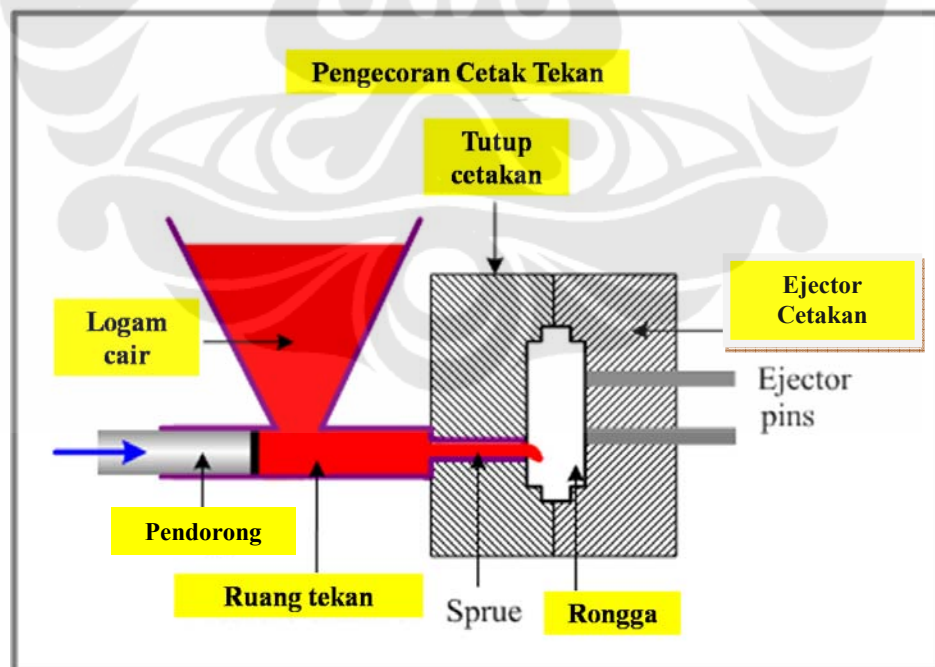


BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. PENGECORAN CETAK TEKAN (DIE CASTING)

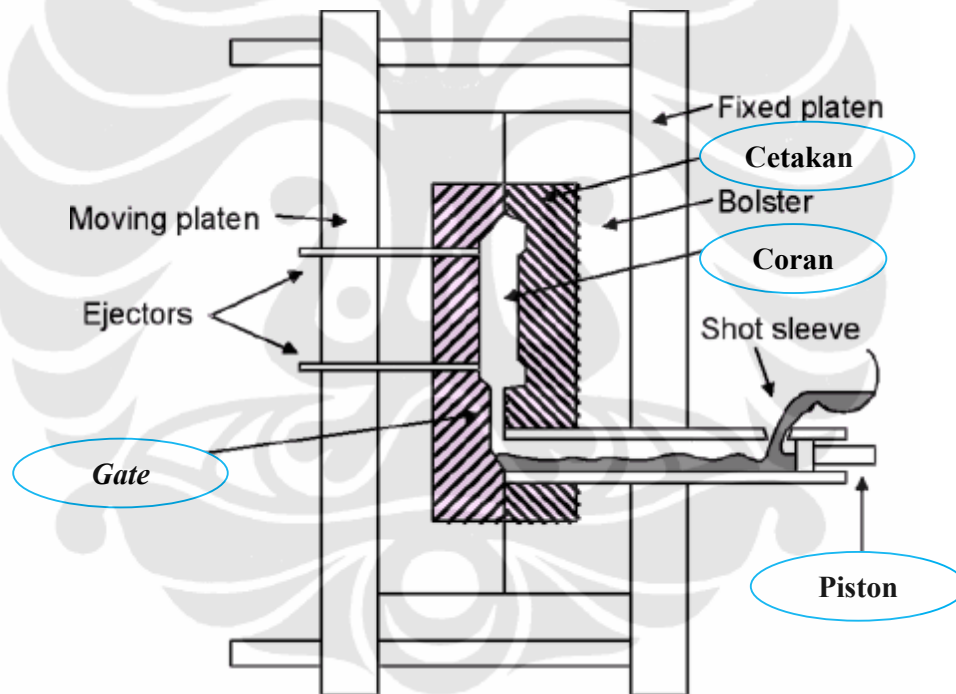
Die casting adalah suatu proses pengecoran dengan menggunakan cetakan logam. Proses *die casting* dapat memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan proses pengecoran lainnya. Hal ini disebabkan karena produk yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat yang sangat baik, seperti dimensi yang sangat presisi, dapat memproduksi massal[2], dan dapat menghasilkan permukaan coran yang halus. Dalam proses *die casting* ada tiga parameter keberhasilan terhadap proses yang dilakukan, yaitu cetakan, mesin *die casting*, dan materialnya sendiri[3]. Salah satu keterbatasan *die casting* adalah harga mesin dan cetakan yang mahal.



Gambar 2.1 Prinsip Proses Pengecoran Cetak Tekan [4]

2.1.1. Proses High Pressure Die Casting (HPDC)

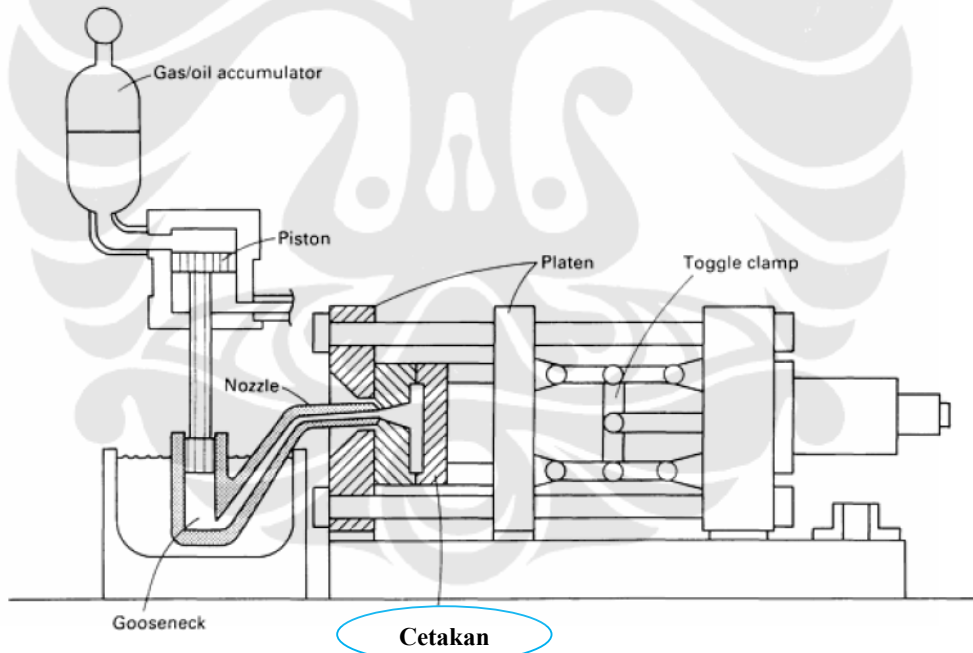
Pengecoran cetak bertekanan tinggi merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Pada proses ini logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*die*) dengan kecepatan dan tekanan yang tinggi, yaitu sebesar 200 bar. Logam cair akan membeku dengan cepat dalam *die* yang terbuat dari logam dan hasil cor kemudian dilepaskan dari rongga cetakan oleh suatu sistem yang disebut *ejector*. Proses pengisian cetakan yang sangat cepat, sehingga metode ini dipakai untuk pengecoran benda-benda yang tipis dengan bentuk rumit. Disamping itu pula, dengan proses pengecoran yang sangat singkat dan banyaknya produk yang dihasilkan dapat membuat hasil produksi lebih ekonomis dan efisien.



Gambar 2.2 Skematis mesin *high pressure die casting* [5]

Mesin pengecoran cetak bertekanan tinggi seperti pada gambar 2.2 terdiri dari dua plat vertikal yang didalamnya terdapat *bolster* yang berfungsi untuk menyanggah cetakan. Salah satu plat dapat digerakkan sehingga cetakan dapat dibuka dan ditutup. Logam cair dituang kedalam *shot sleeve* dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan piston yang digerakkan secara hidrolik. Setelah logam cair membeku, cetakan terbuka dan benda coran diambil .

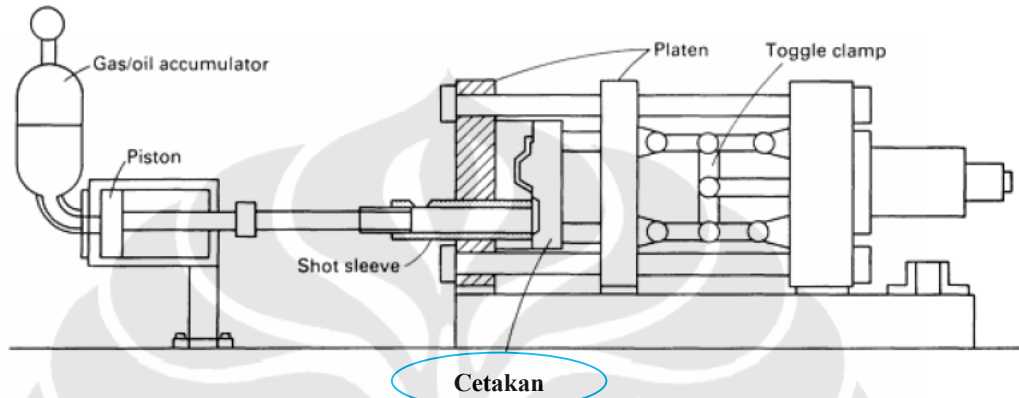
Berdasarkan *holding furnace* yang digunakan, *high pressure die casting* dapat kategorikan menjadi dua jenis proses, yaitu proses kamar panas (*hot chamber process*) dan proses kamar dingin (*cold chamber process*). Perbedaan kedua proses ini adalah perbedaan aplikasi dari metode yang dipakai serta jenis paduan yang dapat digunakan. Pada *hot chamber process*, *holding furnace* didesain terintegrasi dengan mesin *die cast* dan letak *plunger* terdapat didalam *holding furnace* sehingga terendam oleh logam cair. Proses ini biasanya digunakan untuk logam dengan titik lebur yang rendah seperti paduan-paduan Zn, Pb, Sn, dan Mg yang bertujuan untuk mengurangi resiko terjadinya pembekuan logam yang terlalu cepat. Proses ini memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat mengurangi efek turbulensi dari cairan logam, mengurangi efek oksidasi terhadap udara bebas, dan dapat mengurangi panas yang hilang selama proses penekanan hidrolik berlangsung. Mesin *hot chamber HPDC* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mesin cetak ruang panas (*hot chamber*) [6]

Proses *hot chamber* memiliki kekurangan, yaitu biaya perawatan sistem yang mahal dan kontaminasi logam cair oleh kontainer atau sebaliknya. Kontak yang terlalu lama antara material cair dan komponen dari mesin *die casting* akan menimbulkan banyak masalah pada proses produksi yang berlangsung. Masalah ini dapat diatasi pada proses kamar dingin (*cold chamber*) dimana sumber logam

cair dipisahkan dari mesin selama proses. Hal ini memungkinkan material-material yang memiliki titik lebur yang tinggi seperti paduan-paduan aluminium, tembaga, dan beberapa jenis paduan besi dapat dicor dengan menggunakan metode ini. Mesin *cold chamber HPDC* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mesin *Cold Chamber HPDC*[6]

Holding furnace terletak terpisah dari mesin *die cast* dalam proses *cold chamber*. Transfer logam cair dilakukan dengan pompa otomatis atau *ladle* mekanik. Pada proses ini kemungkinan abrasi dan kontaminasi lebih kecil. Proses ini menggunakan sebuah *ladle* yang terletak diluar *holding furnace*-nya. aluminium cair dipindahkan menggunakan sebuah *ladle* hidrolik dan dituangkan kedalam *plunger* sehingga temperatur yang hilang ketika aluminium ditransfer dari *holding furnace* ke *plunger* harus diperhitungkan.

2.2. PADUAN ALUMINIUM TUANG

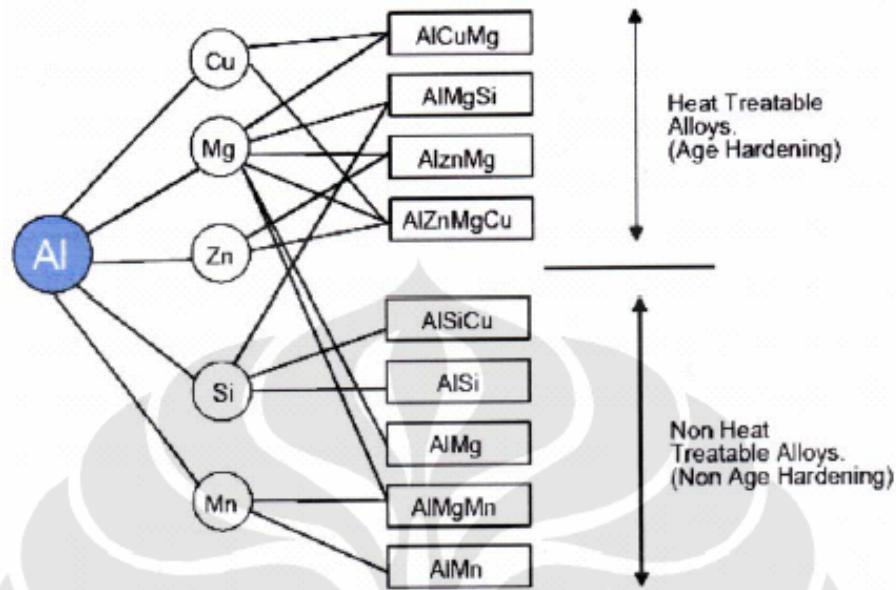
Paduan aluminium tuang merupakan paduan tuang yang lebih banyak digunakan dibandingkan dengan jenis paduan tuang material lainnya dan umumnya memiliki sifat mampu cor (*castability*) yang baik. Adapun sifat-sifat yang dimiliki oleh aluminium tuang antara lain[7]:

1. Fluiditas yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang tipis.
2. Temperatur lebur dan tuang yang rendah dibandingkan dengan material lain sehingga energi pemanasan dapat diminimalkan.

3. Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas (konduktifitas panas) dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat, sehingga produktifitas dapat ditingkatkan.
4. Kelarutan gas hidrogen dalam aluminium dapat di kontrol dengan proses yang baik.
5. Banyak jenis aluminium paduan yang relatif bebas dari kecenderungan terjadinya keretakan akibat *hot shortness*.
6. Memiliki stabilitas kimia yang relatif baik
7. Memiliki permukaan *as-cast* yang baik, berkilat, dan tanpa noda.

Selain kelebihan-kelebihan tersebut, paduan aluminium tuang juga memiliki beberapa sifat yang kurang menguntungkan, seperti berat jenis yang rendah sehingga pengotor-pengotor dengan berat jenis yang hampir sama dengan aluminium dapat dengan mudah tercampur. Pada dasarnya, sifat-sifat negatif tersebut dapat diatasi dengan cara-cara tertentu, seperti *degassing*, *fluxing*, dan pemilihan desain yang baik dalam proses penuangannya. Karena aluminium memiliki sifat mekanis yang rendah dalam bentuk murninya, maka selalu ditambahkan unsur paduan dalam proses pengecorannya. Unsur paduan yang ditambahkan ke dalam aluminium memiliki kelarutan yang berbeda-beda.

Ada beberapa unsur yang menjadi dasar paduan aluminium komersial, yaitu Si, Zn, Mg, Cu, dan Mn, yang masing-masing memiliki kelarutan lebih dari 1%. Jumlah total dari unsur-unsur tersebut dapat mencapai 10wt.% dari komposisi keseluruhan. Semua unsur paduan tersebut kemudian dapat digunakan dalam beberapa variasi kombinasi paduan, seperti tampak pada gambar 2.5.

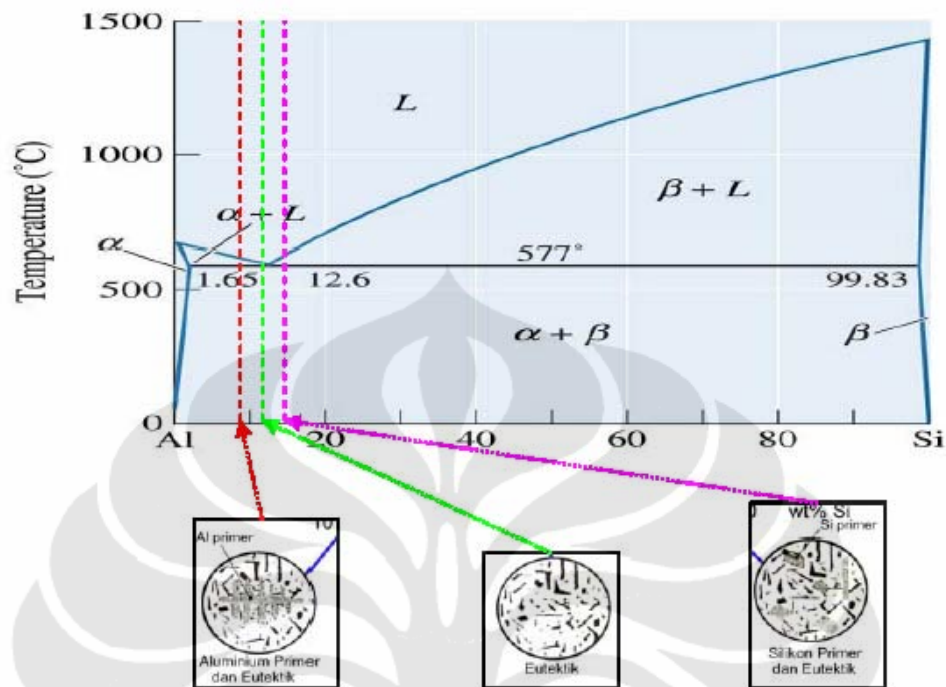


Gambar 2.5 Prinsip dasar paduan aluminium [8]

2.2.1. Paduan Aluminium Silikon

Paduan aluminium silikon (Al-Si) merupakan paduan yang paling umum digunakan untuk keperluan komersial (80-95%) dari total aluminium tuang yang diproduksi. Hal ini disebabkan karena paduan aluminium silikon memiliki karakteristik cor yang sangat baik dibandingkan dengan paduan lainnya. Selain itu paduan ini memiliki variasi sifat fisik dan mekanis, seperti sifat mampu cor (*castability*), ketahanan korosi, dan sifat mampu permesinan yang baik serta dapat pula dilas.

Penguatan pada paduan Al-Si didapat dengan penambahan Cu, Mg atau Ni dalam jumlah kecil. Silikon dapat meningkatkan sifat-sifat pengecoran yang baik sedangkan tembaga dapat meningkatkan kekuatan tarik, *machinability*, dan konduktivitas termal. Namun, tembaga dapat menurunkan keuletan dan ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium silikon memiliki daerah sistem biner mulai dari yang sederhana sampai pada sistem paduan yang paling rumit. Secara garis besar, paduan aluminium silikon dibagi menjadi tiga daerah utama, yaitu komposisi hipoeutektik, komposisi eutektik, dan komposisi hipereutektik, seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram fasa Al- Si dan mikrostruktur paduan pada komposisi hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik.[7]

Paduan aluminium silikon terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan konsentrasi unsur Si yang memiliki, yaitu:

- Hipo eutektik (< 11,7 % Si)
- Eutektik (11,7 – 12,2 % Si)
- Hiper eutektik (> 12,2 % Si)

Struktur utama dari ketiga komposisi paduan ini adalah berupa fasa α -Al, yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah pada fasa solidnya baik dalam paduan hipoeutektik, eutektik, maupun hipereutektik. Selain fasa α -Al, juga terdapat fasa β , yang merupakan partikel-partikel silikon yang tidak larut dalam fasa α -Al. Pada paduan hipereutektik, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya relatif kasar. Terkadang bentuk ini juga dapat ditemui pada paduan eutektik.

Pada komposisi hipoeutektik, terdapat kandungan silikon sekitar 5-10%. Pada daerah ini, pembekuan terjadi melalui fasa cair-solid. Struktur akhir dari komposisi ini adalah struktur yang kaya aluminium, sebagai fasa utamanya adalah

fasa α dengan struktur eutektik sebagai struktur tambahan. Komposisi eutektik merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa solidnya. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (*isothermal*). Adanya struktur eutektik ini yang mengakibatkan paduan aluminium silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik.

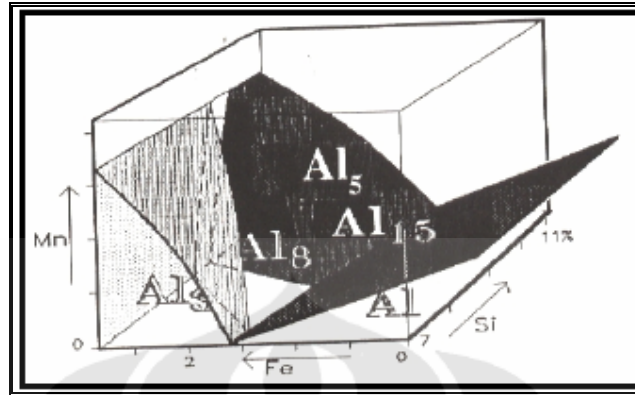
2.2.2. Paduan Aluminium-7wt%Silikon (Al-7wt%Si)

Paduan aluminium silikon Al-7wt%Si berada pada daerah hipoeutektik. Pada diagram fasa di atas (Gambar 2.6), terlihat matriks yang kaya akan aluminium (fasa α -Al) dan silikon yang berbentuk seperti serabut. Kandungan silikon dari paduan aluminium silikon juga akan berpengaruh terhadap karakteristik proses solidifikasi yang berkaitan dengan metode cor yang dipilih.

Untuk itu, ada rentang komposisi tertentu yang mengatur hubungan tersebut. Kandungan 5-7wt%Si membutuhkan pendinginan lambat yang diaplikasikan pada *sand* dan *investment casting*. Kecepatan pendinginan menengah melalui mekanisme *permanent mold casting* cocok diaplikasikan pada kandungan 7-9% silikon. Sementara untuk aplikasi *die casting* dengan pendinginan yang cepat membutuhkan kandungan silikon sebanyak 8-12%. Hal ini dipengaruhi oleh hubungan antara kecepatan pendinginan dan fluiditas terhadap persentasenya pada eutektik. Reaksi eutektik berdasarkan diagram fasa diatas adalah reaksi *ternary*, dimana α -aluminium, silikon, dan terjadi pengendapan AlFeSi. Kehadiran Mn dan paduan lain akan mempengaruhi temperatur dan komposisi titik eutektik.

2.2.3. Sistem AlFeMnSi

Pada paduan standar dengan kadar silikon tertentu, jumlah besi dan mangan memegang peranan penting dalam peningkatan sifat mekanis material yang akan diproduksi. Pada gambar 2.7. menunjukkan diagram fasa sederhana, menampilkan sistem Al-Fe-Mn-Si yang paling banyak terjadi. Mulai dari pojok kanan bawah, dapat terlihat semakin meningkatnya jumlah Mn dan Fe akan menyebabkan semakin banyak pengendapan berbagai jenis fasa intermetalik.



Gambar 2.7 Diagram fasa sederhana AlFeMnSi[9]

Tabel 2.1 Fasa presipitat pada paduan Al-Fe-Mn-Si dengan kadar silikon 7-12%[9]

Formula	Nama
Al_5FeSi	β -AlFeSi m-phase Phragmen(1950)
Al_8Fe_2Si	α -AlFeSi
$Al_{13}Mn_3Si_2$	α -AlMnSi
$Al_{15}(CuMn)_3Si_2$	c-phase, Phragmen(1950)
$Al_{15}(CuFeMn)_3Si_2$	$Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$

Pada tabel 2.1 formula lapisan intermetalik yang sering muncul dalam *die soldering* diberi nama seperti yang ada di lajur kanan tabel tersebut. Pemberian nama ini bertujuan untuk mempermudah dan standarisasi bagi berbagai penelitian yang ada, khususnya tentang *die soldering*.

2.3. MATERIAL CETAKAN

Proses *die casting* dilakukan dengan memberikan tekanan pada logam cair hingga melewati rongga atau celah dari cetakan yang disebut *dies*. Cetakan untuk mesin cetak dengan ruang panas maupun ruang dingin, pada dasarnya sama konstruksinya. Biasanya cetakan terdiri dari dua bagian yang dapat membuka dan menutup sepanjang batas vertikal sehingga memudahkan pengeluaran benda cor, disamping itu dilengkapi dengan pena pasak agar kedua bagian tersebut sebaris.

Pada mesin *die casting*, setengah *die* tersebut biasa disebut “*cover or fixed die*” dan yang setengahnya lagi disebut “*ejector die*”. Logam masuk di sisi cetakan tetap. Pada saat cetakan terbuka, pelat *ejektor* yang terdapat pada sisi

cetakan bergerak maju sehingga pena mendorong benda coran. *Dies* yang biasa digunakan terbuat dari baja paduan dan harus memiliki syarat-syarat antara lain:

- memiliki dimensi yang stabil
- memiliki ketahanan yang baik terhadap *heat cracking*
- memiliki ketangguhan yang baik
- memiliki ketahanan erosi yang baik

AISI H13 adalah jenis baja yang dikenal luas pemakaiannya untuk proses pengerjaan temperatur tinggi seperti cetakan pada proses pengecoran *die casting*, *mould*, dan silinder untuk proses dari plastik serta berbagai penggunaan lainnya. Paduan utama dari baja jenis ini adalah unsur kromium yang menyebabkan tingginya daya tahan terhadap reaksi dengan logam cair. Adanya unsur vanadium yang sebesar 1% mempunyai efek yang akan mencegah terjadinya butir untuk meningkatkan sifat tahan baja terhadap efek pelunakan pada temperatur operasi. Sedangkan unsur lain seperti molybdenum dapat menaikkan sifat kemampukerasan dari baja perkakas tersebut.

Adapun sifat-sifat yang dimiliki dari baja ini antara lain:

- daya tahan terhadap deformasi pada temperatur operasi,
- daya tahan terhadap kejut termal dan mekanis (terutama bila dilakukan pendinginan air),
- tahan aus dan erosi pada temperatur tinggi,
- tahan terhadap deformasi perlakuan panas,
- tahan terhadap kelelahan panas yang menyebabkan *heat checking* (retak halus pada permukaan cetakan logam).

Baja H13 juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap fatik termal. Sehingga dapat membuat material ini dipilih sebagai material cetakan untuk aluminium dan magnesium *die casting*. Baja AISI H13 yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja H13 *as anneal*. Berikut ini merupakan tabel perlakuan panas yang diberikan pada baja H13 *as anneal*. Batasan komposisi kimia dari H13 menurut AISI dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia AISI H13

JIS	AISI	C	Si	Mn	V	Ni	Cr	Mo	W
SKD61	H13	0.32-0.42	0.8-1.2	0.5 Max	0.8-1.2	-	4.5-5.5	1-1.5	-

Kekerasan adalah sifat yang harus dimiliki oleh baja perkakas sehingga baja perkakas tersebut harus mampu untuk tidak mengalami perubahan bentuk atau distorsi dan kerusakan lain. Data nilai kekerasan dari H13 dalam kondisi *annealed* dan *heat treated* dapat dilihat pada tabel 2.3 dan tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.3 Sifat mekanik H13 Tool Steel pada temperatur ruang [10]

Kondisi	Kekerasan Rockwell C	UTS (MPA0	YS (MPA0	Elongasi dlm 50.8mm(%)	RA (%)
Annealed	15	668.8	372.3	32	66
Perlakuan Panas	46	1503.1	1402.6	13	47
Perlakuan Panas	51	1937.5	1723.8	5	10

Tabel 2.4 Proses heat treatment baja perkakas H13

Terperatur Forging (°C)	Perlakuan Panas (°C)				kekerasan	
	Temperatur annealing	Temperatur pengerasan	Media quench	Temperatur temper	Annealed HB	Annealed HRC
100-900	820-870	1000-1050	udara	550-650	229 Max.	53 Max

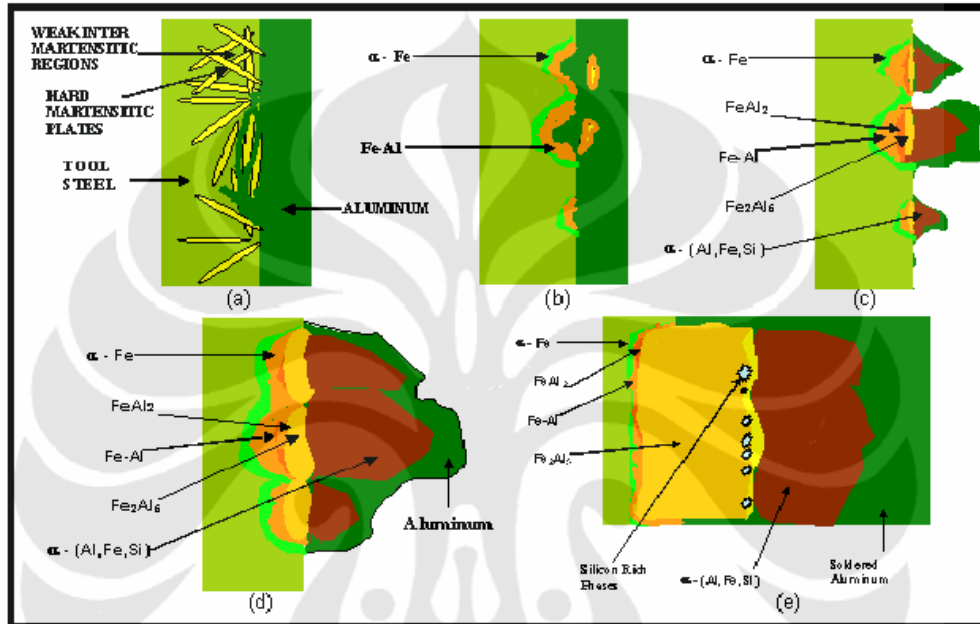
Bagian yang tebal pada cetakan merupakan daerah potensial untuk terjadinya *die soldering*. Penggunaan molybdenum dapat mengurangi *soldering* pada baja H13, namun molybdenum lebih mahal dan lebih lunak dibandingkan baja H13 sehingga umur pakainya lebih singkat. Pembentukan lapisan tipis *soldering* akan memperkasar daerah pada permukaan cetakan, dan kekasaran ini memicu *soldering* terjadi. Sekali *soldering* terjadi, pembentukan lapisan paduan aluminium di atas lapisan tersolder terjadi secara cepat. Hal ini disebabkan konduktivitas termal yang buruk dan kekerasan dari daerah yang tersolder pada cetakan.

2.4. DIE SOLDERING

Die soldering adalah proses pelengketan (*sticking*) antara dies dengan logam cair karena terbentuknya lapisan intermetalik pada permukaan. Parameter dominan yang mempengaruhi terjadinya *die soldering* antara lain [13]:

- temperatur logam cair dan cetakan
- sifat dan komposisi kimia dari *casting alloy* dan lapisan intermetalik
- pelumasan dan *coating* pada cetakan
- sifat cetakan dan parameter operasi

Mekanisme terjadinya soldering bergantung pada difusi dan reaksi kimia dari elemen yang terdapat pada cetakan dan logam cair. Menurut Shankar[9], soldering merupakan reaksi difusi–besi yang terkandung pada cetakan, masuk ke dalam aluminium cair, bereaksi membentuk lapisan intermetalik. Adapun tahapannya dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Mekanisme die soldering[9]

Mekanisme terjadinya die soldering ini terdiri dari enam tahapan proses, yaitu[9]:

a. Erosi Pada Permukaan Die

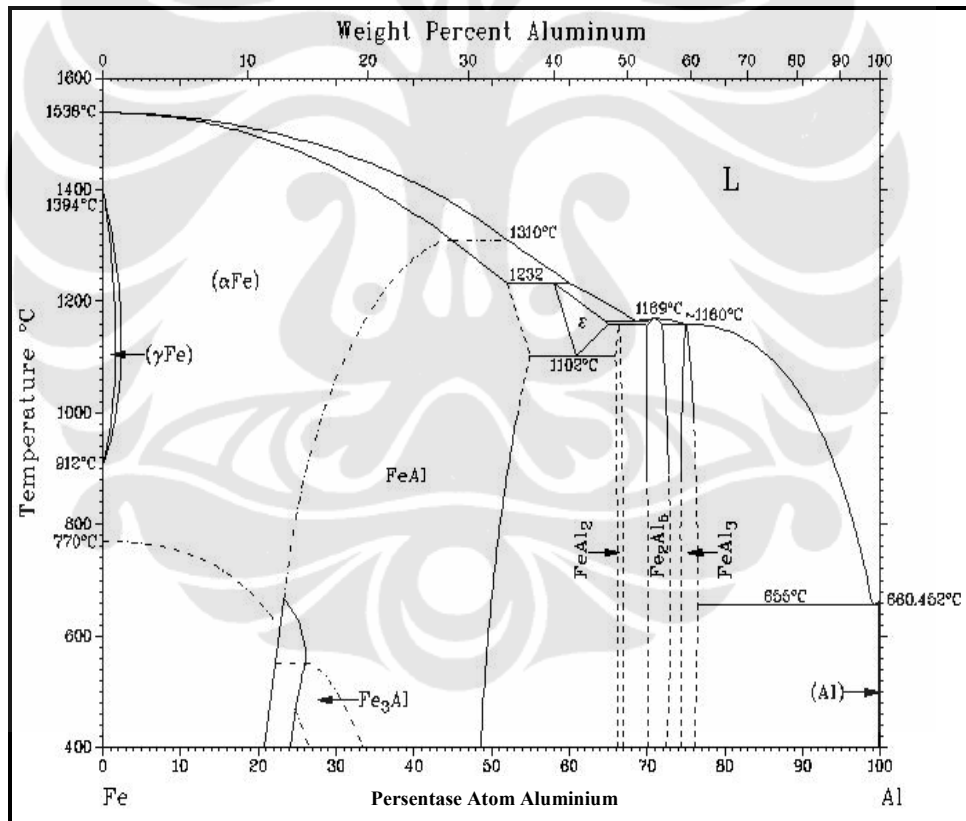
Aluminium cair kontak dengan permukaan die secara berulang pada setiap *cast cycle*. Baja perkakas pada umumnya dilakukan perlakuan panas dengan ditemper dua kali untuk meningkatkan kekerasan sampai $\pm 48-50$ HRC. Ketika proses pengecoran, Al cair menyerang daerah yang lebih lunak dari permukaan die. Daerah lunak ini berada diantara *hard martensitic plates* dan partikel karbida yang merupakan daerah intergranular. Ketika Al cair mengerosi daerah lunak pada permukaan cetakan, akan terbentuk *solid solution* primer dari Fe oleh larutan Al.

b. Pitting Pada Permukaan Die

Mula-mula batas butir dan fasa yang lunak pada permukaan baja diserang oleh Al, sehingga terbentuk lubang yang *hemispherical* (sumuran).

c. Pembentukan Senyawa Fe-Al

Al bereaksi dengan permukaan butir yang longgar, dan pada permukaan terbentuk lubang yang memiliki kandungan fasa biner Fe-Al lebih banyak seperti FeAl, FeAl₂, Fe₂Al₅, dan FeAl₃. Pembentukan lapisan senyawa biner ini disebabkan oleh reaksi dari setiap fasa dengan pembaruan molten Al secara terus menerus dan difusi Fe keluar dari permukaan baja. Intermetalik Fe-Al adalah suatu senyawa antara logam besi dengan aluminium. Berikut ini adalah gambar diagram fasa dari intermetalik Fe-Al.



Gambar 2.9 Diagram fasa Fe-Al [12]

Intermetalik Fe-Al umumnya memiliki kekuatan, ketahanan mulur, oksidasi dan korosi yang sangat baik pada lingkungan bertemperatur ruang maupun lingkungan bertemperatur tinggi. Namun, kekurangan intermetalik

Fe-Al adalah memiliki keuletan yang rendah pada lingkungan bertemperatur ruang dan sulit untuk melakukan perubahan bentuk pada lingkungan bertemperatur tinggi [13].

Jenis-jenis senyawa intermetalik Fe-Al tergantung pada temperatur dan komposisi dari unsur besi dan aluminiumnya. Setiap senyawa intermetalik Fe-Al tersebut masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda satu dengan lainnya. Perbedaan karakteristik inilah sangat tergantung pada perbedaan struktur kristal yang dimilikinya.

d. Pembentukan Piramid Dari Fasa Intermetalik

Fasa $FeAl_3$ bereaksi dengan Al dan Si pada *alloy melt* sehingga membentuk fasa ternary α -(Al, Fe, Si). Lapisan intermetalik terjadi selama tahapan ini, mempunyai morfologi seperti pyramid. Hal ini dikarenakan pertumbuhan radial dari fasa intermetalik keluar dari lubang pada permukaan baja. Fasa ternary mempunyai ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan fasa lain. Karena volume Al melt berlebih, maka reaksi antara fasa intermetalik dan melt mendominasi difusi Fe dari permukaan baja. Bagaimanapun, keseluruhan tebal dari lapisan intermetalik pada permukaan baja dikontrol dengan difusi Fe dari permukaan baja. Silikon dan elemen minor lainnya (Cr, Mn, V, dll.) dari cetakan dan Al cair membentuk endapan pada batas butir dari fasa intermetalik Fe_2Al_5 .

e. Pelekatan Al ke Fasa Intermetalik

Reaksi yang terakhir antara Fe dan Al-alloy cair adalah fasa ternary – (Al, Fe, Si). Segera setelah lapisan intermetalik berbentuk pyramid terbentuk pada permukaan cetakan, kelebihan Al akan menempel pada lapisan ini (2.8c.) Initial *sticking* awalnya disebabkan oleh penahanan reaksi antara Fe, Al-alloy cair, dan pengaruh energi permukaan dari lapisan intermetalik terhadap Al cair. Penempelan Al ke pyramid ini disebabkan karena konduktivitas termal yang rendah dari lapisan fasa intermetalik dibandingkan dengan permukaan baja. Oleh karena itu, ketika benda casting telah memadat dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan, logam cair disekitar lapisan intermetalik membeku. Hasilnya terjadi sticking (2.8d.)

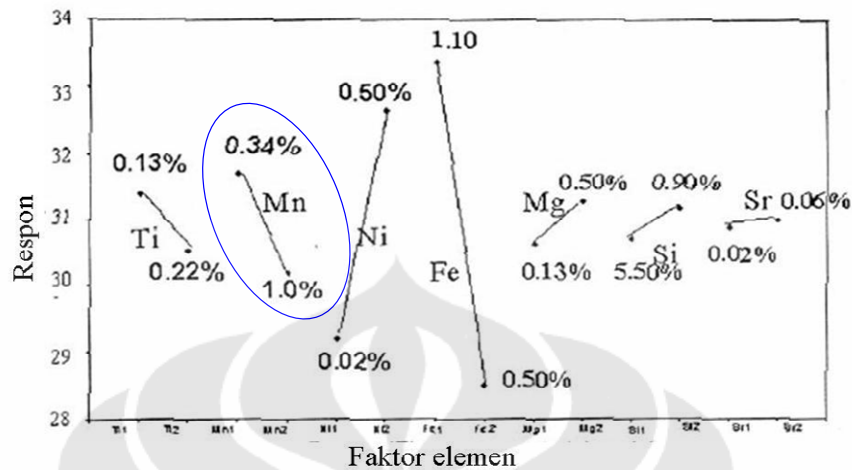
2.4.1. Pengaruh Unsur Mangan Terhadap Lapisan Intermetalik pada Aluminium Die Casting

Penambahan unsur-unsur tertentu ke dalam aluminium sangat memberikan pengaruh besar terhadap sifat-sifat aluminium serta kegunaannya. Aluminium paduan biasanya mengandung beberapa unsur paduan disamping logam dasar aluminium itu sendiri dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan, disamping untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis lainnya sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Shankar secara sistematis telah mempelajari efek dari komposisi paduan pada *die soldering* untuk paduan aluminium tipe 380 dan mengukur pengaruh dari beberapa elemen pada pertumbuhan dari lapisan antara (*intermediate*) yang ada pada permukaan baja perkakas (cetakan) dan aluminium yang tersolder.

Tabel 2.5. Pengaruh beberapa elemen terhadap ketebalan lapisan antara (*intermediate*) [13]

ELEMEN	JUMLAH	PENGARUH
Nikel	0.5%	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730 ⁰ C
Mangan	1-3%	Ketebalan meningkat sekitar 50% pada 720-730 ⁰ C
Silikon	-	Ketebalan berkurang jika kandungan Si Meningkat
Tembaga	-	Tidak Berpengaruh
Berillium	0.3-2%	Ketebalan berkurang sekitar 7%
Nitrogen bebas	0.002-0.055%	Ketebalan berkurang sekitar 70%
Kromium	2-20%	Ketebalan berkurang sekitar 60%
Titanium	0.1%	Ketebalan berkurang sekitar 85%

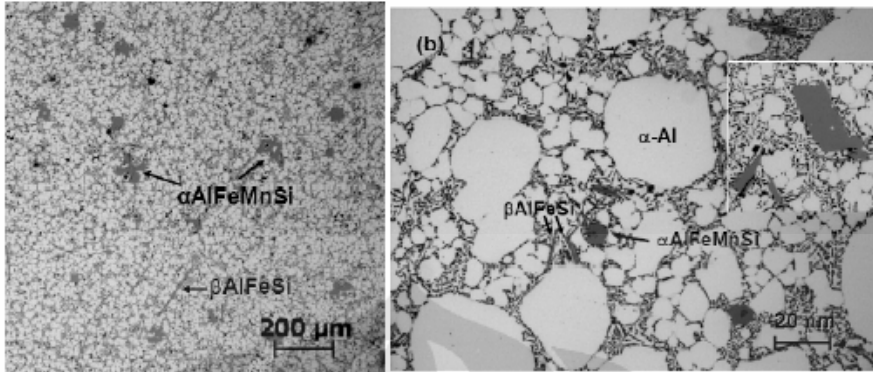
Pada gambar 2.5 dijelaskan pengaruh unsur dan kadarnya pada paduan aluminium. Kemiringan positif mengindikasikan bahwa penambahan unsur akan memicu timbulnya *soldering* sementara kemiringan negatif mengindikasikan hal yang sebaliknya. Jika kemiringan semakin besar, maka semakin besar pula pengaruh unsur pada pertumbuhan dari lapisan intermetalik. Dengan kata lain, peningkatan kadar nikel pada paduan aluminium akan meningkatkan ketebalan lapisan intermetalik dan kecenderungan terjadinya *soldering*. Sementara itu, penambahan besi, mangan, dan titanium membantu menghindari terjadinya *soldering*.



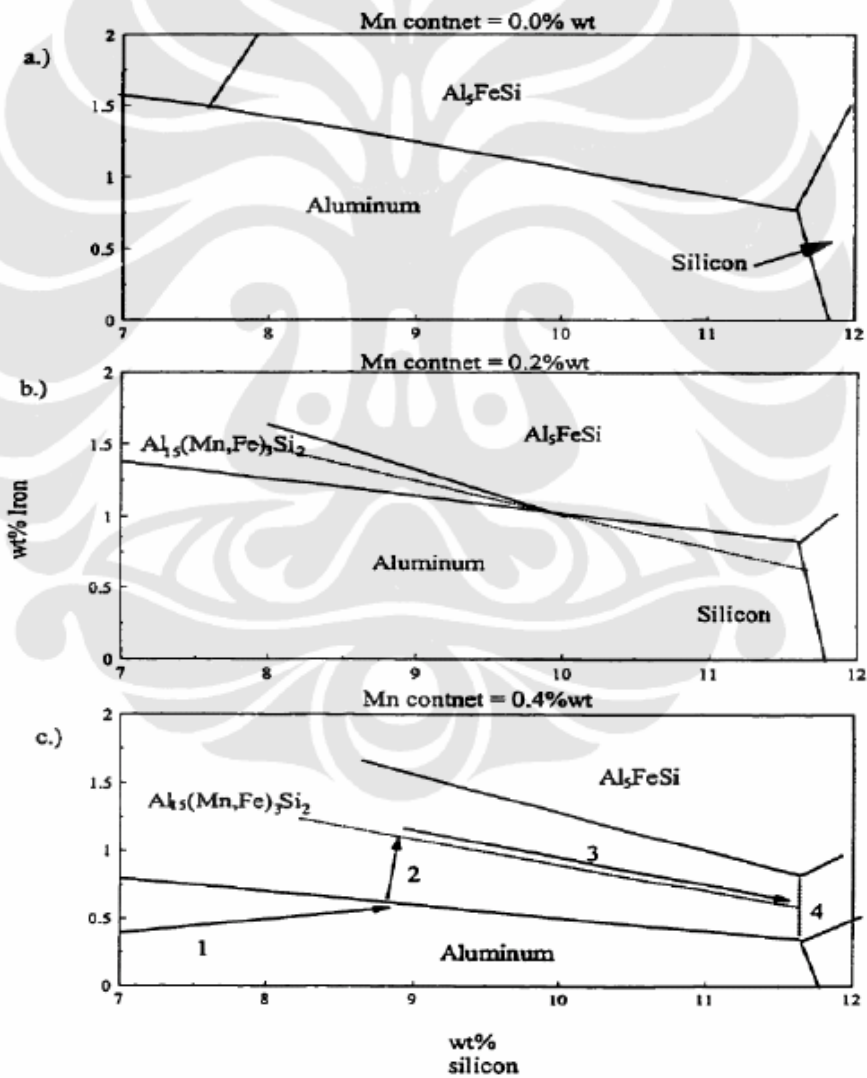
Gambar 2.10 Pengaruh utama dari interaksi unsur terhadap material cetakan H13 [9]

Untuk itu, sangat penting dalam mengontrol kadar nikel dan mangan dalam paduan. Sebagai contoh, jika kadar mangan meningkat dan kadar besi berkurang pada paduan aluminium, maka perlu untuk menjaga agar kadar nikel tetap rendah sehingga interaksi antara mangan dan nikel dapat dihindari. Unsur-unsur yang berpengaruh terhadap pembentukan lapisan intermetalik pada paduan Al-Si salah satunya adalah unsur mangan. Pada penambahan mangan, akan terbentuk fasa *cubic ternary* $Al_{15}Mn_3Si_2$ (atau sering disebut dengan $\alpha AlMnSi$) yang akan menstabilkan kadar Fe berlebih dengan membentuk suatu fasa kesetimbangan, *equilibrium quaternary phase* $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ atau yang biasa disebut $\alpha-AlFeMnSi$. Biasanya Cr juga ditambahkan bersama dengan Mn sebagai Fe *corrector*. Selanjutnya, $\alpha-AlFeMnSi$ akan membeku sebagai *cubic phase* yang mampu mengurangi efek negatif dari Fe.

Sebenarnya, prinsip dari pengurangan efek negatif dari Fe adalah dengan mengubah morfologi dari *large needle-shaped primary* $\beta AlFeSi$, dimana hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menambahkan Mn yang akan mengubah *primary monoclinic* $\beta AlFeSi$ menjadi fasa *cubic* $\alpha AlFeMnSi$



Gambar 2.11 Fasa jarum β -AlFeSi vs *cubic* α -AlFeMnSi (a) 200 μ m dan (b) 20 μ m



Gambar 2.12 Perubahan diagram fasa Al-Fe-Si pada penambahan Mn (a) 0 %, (b) 0.2 % Mn, dan (c) 0.4 % Mn [14]

Pada gambar 2.11 dan 2.12, terlihat bahwa dengan adanya unsur Mn pada paduan ini akan mengubah garis kesetimbangan yang ada. Pada gambar 2.12a, tanpa adanya penambahan Mn akan menyebabkan terbentuknya fasa β -AlFeSi meskipun pada kadar Fe yang cukup rendah. Ambil contoh pada 1.0%Fe dan pada 11%Si. Pada komposisi ini, akan terbentuk fasa monoklinik β -AlFeSi yang dapat menurunkan sifat mekanis dari paduan. Sementara pada gambar 2.12c, dengan adanya Mn, maka *monoclinic* β -AlFeSi akan berubah menjadi fasa *cubic* α AlFeMnSi, sehingga sifat mekanis dari paduan tidak serapuh pada paduan yang tanpa Mn.

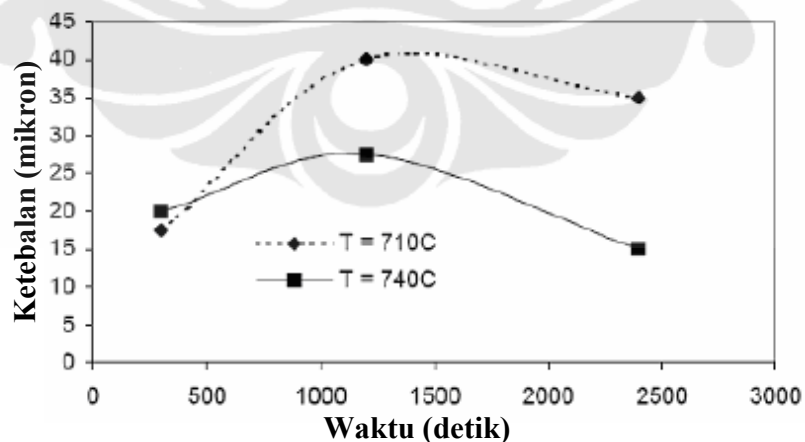
Pergerakan difusi liquid-baja tersebut mengakibatkan *mass loss* dan volumetric loss pada dies dan benda casting, terdapat dua cara bagaimana fasa intermetalik dapat terbentuk, yaitu:

1. Solid - State Diffusion

Terjadi ketika aluminium dari *melt* yang lewat jenuh menempel pada substrat baja cetakan. Biasanya dipengaruhi oleh temperatur dan gradien konsentrasi serta waktu prosesnya lambat.

2. Reaksi & Difusi ke Dalam Melt

Proses Reaksi dan difusi ke dalam melt berjalan cepat dan merupakan mekanisme dominan didalam pembentukan lapisan intermetalik dan terjadinya *die soldering*.

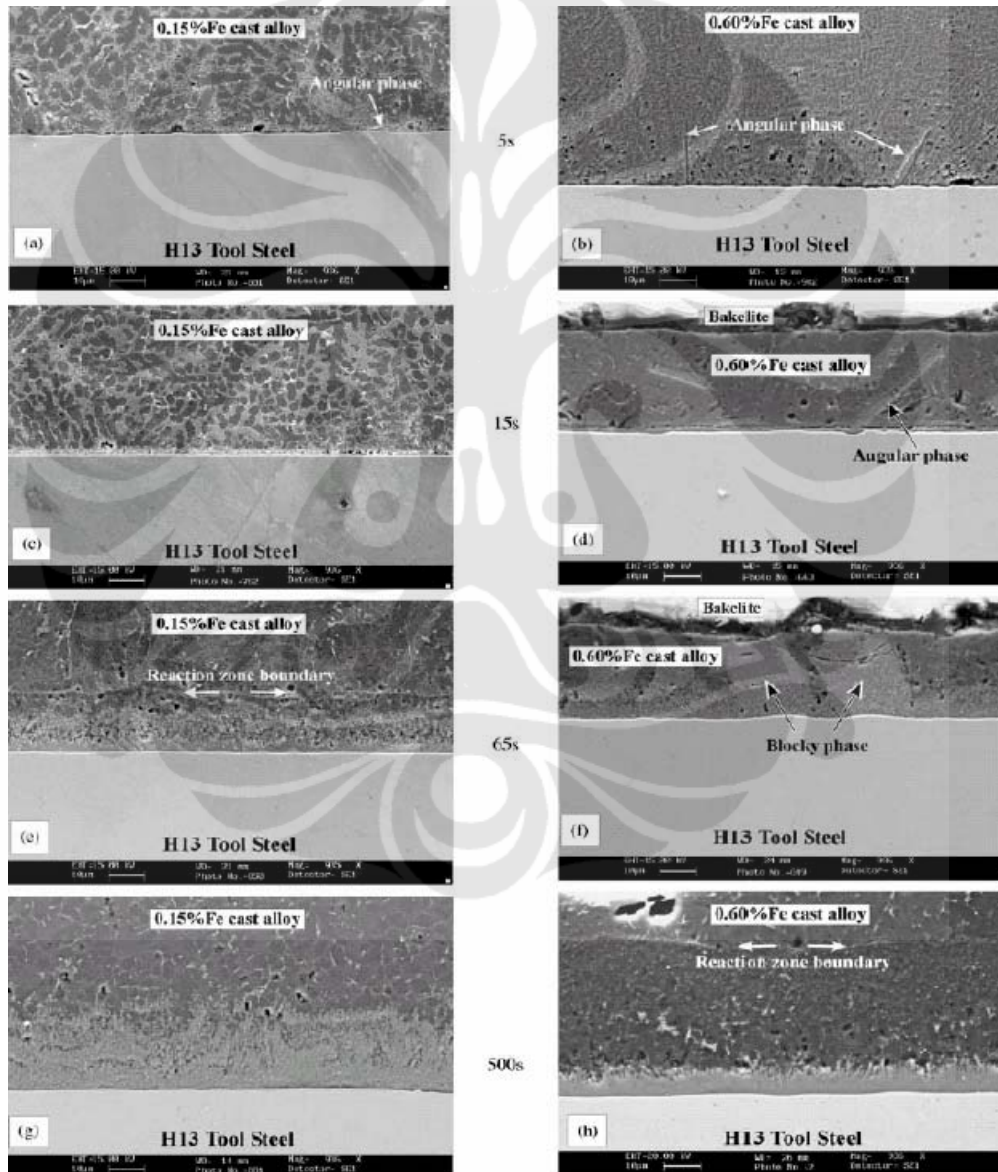


Gambar 2.14 Growth dan dissolution dari lapisan intermetalik [15]

Grafik pada gambar 2.14 menunjukkan ketebalan lapisan intermetalik sebagai fungsi waktu pada dua temperatur pencelupan yang berbeda. Kurva positif

menunjukkan adanya pertumbuhan dari lapisan intermetalik yang disebabkan reaksi fisika-kimia secara kinetik. Sedangkan kurva negatif merupakan pelarutan dari lapisan intermetalik karena kandungan Fe pada *molten* menjadi rendah.

Pelarutan ini dikontrol oleh kelarutan Fe dalam Al-Si *melt*. Pada kurva puncak, laju difusi sama dengan laju *dissolution*. Hubungan dinamik antara difusi dan *dissolution* dari atom Fe dan Al menghasilkan kehilangan berat dan volume pada substrat.

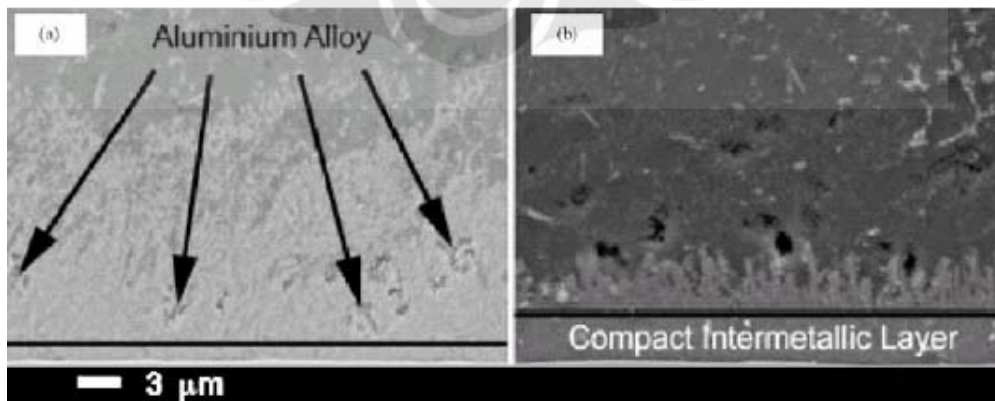


Gambar 2.15 Penampang dari interface H13 Tool Steel dengan kandungan 0.15% Fe dan 0.60% Fe dengan waktu 5, 15, 65 dan 500 detik [16]

Pada gambar 2.15 terlihat bahwa pada pencelupan selama 5 detik, baik pada kedua konsentrasi Fe (gambar 2.15a dan 2.15b) terjadi pembentukan fasa angular di dekat *interface* antara *tool steel* H13 dan paduan aluminium yang melekat. Ukuran partikel angular adalah kecil dan sebagian besar dari *interface* bebas dari partikel ini. Pada pengamatan kualitatif, ukuran fasa angular ini lebih besar dan lebih banyak terdapat pada kandungan 0.6%Fe. Pada 15 detik pencelupan dengan kandungan 0.15%Fe, fasa angular ini menghilang, sedangkan pada 0.6%Fe fasa angular justru makin membesar, pada *interface* terdapat reaksi lapisan tipis.

Setelah 65 detik pencelupan, partikel yang berbentuk seperti plate tumbuh pada *interface*, dan menurunkan aspek rasio. Pada *interface* terbentuk lapisan intermetalik “compact” dengan ketebalan 2-3 μm pada permukaan dies . Lapisan kedua yang terbentuk memiliki ketebalan 10 μm dari substrat, dengan susunan yang acak, tetapi masih memadati fasa intermetalik atau biasa disebut “*broken intermetallic layer*”. Pada “*broken intermetallic layer*” ini masih terdapat lapisan lain dengan ketebalan 5 μm , dimana banyak terdapat partikel intermetalik lain yang bersuspensi di dalam matriks pada paduan aluminium. Akhir dari lapisan kedua ini adalah “*floating*” *intermetallic layer* dan dibatasi oleh *Reaction Zone Boundary (RZB)* seperti pada gambar 2.15e. Melewati RZB, konsentrasi partikel intermetalik menurun dan paduan aluminium pada wilayah ini menjadi “*bulk alloy*”.

Setelah kontak selama 500 detik, pada dengan lapisan intermetalik yang tebal, akan terjadi reaksi yang mengakibatkan lapisan intermetalik tersebut rusak seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Penampang permukaan dari sampel yang dicelup pada 500 detik pada (a) 0.15%Fe dan (b) 0.60%Fe pada paduan aluminium [17]

Didalam lapisan ini, material pada daerah yang lebih gelap muncul dengan tekstur dan bayangan pada bagian luar lapisan paduan aluminium. Diasumsikan bahwa bagian yang gelap adalah lapisan yang rusak, yang ditunjukkan pada gambar 2.16, merupakan paduan aluminium pada *liquid state* selama pencelupan. Lapisan *compact intermetallic* itu sendiri hanya memiliki ketebalan 2–3 μm dan hanya merepresentasikan sebagian kecil dari reaksi pembentukan lapisan. Berlawanan dengan 0.15% Fe, lapisan yang terbentuk berbatasan dengan substrat baja selama pencelupan saat pencelupan pada 0.60% Fe melt memiliki lapisan yang lebih tebal.

