

2. LANDASAN TEORI

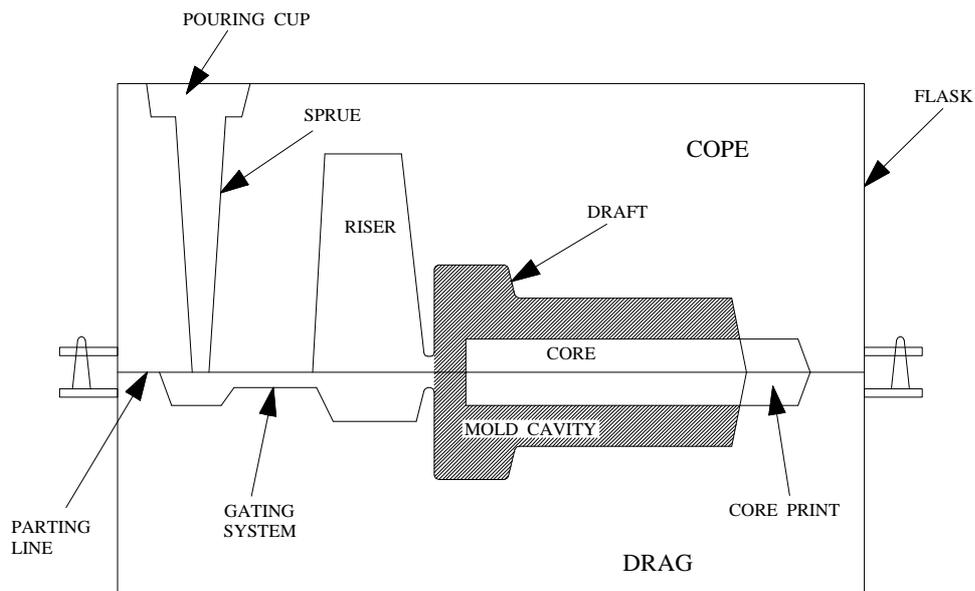
2.1. Cetakan Pasir

Pengecoran merupakan salah satu cara tertua yang dikenal manusia untuk memperoleh suatu produk. Pengecoran logam adalah pembuatan produk yang dimulai dengan penuangan cairan logam kedalam rongga cetakan yang memiliki bentuk seperti yang diinginkan dan dibiarkan hingga membeku [3]. Proses pengecoran dimulai dari pembuatan pola, pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair kedalam cetakan, pembekuan, pembersihan coran, hingga proses daur ulang pasir cetakan.

Pengecoran logam berdasar cara pengisian dibedakan menjadi pengecoran gravitasi (*gravity casting*), dan pengecoran bertekanan (*pressured casting*). Sedangkan menurut cetakan yang digunakan, pengecoran terdiri dari dua jenis, yaitu *expendable mold casting* dan *multiple-use mold casting*. *Expendable mold casting* adalah pengecoran logam dimana cetakannya hanya dapat digunakan dalam sekali pakai. Yang termasuk dalam jenis ini adalah *green sand mold*, *dry-sand mold*, *skin-dried mold*, dan lain-lain. *Multiple-use mold casting* adalah pengecoran logam dimana cetakannya dapat digunakan berulang-ulang, yang termasuk golongan ini adalah *permanent mold*, *ceramic mold casting*, *expandable graphite mold*, dan lain-lain.

Berdasarkan penggolongan diatas cetakan pasir (*sand casting*) termasuk golongan pengecoran dengan cetakan sekali pakai (*expendable mold casting*), *sand casting* dapat didefinisikan sebagai pengecoran logam yang memanfaatkan pasir sebagai bahan utama untuk cetakannya. Pasir dapat didefinisikan sebagai partikel yang terdiri dari butiran-butiran kecil sebagai akibat dari hancurnya batu-batuan, ukuran butiran pasir bervariasi antara 1/400 inch hingga 1/12 inch.

Dalam *sand casting* terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu: rongga cetakan, proses peleburan, teknik penuangan, *solidification process*, pengeluaran produk cor, dan *finishing*, *cleaning*, serta *inspection*. Sedangkan kualitas dari produk cor itu sendiri dipengaruhi oleh cetakannya, sifat logam cair, temperatur penuangan, sistem saluran, serta proses pengecoran itu sendiri.



Gambar 2.1 Bagian cetakan pasir^[4]

Bagian-bagian dari cetakan *sand casting* pada gambar 2.1 dijelaskan sebagai berikut ini:

- *Sprue* : adalah salah satu bagian dari sistem saluran, dan merupakan saluran dimana cairan logam masuk kedalam rongga cetak. *Sprue* menghubungkan *pouring cup* dengan *runner*.
- *Pouring cup* : dapat diartikan sebagai cawan tuang, yaitu tempat dimana logam cair dituangkan.
- *Riser* : adalah lubang yang berada pada cetakan atas yang berfungsi untuk memberi kesempatan cairan logam untuk naik, jika rongga cetakan telah penuh. Selain berguna untuk mengetahui bahwa rongga cetak telah terisi penuh, *riser* juga berguna untuk memfasilitasi keluarnya gas dari rongga cetakan. Fungsi *riser* yang utama adalah untuk mengantisipasi pengusutan logam sewaktu membeku dengan cara mensuplai cairan logam.
- *Cope* : adalah rangka cetakan bagian atas. Pada bagian ini terdapat semua sistem saluran. Bagian ini harus dipadatkan dengan tujuan agar tidak terjadi erosi pada waktu penuangan.

- Rongga cetak (*mold cavity*) : rongga cetak dibentuk dengan menempatkan pola pada posisi yang tepat, kemudian pasir dimasukkan dan dipadatkan.
- *Core* : merupakan bagian yang berfungsi sebagai cetakan dari bagian berongga dari produk coran.
- *Draft* : berupa sudut kemiringan pada pola yang berfungsi untuk mempermudah pola untuk dikeluarkan dari cetakan.
- *Parting line* : adalah garis batas antara *cope* dan *drag*.
- *Drag* : adalah rangka cetakan bagian bawah.

Sand casting mempunyai beberapa keuntungan yang menyebabkan cara ini sering digunakan dalam produksi. Keuntungan dari *sand casting* ini diantaranya adalah cocok digunakan untuk hampir semua jenis logam dan paduannya, dapat digunakan untuk produk kecil maupun besar (hingga 500 lbs atau sekitar 225 kg). Keuntungan lainnya adalah biaya produksi yang relatif lebih murah dibandingkan dengan proses lain, serta desain produk yang dapat dirubah dengan mudah.

Dengan *sand casting* biasa (*green sand mold*) ada beberapa keterbatasan, diantaranya adalah tidak mampu digunakan untuk meterial berat (baja), serta sering terjadi cacat coran sebagai akibat terperangkapnya gas dalam rongga coran maupun rusaknya cetakan karena tidak mampu menahan aliran logam cair. Untuk mengatasi permasalahan tersebut biasanya dipilih *dry sand mold* yang merupakan *green sand mold* yang telah dihilangkan kadar airnya.

Green sand mold adalah salah satu jenis dari *sand casting*, dimana cetakannya terbuat dari pasir dan memiliki kelembaban tertentu. Sedangkan *dry sand mold* adalah *green sand mold* yang telah dihilangkan kelembabannya.

Dry sand mold memiliki keuntungan yang lebih banyak dibandingkan dengan *green sand mold*, yaitu memiliki permeabilitas dan kekuatan cetakan yang lebih baik, sehingga mampu digunakan untuk material yang berat seperti baja. Cara ini juga mampu menghasilkan rongga cetakan yang lebih kaku (*rigid*) sehingga dimensi dari produk cor memiliki keakuratan yang lebih baik.

Menurut Pusat Standardisasi Industri yang dikeluarkan oleh Departemen Perindustrian dan Perdagangan Indonesia dalam SNI 15-0312-1989, yang

dimaksud dengan cetakan pasir kering (*dry sand mold*) adalah cetakan pasir yang pada mulanya adalah cetakan pasir basah (*green sand mold*) yang telah dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada temperatur 105°C – 110°C.

Kekuatan dan permeabilitas cetakan dalam *dry sand mold* tersebut meningkat karena kadar air yang mula-mula terkandung dalam pasir dihilangkan, sehingga diantara butir pasir akan terjadi ikatan yang kuat.

2.2. Syarat dan Sifat-sifat Pasir Cetak

Pasir yang digunakan dalam *sand casting* adalah pasir silika (SiO_2). Menurut Lawrence F. Doyle (New Jersey, 1989), pasir cetak yang digunakan harus mempunyai beberapa sifat yang memenuhi empat kriteria utama seperti berikut ini:

- Mempunyai ketahanan terhadap temperatur tinggi (*refractoriness*), sifat ini dimaksudkan agar pasir dapat menahan temperatur penuangan logam cair.
- Mempunyai sifat mampu bentuk (*cohesiveness*), sehingga mudah dalam pembuatan cetakan.
- Mempunyai permeabilitas (*permeability*) yang cukup, agar pasir yang telah dipadatkan dapat dilewati oleh gas dan udara.
- Memiliki kemampuan untuk mengijinkan logam untuk mengalami penyusutan pada saat pembekuan terjadi (*collapsibility*). *Collapsibility* juga dapat berarti kemampuan atau kemudahan cetakan untuk dapat dihancurkan setelah digunakan, untuk melepaskan benda kerja.

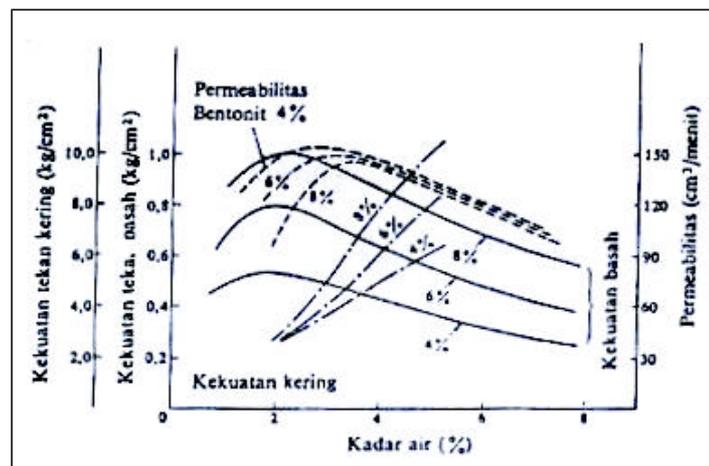
Disamping keempat sifat pasir diatas, ada beberapa sifat tambahan yang juga harus dimiliki pasir cetak ^[13]. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah:

- Pasir harus murah dan dapat digunakan berulang kali.
- Memiliki kekuatan yang cukup untuk dapat menahan berat logam cair serta mampu tahan terhadap erosi yang dapat terjadi sebagai akibat dari aliran logam cair.
- Pasir cetak yang digunakan harus memiliki komposisi yang sesuai dan tidak akan mengalami reaksi kimia dengan logam cair.

Pasir cetak diklasifikasikan menurut bentuk butirannya, yaitu butir pasir bundar, butir pasir sebagian bersudut, butir pasir kristal, dan lain sebagainya. Jenis pasir bundar adalah yang paling baik untuk digunakan sebagai pasir cetak, karena pasir ini memiliki kekuatan dan permeabilitas tertentu, serta dengan bentuk seperti ini aliran logam tidak terganggu.

2.2.1 Sifat Pasir Cetak Basah

Pasir cetak dengan tanah lempung atau bentonit sebagai pengikat menunjukkan berbagai sifat sesuai dengan kadar air. Oleh karena itu air merupakan faktor yang sangat penting untuk pasir cetak sehingga perlu diatur secara tepat.



Gambar 2.2. Pengaruh kadar air dan pengikat terhadap beberapa sifat pasir cetak ^[2]

Pada gambar 2.2 diperlihatkan hubungan antara kadar air dan kadar pengikat (*bentonite*) dengan berbagai sifat pasir. Jika kadar pengikat yang dibuat konstan, maka kekuatan cetakan basah mula-mula meningkat sesuai dengan pertambahan kadar air hingga mencapai titik tertentu kemudian mulai menurun. Sedangkan untuk kadar pengikat yang konstan dengan kadar air yang berubah akan menghasilkan grafik permeabilitas yang mula-mula meningkat kemudian menurun dengan landai. Pada cetakan pasir basah terdapat sifat penguatan oleh udara, yaitu perubahan sifat cetakan yang terjadi diantara waktu pembuatan cetakan dan pada waktu cetakan tersebut dituangi logam cair ^[2]. Perubahan sifat

tersebut mempengaruhi kekerasan cetakan. Umumnya sifat penguatan oleh udara terjadi karena pemerasan air dalam cetakan dan penguapan air dari permukaan cetakan.

Pemerasan air disebabkan gaya gravitasi bumi yang menyebabkan kandungan air dalam cetakan terkumpul pada bagian bawah cetakan yang kemudian menetes. Derajat kenaikan kekerasan bergantung pada sifat campuran pasir, derajat kepadatan, dan keadaan lingkungan (temperatur, kelembaban udara, dan lain-lain).

2.2.2 Sifat Pasir Cetak Kering

Pasir cetak yang dikeringkan memiliki permeabilitas dan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan pasir cetak dalam keadaan basah. Hal tersebut terjadi karena air yang terabsorpsi dalam butiran pasir dihilangkan. Pada gambar 2.3 diatas dapat terlihat bahwa untuk pasir cetak kering kekuatannya meningkat sesuai dengan kadar air yang diberikan.

Faktor yang memberikan pengaruh sangat besar pada sifat pasir kering adalah kadar air sebelum pengeringan. Kekuatan tekan diperlukan dengan tujuan mengurangi kemungkinan terjadinya erosi pada sistem saluran (*gating system*) maupun pada rongga cetak waktu dilakukan penuangan logam cair. Sedangkan permeabilitas dibutuhkan pasir cetak dengan tujuan agar udara dan gas dari cairan logam dapat keluar dari cetakan. Permeabilitas yang baik dapat mengurangi resiko terjadinya cacat pada produk cor.

2.2.3 Sifat-sifat Sisa

Sifat-sifat cetakan yang dibutuhkan ketika coran diambil dari cetakan setelah penuangan disebut sifat sisa ^[2]. Salah satu sifat sisa yang dibutuhkan adalah sifat kemudahan pembongkaran cetakan. Untuk mendapatkan sifat ini, maka perlu pengaturan yang ketat terhadap kadar air dan pemberian zat tambahan pada campuran cetakan. Zat aditif yang sering digunakan untuk memperbaiki sifat ini adalah bubuk arang (karbon) maupun *dextrin*.

2.3. Bahan-bahan Aditif

Cetakan pasir perlu ditambahkan aditif dengan beberapa tujuan, diantaranya adalah: meningkatkan kekuatan, meningkatkan permeabilitas, memperbaiki sifat plastisitas pasir, ketahanan terhadap temperatur tinggi meningkat, dan permukaan hasil akhir yang baik. Aditif yang sering digunakan untuk memperbaiki sifat pasir adalah ^[5]:

- *Coal dust* : aditif ini biasanya ditambahkan untuk *green sand mold* dan *dry sand mold* dengan tujuan menjaga permukaan cetakan terhadap aliran logam. Disamping itu, *coal dust* juga dapat meningkatkan kekuatan cetakan.
- *Iron Oxide* : adalah serbuk besi yang ditambahkan dengan tujuan meningkatkan sifat cetakan untuk tahan temperatur tinggi.
- *Dextrin* : digunakan sebagai pengikat, termasuk dalam golongan hidrokarbon (memiliki unsur C, H, dan O). *Dextrin* juga digunakan untuk meningkatkan ketangguhan pasir cetak dan *collapsibility* cetakan, serta dapat juga mencegah cetakan pasir untuk mengering terlalu cepat. Salah satu jenis *dextrin* yang dapat mudah dijumpai adalah tepung tapioka. *Dextrin* adalah karbohidrat dengan rumus molekul umum yang sama dengan tepung kanji, tapi molekulnya lebih kecil dan tidak terlalu kompleks ^[10]. *Dextrin* ($C_6H_{10}O_5$) merupakan hasil yang didapat dari proses hidrolisa tepung tapioka. Jika dicampur air, *dextrin* merupakan pasta perekat yang dapat dipakai dalam industri tekstil, industri farmasi, industri pengecoran logam (*foundry*), industri perekat sebagai extender kayu lapis atau industri lain.
- *Molasses* : adalah gula tetes, digunakan untuk mempertinggi pemakaian pasir cetak. Penggunaan *molasses* ini memberikan sifat pada pasir sehingga dapat dipakai berulang-ulang.
- *Suphite Lye* : zat aditif ini akan meningkatkan beberapa sifat dari pasir cetak, diantaranya adalah *dry strength*, *hot strength*, dan *collapsibility*.
- *Sodium Silicate* : merupakan salah satu jenis pengikat pasir.

- *Fibrous material* : material ini berwujud serabut dan meningkatkan *collapsibility*, serta mencegah terjadinya cacat pada coran.
- *Linseed Oil* : terbuat dari minyak biji rami yang berguna sebagai pengikat untuk campuran pasir inti.
- *Bentonite* : nama kimianya adalah *sodium montmorillonit* ($\text{OH}_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\text{nH}_2\text{O}$), bentonit adalah salah satu jenis bahan aditif yang sering digunakan sebagai unsur pengikat pasir dengan tujuan meningkatkan kekuatan cetakan. Pada mulanya bentonit digunakan sebagai zat pengental dalam pembuatan pasta zat warna bejana untuk menaikkan nilai pewarnaan pada katun ^[8]. Bentonit juga digunakan dalam *well drilling, taconite palletizing, metal casting, cat litter, animal/poultry feeds, irrigation, detergents, fungicides, ceramic, paper*, dan lain-lain ^[15].

2.4. Pengujian Cetakan

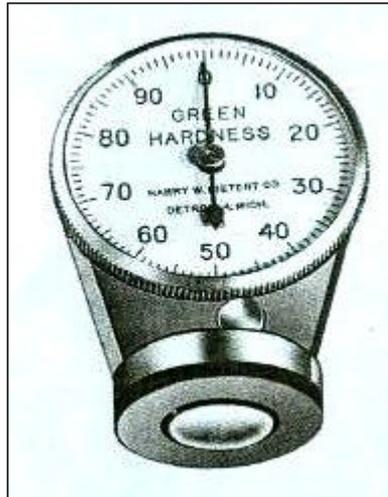
Pasir cetak perlu diuji secara berkala untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimianya. Sifat pasir cetak dapat berubah akibat tercampur kotoran-kotoran atau karena pengaruh suhu yang tinggi. Pengujian yang lazim diterapkan adalah pengujian mekanik untuk menentukan sifat-sifat fisik pasir.

Pengujian yang sering dilakukan adalah: pengujian kekerasan, analisa ayak, pengukuran kadar air, pengukuran kadar pengikat, pengujian permeabilitas, dan uji kekuatan pasir ^[2].

2.4.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan terhadap cetakan dan inti cetakan dengan bantuan alat pengukur kekerasan yang dapat dilihat pada gambar 2.3.

Prinsip kerja alat ini adalah sebagai berikut: bola baja dengan diameter 5,05 mm (0,2 inch) ditekan ke dalam permukaan oleh pegas (gaya 2,3 N). Kedalaman penetrasi diukur dalam milimeter yang kemudian dapat dikonversi menjadi angka kekerasan.



Gambar 2.3 Alat uji kekerasan cetakan dan inti ^[2]

2.4.2 Analisa Ayak

Analisa ayak digunakan untuk mengukur persentase ukuran butiran. Proses ini dimulai dengan mencuci pasir hingga bebas dari lempung (*clay*) maupun pengotor lain, kemudian dikeringkan. Analisa menggunakan satu set ayakan standar NBS dengan 11 ukuran (*mesh*), yaitu: 6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, dan 270.

Ayakan tersebut disusun secara vertikal dengan ukuran paling besar ditempatkan pada bagian paling atas, kemudian susunan tersebut diletakkan pada mesin pengguncang. Mula-mula pasir diletakkan pada ayakan paling kasar (paling atas), dan setelah diguncangkan selama 15 menit, berat pasir yang tertinggal dimasing-masing ayakan ditimbang dan dinyatakan dalam persen berat.

Bilangan kehalusan AFS (American Foundrymen's Society) didapatkan dengan cara mengalikan persentase berat dengan angka faktor tertentu, kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan persentase pasir yang tertinggal. Bilangan ini berguna untuk membandingkan kekasaran berbagai jenis pasir ^[2].

2.4.3 Pengukuran Kadar Air

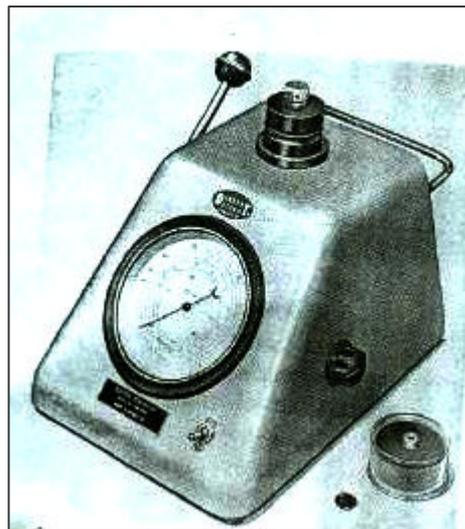
Kadar air pasir cetak tergantung pada jenis cetakan dan jenis logam yang dicor. Untuk memperoleh hasil yang memuaskan, kadar air perlu dikendalikan

dengan teliti. Salah satu cara yang paling teliti adalah dengan membandingkan antara berat pasir sebelum dikeringkan dengan berat pasir sesudah dikeringkan.

Pada alat pengukur kelembaban terdapat elemen pemanas dan peniup untuk mengeringkan pasir. Dari selisih berat dapat dihitung persentase kadar air. Cetakan pasir sebaiknya memiliki kadar air berkisar antara 2 hingga 8%, tergantung pada jenisnya ^[2].

2.4.4 Pengujian Permeabilitas

Pasir cetak yang baik harus mampu dilewati oleh uap dan gas-gas yang dilepaskan oleh cairan logam. Hal ini bergantung beberapa faktor, antara lain: bentuk butiran pasir, kehalusan pasir, tingkat kemampatan cetakan, kadar air, dan jumlah unsur pengikat.



Gambar 2.4. Alat uji permeabilitas untuk spesimen standar ^[2]

Pengujian permeabilitas adalah pengujian yang mengukur kemampuan gas untuk dapat lewat melalui ruang yang terdapat diantara butiran pasir ^[2]. Permeabilitas ditentukan oleh jumlah udara yang melalui contoh (spesimen) pasir cetak dalam keadaan standar (SNI 15-0312-1989) dalam waktu tertentu. Alat uji permeabilitas dapat dilihat pada gambar 2.4.

Pasir cetak dengan butiran kasar dengan sendirinya akan mempunyai nilai permeabilitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan pasir berbutir halus.

Pencampuran pasir halus dengan pasir kasar dapat dilakukan dengan tujuan merubah nilai permeabilitas.

Nilai permeabilitas dinyatakan dalam standar AFS yang dapat dihitung menurut rumus 2.1 berikut ini:

$$\begin{aligned} AFS \text{ number} &= \frac{V \times H}{P \times A \times T} && \text{rumus 2.1} \\ &= \frac{3000,2}{T} \end{aligned}$$

dimana: V adalah volume udara (2000 cm³), H adalah tinggi spesimen (5 cm), P adalah tekanan (10 g/cm²), A adalah luas alas spesimen (cm²), dan T adalah waktu yang dibutuhkan udara untuk melintasi spesimen (detik).

2.4.5 Pengukuran Kadar Lempung (*Clay*)

Alat untuk menentukan kadar lempung terdiri dari dapur pemanas, timbangan dan pencuci pasir. Sejumlah pasir (50 gr) dikeringkan kemudian dicampur dengan larutan soda kaustik (*sodium hydroxide*), setelah beberapa lama, soda kaustik yang mengandung lempung (berupa *alkaline*) dibuang. Proses ini diulang tiga kali. Spesimen dikeringkan, kemudian ditimbang dan dibandingkan hasilnya dengan berat semula untuk menentukan kadar lempung.

2.4.6 Pengujian Kekuatan Pasir

Untuk menentukan daya tahan dan daya ikat pasir basah maupun pasir kering, dilakukan percobaan tekan, percobaan tarik, maupun percobaan geser. Namun yang umum digunakan sebagai patokan adalah kekuatan tekan. Karena pasir rapuh, maka perlu diadakan persyaratan pengujian khusus.

Pada mesin uji kekuatan pasir (*Universal Sand Strength Machine*, lihat lampiran 12), beban diberikan terhadap spesimen dengan laju pembebanan yang konstan. Pembebanan diberikan terus hingga spesimen pecah. Selain untuk uji kekuatan tekan, mesin ini juga dapat digunakan untuk melakukan percobaan tarik, percobaan geser, dan sebagainya. Spesimen yang digunakan dapat berupa spesimen pasir kering, pasir basah, maupun untuk inti. Masing-masing jenis spesimen yang digunakan memiliki skala ukur yang berbeda-beda pada mesin ini.

Ukuran spesimen pasir yang diukur adalah sesuai dengan standar SNI 15-0312-1989. Beban diberikan pada benda uji dengan laju pembebanan konstan. Disamping itu terdapat pula peralatan tambahan untuk melakukan percobaan tarik, percobaan geser, dan sebagainya, yang dapat digunakan untuk pasir cetak basah, pasir cetak kering maupun inti.

2.5. Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan coran bertujuan untuk menyeleksi produk cor yang gagal memenuhi standar yang telah ditetapkan serta untuk menjaga kualitas. Pemeriksaan coran secara umum dibagi menjadi dua, yaitu: pemeriksaan merusak (*destructive test*) dan pemeriksaan yang tidak merusak (*non-destructive test*)^[2].

Pemeriksaan coran atau inspeksi dapat dilakukan dalam beberapa metode, yaitu:

- *Visual inspection* : inspeksi ini dilakukan tanpa alat bantu, hanya menggunakan indra penglihatan manusia. Inspeksi ini dapat digunakan dengan cara menganalisa kesalahan yang terjadi pada masing-masing tahap pada proses pengecoran, meliputi pembuatan pola, pembuatan cetakan, dan proses pengecoran itu sendiri.
- *Dimensional inspection* : kontrol dimensi biasanya dibutuhkan untuk semua tipe produk cor. *Dimensional inspection* dapat dilakukan dengan beberapa cara: *measuring instrument* (memeriksa ukuran), *template and contour gauge* (untuk mengecek profil permukaan), *limit gauge* (untuk menentukan toleransi dimensi pada produk cor dengan jumlah produksi banyak), *special fixture*. Jenis inspeksi ini juga dapat digunakan untuk mengukur atau mengetahui kekasaran permukaan produk cor. Kekasaran permukaan untuk *sand casting* biasanya berkisar antara 5 hingga 25 μm untuk kualitas yang baik, dan 25 sampai 50 μm untuk kualitas biasa.
- *Mechanical and chemical testing* : *mechanical testing* meliputi: *tensile test* (uji keuletan); *bend, notch bend, impact and transverse test* (uji tekuk, uji tarik); *hardness test* (uji kekerasan); dan *fatigue*

test (uji kegetasan). Pengujian ini meliputi seluruh sifat mekanik yang dimiliki logam. Sedangkan *chemical testing* dibutuhkan untuk menentukan batas kadar kimia dan sifat kimia yang diijinkan, serta untuk menentukan unsur-unsur yang terkandung didalam produk cor. Untuk produk cor yang termasuk golongan *ferrous*, *chemical testing* digunakan untuk mengecek prosentase karbon, silikon, sulfur, mangan, fosfor, dan lain-lain.

- *Flow detection by non-destructive methods* : metode ini digunakan untuk memeriksa bagian yang tidak dapat terdeteksi melalui metode visual, biasanya digunakan untuk memeriksa bagian *sub-surface* atau *internal defect*, maupun *surface defect*. Metode ini terdiri dari berbagai macam: *sound test* (digunakan untuk berbagai kebutuhan, diantaranya kekasaran permukaan), *impact test* (untuk mengetahui kekuatan), *pressure test* (mendeteksi kebocoran), *radiographic test* (menggunakan panjang gelombang antara 10^{-6} hingga 10^{-10} cm), *magnetic particle inspection* (digunakan pada besi atau baja dan paduannya), *electrical conductivity test* (untuk mengukur konduktivitas listrik, terbaca pada ammeter), *fluorescent dye penetrant inspection* (untuk mendeteksi keretakan kecil pada permukaan, dapat digunakan pada semua jenis logam), *ultrasonic test* (untuk mendeteksi kondisi permukaan), dan *eddy current test*.
- *Metallurgical inspection* : inspeksi ini digunakan untuk mengetahui ukuran butiran logam, inklusi non logam, *sub-microscopic pin hole*, tipe serta distribusi fase logam.
- *Fracture test* : metode ini dilakukan dengan cara mengamati kepatahan permukaan produk cor yang memungkinkan mengetahui *coarse graphyte* atau *shrinkage cavity*. Spesimen yang digunakan pada pengujian ini berupa baja atau besi cor berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan panjang 75 mm yang di-*quench*.
- *Macro-etching test* : pengujian ini mampu menampakkan salah satu dari tiga kondisi berikut ini: heterogenitas kristaline (menunjukkan arah pada saat terjadi solidifikasi logam),

heterogenitas kimia (menunjukkan *impurity* atau kekotoran), dan heterogenitas mekanik (menunjukkan regangan).

- *Microscopic examinations* : pemeriksaan ini digunakan untuk mempelajari struktur mikro dari logam atau paduan, komposisi, dan sifat mekanisnya.

2.6. Cacat Coran

Cacat yang terjadi pada produk cor dapat mengurangi total produksi. Cacat produk cor dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: cacat mayor dan cacat minor. Cacat mayor adalah cacat produk cor yang tidak dapat diperbaiki, sedangkan cacat minor adalah cacat yang masih dapat diperbaiki secara ekonomis.

Pada dasarnya, cacat yang terjadi pada produk cor disebabkan oleh:

- inti dan rongga cetak tidak tepat pemasangannya,
- penggunaan alat bantu yang tidak tepat,
- kekuatan cetakan kurang,
- desain sistem saluran dan *riser* yang tidak sesuai, sehingga terjadi aliran yang turbulen dan adanya gas yang terperangkap, serta terjadinya *shrinkage*,
- pembuatan pola yang tidak tepat dimensinya.

Cacat pada produk cor yang sering terjadi diantaranya adalah: *shift*, *warped casting*, *swell*, *blow hole*, *pin hole*, *shrinkage*, *gas holes*, *porosity*, *dirt*, *hot tears*, serta *cold shut and mis-run*.

- *Shift* : cacat ini terjadi karena penampang produk cor tidak tepat penempatannya, biasanya terjadi pada *parting line*. Cacat ini dapat dicegah dengan cara menjamin kelurusan pola, dan juga menjamin kelurusan rangka cetakan.
- *Warped casting* : cacat ini terjadi karena deformasi yang terjadi selama dan sesudah pembekuan logam. Cacat ini sering terjadi pada benda kerja yang tipis dan luas.
- *Swell* : *swell* terjadi sebagai akibat tekanan yang terjadi oleh tekanan cairan logam sehingga rongga cetakan membesar.

Biasanya terjadi karena pemadatan pasir kurang, maupun penuangan yang terlalu cepat.

- *Blow hole* : adalah lubang-lubang halus berbentuk bulat ($\pm 3\text{mm}$) yang terjadi pada permukaan produk cor. Cacat ini terjadi karena terperangkapnya gas atau udara dalam rongga cetak. Gas atau udara dapat terperangkap dalam rongga cetakan disebabkan karena permeabilitas pasir rendah, kelembaban pasir tinggi, butiran pasir yang terlalu halus, cetakan terlalu padat pada pembuatannya, dan kurangnya *venting* pada cetakan. Untuk mencegah *blow holes* dapat dilakukan dengan cara mengatur kelembaban cetakan, serta pengaturan butiran pasir yang sesuai.
- *Pin hole* : cacat ini mirip dengan *blow hole*, yang membedakan adalah pada *pin hole* diameternya lebih kecil, biasanya kurang dari 2 mm. Cacat ini terjadi karena terperangkapnya hidrogen atau monoksida pada rongga cetak.
- *Shrinkage* : cacat penyusutan ini terjadi karena tidak terkontrolnya proses solidifikasi logam. Cacat ini terjadi karena penempatan *gating system* yang tidak tepat atau ukuran *gating system* yang tidak tepat serta *riser* yang kurang mencukupi. Selain itu, cacat ini juga dapat diakibatkan oleh temperatur tuang yang terlalu tinggi. Cacat ini dapat dieliminasi dengan prinsip solidifikasi terarah, dengan menggunakan *chill*, *densener*, dan *padding*.
- *Porosity* : porositas adalah pembentukan gas dan penyerapan gas oleh logam selama logam dituang. Cacat ini terjadi jika logam panas melarutkan gas atau udara dari permukaan cetakan dan kemudian gas atau udara tersebut dibebaskan jika logam menjadi dingin yang kemudian meninggalkan porositas dalam produk cor.
- *Gas holes* : adalah lubang yang berada dibawah permukaan produk cor, akan tampak ketika produk cor tersebut dilakukan pemesinan.
- *Drops*: cacat ini disebabkan karena bagian permukaan cetakan retak dan mengakibatkan sejumlah pasir larut dalam cairan logam. Cacat ini biasanya disebabkan karena kurangnya kekuatan pasir.

- *Dirt* : merupakan partikel asing yang menempel pada permukaan produk cor.
- *Hot tears* : adalah cacat sobek pada permukaan produk cor yang disebabkan gangguan kontraksi sesudah logam membeku.
- *Cold shut and mis-run* : *Cold shut* adalah cacat yang tidak kontinu sebagai akibat dari ketidaksempurnaan penggabungan dua aliran logam dalam rongga cetakan. Secara visual, cacat ini tampilannya seperti retak atau sambungan yang halus. Cacat *mis-run* terjadi sebagai akibat dari kegagalan cairan logam untuk dapat mengisi seluruh rongga cetak. Penyebab kedua cacat ini adalah penampang cetakan yang terlalu tipis dan kurangnya ketebalan dinding cetakan, sistem saluran (*gating system*) yang tidak sesuai, rusaknya pola cetakan, laju penuangan rendah dan *intermittent* (penuangan logam cair secara terputus-putus), *fluidity* logam cair rendah, dan komposisi paduan yang tidak tepat.