompensasi pembesaran diameter cincin. Tahapan utama produksi seamless ring dapat dilihat pada gambar 3.7. Pengerolan ULIR (THREAD ROLLING) Pengerolan ulir adalah proses pembentukan alur pada batang selinder dengan melewati (maju-mundur) die diantara benda kerja seperti pada gambar 3.8a dan 3.8b. Metode lain pembuatan ulir adalah dengan penggunaan rotary die (gambar 3.8c).

Proses ini memungkinkan pembentukan alur dan lekuk pada permukaan sesuai dengan bentuk alur dan lekuk pada die. Kedua cara ini telah digunakan untuk pembuatan ulir pada baut dengan laju produksi tinggi. Pengerolan ulir memiliki keuntungan diantaranya tidak ada material yang dibuang (geram), kekuatan yang baik karena pengerjaan dingin dan pola serat mengikuti bentuk (tidak ada serat yang terpotong) seperti diperlihatkan pada gambar 3.9. Permukaan akhir pembuatan ulir dengan cara ini adalah sangat halus dan fatigue life meningkat.



Pengerjaan dengan cara ini memungkinkan membuat diameter terluar (diameter puncak) lebih besar daripada pengerjaan permesinan (gambar 3.9). Pengerolan pipa dapat dibedakan menjadi pipa kampuh dan pipa tanpa kampuh (seamless pipe). Pipa kampuh telah diproduksi dengan pembentukan rol, sedangkan pipa tanpa kampuh diproduksi dengan rotary tube piercing (penusuk tube berputar).

Pipa kampuh telah digunakan pada bidang konstruksi, tiang penyangga dan sistem transportasi fluida seperti air, gas dan limbah. Pipa kampuh telah diproduksi dengan operasi kombinasi pengerolan dan pengelasan. Pengerolan bertujuan untuk pembentukan silinder sedangkan pengelasan bertujuan menyatukan kedua tepi sehingga membentuk pipa.

Pipa kampuh atau pipa las (welded pipe) dapat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan jenis pengelasan, yaitu : las lantak, las listrik dan las tumpuk. Bahan baku pipa las adalah skelp (pita baja). Pipa las lantak dibuat dengan pengerjaan panas. Pipa diproduksi dengan pengerolan skelp yang telah digulung dan dipanaskan di dalam dapur. Temperatur tepi skelp mencapai temperatur las.

Keluar dari dapur, skelp memasuki serangkaian rol horisontal dan vertikal yang membentuknya menjadi pipa (gambar 3.10). Diameter pipa yang diproduksi dengan cara ini berkisar 75 mm. Pipa las listrik diproduksi dengan pengerjaan dingin. Proses pelengkungan skelp dilakukan bertahap dengan serangkaian pengerolan sehingga melingkar sempurna.

Perangkat pengelasan ditempatkan pada ujung mesin rol yang terdiri dari tiga rol senter, rol tekan, dan dua elektroda rol yang mengalirkan arus pembangkit panas (gambar 3.11). Pipa las tumpuk diproduksi dengan pengerjaan panas. Tepi skelp dibentuk agak tirus kemudian dipanas di dalam dapur. Selanjutnya, pengerolan membentuk skelp berbentuk silinder dengan tepinya saling tertindih.

Setelah dipanaskan kembali skelp yang telah ditekuk bergerak melalui dua buah rol yang beralur seperti terlihat pada Gambar 3.12. Pipa tanpa kampuh (seamless pipe) banyak digunakan pada sistem transportasi gas dan bahan kimia dengan tekanan dan temperatur kerja tinggi. Pipa jenis ini telah diproduksi dengan pengerjaan panas yaitu penusukan pipa berputar (rotary tube piercing) atau dikenal juga dengan the Mannesmann process.

Pada proses penusukan pipa berputar, mula-mula billet diberikan lubang senter, kemudian dipanaskan sampai mencapai temperatur tempa. Kemudian billet ditekan masuk di antara kedua rol penusuk yang memaksa billet berputar dan bergerak maju.

Penekanan dan pengembangan billet secara berganti-ganti menghasilkan lubang ditengah yang dimensi (besar dan bentuk) ditentukan oleh mandril penusuk.

Setelah pengerjaan pada mesin penusuk selesai, pipa yang berdinding tebal mengalami pengerjaan pada mesin rol beralur sedang dan bagian tengah terdapat mandril berbentuk sumbat. Pipa bertambah panjang dan tipis sesuai dengan ukuran tebal yang dikehendaki. Proses selanjutnya, pipa yang masih berada pada temperatur kerja mengalami pengerjaan pelurusan dan pengatur ketepatan ukuran serta penyelesaian.

DESAIN, KONSTRUKSI DAN OPERASI Peralatan pengerolan panas dan dingin pada dasarnya sama, walaupun ada perbedaan diantaranya susunan rol, material rol, pelumasan, sistem pendingin dan parameter-parameter proses. Ada beberapa susunan rol, diantaranya rol bertingkat dua atau tiga, bertingkat tiga bolak balik, cluster (Sendzimir) yang akan dijelaskan berikut ini.

Penggilingan dua tingkat atau tiga tingkat telah digunakan pada pengerolan panas terhadap pengecoran ingot atau pengecoran kontinu dengan diameter 0,6 hingga 1,4 m (24 in. Hingga 55 in.). Penggilingan dua tingkat (Gambar 3.14a) merupakan penggilingan serba guna karena dapat diatur kemampuannya sesuai dengan ukuran batangan dan laju reduksi.

Hanya ukuran panjang batangan yang dapat dirol terbatas dan pada setiap siklus pembalikan gaya kelembaman harus diatasi. Kerugian ini diatasi pada mesin rol bertingkat tiga (Gambar 3.14b), namun disini diperlukan adanya mekanisme elevasi. Selain ini terdapat sedikit kesulitan dalam mengatur kecepatan nol, mesin rol bertingkat tiga lebih murah dan mempunyai keluaran lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bolak-balik.

Penggilingan empat tingkat dan cluster (Sendzimir) didasarkan pada prinsip rol-rol dengan diameter kecil lebih rendah gaya rol dan tenaga yang dibutuhkan. Selain itu, ketika rol-rol kecil mengalami keausan atau kerusakan dapat digantikan dengan harga lebih murah dibandingkan dengan rol-rol yang besar. Tetapi rol-rol kecil akan terdorong atau bergeser dari posisinya (deflect) akibat gaya pengerolan sehingga harus didukung oleh rol-rol lainnya.

Penggilingan Sendzimir (Gambar 3.14d) secara khusus sesuai untuk pengerolan dingin lembaran logam tipis memiliki kekuatan tinggi. / Pengerolan berurutan (tandem rolling) merupakan pengerolan kontinu melalui beberapa stan (Gambar 3.15). Setiap stan terdiri dari seperangkat rol dan sistem kontrolnya. Satu rangkaian stan tersebut disebut satu train. Material rol harus memenuhi kualifikasi kekuatan dan tahan terhadap gesekan.

Ada tiga jenis material yang sering digunakan, yaitu ; besi cor, baja cor dan besi yang kempa. Meskipun rol-rol baja yang dikempa mahal, rol-rol tersebut lebih kekuatan, lebih kaku, lebih keras daripada rol-rol cor. Pelumasan berupa larutan berbasis air telah digunakan untuk mendinginkan rol-rol. Pengerolan panas paduan besi biasanya tidak membutuhkan pelumasan.

Namun, pengerolan panas paduan bukan besi meliatkan berbagai campuran oli-oli, emulsi-emulsi, dan asam lemak.



PENDAHULUAN Kempa (forging) merupakan proses pembentukan benda kerja dengan diterapkan gaya tekan melalui berbagai die dan tool. Kempa merupakan operasi kerja logam yang tertua dan telah digunakan pada 4000 SM.

Pada awalnya, kempa telah digunakan untuk membuat perhiasan, koin, dan berbagai peralatan oleh pemukul logam dengan perkakas yang dibuat dari batu.. Operasi kempa menghasilkan produk yang tidak kontinu berbeda dengan operasi pengerolan yang memproduksi produk pelat, lembaran, atau berbagai struktur berprofil. Produk hasil proses kempa dapat digunakan untuk aplikasi kritis dan tegangan geser tinggi seperti roda gigi pendaratan pesawat, poros mesin jet, poros turbin uap, komponen-komponen kerangka mesin, rel dan beberapa peralatan transformasi lainnya. Kempa dapat dikerjakan pada temperatur kamar atau pada temperatur tinggi.

Berdasarkan temperatur kerja, kempa dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu : Kempa dingin (cold forging), kekuatan material besar sehingga membutuhkan tenaga yang besar dan benda kerja harus memiliki keuletan yang cukup pada temperatur ruang. Produk-produk kempa dingin memiliki permukaan yang halus dan dimensi yang akurat. karena kekuatan material besar Kempa dapat diklasifikasi menjadi dua jenis berdasarkan temperatur kerja, yaitu kempa dingin dan kempa panas.

Kempa panas (hot forging), tenaga yang dibutuhkan lebih kecil daripada kempa dingin. Namun, kempa panas membutuhkan operasi-operasi pengerjaan akhir seperti perlakuan panas untuk memodifikasi sifat-sifat dan permesinan untuk menetapkan ukuran. KEMPA CETAKAN-BUKA (OPEN-DIE FORGING) Kempa cetakan-buka (open-die forging) atau disebut juga upsetting atau kempa cetakan datar (flat-die forging) adalah proses kempa yang paling sederhana. Benda kerja padat diletakkan antara dua cetakan datar dan mereduksi ketebalan dengan penekanan seperti pada Gambar 4.1a.

Kondisi ideal, apabila volume benda dijaga tetap maka pengurangan tebal benda kerja akan meningkatkan diameter benda (gambar 4.1b). Kondisi aktual, deformasi yang terjadi tidak seragam dan berbentuk tong (barrel) yang dikenal dengan sebutan pancaking (gambar 4.1c). Barreling disebabkan oleh gaya gesekan yang timbul pada antar-muka (interface) benda kerja dan cetakan.

Barreling dapat diminimalisasi jika pelumasan pada antar-muka efektif. Barreling juga dapat terjadi pada benda kerja panas diantara kedua cetakan dingin. Material disekitar antar-muka benda kerja dengan cetakan dingin akan cepat dingin sehingga tahanan terhadap deformasi lebih besar dibandingkan dengan bagian tengah benda kerja. Hasilnya, deformasi bagian tengah lebih besar dibandingkan bagian pada antar-muka.

Barreling akibat pengaruh termal dapat diminimalis dengan penggunaan cetakan panas (heated die) atau dengan penggunaan penghambat termal (thermal barrier) seperti kain serat gelas pada antar-muka benda kerja dan cetakan sehingga laju perpindahan panas dari benda kerja ke cetakan dapat dihambat. Teknik ini telah digunakan untuk membuat rotor ukuran besar untuk turbin uap (gambar 4.2a) dengan cara mengubah penampang ingot persegi menjadi bulat.

Benda kerja diputar dengan bantuan manipulator mekanikal dan cetakan akan menekan secara bertahap, seperti diperlihatkan pada gambar 4.2b. KEMPA CETAKAN-IMPRESI DAN CETAKAN TERTUTUP (IMPRESSION-DIE AND CLOSED-DIE FORGING) Kempa cetakan-impresi (impression-die), benda kerja dikempa diantara dua cetakan yang berongga (pola) dan benda kerja terdeformasi mengikuti bentuk rongga cetakan (impressions) seperti diperlihatkan pada Gambar 8.3.

Blank adalah benda kerja akan dikempa dan menyiapkan blank merupakan kegiatan pertama dalam operasi kempa. Blank dapat diperoleh dari potongan batangan hasil ekstrusi atau tarikan, atau hasil operasi metalurgi serbuk atau pengecoran (Gambar 4.4). Blank ditempatkan di atas cetakan bawah kemudian cetakan atas bergerak ke bawah dan menekan sehingga blank berubah bentuk secara bertahap menjadi bentuk yang diharapkan seperti diperlihatkan pada Gambar 4.5. Proses pembentukan awal (persiapan) dapat dibagi menjadi dua, yaitu proses fullering dan edging.

Proses fullering merupakan proses menyebarkan material dari suatu wilayah (gambar 8.6a). Proses edging merupakan proses mengumpulkan material pada daerah tertentu atau melokalisasikan. Selanjutnya, bagian dibentuk menjadi bentuk kasar dengan menggunakan cetakan pemblokkan dan disebut proses blocking.

Operasi terakhir adalah penyelesaian akhir yang menghasilkan bentuk akhir dan material lebih (flash) dibuang dengan operasi pemotongan (trimming) (gambar 4.6b). Gambar 4.3 dan 4.5 menunjukkan sebuah kempa cetakan tertutup (closed-die forging). Akan tetapi, kempa cetakan tertutup sebenarnya adalah kempa yang tidak menghasilkan flash atau tanpa flash (flashless), benda kerja sepenuhnya mengisi rongga cetakan.

Kempa presisi (precision forging) merupakan operasi kempa yang tidak banyak membutuhkan penyelesaian akhir, sehingga lebih ekonomis. Benda kerja dibentuk mendekati dimensi akhir dari komponen disebut near - net - shape atau net- shape forging. Material yang lebih (flash) biasanya kecil dan dapat dipindahkan dengan memangkas (trimming) atau gerinda.

Mesin kempa presisi memiliki cetakan yang lebih akurat dibandingkan kempa impresi

dan membutuhkan tenaga lebih besar sehingga dibutuhkan peralatan yang lebih berkapasitas. Paduan aluminium dan magnesium terutama kali sesuai untuk kempa presisi karena beban dan temperatur yang dibutuhkan lebih rendah. Coining atau operasi stempel merupakan suatu proses kempa tutup sehingga logam tidak dapat mengalir dalam arah lateral dan secara khusus telah digunakan untuk membuat koin-koin, mendali dan perhiasan (Gambar 4.8a). Penghantam (slug) digerakkan hingga rongga cetakan rapat.

Tekanan yang dibutuhkan lima hingga enam kali lebih besar daripada kekuatan material untuk membentuk lekuk-lekuk (detail) yang halus. Pelumas tidak boleh ada pada proses coining karena pelumas yang terjebak didalam rongga cetakan dapat mengurangi detail permukaan cetakan. Proses coining juga diterapkan pada produk-produk lain dengan tujuan memperbaiki permukaan akhir dan menetapkan dimensi yang akurat.

Proses tersebut adalah penempaan ukuran (sizing) dan operasi cetak timbul dan stempel (marking). Proses penempaan ukuran (sizing) adalah proses kempa melibatkan tekanan tinggi dengan sedikit perubahan bentuk untuk memperoleh ukuran yang ketat dan permukaan yang rata.

Operasi cetak timbul dan stempel (marking) merupakan proses penarikan atau peregangan sehingga gambar, huruf, angka atau tanda cetak timbul muncul dari logam yang digunakan (Gambar 8.8b). OPERASI-OPERASI KEMPA Beberapa operasi kempa lainnya yang telah digunakan dalam membentuk produk-produk kempa akan dibahas pada sub bab ini.

PEMBUATAN KEPALA (HEADING) Proses heading yang utama adalah proses upsetting, yaitu pembesaran diameter bagian ujung batang bulat. Batang berpenampang seragam dijepit dengan die dan ujung ditekan sehingga mengalami perubahan bentuk (Gambar 4.9). Pembentukan dapat terjadi pada pons (Gambar 4.9a) atau pada cetakan (Gambar 4.9b). Perbandingan panjang terhadap diameter tidak boleh lebih dari 3:1 agar tidak terjadi pembengkokan.

Dan rongga die tidak boleh lebih besar 1,5 kali diameter batang. PELUBANGAN (PIERCING) Proses piercing merupakan suatu proses pembuatan rongga dengan pons untuk membentuk suatu rongga atau suatu impresi. Piercing pada benda kerja selama benda kerja masih dalam cetakan atau tidak dan juga digunakan untuk membuat luasan cekung (masuk ke dalam) seperti diperlihatkan pada Gambar 4.10. Gaya piercing tergantung pada luasan penampang pons dan geometri ujung, kekuatan material dan gesekan.

Tekanan yang dibutuhkan tiga hingga lima kali kekuatan material atau sama dengan tegangan yang dibutuhkan penusukan (penekanan) pada pengujian kekerasan. OPERASI-OPERASI LAINNYA Hubbing terdiri dari sebuah pons (punch) yang dikeraskan dengan geometri tertentu menekan sepotong baja lunak sehingga terbentuk rongga (Gambar 4.11). Geometri pons disesuaikan dengan bentuk yang diinginkan.

Penekanan oleh pons harus dilakukan dengan hati-hati dan seringkali dibutuhkan beberapa kali penekanan dengan pons yang berbeda selama proses hubbing. Permukaan rongga mulus dan tidak diperlukan pemesinan pada sudut atau tepi. Proses ini digunakan untuk membuat cetakan untuk industri plastik dan industri cetak-tekan.

Kempa rol (roll forging) merupakan proses mengurangi atau membentuk luasan penampang sebuah batang dengan melewati melalui rol yang beralur (Gambar 4.12). Proses ini telah digunakan untuk membuat poros tirus dan pegas daun, pisau-pisau meja, dan perkakas tangan. Proses ini juga bisa sebagai operasi pembentukan persiapan sebelum proses kempa lainnya. Pengerolan ulir (screw rolling) adalah proses yang serupa dengan kempa rol.

Pengerolan ulir telah digunakan untuk membuat bola-bola bearing. Batangan bulat diumpankan masuk roll gap, kemudian blank dibentuk berkesinambungan dengan perputaran rol. Cara lain pembuatan bola-bola bearing adalah kempa upset diantara dua cetakan yang setengah lingkaran (Gambar 4.13).

Kempa orbit (orbital forging) merupakan suatu proses kempa, cetakan atas (upper die) dengan pengaturan mekanikal bergerak mengitari (gambar 4.14a) dan semakin membentuk. Komponen yang dibentuk dengan cara ini adalah bagian-bagian berbentuk peringan (Gambar 4.14b) dan bagian berbentuk kerucut (conical parts) seperti bevel gear. Tenaga kempa relatif kecil, karena pada setiap saat bidang kontak cetakan yang mengenai benda kerja kecil.

Operasi ini relatif tenang dan suatu produk dapat dibentuk dengan 10 hingga 20 siklus putaran cetakan. Kempa incremental (incremental forging) merupakan suatu proses dimana blank dibentuk menjadi suatu bentuk dengan suatu pons dalam beberapa langkah kecil (bertahap). Dengan demikian, gaya tekana yang dibutuhkan lebih kecil dari kempa cetakan-impresi dan pons yang digunakan lebih sederhana dan lebih ekonomis.

Kempa isothermal (isothermal forging) dikenal juga kempa cetakan panas (hot-die forging). Pada proses ini, cetakan dipanaskan hingga temperaturnya sama dengan benda kerja. Benda kerja dalam kondisi panas selama proses kempa memiliki kekuatan



yang rendah dan keuletan tinggi sehingga gaya kempa yang dibutuhkan kecil dan aliran material mengisi rongga cetakan dapat ditingkatkan. Komponen-komponen kompleks dengan keakuratan dimensi yang baik dapat dibentuk dalam satu langkah penekanan hidrolik.

Umumnya, cetakan dibuat dari paduan nikel atau molybdenum. Kempa isothermal mahal dan laju produksi lambat tetapi bisa jadi ekonomis untuk kempa dengan bentuk yang rumit untuk material-material seperti titanium dan superalloy. ROTARY SWAGING Kempa swaging atau lebih dikenal dengan swaging atau kempa radial.

Pada proses ini, cetakan melakukan gaya impak terhadap benda kerja dengan gerakan maju-mundur dalam arah radial. Gerakan cetakan disebabkan gerakan rol yang mengelilinginya (Gambar 4.15). Swaging cetakan-tertutup (die-closing swaging), cetakan digerakkan oleh pasak (wedge) seperti pada gambar 9.15a.

Cetakan dapat dibuka lebih lebar daripada swager berputar dan cetakan tidak berputar tetapi bergerak masuk dan keluar dalam arah radial. Produk utama dari mesin ini adalah obeng dan besi ujung solder (Gambar 4.15b). Tube swaging dapat menentukan diameter dalam maupun diameter luar pipa dengan atau tanpa menggunakan penusuk (mandrel) bagian dalam (Gambar 8.16a).

Mandrel juga dapat dibuat dengan alur longitudinal dan tube bagian dalam di di-swaging (Gambar 4.16b). Laras senjata dibuat dengan swaging sebuah tube dengan menggunakan sebuah mandrel yang beralur spiral. Kawat dengan kekuatan baik telah digunakan sebagai mandrel untuk tube berdiameter kecil. Mesin khusus telah dibuatkan untuk memproduksi laras senjata ini.

Produk yang dibuat dengan proses pembentukan lembaran-logam telah banyak digunakan, seperti meja logam, lemari arsip atau berkas (file cabinet) dan badan pesawat. Keuntungan pembentukan dari lembaran logam adalah biaya murah, karakteristik pembentukan dan kekuatan baik. Biasanya logam yang digunakan adalah baja karbon rendah, sedangkan untuk aplikasi pada pesawat terbang adalah titanium dan aluminium.

PENGUNTINGAN (SHEARING) Operasi penguntingan telah digunakan untuk mempersiapkan blank dengan ukuran tertentu dari lembaran baja atau batangan dan dikenal juga blanking (Gambar 4.18). Lembaran dipotong dengan memberikan tegangan geser antara tepi-tepi tajam sebuah pons (punch) dan cetakan yang berdekatan seperti diperlihatkan pada Gambar 4.18.

Pertama, pons bergerak menekan (gambar 4.18a) sehingga mengalami perubahan bentuk plastis seperti diperlihatkan pada Gambar 4.18b. Logam mengalami ketegangan di dekat tepi pons dan cetakan sehingga keretakan mulai terjadi pada kedua sisi lembaran. Keretakan semakin menjalar maju apabila batas kekuatan bahan dicapai.

Apabila celah antara kedua tepi tepat, maka keretakan akan menjalar dan bertemu di tengah lembaran seperti diperlihatkan pada Gambar 4.18c. Parameter utama dalam proses ini adalah bentuk dan material untuk pons dan cetakan, kecepatan pukulan, pelumasan dan celah antara pons dan cetakan. Celah merupakan faktor utama dan penting dalam mendesain cetakan.

Semakin besar celah tersebut maka semakin kasar dan semakin besar zona deformasi serta energi yang dibutuhkan semakin besar, karena retak yang tumbuh tidak bertemu (Gambar 4.19). OPERASI-OPERASI PENGUNTINGAN Operasi menggunting meliputi cetak lubang, pons, menarik, melubang, memangkas, menyetam, membelah dan menusuk. Cetak potong (die cutting) merupakan suatu proses pemotongan yang meliputi : Pelubangan (perforating) adalah operasi pemotongan yang meliputi suatu luasan datar menjadi suatu bentuk yang diinginkan. Pons yang digunakan harus datar dan cetakan diberikan suatu sudut pemotongan sehingga bagian yang diselesaikan akan datar.

Pemisahan (parting) adalah operasi pemotongan lembaran menjadi dua atau lebih potongan. Pemangkas (notching) adalah operasi melepaskan kelebihan logam dari sekeliling tepi bagian dan pada dasarnya serupa dengan cetak lubang. Operasi menyetam juga sama, namun menyetam diperuntukkan untuk penyelesaian atau penepatan ukuran. Operasi membelah adalah membuat pemotongan tidak penuh dalam lembaran.

Menusuk adalah operasi yang sebagian dipons dan sebagian sisi ditebuk ke bawah. Takik (lancing) adalah operasi pemotongan yang membentuk suatu tab tanpa adanya pelepasan material. Mencetak lubang (fine blanking) dapat menghasilkan luasan datar dengan suatu bentuk yang diinginkan dan memiliki tepi yang halus.

Proses ini biasanya merupakan tingkat awal dalam sederetan operasi. Suatu desain cetakan dasar diperlihatkan pada gambar 9.201. Suatu penyekat-V mengunci lembaran logam pada posisinya dengan ketat dan mencegah jenis distorsi material seperti diperlihatkan pada Gambar 5.21. Pembelahan (slitting) dapat dilakukan dengan sepasang mata pisau bundar (slitting) serupa dengan alat pembuka kaleng.

Mata pisau mengikuti garis lurus, bundar atau garis berlingkung. Tepi belah biasanya

berbentuk tidak rata dengan tonjolan-tonjolan dan dapat dihilangkan dengan pengerolan. Ada dua jenis peralatan membelah, yaitu membelah dengan pisau yang digerakkan (driven) dan membelah menarik potongan logam melewati pisau diam (pul-through). Steel rules telah digunakan untuk memotong logam lunak, kertas, kulit dan karet.

Sebuah cetakan terdiri dari sebilah baja tipis yang dikeraskan (seperti pisau dapur) dan ujungnya diikat pada suatuudukan yang memiliki bidang. Biasanya dudukan terbuat dari kayu. Nibbling merupakan proses membuat sejumlah lubang pada lembaran logam yang diumpankan pada celah dan nibbler melakukan gerakan naik-turun dengan cepat seperti pada alat pelubang kertas. CETAKAN Bahasan cetakan meliputi celah, bentuk dan material dari cetakan dan pons.

Celah adalah penting dan pengaturannya dapat meningkatkan mampu bentuk pelat. Ukuran celah bergantung pada jenis material, kekerasan, ketebalan dan ukuran lubang yang akan dibuat. Secara umum, material yang lunak membutuhkan celah yang lebih kecil. Lembaran logam yang tebal membutuhkan celah **yang lebih besar dari** pada logam yang tipis.

Lubang kecil (dibandingkan dengan ketebalan lembaran logam) membutuhkan celah yang lebih besar daripada lubang yang besar. Celah biasanya memiliki rentang 2 hingga 8 persen dari ketebalan lembaran, namun celah paling kecil mulai dari 1 persen hingga yang terbesar 30 persen. Bentuk cetakan dan pons berpengaruh terhadap gaya yang dibutuhkan oleh pons dalam pemotongan. Pada cetakan dan pons rata (Gambar 4.18a), gaya pukulan **meningkat dengan cepat selama** pemotongan karena seluruh ketebalan dipotong pada waktu yang bersamaan.

Luasan potongan pada sembarang waktu dapat diatur dengan memiringkan permukaan pons dan cetakan (Gambar 4.23). Cetakan gabungan (compound dies) adalah cetakan yang digunakan untuk dua operasi atau lebih pada satu stasiun (Gambar 8.24). Operasi biasanya dibatasi untuk pemotongan sederhana karena lambat dan cetakan lebih mahal daripada cetakan untuk operasi-operasi yang dilakukan secara terpisah (tidak satu langkah).

Cetakan progresif (progressive dies) adalah cetakan yang digunakan untuk dua operasi atau lebih secara serentak seperti pembuatan rongga dengan penusukan, pembuatan lubang dengan penguntingan dan pembuangan luasan pada tepi. Lembaran logam diumpankan dan operasi-operasi pembentukan yang berbeda pada satu stasiun dengan serangkaian pons untuk setiap langkah (Gambar 8.25).

Cetakan pindah (transfer dies) digunakan untuk beberapa operasi yang berbeda pada stasiun berbeda. Material pons dan cetakan untuk pemotongan biasanya adalah perkakas baja dan untuk laju produksi tinggi digunakan karbida. Pelumaasn penting untuk mengurangi keausan perkakas dan cetakan dan meningkatkan kualitas tepi.

PEMBENGGOKAN DAN PEMBENTUKAN (BENDING AND FORMING) Operasi pembengkokan merupakan operasi pembentukan yang sangat umum dilakukan. Pada operasi pembengkokan, serat bagian terluar akan mulur dan serat bagian terdalam dalam arah belokan akan memendek. Tegangan dan regangan yang dialami logam masih dibawah batas kekuatan bahan.

Ketebalan keseluruhan agak berkurang dan lebarnya bertambah pada sisi kompresi dan menyempit pada sisi yang lain. Namun perubahan ketebalan yang terjadi tidak terlalu berarti. Dan hal penting yang harus dipertimbangkan dalam mendesain suatu bengkokan adalah bend allowance atau panjang logam yang diperbolehkan untuk bengkokan (Gambar 4.26).

Springback atau pengembalian elastis (elastic recovery) atau melenting kembali setelah pons dilepas karena setiap material memiliki modulus elastisitas tertentu. Springback tidak hanya terjadi pada lembaran logam tapi juga terjadi pada batangan bulat, kawat dan batangan dengan berbagai penampang. Dalam praktek, springback dapat diatasi dengan overbending, bottoming the punch, dan stretch bending.

Overbending merupakan pembengkokan berlebih seperti diperlihatkan pada Gambar 4.26a dan b. Beberapa uji coba diperlukan untuk memperoleh hasil yan sesuai. Bottoming the punch merupakan pemberian tegangan tekan lokal yang tinggi antara ujung pns dan permukaan cetakan (Gambar 4.26b dan c). Pada stretch bending, selama pembentukan pelat ditegangkan dengan tarikan seperti diperlihatkan pada Gambar 4.27.

/ OPERASI-OPERASI PEMBENGGOKAN Pembentukan rem kempa (press brake forming) sering digunakan untuk membengkokan lembaran logam. Kempa jenis ini dapat menampung lembaran logam dengan panjang 7 meter (20 ft) atau lebih. Mesin ini dilengkapi cetakan yang panjang baik dengan penekanan hidraulik maupun mekanikal dan sesuai untuk produksi sedikit.

Rem kempa mempunyai langkah pendek dan umumnya dilengkapi dengan mekanisme penggerak jenis eksentris. Material cetakan dapat dibuat dari kayu keras untuk material kekuatan rendah dan karbida untuk produksi kecil. Kebanyakan aplikasi menggunakan cetakan yang dibuat dari baja karbon dan besi kelabu.

Rem kempa telah digunakan untuk membuat pipa dari lembaran logam seperti diperlihatkan pada gambar 4.30. Beading merupakan proses pelengkungan dengan mengisi rongga suatu cetakan seperti pada gambar 4.31. Flanging (pembuatan flens) merupakan suatu proses pembengkokan tepi lembaran logam. Pada shrink flanging (Gambar 4.32), flens diterapkan tegangan tekan menggulung yang jika berlebih akan menyebabkan tepi flens mengerut.

Pada stretch flanging, tepi flens diperlakukan tegangan tarik dan jika lebih dapat dengan mudah pecah pada tepi. Flens dapat dibentuk dengan operasi dimpling, piercing dan flaring. Pada operasi dimpling, sebuah lubang dibuat dengan ditusuk kemudian dilebarkan menjadi flens atau suatu pons pembentuk menusuk lembaran logam dan memperbesar lubang.

Pada operasi piercing (pembuat lubang), sebuah pons berbentuk menusuk pelat logam sehingga membentuk flens. Sedangkan pada operasi flaring, pipa dilebarkan sehingga membentuk sebuah flens. Hemming disebut juga flattening, sisi lembaran ditebuk dan dilipat menimpa dirinya sendiri (Gambar 4.34).

Pengeliman dapat meningkatkan kekakuan bagian tepi, memperbaiki penampilan, dan mengurangi sudut-sudut tajam. Seaming (kelim) adalah penyambungan lembaran logam dengan hemming (gambar 4.34). Double seam (kelim ganda) agar kedap air atau udara dibuat dengan cara yang sama dan menggunakan pengerol pembentuk khusus seperti tempat bahan makanan.

Pembengkokan tube, pipa atau bagian berongga memerlukan perkakas khusus untuk menghindari tekukan dan lipatan. Metode pembengkokan pipa atau tube yang tertua dan sangat sederhana dilakukan dengan mengisi pipa dan tube dengan partikel-partikel bebas dan membengkokkan bagian sesuai dengan peralatan yang tetap. Teknik ini dapat menghindari terjadinya tekukan.

Setelah pipa atau tube dibengkokkan maka partikel-partikel bebas dikeluarkan dari pipa atau tube tersebut. Partikel-partikel bebas yang sering digunakan adalah pasir. Selain itu, tube dapat juga disikan oleh beberapa mandril fleksibel (Gambar 4.36). Suatu pipa yang relatif tebal dibengkokkan dengan radius yang besar dapat dilakukan tanpa membutuhkan pengisian (pasir atau mandril).

Bulging (pembengkakan) juga merupakan proses pembentukan dasar bagi suatu tubular, conical (berbentuk kerucut), atau curvalinierr dalam suatu cetakan split-female dan pengembang yaitu suatu sumbatan polyurethane (Gambar 4.36). Kemudian, pons

ditarik, sumbatan akan kemabli ke bentuk awal dan bagain dipindahkan dengan membuka cetakan.

Produk penting hasil teknik ini adalah kendi kopi atau air. Pembentukan bagian-bagian dengan bentuk yang rumit melibatkan tekanan yang besar hingga hingga titik kritisnya. Penggunaan penyumbat polyurethane memiliki beberapa keutamaan, diantaranya sangat tahan terhadap abrasi, aus dan pelumasan serta tidak merusak permukaan akhir dari bagian yang dibentuk.

**PENARIKAN (DEEP DRAWING)** Banyak produk yang ditemui dibuat dari lembaran logam yang dibentuk selinder atau kotak seperti belangan dan panci, tempat makanan dan tangki bahan bakar mobil (Gambar 8.38). Bagian-bagian tersebut dengan suatu proses penekanan pelat datar sehingga mengikuti rongga cetakan. Celah antara pons dan cetakan biasanya 7 hingga 14 persen lebih besar dari ketebalan lembaran.

Jika terlalu kecil pelat bisa mengalami pemotongan (terputus) oleh pendesakan pons. Sudut antara pons dan cetakan jika terlalu kecil dapat menyebabkan retak pada sudut (Gambar 4.39). Jika terlalu besar, dinding kap berkerut. Operasi penarikan sederhana terhadap plat yang relatif tebal dapat dilakukan dengan kempa bekerja tunggal dan harus memiliki ketebalan yang cukup untuk mengatasi kerutan.

Operasi penarikan yang mencakup pembentukan lembaran logam tipis, memerlukan penggunaan kempa bekerja ganda supaya lembaran dapat ditahan pada tempatnya selama berlangsungnya penarikan. Kempa jenis ini sangat bervariasi dalam pelaksanaannya. Biasanya dua peluncur disediakan, satu dalam yang lain. Satu peluncur mengendalikan cincin penahan benda kerja dan bergerak menuju lembaran di depan peluncur yang lain untuk menahannya pada tempatnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.40. Drawbeads sering digunakan untuk mengatur pergerakan blank kedalam rongga cetakan (Gambar 4.41).

Drawbeads dapat mengurangi kebutuhan gaya pegangan blank karena kaku dan tidak berkerut. OPERASI-OPERASI PENARIKAN Redrawing merupakan proses penarikan yang terdiri lebih dari satu operasi. Pembuatan produk akan lebih mudah dengan redrawing dibandingkan dengan satu operasi (Gambar 4.42).

Ironing suatu proses penarikan kap yang ketebalan dinding direduksi seragam. (4.43). Pelumasan dapat mengurangi gaya yang dibutuhkan sehingga kemampuan ditarik lebih baik dan mengurangi cacat dalam bagian dan keausan pada perkakas. Pelumasan pada pons dapat mengurangi gesekan antara pons dan kap dapat meningkatkan mampu tarik dengan pengurangan tegangan tarik pada kap.

Biasanya, pelumas yang sering digunakan adalah oli mineral, larutan sabun dan emulsi. Pelapisan, dan pelumas padat juga sering digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang sulit. Material pons dan cetakan untuk proses tarik adalah besi coran dan baja perkakas, atau material lainnya seperti karbida dan plastik juga sering digunakan.

**PEMBENTUKAN KARET** Salah satu cetakkannya terbuat dari material fleksibel, seperti membran karet atau polyurethane. Polyurethane telah digunakan secara luas karena tahan abrasi, tahan pemotongan akibat sudut-sudut tajam lembaran logam dan umur fatik lama. Blok karet telah digunakan sebagai cetakan betina (Gambar 4.44) dan membran karet digunakan pada proses pembentukan fluida (fluid-forming atau hydroform) seperti pada Gambar 4.45.

**MESIN KEMPA** Secara umum, kempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tekan (presses) dan palu (hammer). **TEKAN (PRESSES)** Deformasi plastik logam melalui penekanan berlangsung dengan lambat, berbeda dengan kempa palu yang berlangsung dengan cepat. Penekanan dialami seluruh benda kerja, termasuk bagian tengahnya. Sebagian besar energi diserap oleh benda kerja.

Pembentukan benda kerja jauh lebih cepat sehingga biaya operasi lebih rendah. Umumnya mesin kempa tekan berbentuk simetris dengan permukaan cetakan yang halus dan toleransi yang lebih presisi. Namun, sebagian besar bentuk yang tak teratur dan rumit dapat dikempa secara ekonomis dengan kempa jenis ini.

Kempa tekan juga digunakan untuk menetapkan ukuran dari proses kempa sebelumnya. Mesin tekan kecil digunakan cetakan tertutup dan hanya diperlukan satu langkah pembentuk untuk penempatan. Mesin tekan vertikal dapat digerakkan secara hidrolis dan mekanis. Tekan hidrolis beroperasi pada kecepatan konstan dan beban dibatasi.

Penekanan berhenti jika beban yang dibutuhkan melebihi kapasitasnya. Energi dalam jumlah besar ditransmisikan ke benda kerja dengan beban konstan melalui langkah menekan (stroke) dan kecepatan dapat diatur. Dibandingkan dengan mesin kempa jenis lainnya, kempa hidrolis lebih lambat dengan biaya awal tinggi, tetapi minim perawatan.

Mesin tekan hidrolis terdiri dari sebuah kerangka dengan dua atau empat kolom, piston, silinder, ram (pembentuk), dan pompa hidraulik yang digerakkan oleh motor elektrik (Gambar 4.46). Kecepatan ram dapat divariasikan selama langkah menekan (stroke). Kapasitas hingga 125 MN (14.000 ton) untuk kempa cetakan-buka dan 670 MN (75.000 ton) untuk kempa cetakan-tertutup.

Mesin kempa jenis ini telah digunakan untuk membuat roda gigi utama pada sistem pendaratan pesawat Boeing 747 dengan pembebanan sebesar 450 MN (50.000 ton). Tekan mekanikal pada dasarnya merupakan salah satu jenis dari engkol atau eksentrik. Kecepatan peluncur mendekati gerak harmonis sederhana. Pada langkah menurun maka peluncur dipercepat dan mencapai kecepatan maksimum pada pertengahan langkah dan nol pada posisi bawah langkah.

Energi dibangkitkan oleh sebuah roda gila yang besar yang digerakkan oleh sebuah motor elektrik. Beberapa mekanisme-engsel-ruas dan eksentrik diperlihatkan pada Gambar 4.47. Tekan sekerup (screw presses) memperoleh energi dari sebuah roda gila yang kemudian ditransmisikan melalui sebuah sekerup tegak.

Kapasitas melauai dari 1,4 MN hingga 280 Mn (160 ton hingga 31.500 ton). Tekan sekerup telah digunakan untuk berbagai operasi cetakan-buka dan tertutup, terutama sesuai untuk produksi komponen yang presisi dalam jumlah yang sedikit, seperti sudu turbin. PALU (HAMMERS) Palu mendapatkan energi dari energi potensial ram yang dikonversikan menjadi energi kinetik.

Berbeda halnya dengan kempa tekan, kempa palu beroperasi pada kecepatan tinggi dan pendinginan yang rendah. Palu gravitasi (gravity drop hammers), energi diperoleh dari gerak jatuh bebas ram. Energi yang tersedia merupakan hasil perkalian antara berat ram dengan ketinggian jatuh.

Berat ram berkisar anatar 180 kg hingga 4500 kg (400 lb hingga 10000 lb) dengan energi yang dibangkitkan sebesar 120 kJ (90.000 ft-lb). Ram dapat diangkat dengan beberapa mekanisme seperti pada Gambar 4.48. Palu tenaga (power drop hammers), langkah turun ram dipercepat oleh uap, udara atau tekanan hidraulik sekitar 750 kPa (100 psi).

Berat ram berkisar 225 kg hingga 22.500 kg (500 lb hingga 50.000 lb) dengan yang dibangkitkan mencapai 1150 kJ (850.000 ft-lb). Counterblow hammer atau palu tempa impak terdiri dari dua silinder yang berhadapan dalam bidang horisontal yang menekan impeler dan cetakan (Gambar 4.46). Bahan diletakkan pada bidang impak dimana bagian cetakan bertemu. Deformasi bahan penyerap energi pada mesin jenis tidak diamati adanya kejutan atau gerakan.

Pada proses ini bahan mengalami deformasi yang sama pada kedua sisinya, waktu kontak antara bahan dan cetakan lebih singkat, energi yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dengan proses tempat lainnya dan benda dipegang secara mekanik.

PEMILIHAN MESIN KEMPA Hal terpenting dalam pemilihan suatu mesin kempa adalah



energi yang dibutuhkan untuk menekan, ukuran, bentuk dan kompleksitas pengempaan, kekuatan material benda kerja dan sensitivitas material dalam berdeformasi.

Faktor lain yang juga harus dipertimbangkan adalah laju produksi, keakuratan, perawatan, keahlian pengoperasian, tingkat kebisingan dan biaya. Secara umum, proses tekanan digunakan pada pembentukan produk dengan material aluminium, magnesium, beryllium, bronze dan brass. DESAIN CETAKAN Mendesain cetakan kempa membutuhkan pengetahuan tentang kekuatan dan keuletan material kerja.

Sifat tersebut sangat erat kaitannya terhadap laju deformasi dan temperatur, karakteristik friksi dan bentuk serta kompleksitas benda kerja. Distorsi (penyimpangan) cetakan pada pembebanan berat penting sekali untuk dipertimbangkan, terutama jika dipersyaratkan toleransi yang ketat.

EKSTRUSI Pada proses ekstrusi, material ditekan atau didesak keluar melalui suatu cetakan dengan bentuk tertentu sama halnya dengan penekanan pasta gigi keluar dari tabung. Ekstrusi merupakan proses dengan deformasi atau perubahan bentuk yang tinggi dan dapat membuat penampang dengan panjang hingga 150 m.

Produk-produk ekstrusi dapat dipotong dengan panjang tertentu, seperti roda gigi dan siku (Gambar 5.1). Produk-produk penting yang diproduksi dengan proses ekstrusi adalah bingkai pintu dan jendela, tube yang memiliki berbagai penampang, dan bentuk-bentuk struktur dan arsitekur. Material-material yang biasanya diekstrusi adalah aluminium, tembaga, baja, dan magnesium.

Logam dan paduan lainnya dapat diekstrusi dengan beberapa kesulitan. Proses ekstrusi memiliki beberapa keuntungan, diantaranya: membuat berbagai jenis bentuk berkekuatan tinggi ketepatan ukuran penyelesaian permukaan yang baik pada kecepatan produksi yang tinggi harga die yang relatif rendah EKSTRUSI PANAS DAN DINGIN Ekstrusi dapat dikategorikan menjadi ekstrusi panas (hot extrusion) dan ekstrusi dingin (cold extrusion) berdasarkan temperatur kerjanya. Pengerjaan panas atau dingin tergantung pada keuletan material.

Beberapa jenis logam seperti timah hitam, timah putih dan aluminium dapat diekstrusi dalam keadaan dingin. Sedangkan logam jenis lainnya harus dipanaskan terlebih dahulu sehingga bersifat plastik atau setengah padat. Ekstrusi panas (hot extrusion) merupakan proses ekstrusi pada temperatur tinggi untuk logam-logam dan paduan yang tidak cukup ulet pada temperatur kamar atau dengan maksud mengurangi kerja yang dibutuhkan. Ekstrusi panas membutuhkan persyaratan khusus karena temperatur operasinya tinggi sebagaimana operasi pengerjaan panas lainnya.

Pendinginan billet panas dalam kontainer dingin menjadi suatu masalah sehingga deformasi yang terjadi tidak seragam. Dengan demikian pendinginan billet perlu dihambat dengan pemanasan awal cetakan ekstrusi seperti yang dilakukan pada cetakan-kempa. Hal ini juga dapat memperpanjang umur cetakan ekstrusi. Mendesain suatu cetakan membutuhkan pengalaman.

Cetakan persegi (shear die) digunakan pada ekstrusi logam-logam bukan besi. Tubing diekstruksi dari sebatang billet padat atau berongga menjadi berdinding tipis hingga setebal 1 mm (0,04 in.). Ketebalan dinding biasanya dibatasi hingga 1 mm (0,04 in.) untuk aluminium, 3 mm (0,125 in.) untuk baja karbon dan 5 mm (0,20 in.) untuk baja tahan karat.

Untuk billet padat, ram dengan sebuah penusuk (mandrel) membuat sebuah lubang dalam billet. Penampang berlubang dapat diekstrusi dengan metode ruang lasan dan

menggunakan berbagai cetakan khusus seperti spider die, porthole die dan bridge die. Logam disobek (diurai) oleh penusuk dalam dan dialirkan ke cetakan.

Kemudian disatukan kembali **dibawah tekanan tinggi dalam** ruang pengelasan sebelum keluar melalui cetakan. Hal ini sama halnya dengan aliran udara yang melalui sebuah kendaraan, yaitu aliran terpisah dibagian depan mobil dan bersatu kembali dibagian belakang mobil. Material cetakan untuk ekstrusi panas biasanya digunakan material-material cetakan untuk pengerjaan panas.

Pelapisan (coating) seperti zirconia mungkin dapat diterapkan untuk memperpanjang umur cetakan. Pelumasan penting pada ekstrusi panas. Gelas merupakan pelumasan baik untuk baja, baja tahan karat dan logam dan paduannya temperatur-tinggi. Suatu lapisan gelas bundar ditempatkan pada bagian masuk telah dikembangkan sejak tahun 1940-an dan dikenal Sejournet process.

Lapisan ini membentuk suatu reservoir dari gelas cair, dimana melumasi antar-muka cetakan. Sebelum billet ditempatkan dalam ruang, permukaan silinder dilapiskan dengan suatu lapisan serbuk gelas untuk mengurangi gesekan pada antar-muka billet-ruang. Untuk logam, billet dibungkus lapisan tipis yang lembut dan lebih rendah kekuatan logam seperti tembaga atau baja ringan.

Prosedur ini disebut juga selubung (jacketing atau canning). Selain itu untuk mengurangi gesekan pada antar-muka, selubung dapat mencegah kontaminasi billet dengan lingkungan atau jika material billet tersebut adalah racun (toxic) atau radioaktif (radioactive). Teknik ini dapat juga digunakan untuk ekstruksi serbuk logam.

Ekstrusi dingin (cold extrusion) telah dikembangkan pada tahun 1940-an. Ekstrusi dingin merupakan suatu operasi kombinasi seperti kempa dan ekstrusi langsung dan tidak langsung. Ekstrusi dingin diaplikasikan secara luas di industri, terutama untuk perkakas dan komponen-komponen untuk mobil, sepeda motor, sepeda dan peralatan pertanian.

**KLASIFIKASI EKSTRUSI** Proses ekstrusi dapat diklasifikasi menjadi beberapa jenis, yaitu : **ekstrusi langsung (direct extrusion)**, **ekstrusi tidak langsung (indirect extrusion)**, ekstrusi hidrostatis (hydrostatic extrusion) dan **ekstrusi dampak (impact extrusion)** dan ekstrusi sisi atau lateral (lateral extrusion). Ekstrusi langsung (direct extrusion) merupakan operasi penekanan terhadap billet yang dimasukkan dalam suatu ruang oleh balok dummy dan ram, sehingga keluar melalui lubang pada cetakan. **Proses ekstrusi ini bisa dilihat pada Gambar 5.2a.**

Ekstrusi tidak langsung (indirect extrusion) **hampir sama dengan ekstrusi langsung,**

namun logam yang diekstrusi ditekan keluar melalui lubang yang terdapat ditengah ram. Gaya yang diperlukan lebih rendah karena tidak ada gesekan antara billet dan dinding konteiner. Kelemahannya : ram tidak kokoh karena terdapat lubang ditengahnya dan produk hasil ekstrusi sulit ditopang dengan baik.

Ekstrusi impak (impact extrusion) Pada proses ini slug ditekan sehingga bahan slug terdorong keatas dan sekelilingnya. Ekstrusi Impak merupakan proses pengerjaan dingin logam meskipun begitu, pada beberapa jenis logam dan benda kerja, khususnya dengan dinding yang tebal, slug dipanaskan. Salah satu contoh penerapan ekstrusi impak adalah pada pembuatan tube pengemas tapal gigi dan sejenisnya.

Tabung yang sangat tipis ini dihasilkan dengan menekan bahan tebuk berbentuk tablet, seperti digambarkan pada Gambar 5.3. Penekanan dengan sekali jalan mengenai tablet, karena gaya cukup besar, logam tertekan ke atas di sekitar pons. Diameter luar tabung sama dengan diameter cetakan dan tebalnya sama dengan selisih antara pons dan cetakan. / Tabung pada Gambar 5.3

mempunyai ujung yang datar; bentuk yang dapat dibuat tergantung pada rongga cetakan dan ujung pons. Bahan tebuk untuk kemasan tapal gigi mempunyai lubang yang kecil ditengah dan rongga cetakan dibentuk sedemikian sehingga membentuk leher tabung. Sewaktu pons ditarik ke atas tabung dilepaskan dengan udara tekan.

Operasi keseluruhannya berjalan secara otomatis, dalam waktu satu menit dapat dihasilkan 35 sampai 40 tabung. Tabung-tabung tersebut kemudian diberi ulir, diperiksa, dipotong, dicat dan diberi tulisan-tulisan. Umumnya dipergunakan seng, timah hitam, timah dan paduan aluminium. Tabung dapat juga dilapisi dengan bahan tertentu, untuk memungkinkan hal tersebut, bahan pelapis dijadikan satu dengan bahan tebuk.

Ekstrusi impak murah, mempunyai permukaan yang halus dan jumlah produksi dapat diatur dari 100.000 sampai 20 juta tahun. Proses ini digunakan untuk membuat kelongsong peluru, kemasan minuman ringan dan berbagai suku cadang. Pada bagian bawah Gambar 5.3 digambarkan proses Hooker untuk membuat tabung kecil dan kelongsong peluru.

Bahan tebuk terdiri dari silinder kecil, sama dengan proses ekstrusi - impak, akan tetapi disini logam didorong ke depan melalui lubang cetakan. Ukuran dan bentuk tabung ditentukan oleh ruang antara pons dan rongga cetakan. Tabung tembaga dengan ketebalan 0,10 sampai 0,25 mm dengan panjang 300 mm dapat dibuat dengan cara ini.

Seringkali proses mengakibatkan bahan bertambah keras, sedemikian hingga, diperlukan anil antara. Pada Gambar 5.4 tampak mesin ekstrusi dingin berkecepatan tinggi yang digunakan untuk membuat poros gandar. Bilet dimasukkan dalam magasin mesin. Pada proses ekstruksi, yang dilakukan dalam empat pas, seperti tampak pada gambar di bawah ini, seluruh proses berlangsung secara otomatis.

Keuntungan dari proses ini yaitu perbaikan penyelesaian permukaan sehingga ketahanan fatik meningkat, pemakaian bahan lebih efisien, dan pengerasan akibat pengerjaan meningkatkan sifat-sifat fisis gandar. Mesin otomatis, berkapasitas 2,2 MN ini dapat menghasilkan 350 poros/jam dengan kecepatan ekstrusi sampai 8.4 m/menit. Ekstrusi Hidrostatik (hydrostatics extrusion) merupakan proses ekstrusi dengan tekanan menekan media fluida yang mengelilingi billet dan hasilnya adalah tidak ada gesekan antara billet dengan dinding kontainer. Tekanan yang dibutuhkan biasanya sebesar 1400 Mpa (200 ksi).

Tekanan tinggi fluida ke permukaan cetakan, signifikan dapat mengurangi gesekan dan gaya yang dibutuhkan. Tekanan hidrostatik meningkatkan keuletan material sehingga material-material yang getas dapat diekstrusi. Keberhasilan ekstrusi ditentukan oleh gesekan yang kecil, penggunaan sudut cetakan yang landai, dan rasio ekstrusi yang tinggi.

Operasi ekstrusi hidrostatik telah digunakan untuk material-material getas. Tetapi berbagai logam dan polimer berbentuk padatan, tube atau bentuk lain berongga seperti profil sarang madu dapat diekstrusi dengan baik. Ekstrusi hidrostatik biasanya dilakukan pada temperatur kamar (ekstrusi dingin).

Fluida yang digunakan oli tumbuh-tumbuhan, terutama oli castrol karena pelumasannya baik dan viskositas tidak berpengaruh signifikan terhadap tekanan. PENARIKAN (DRAWING) Penarikan (drawing) merupakan suatu operasi mengurangi atau mengubah bentuk penampang dari batangan padatan, kawat atau tube dengan penarikan melalui sebuah cetakan. Batangan ditarik untuk poros, spindle dan piston-piston kecil fastener.

**EKSTRUSI TABUNG** Ekstrusi tabung merupakan bagian dari ekstrusi langsung, tetapi menggunakan mandril untuk membuat lubang bagian dalam tabung. Bilet diletakkan dalam die, mandril didorong melalui billet dan ram mengekstrusi logam melalui die disekeliling mandril. Kecepatan ekstrusi tabung sampai 180 m/menit, digunakan untuk tabung gas. Proses pembuatan ekstrusi tabung ini bisa dilihat pada Gambar 9.5.

**/ PENARIKAN KAWAT** Bloom panas dipasang pada mesin pres vertikal dan dibentuk menjadi benda tempa berongga dengan alas tertutup, lalu benda tempa yang panas

kembali dimasukkan dalam pres vertikal dengan die yang semakin kecil. Pelubang yang digerakkan secara hidrolis menekan silinder yang dipanaskan. Untuk silinder ber dinding tipis atau tabung pemanas dan penarikan perlu diulang beberapa kali.

Untuk ujung pipa tertutup harus dipotong dan dirol kembali agar ukurannya tepat dan hasilnya baik, sedang ujung pipa terbuka ditempa kembali agar membentuk leher silinder atau direduksi dengan pengelolaan panas. PENARIKAN KAWAT Batang kawat, hasil pengerolan pils, ditarik melalui beberapa die, lihat Gambar 5.6, untuk memperkecil diameter dan sekaligus meningkatkan sifat-fisiknya.

Batang kawat dengan diameter 6 mm, berasal dari bilet yang digiling kemudian dibersihkan dalam larutan asam untuk menghilangkan kerak dan karat. Batang kawat diberi lapisan pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi, menetralkan sisa-sisa asam dan sekaligus merupakan pelumas atau lapisan tempat melekatnya lapisan berikutnya. Proses penarikan dapat bersifat bertahap atau kontinu.

Pada proses bertahap, suatu gulungan kawat dipasangkan di mesin dan salah satu ujungnya dimasukkan ke lubang penarik. Bila ril penarik berputar, kawat ditarik melalui lubang die sambil digulung. Langkah ini dapat diulang beberapa kali, setiap kali digunakan die yang lebih kecil, sampai diperoleh ukuran kawat yang dikehendaki.

/ Pada proses penarikan kontinu, seperti tampak pada Gambar 5.7, kawat ditarik melalui beberapa die dan ril penarik disusun secara seri. Dengan demikian kawat dapat mengalami deformasi maksimal sebelum memerlukan anil. Jumlah die tergantung pada jenis logam atau paduan yang sedang ditarik dan dapat bervariasi dari 4 sampai 12.

Die umumnya terbuat dari karbida tungsten, kadang-kadang untuk kawat halus dapat juga digunakan die intan. / PENARIKAN SILINDER Produk yang tidak dapat dibuat dengan mesin rol tanpa kampuh yang biasa, diolah dengan proses seperti tampak pada Gambar 9.8. Di sini bloom yang dipanaskan hingga temperatur tempa dan oleh pelubang tembus yang dipasang pada mesin pres vertikal, bloom tersebut dibentuk menjadi benda tempa berongga dengan alas tertutup. Benda tempa dipanaskan kembali dan dimasukkan kembali dalam pres vertikal dengan die dengan diameter yang semakin kecil.

/ Penyelesaian tabung yang memerlukan ketelitian dimensi, permukaan mulus, dan sifat fisik yang baik, dilakukan dengan penarikan dingin atau dengan mereduksi tabung. Tabung yang dibentuk dengan penggilingan panas dibersihkan dengan asam lalu dicuci sampai bebas dari kerak. Sebelum penyelesaian, tabung diberi pelumas untuk mengurangi gesekan dan untuk meningkatkan kehalusan permukaan, kemudian

dilakukan penarikan dingin.

Penarikan dilakukan pada bangku tarik, seperti terlihat pada Gambar 5.9. Pada salah satu sisi tabung terjadi reduksi diameter akibat pemukulan sehingga dapat masuk ke dalam die, kemudian dijepit dengan penjepit yang dihubungkan dengan rantai penarik. Lubang cetakan lebih kecil dari diameter luar tabung. Permukaan dalam dan diameter ditentukan oleh mandril yang terdapat di dalam tabung.

Bila ketelitian diameter tidak menjadi masalah mandril ini dapat ditiadakan. Daya tarik mesin berkisar antara 200 hingga 1300 kN, sedang panjangnya dapat mencapai 30 meter. Deformasi yang dialami bahan logam selama penarikan sangat besar; logam dibebani melebihi batas elastisitasnya sehingga terjadi aliran plastik dalam die.

Reduksi maksimum dalam satu pas adalah  $\pm 40\%$ . Peningkatan kekerasan cukup tinggi sehingga bila diperlukan beberapa kali reduksi, bahan harus dianil sesuai suatu pas. Dengan penarikan dingin dapat dihasilkan tabung dengan diameter kecil atau tabung yang tipis.

Tabung untuk jarum suntik dengan diameter luar kurang dari 0,13 mm merupakan salah contoh produk proses ini. Pereduksi tabung dilengkapi dengan die semi lingkaran beralur tirus. Tabung hasil pengerjaan panas, ditarik sambil diputar melalui die ini. Die bergoyang maju-mundur ketika tabung melaluinya. Mandril tirus yang ada di dalam tabung menentukan reduksi dan ukuran akhir tabung.

Dengan pereduksi tabung, dalam satu pas dapat dicapai reduksi setara yang memerlukan empat atau lima pas bila dilakukan dengan mesin tarik dingin biasa. Selain itu dapat dihasilkan tabung yang lebih panjang. Tabung hasil penarikan dengan mesin tarik dingin atau tabung hasil mesin pereduksi tabung, memiliki segala kelebihan produk pengerjaan dingin.

Disamping itu, tabung lebih panjang dan lebih tipis dibandingkan dengan produk hasil pengerjaan panas.





Schuler, 1998. "Metal forming handbook "Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, ISBN 3-540-61185-1. Ashby, M. F. 1987. "Technology of the 1990s: Advanced materials and predictive design". Philosophical Transactiona of Tha Royal Society of London. Ferigno, T. H. 1987.

Principles of filler selection and use. Dlm. Katz H.S. & Milewski J.V. (peny.). Handbook of Fillers for Plastics. New York : Van Norstrand Reinhold Comp. John, V. 1992. Introduction to Engineering Materials. London : The Macmillan Press Lmted. Plueddemann. E.P. 1974. Interface in polymer matrix composites. Dlm Broutman L.J. & Krock R.H (pnyt). Composite Materials, 6, hlm. xiii xv. New York: Academic Press.

#### INTERNET SOURCES:

-----  
<1% - <https://www.coursehero.com/file/26689383/-timpengaja-47-1-material-1pdf/>

<1% - <https://rezasolichinmaliknasutiontpusk13.blogspot.com/>

<1% -

<https://ale-dee1409.blogspot.com/2014/06/makalah-bahan-bahan-alam-berasal-dari.html>

<1% -

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/Tiwan,%20Drs.,%20ST.,MT./1%20Kegiatan%20Belajar%201.pdf>

<1% - <https://www.etsworlds.id/2017/10/klasifikasi-dan-jenis-material-teknik.html>

<1% -

<http://staffnew.uny.ac.id/upload/132048523/pendidikan/2+Kegiatan+belajar+2.pdf>

<1% - <https://rizkyabdi.blogspot.com/2012/04/kaitan-antara-sintesisikatan.html>

<1% - <https://frillarenty.blogspot.com/2010/01/material-science.html>

<1% -

<https://sabenatamsis.blogspot.com/2015/03/kontruksi-dan-struktur-bangunan.html>

<1% - <https://www.slideshare.net/LiaZaharani/makalah-pengetahuan-bahan>

<1% -

[https://fandy-telkom.blogspot.com/2013/03/jaringan-local-akses-tembaga-jaringan\\_6.html](https://fandy-telkom.blogspot.com/2013/03/jaringan-local-akses-tembaga-jaringan_6.html)

<1% - <https://id.scribd.com/doc/165662859/6-Proses-Pengecoran-D4>

<1% -

<https://publicilmu.blogspot.com/2014/05/makalah-sistem-saluran-pengecoran-logam.html>

<1% - <https://www.slideshare.net/yudihartono90281/proses-pengecoran-logam>

<1% - <https://halode.blogspot.com/2012/10/proses-pengecoran-logam.html>

<1% - <https://alsensalo.blogspot.com/2011/10/maklah-ilmu-logam-pengecoran.html>  
<1% - <https://ekaandrisusanto.wordpress.com/tag/pengecoran-casting/>  
<1% - [https://081993038562.blogspot.com/2014/10/proses-pengecoran-logam\\_12.html](https://081993038562.blogspot.com/2014/10/proses-pengecoran-logam_12.html)  
<1% - <https://nabilaswar222.wordpress.com/category/teknik-mesin/>  
<1% - <https://edoycupido.blogspot.com/>  
<1% -  
<https://engineeritnote.blogspot.com/2012/05/laporan-praktikum-material-teknik.html>  
<1% -  
<https://khairullahtulah.blogspot.com/2015/11/proses-pengecoran-prosespengecoran.html>  
<1% - <http://ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/2008/04/bab2-pp.pdf>  
<1% - <https://www.slideshare.net/lombkTBK/lumpur-dan-hidrolika-lumpur-pengeboran>  
<1% - <https://hapli.wordpress.com/foundry/pasir-cetak/>  
<1% -  
<https://mochamadnurman.blogspot.com/2013/03/pengecoran-cetakan-kulit-shell-molding.html>  
<1% - <https://edyridwansyahftuny.blogspot.com/2011/>  
<1% -  
<https://yohan46.blogspot.com/2012/03/proses-pengecoran-logam-metal-casting.html>  
<1% - <https://akarbuah.blogspot.com/2017/12/cara-tabulampot.html>  
<1% - <https://cithorues.blogspot.com/2014/04/bab-vii-berat-kering-unit-weight.html>  
<1% - <https://nasukhamesin.blogspot.com/2014/06/proses-pengecoran-logam.html>  
<1% - <https://jusufgltobing.blogspot.com/2012/03/perancangan-roda-gigi-dengan.html>  
<1% - [http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/tmp/ModulCastingDesign\\_0.pdf](http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/tmp/ModulCastingDesign_0.pdf)  
<1% - <https://www.bajatunggal.com/?p=176>  
<1% - <https://automotivehunter.blogspot.com/2013/07/>  
<1% - [https://mafiadoc.com/bab-2-tinjauan-pustaka\\_59be20dc1723dd0e40dae127.html](https://mafiadoc.com/bab-2-tinjauan-pustaka_59be20dc1723dd0e40dae127.html)  
<1% - [https://mochamadnurman.blogspot.com/2013/03/sand-casting\\_19.html](https://mochamadnurman.blogspot.com/2013/03/sand-casting_19.html)  
<1% - <https://es.scribd.com/document/338276460/Kamus-Tambang>  
<1% -  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/5811/08E00836.pdf.txt;sequence=3>  
<1% - <https://migasqu.blogspot.com/?m=1>  
<1% - <http://eprints.ums.ac.id/37966/1/NASKAH%20PUBLIKASI%202.pdf>  
<1% - <https://www.scribd.com/document/45016954/Doc>  
<1% -  
<https://www.scribd.com/document/364826942/Non-Destructive-Test-Berdasarkan-ASME-V>  
<1% - <http://lib.ui.ac.id/naskahringkas/2016-04/S54827-Kurniadi%20Sukma%20Wijaya>  
<1% - <http://www.sumbarprov.go.id/details/news/6643>

<1% - <http://journals.ums.ac.id/index.php/mesin/article/download/5238/3476>  
<1% -  
[http://bse.mahoni.com/data/2013/kelas\\_11smk/Kelas\\_11\\_SMK\\_Teknik\\_Pengecoran\\_Logam\\_&Perlakuan\\_Panas\\_3.pdf](http://bse.mahoni.com/data/2013/kelas_11smk/Kelas_11_SMK_Teknik_Pengecoran_Logam_&Perlakuan_Panas_3.pdf)  
<1% -  
<https://smart-fresh.blogspot.com/2011/01/sejarah-perkembangan-biologi-sel-dan.html>  
<1% - <http://ikyar.blogs.uny.ac.id/2017/09/>  
<1% -  
<https://muhammadrizkyfauzan.blogspot.com/2017/01/sand-casting-engecoran-logam.html>  
<1% -  
<https://sipp.menpan.go.id/pelayanan-publik/kalimantan-timur/kabupaten-penajam-paser-utara/pelayanan-pemulasaran-jenazah>  
<1% - <https://www.scribd.com/document/347131339/Proses-manufaktur-pdf>  
<1% - <https://logamceper.com/cacat-coran-dan-pencegahaanya/>  
<1% -  
[http://www.powershow.com/view4/8247ee-Zjk2M/PERBANDINGAN\\_PROSES\\_MANUFAKTUR\\_powerpoint\\_ppt\\_presentation](http://www.powershow.com/view4/8247ee-Zjk2M/PERBANDINGAN_PROSES_MANUFAKTUR_powerpoint_ppt_presentation)  
<1% - <https://id.scribd.com/doc/137879613/TUGAS-RANGKUMAN-KALPAKJIAN>  
<1% -  
<https://tugas-hendra-a-mp2.blogspot.com/2010/11/1-definisi-engecoran-logam-1.html>  
<1% - <http://www.softilmu.com/2013/04/jenis-dan-kegunaan-logam.html>  
<1% -  
<https://suprpto-5315077624.blogspot.com/2010/06/dasar-dasar-engecoran-logam.html>  
<1% - <https://ml.scribd.com/doc/245233118/Teknik-Pemesinan-Jilid-2-pdf>  
<1% - <https://storymesin.blogspot.com/2016/10/proses-engecoran-logam.html>  
<1% -  
[https://1automotif5.blogspot.com/2013/02/sistem-pendingin-pada-mobil\\_27.html](https://1automotif5.blogspot.com/2013/02/sistem-pendingin-pada-mobil_27.html)  
<1% - <https://id.scribd.com/doc/268139662/Makalah-Pmbuatan-Serbuk-Logam>  
<1% - <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/download/483/449>  
<1% - <https://debiyulda.wordpress.com/category/uncategorized/>  
<1% -  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/21627/Chapter%20I.pdf?sequence=4&isAllowed=y>  
<1% - <https://santrinekatgmail.blogspot.com/2010/>  
<1% - <https://faraland.wordpress.com/category/college/>  
<1% -  
[http://repository.unand.ac.id/1312/1/Pengembangan\\_dan\\_Penerapan\\_Motode\\_Penguat](http://repository.unand.ac.id/1312/1/Pengembangan_dan_Penerapan_Motode_Penguat)

an\_Bahan\_untuk\_Perbaikan\_Kualitas\_Produk\_IKM\_Logam\_di\_Sumatera\_Barat-\_2009-art.doc

1% - <http://ft.unsada.ac.id/wp-content/uploads/2008/04/bab4-pp.pdf>

1% - <https://steelengine.blogspot.com/2012/03/pengerjaan-panas-logam.html>

<1% - <https://id.scribd.com/doc/143297658/bab4-pp>

<1% - <https://akhmadkhamdani.blogspot.com/>

<1% -

<https://ml.scribd.com/doc/95850678/20080818114000-teknik-pembentukan-pelat-3-2>

<1% - <https://bantalanjembatan.blogspot.com/2010/>

<1% - <https://edie666.blogspot.com/2011/11/teknologi-pembentukan-dasar.html>

2% - <https://prosempengerjaan.blogspot.com/>

<1% - <http://repository.binus.ac.id/content/D0592/D059213255.doc>

<1% - <https://pakdosen.co.id/promosi-adalah/>

<1% -

<https://id.scribd.com/doc/314559834/Proses-Pemilihan-Bahan-Dan-Proses-Mustafa-2061>

<1% -

<https://www.scribd.com/document/91632071/50045535-Motor-Dan-Generator-AC>

<1% -

<https://id.123dok.com/document/rz3dme8y-proses-pemurnian-minyak-kelapa-sawit-menjadi-cpo-dengan-menggunakan-alat-oil-purifier-type-papx-307-sgd-11g-pada-stasiun-klarifikasi-di-ptpn-ii-persero-pks-pagar-merbau.html>

<1% -

<https://www.scribd.com/document/385068436/70820740-PENGERJAAN-PANAS-LOGAM-doc>

<1% - <https://ace-wdnto.blogspot.com/2010/11/>

<1% - <https://docplayer.info/257625-Modul-plpg-teknik-otomotif.html>

<1% - <https://www.scribd.com/document/348228915/Tugas-Material-Teknik>

<1% - <https://id.wikipedia.org/wiki/Bumi>

<1% - <https://isoquiqii.blogspot.com/2018/04/ccontoh-metode-pelaksanaan-rehab.html>

<1% - <https://id.scribd.com/doc/289746731/Teknologi-Bahan-Bangunan-Agregat>

<1% - <https://id.scribd.com/doc/275009555/1RekayasaMaterial>

<1% - <https://urangcijati.blogspot.com/2009/06/respirasi-distress-syndrom.html>

<1% -

<https://irma-teknikkimia.blogspot.com/2013/04/proses-industri-kimia-keramik.html>

<1% - <https://fariedpradhana.wordpress.com/tag/alumunium/>

<1% - <https://idanghendrawa.blogspot.com/>

<1% -

<https://id.scribd.com/doc/224435073/Kelas-X-SMK-Teknik-Pembentukan-Pelat-Ambiyar>

<1% - <http://repository.binus.ac.id/content/D0234/D023425238.ppt>

<1% -

<https://ml.scribd.com/doc/192350537/Proses-Deformasi-Dalam-Pengerjaan-Logam-Lembaran>

<1% -

<https://pengabdiankepadamasyarakat.blogspot.com/2015/11/modul-tek-kerja-bangku-kerja-pelat.html>

<1% -

<https://dimasrobisatria99.blogspot.com/2016/04/proses-indutri-kimia-pembuatan-kaca.html>

<1% - <https://lordbroken.wordpress.com/category/ilmu-dan-teknologi-pangan/page/22/>

<1% - <https://teknikmesinc.blogspot.com/2016/04/kisi-kisi-uts-proses-produksi-2.html>

<1% - <https://terasepte.blogspot.com/2014/05/makalah-pengecoran.html>

<1% -

<https://www.scribd.com/document/87176834/17119826-Kelas-XII-Smk-Teknikproduksi-mesinIndustri-Wirawanpdf>

<1% - [https://id.wikipedia.org/wiki/Tempa\\_\(metalurgi\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Tempa_(metalurgi))

<1% - <https://raditboyza.blogspot.com/2014/02/proses-penempaan.html>

<1% - <http://pangan.litbang.pertanian.go.id/en/hasil-pencarian.html>

<1% - <https://es.scribd.com/document/115579827/Teknik-Permesinan>

<1% - <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/download/187/180>

<1% -

<https://berkasak-kusuk.blogspot.com/2016/10/proses-ekstruksi-langsung-dan-tidak.html>

<1% - [https://esyasuryalovedha.blogspot.com/2012/11/pengerjaan-panas\\_4.html](https://esyasuryalovedha.blogspot.com/2012/11/pengerjaan-panas_4.html)

<1% -

<https://bektiwkidz.wordpress.com/2013/10/25/proses-pembentukan-logam-metal-forming/>

<1% - <https://edoc.pub/makalah-ekstrusi-pdf-free.html>

<1% -

<https://iantscientiest.blogspot.com/2013/07/perbedaan-ektrusi-lansung-dan-tidak.html>

<1% -

<https://msrpnup.files.wordpress.com/2014/11/6-proses-pembentukan-logam-d3.pdf>

<1% - <https://www.slideshare.net/lpanlmade/hot-working-jadipptx>

<1% - <http://repository.unpas.ac.id/28834/4/9.%20BAB%20II.docx>

<1% - [https://bacabse.blogspot.com/2010/03/smk-10-teknik-produksi-mesin\\_7032.html](https://bacabse.blogspot.com/2010/03/smk-10-teknik-produksi-mesin_7032.html)

<1% - <https://id.scribd.com/doc/58515222/Proses-Produksi>

<1% - <https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms/article/viewFile/14/13>

<1% -

<https://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/pembentukan-logam-metal-forming/proses-canai-panas-canai-dingin-hot-rolling-cold-rolling/>

<1% -

<https://pt.scribd.com/document/89926373/Bab-IV-Pengerjaan-Panas-Logam-Ingot-Baja>

<1% - <https://yefrichan.files.wordpress.com/2010/05/pengerjaan-dingin-logam.pdf>

<1% - <https://debiyulda.wordpress.com/>

<1% - <http://repository.binus.ac.id/content/D0234/D023417888.ppt>

<1% -

<https://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/BahanAjar/Mulyati/Struktur%20Kayu/Materi%20Pertemuan%20IV,V,VI,VII.pdf>

<1% - <https://id.scribd.com/doc/60915161/bab5-pp>

<1% - [https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung\\_Cahaya](https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung_Cahaya)

<1% - [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-36418-4\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-36418-4_7)

<1% -

<https://www.scribd.com/document/319011322/Diktat-Pemilihan-Bahan-Dan-Proses-docx>

<1% - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961201002836>