library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Stir casting adalah metode pembuatan komposit logam yang sudah umum digunakan. Hal ini karena metode stir casting terbilang metode yang sederhana, ekonomis, dan juga fleksibel [5]. Metode ini banyak digunakan pada industri juga karena mengikuti jalur proses konvensional [19]. Stir casting menggunakan pengadukan mekanis untuk mengaduk lelehan aluminium dengan kuat dengan penambahan penguat secara bersamaan [20]. Pengadukan mekanis dilakukan selama 10 menit dengan kecepatan 600 rpm [21].

Metode stir casting selalu terikat dengan keterbasahan partikel penguat dalam prosesnya. Tingkat keterbasahan yang baik akan menyebabkan distribusi partikel yang lebih merata [22]. Penggunaan metode electroless coating pada penguat pasir pantai dilakukan untuk meningkatkan sifat keterbasahan partikel penguat. Proses electroless coating dilakukan dengan mencampurkan HNO3 dan Magnesium (Mg) pada partikel penguat pasir pantai. Proses tersebut akan membentuk fase spinel MgAl₂O₄ pada permukaan partikel penguat. Fasa ini menyebabkan nilai kekerasan komposit meningkat karena wettability meningkat [23]. Penambahan Mg saat proses pengadukan logam cair memiliki efek menggabungkan partikel penguat dalam lelehan dan meningkatkan distribusi partikelnya. Penambahan Mg yang optimal untuk mendapatkan distribusi partikel dan kekuatan mekanik terbaik berada pada 1% wt [24]. Penggunaan fraksi berat juga menentukan mempengaruhi wettability. Sharma meneliti komposit Al6061 dengan variasi penguat grafit dan ditemukan bahwa nilai kekerasan semakin menurun seiring dengan penambahan fraksi berat grafit. Fraksi berat penguat grafit paling optimal adalah sebesar 4% wt [25].

Heat treatment (perlakuan panas) dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit. Metode perlakuan panas T6 mencakup proses solution heat treatment, quenching, dan artificial aging. Akbar dkk telah meneliti tentang pengaruh laju pendinginan terhadap kekuatan komposit menggunakan tiga media quench yaitu air, larutan garam 10% (brine) dan oli [17]. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan media quenching menunjukkan nilai kekerasan yang

berbeda pula. Larutan air garam menghasilkan kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan media oli dan air. Nilai kekerasan semakin meningkat seiring dengan semakin cepatnya laju pendinginan [26]. Adanya fasa presipitat Mg₂Si yang terbentuk dari paduan Mg-Si berperan dalam peningkatan sifat karakteristik komposit. Laju pendinginan yang lebih tinggi menghasilkan butiran yang lebih halus [26]. Namun disisi lain, dengan adanya laju pendinginan yang tinggi menyebabkan adanya tekanan termal sehingga menyebabkan adanya distorsi hingga menyebabkan retak [17]. Sharma, dkk meneliti tentang perlakuan panas T4 dan T6 pada komposit aluminium LM40-silimate dan menyatakan perlakuan panas T6 dengan waktu aging selama 4 jam menghasilkan nilai kekerasan tertinggi [27].

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Komposit

Komposit adalah suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utamanya yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan [28]. Terdapat dua jenis penggabungan pada material, yaitu penggabungan makro (komposit) dan penggabungan mikro (paduan). Terdapat tiga jenis komposit yang didasarkan pada penguat yang digabungkan, yaitu komposit dengan penguat partikel, komposit dengan penguat serat, komposit dengan penguat struktural [29].

2.2.2. *Metal Matrix Composites* (MMC)

MMC adalah kombinasi atau perpaduan dari dua atau lebih bahan (yang salah satu bahannya adalah logam) dimana sifat yang disesuaikan didapat dari dua sifat yang berbeda. Contoh dari matriks logam yang sering digunakan adalah aluminium, magnesium, titanium, dan paduannya. Kombinasi dari beberapa unsur ini menjadikan karakter material yang baru yang memiliki peningkatan sifat tergantung pada bahan yang dicampur. Peningkatan sifat dari campuran ini dapat berupa peningkatan modulus elastisitas, kekerasan, kekuatan tarik, dan ketahanan aus [6]. Pemrosesan MMC berada ketika logam berada pada fase cair. Terdapat beberapa keuntungan ketika melakukan pemrosesan dalam keadaan cair, yakni ikatan antara partikel dengan matriks lebih baik, kontrol struktur matriks yang lebih mudah, sederhana, biaya pemrosesan yang rendah, dan pilihan material penguat yang lebih luas [30]. MMC sudah diaplikasikan dalam dunia industri sebagai bahan

rekayasa dan struktural diantaranya di industri dirgantara, industri konstruksi, dan industri otomotif [22].

2.2.3. *Aluminium matrix composite (AMC)*

AMC ini telah menjadi bahan yang diperlukan dalam berbagai aplikasi teknik seperti dirgantara, kelautan dan aplikasi produk mobil seperti piston mesin, liner silinder, cakram rem/drum dan sebagainya [31]. Sebagai komponen utama dari bahan logam, aluminium mempunyai karakteristik sifat yang sangat baik untuk digunakan dalam dunia industri, yakni ringan, tahan terhadap korosi, kuat, tahan terhadap suhu rendah, mudah diolah, penghantar panas yang baik, tidak bersifat magnetik, konduktor panas yang baik, mudah di daur ulang, perawatan yang mudah, dan tidak menimbulkan percikan api ketika material saling bergesekan [29]. Komponen matrix AMC adalah aluminium dan ditambah dengan partikel penguat seperti SiC, Al₂O₃, SiO₂ dan sebagainya [32].

2.3 Perlakuan pada partikel

Proses stir casting memiliki kelemahan yaitu keterbasahan antara partikel penguat dengan logam matriks. Keterbasahan berpengaruh terhadap ikatan antar muka. Ikatan antar muka yang baik terjadi jika partikel penguat dapat dibasahi sempurna oleh matriks. Untuk meningkatkat keterbasahan partikel penguat maka diberi perlakuan *electroless coating*. Electroless coating merupakan metode pelapisan partikel dengan berbasis oksidasi dari *substrate* yang akan dilapisi serta proses reduksi oleh ion logam dari larutan pelapis [33]. Lapisan electroless coating yang terbentuk relatif tipis akibat berhentinya proses pelapisan saat seluruh permukaan telah terlapisi [33]. Perlakuan *electroless coating* dibuat dengan menggunakan asam nitride (HNO₃), serbuk magnesium, dan serbuk aluminium. Proses dari electroless coating ini menghasilkan lapisan *spinel* (MgAl₂O₄) pada permukaan partikel penguat. Fasa *spinel* tersebut dapat meningkatkan nilai kekerasan pada AMC karena *wettability* yang baik antara penguat dengan matriks aluminium [23].

2.4 Bahan Penyusun Komposit Matriks Logam

Fabrikasi komposit yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan matriks aluminium paduan 6061 dengan penguat pasir pantai, serta tambahan magnesium sebagai wetting agent.

2.4.1 Aluminium

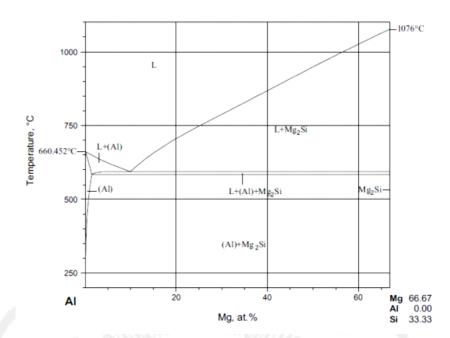
Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai kegunaan di bidang yang luas. Material ini sudah banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb. Sifat mekanik aluminium unggul seperti ringan, dapat menghantarkan listrik dengan baik, serta memiliki ketahanan korosi yang baik. Untuk meningkatkan sifat mekanik dari aluminium dapat menambahkan paduan dari unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, secara satu persatu atau secara bersamaan. Penambahan ini dimaksudkan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian rendah [34].

Aluminium dan paduannya sudah ditandai untuk memudahkan para peneliti dalam melakukan riset. Sistem penandaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 Aluminium hasil pengecoran

Komposisi Paduan	Nomor Seri
Aluminium, minimal 99,00% dan lebih besar	1xxx
Tembaga (Cu)	2xxx
Silikon dengan tambahan tembaga/magnesium	3xxx
Silikon (Si)	4xxx
Magnesium (Mg)	5xxx
Magnesium dan Silikon	6xxx
Seng (Zn)	7xxx
Timah (Sn)	8xxx
Unsur lainnya	9xxx

Tabel 2.1 Aluminium hasil pengecoran

Aluminium yang digunakan pada penelitian ini merupakan aluminium paduan hasil pengecoran seri 6061 dengan paduan utama magnesium dan silikon (Mg-Si). Diagram fasa dari paduan Al-Mg-Si ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram fasa Aluminium 6061 [34]

Pada umumnya taraf kekuatan logam dipengaruhi oleh kemampuan atomatom dalam kristal mangalami pergeseran (dislokasi) saat diberikan beban secara plastis. Semakin tinggi gaya yang dibutuhkan untuk melakukan pergeseran atomatom menandakan semakin kuat logam tersebut. Terbentuknya dislokasi tidak hanya ditentukan oleh kerapatan atom-atom, akan tetapi dipengaruhi pula oleh faktor rintangan (barrier) yang terjadi dalam kristal. Semakin besar rintangan, maka semakin banyak energi yg dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut. Penguatan aluminium bisa dilakukan dengan proses pemaduan dengan elemen-elemen lain (*solid solution hardening*), penguatan dari batas kristal (*grain boundary hardening*), penguatan karena efek pengerjaan dingin (*cold work*), dan penguatan dengan pembentukan partikel halus dalam kristal (*precipitation hardening*) [35].

Penguatan Aluminium Karena Pemaduan (*Solid Solution Hardening*) dilakukan dengan menambahkan elemen-elemen pemadu kedalam logam aluminium tersebut agar kekutannya dapat ditingkatkan. Elemen-elemen pemadu tersebut dapat menambah efek rintangan terhadap pergeseran atom-atom dalam kristal. Apabila atom terlarut (*solute*) sama besarnya dengan atom pelarut (*solvent*) yang dalam hal ini aluminium maka atom terlarut akan menduduki tempat kisi (*lattice point*) dalam kisi kristal atom aluminium. Hal ini disebut larutan padat

substitusi (*substitutional solid solution*). Akan tetapi apabila atom terlarut jauh lebih kecil dari atom pelarut, maka atom terlarut menduduki posisi sisipan (*interstitial soild solution*) dalam kisi pelarut. Hasil penambahan unsur terlarut pada umumnya adalah meningkatkan tegangan luluh, karena atom terlarut memberikan tahanan yang lebih besar terhadap gerakan dislokasi dari pada terhadap penguncian statis.

10

Deformasi plastis pada umumnya terjadi dari batas kristal yang bergerak didalam dan berhenti pada batas kristal berikutnya. Hal ini berarti disamping sebagai tempat awal terjadinya dislokasi, batas kristal juga berlaku sebagai penghalang dislokasi. Jadi untuk logam yang mempunyai kristal tunggal, tidak memberikan halangan yang berarti terhadap pergerakan dislokasi, sehingga kekuatannya rendah. Karena itu agar aluminium mempunyai kekuatan yang lebih besar maka perlu dilakukan penambahan elemen-elemen lain yang memungkinkan terbentuknya kristal majemuk. Pada logam dengan kristal yang besar, jumlah batas kristal (batas butir) tidak sebanyak jika dibandingkan logam dengan kristal yang kecil (butirannya halus), yang berarti semakin banyak batas kristal (kristalnya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut. Penguatan ini disebut penguatan dari batas kristal (grain boundary hardening).

Penguatan alumunium menggunakan pengerjaan dingin dapat dilakukan setelah proses pengerolan panas (hot rolling). Hasil dari pengerolan panas belum memberikan kekuatan yang tinggi terhadap pelat, tetapi setelah dilakukan pengerolan dingin maka lembaran alumunium akan mengalami peningkatan kekuatan. Efek ini disebut efek pengerasan regangan atau *strain hardening*. Mekanisme penguatan ini terjadi karena peningkatan kerapatan dislokasi dalam kristal logam dimana dislokasi yang telah terbentuk tersebut dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap gerakan dislokasi pada deformasi berikutnya.

Dengan pengaturan komposisi kimia dan proses pengerjaan/perlakuan panas, paduan logam dapat memberikan struktur yang mengandung partikel-partikel halus didalam kristal. Pembentukan partikel halus tersebut dapat dicapai melalui pengubahan tingkat kelarutan dari suatu unsur atau senyawa dari suatu paduan atau menambahkan partikel-partikel yang keras seperti oksida atau karbida kedalam logam. Penguatan alumunium ini disebut dengan pengerasan endapan

(*precipitation hardening*). Pengerasan endapan akan terjadi apabila fasa kedua dapat dilarutkan pada temperatur tinggi, tetapi harus mempunyai kemampuan larut yang berkurang dengan turunnya temperatur.

2.4.2 Pasir Pantai

Pasir pantai digunakan sebagai penguat sebagai bentuk inovasi untuk menekan biaya fabrikasi komposit. Syarat dari penggunaan pasir pantai ini harus sudah melalui proses penghalusan (*meshing*) agar partikel dapat bercampur dengan logam aluminium dengan baik. Penggunaan penguat pasir pantai terus dikembangkan untuk meneliti lebih dalam sifat mekanis yang dihasilkan dari perpaduan aluminium-pasir pantai [36].

2.4.3 Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan logam ringan yang memiliki densitas 1,7 g/cm3. Magnesium memiliki struktur krital HCP, relatif ringan, modulus elastisitas 45 GPa, titik didih 1090°C, titik lebur 650°C [37]. Penambahan magnesium pada saat pencampuran logam alumunium cair terbukti dapat meningkatkan wettability antara partikel penguat dengan matriks karena tegangan permukaan magnesium yang lebih rendah dibandingkan alumunium [24].

2.5 Fabrikasi Komposit Matriks Logam

Proses fabrikasi komposit MMC terbagi menjadi dua yaitu *solid state* process dan liquid state process.

2.5.1 *Solid state process*

Sesuai dengan namanya, *solid state process* adalah proses pembuatan komposit melalui fasa padat. Teknisnya adalah dengan mencampurkan matriks dengan penguat secara bersamaan yang ditekan kedalam cetakan. Metalurgi serbuk adalah contoh dari proses pembuatan komposit melalui fasa padat [2]. Pembuatan dengan proses ini memiliki kelebihan yaitu pendistribusian dari matriks dan penguat dapat merata serta memiliki sifat mekanis yang baik. Namun kekurangan dari metode ini adalah dalam penyimpanan serbuk lebih susah, ukuran dari benda terbatas, dan biaya yang relatif mahal.

2.5.2 *Liquid-state*

Liquid-state merupakan proses manufaktur komposit matriks dalam bentuk fasa cair (Liquid-state). Stir casting termasuk dalam proses MMC liquid state. Proses stir casting dimulai dengan meleburkan aluminium sampai suhu tertentu. Setelah aluminium lebur, partikel penguat dicampur dengan lelehan matriks. Pengadukan mekanik dilakukan untuk menggabukan campuran matriks dengan penguat agar distribusi partikel merata. Paduan dari matriks aluminium dengan partikel penguat selanjutnya dituang ke dalam cetakan. Proses pengadukan ini dilakukan karena adanya perbedaan massa jenis dari penguat pasir pantai sebesar 3,13 gr/cm3 dan matriks aluminium sebesar 2,7 gr/cm3. Massa jenis penguat yang lebih berat menyebabkan partikel penguat mengendap dibawah, oleh karena itu pengadukan diperlukan agar penguat dapat tersebar lebih merata.

Hasil komposit dari manufaktur menggunakan *stir casting* dipengaruhi oleh beberapa parameter proses seperti waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, keterbasahan elemen, kecepatan penuangan penguat dan pemanasan awal (*preheating*) cetakan [38].

Waktu pengadukan mempengaruhi distribusi partikel yang seragam dan menciptakan interface bonding yang baik antara matriks dan penguat. Lebih banyak waktu pengadukan berkontribusi pada distribusi partikel yang konsisten dan lebih sedikit pengadukan menciptakan pengelompokan partikel di tempat-tempat tertentu.

Kecepatan pengadukan dianggap sebagai faktor penting yang memfasilitasi distribusi homogen partikel penguat dalam logam cair, pengadukan mekanis yang efektif dapat dilakukan dengan pengaduk mekanis putar berkecepatan tinggi. Kecepatan pengadukan mempengaruhi dan menentukan pembentukan pusaran yang menjadi penentu atas distribusi partikulat penguat dalam logam cair [38].

Keterbasahan partikel penguat yang buruk menjadi kelemahan dari proses *stir casting*. Penambahan unsur paduan magnesium ke dalam lelehan aluminium dapat meningkatkan keterbasahan dengan partikel penguat. Magnesium dapat ditambahkan saat aluminium cair untuk meningkatkan keterbasahan karena mengurangi tegangan permukaan [38].

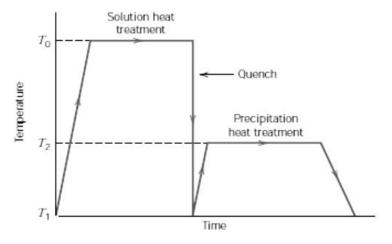
Untuk mendapatkan kualitas yang baik, kecepatan penuangan serbuk harus seragam. Jika tidak seragam maka akan terjadi pengerumunan partikel di beberapa tempat yang dapat memperbesar terjadinya porositas [22].

Pemanasan awal cetakan penting karena membantu menghilangkan gas yang terperangkap yang menjadi penyebab porositas sehingga merupakan solusi yang baik untuk mencegah porositas [38].

2.6 Heat treatment (Perlakuan Panas)

Perlakuan panas adalah suatu proses dari pemanasan dan pendinginan dari logam untuk mencapai sifat fisik dan mekanik yang diinginkan melalui perubahan struktur kristal dari bahan [12]. *Heat treatment* (perlakuan panas) dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik sesuai yang diinginkan.

Perlakuan panas pada komposit matriks logam (MMC) memiliki aspek tambahan untuk mempertimbangkan partikel yang masuk ke dalam matriks dapat mengubah karakteristik permukaan paduan dan meningkatkan energi di permukaan. Tidak semua paduan logam dapat dilakukan perlakuan panas, hal ini dikarenakan perbedaan titik lebur dan sifat mekanis lainnya. Terlebih lagi tidak semua unsur dari paduan aluminium terpengaruh oleh adanya perlakuan panas. Alumunium seri 6xxx merupakan jenis aluminium yang dapat dikenakan perlakuan panas T6. Terdapat tiga tahap dari perlakuan panas T6, yaitu solution treatment, quenching, dan artificial aging [37]. Gambar 2.2 menunjukkan siklus perlakuan panas



Gambar 2.2 Siklus perlakuan panas T6 [12]

2.6.1 Solution treatment

Solution treatment atau perlakuan panas pelarutan adalah tahap yang pertama kali dilakukan pada proses perlakuan panas T6. Proses ini dilakukan dengan memanaskan logam aluminium dengan temperatur 540°C dan dilakukan penahanan selama 6 jam agar elemen zat pelarut benar-benar terlarut [17]. Tujuan dari Solution treatment sendiri adalah untuk menghasilkan larutan padat yang mendekati homogen [17].

2.6.2 Quenching

Quenching adalah pendinginan logam yang telah dipanaskan ke dalam media pendingin untuk mengeraskan endapan. Dalam proses perlakuan panas T6 logam yang diquenching adalah logam paduan aluminium yang telah dilakukan proses solution treatment ke dalam tiga media yakni air, larutan garam 10%, dan oli. Adanya tiga media quencing adalah sebagai pembanding dalam menilai karakteristik gesek komposit yang paling baik. quenching diakukan agar larutan pada homogen yang terbentuk pada solution heat treatment tetap pada tempatnya [17].

2.6.3 Penuaan (*Aging*)

Proses akhir dari perlakuan panas adalah penuaan atau proses *aging*. *Aging* dilakukan untuk mendapatkan distribusi endapan yang merata [17]. *Aging* terdiri dari dua jenis, yaitu penuaan alami dan penuaan buatan. Penuaan alami (natural *aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan temperatur tuang. Natural aging berlangsung pada temperature ruang antara 15°C-25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur 100°C-200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1-24 jam [39].

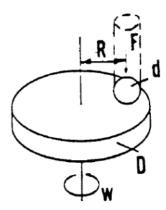
2.7 Pengujian Spesimen

2.7.1 Pengujian koefisien gesek dan keausan spesifik

Pengujian koefisen gesek dan juga keausan spesifik menggunakan tribometer tipe pin on disc. Spesimen yang digunakan berupa pin diam dan lokasi kontak pada piringan dengan kecepatan relatif. Kecepatan energi total yang terdisipasi ke dalam kontak sliding yang ditentukan oleh gaya gesek dan kecepatan

15

relatif dari *sliding*. Pengujian gesek mengacu pada standar ASTM G-99 seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema pengujian koefisen gesek dan keausan spesifik [40]

Nilai koefisien gesek dari dua benda yang bergesekan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.1:

$$\mu = F_{gesek} / N \tag{2.1}$$

Keterangan: μ = Koefisien gesek

 $F_{gesek} = Gaya gesek rata-rata (N)$

N = Gaya pembebanan spesimen (N)

Besar dari nilai keausan spesifik dapat ditentukan dengan Persamaan Archard 2.2:

$$K = \frac{\Delta V}{F.L} \tag{2.2}$$

Keterangan: $K = \text{Keausan spesifik } (\text{mm}^3/\text{Nm})$

 ΔV = Perubahan volume pin (mm³)

F = Pembebanan spesimen (Newton)

L = Panjang lintasan (m)

2.7.2 Pengujian densitas dan porositas

Densitas suatu benda akan mempengaruhi massa benda tersebut. Densitas merupakan pengukuran massa benda per satuan volume benda. Densitas juga didefinisikan sebagai kepadatan suatu zat yang dipersamakan secara matematika berupa perbandingan massa benda dengan volum benda. Bentuk benda yang pengukurannya sulit dilakukan bentuk yang tidak teratur, maka pengukuran dilakukan dengan prinsip *Archimedes*, yaitu berat sebuah benda adalah sama

dengan berat air yang dipindahkan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan penimbangan material di udara dan di air kemudian dimasukkan ke Persamaan 2.3 untuk mendapatkan massa jenis aktual.

$$\rho a = ms/(ms - mg) \ x \ \rho H_2 0 \tag{2.3}$$
 Keterangan: $ms = \text{massa benda di udara} \tag{g}$
$$mg = \text{massa benda di dalam air} \tag{g}$$

$$\rho H_2 0 = \text{massa jenis air} \tag{1 g/cm}^3)$$

$$\rho a = \text{massa jenis komposit aktual} \tag{g/cm}^3)$$

Densitas suatu material sangat dibutuhkan dalam proses pencampuran antara dua atau lebih material, misalnya dalam kasus ini adalah Al-6061, Al₂O₃, dan Mg. Pencampuran material dapat dilakukan dengan menggunakan perbandingan fraksi volume dan juga fraksi berat. Penggunaan fraksi berat akan mempermudah dalam perhitungannya berat setiap materialnya. Densitas teoritis berdasarkan *rule of mixture* pada Persamaan 2.4 sebagai pembanding terhadap densitas aktual.

$$\rho c = \rho m.Vm + \rho f.Vf + \rho p.Vp$$
(2.4)

Keterangan: $\rho_c = \text{massa jenis komposit}$ (g/cm³)
$$\rho_m = \text{massa jenis matriks}$$
 (g/cm³)
$$\rho_f = \text{massa jenis fiber}$$
 (g/cm³)
$$\rho_p = \text{massa jenis partikel}$$
 (g/cm³)
$$V_m = \text{fraksi volume matriks}$$
 (%)
$$V_f = \text{fraksi volume fiber}$$
 (%)
$$V_p = \text{fraksi volume partikel}$$
 (%)

Porositas adalah jumlah kadar pori-pori yang ada pada setuap benda padat, baik pori-pori yang dapat tembus air maupun tidak yang dinyatakan dengan % terhadap volume benda [23]. Dua jenis porositas yang mungkin terjadi adalah porositas terbuka dan tertutup. Porositas tertutup merupakan rongga didalam suatu benda yang tidak dapat ditembus oleh air, terbuka mempunyai akses dengan permukaan luar meskipun rongga berada di tengah-tengan benda. Perhitungan persentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas yaitu densitas teoritis dengan densitas percobaan menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$P = (1 - \frac{\rho s}{\rho th}) \times 100\%$$
 (2.5)

Keterangan:

 ρ s = densitas spesimen atau densitas komposit (g/cm³)

 ρ th = densitas teoritis (g/cm³)

P = persentase porositas

2.7.3 Pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kandungan partikel yang ada dalam logam coran serta mengetahui jika adanya cacat dalam coran. Pengamatan struktur mikro ini memungkinkan kita mengetahui bentuk dan ukuran butir serta pendistribusian dari material penguat dalam proses *stir casting*. Hal ini berpengaruh terhadap sifat dari coran, pendistribusian material penguat yang merata akan meningkatkan sifat mekanik logam coran, seperti kekerasan kekuatan tegangan. Pengamatan struktur mikro menggunakan ASTM E407 dengan larutan etsa *reagen keller*, 2ml HF + 3 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 190 ml *aquades*. Spesimen dicelupkan ke dalam larutan etsa ini selama 10 hingga 20 detik yang kemudian dicuci dengan air mengalir.