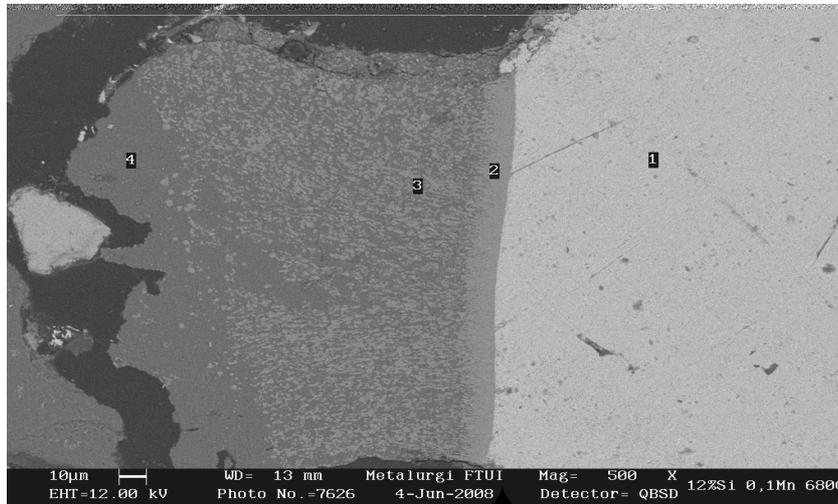


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. INDIKASI FASA PADA SETIAP LAPISAN INTERMETALIK

Berdasarkan hasil SEM terhadap H13 yang telah mengalami proses pencelupan di dalam Al-12Si cair, terlihat dalam permukaan sampel terdapat 2 lapisan baru pada masing-masing sampel yang telah mengalami perlakuan yang berbeda, yakni H13 di celupkan pada Al-12Si yang ditambahkan 0.1 Mn, 0.3 Mn, 0.5 Mn, 0.7 Mn dan di celup pada temperatur 680°C, 700°C, dan 720 °C. Secara pengamatan visual, kedua lapisan baru tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dengan H13 ataupun Aluminium. Pada lapisan 1, Selanjutnya disebut *compact layer* berbatasan langsung dengan H13. Lapisan yang terbentuk berbentuk garis lurus dan busur dengan warna yang lebih gelap daripada warna H13. Sedangkan pada lapisan 2, yang selanjutnya disebut *broken layer*, terdapat lapisan yang cenderung berbentuk seperti piramida atau garis yang lebih tebal bila dibandingkan dengan *compact layer*, dengan warna yang lebih gelap dari *compact layer* namun masih lebih terang dibandingkan dengan lapisan Al-12Si. Sebagai salah satu contoh, gambar hasil SEM dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



- Keterangan :
1. H13 Tool Steel
 2. *compact layer*
 3. *broken layer*
 4. Aluminum (*gray*)

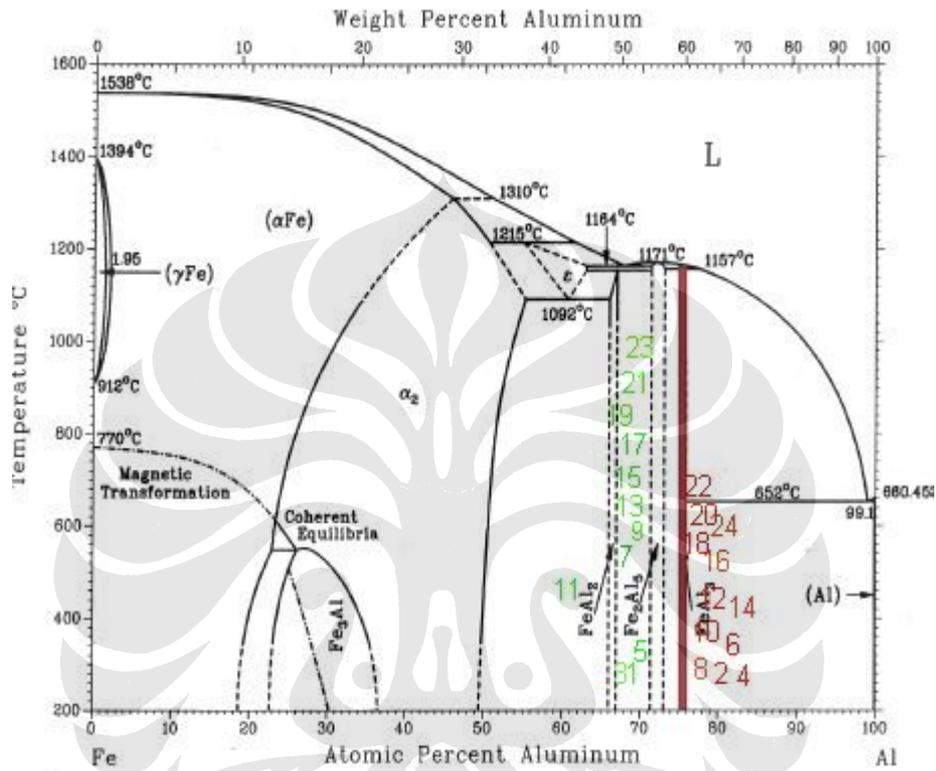
Gambar 4. 1 Hasil SEM dari pencelupan H13 *tool steel* ke dalam *molten Al - 12%Si* dengan penambahan 0.1% Mn pada temperatur 680°C

Selanjutnya untuk mengetahui kandungan unsur yang ada pada lapisan-lapisan tersebut, digunakan EDS, lalu didapatkan komposisi dari setiap lapisan tersebut, seperti pada tabel 4.1 dibawah ini.

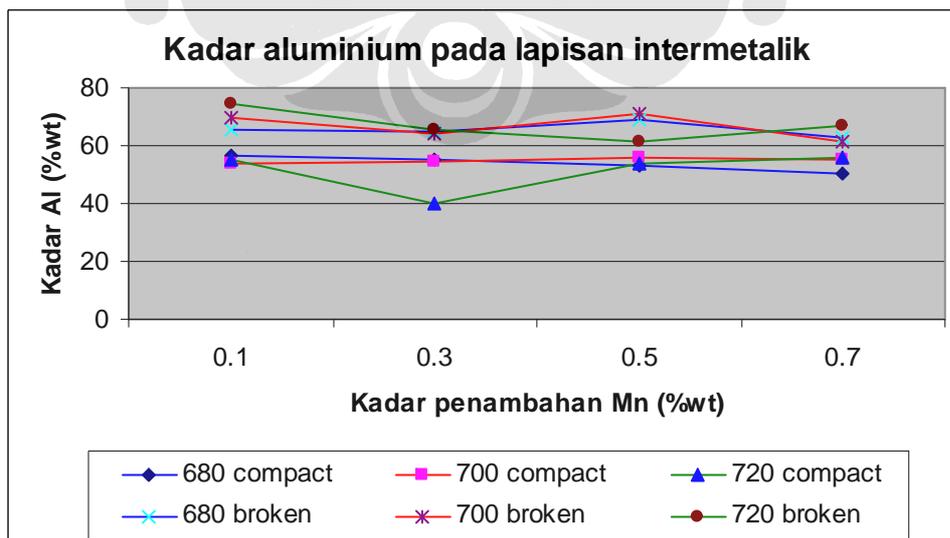
Tabel 4. 1 Jumlah unsur yang terkandung pada lapisan *compact* dan *broken* pada lapisan intermetalik pada *die soldering*

Kadar Mn	Lapisan	Komposisi (%wt)	Temperatur Holding (°C)		
			680	700	720
0.1 Mn	<i>Compact Layer</i>	Al	56.63 (1)	55.54 (3)	55.34 (5)
		Fe	30.84	25.43	32.41
		Si	5.28	5.44	7.76
	Fasa yang terbentuk		Fe ₂ Al ₅	Fe ₂ Al ₅	Fe ₂ Al ₅
	<i>Broken Layer</i>	Al	65.64 (2)	74.6 (4)	69.98 (6)
		Fe	9.12	5.42	15.73
Si		25.83	13.47	7.43	
Fasa yang terbentuk		(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	
0.3 Mn	<i>Compact Layer</i>	Al	55.47 (7)	54.23 (9)	40.04 (11)
		Fe	34.02	30.91	35.31
		Si	7.37	6.67	7.33
	Fasa yang terbentuk		Fe ₂ Al ₅	Fe ₂ Al ₅	FeAl ₃
	<i>Broken Layer</i>	Al	64.53 (8)	64.18 (10)	65.42 (12)
		Fe	16.17	15.49	20.56
Si		12.17	10.69	6.97	
Fasa yang terbentuk		(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	
0.5 Mn	<i>Compact Layer</i>	Al	52.99 (13)	55.65 (15)	53.63 (17)
		Fe	33.70	30.14	46.98
		Si	7.24	7.78	7.18
	Fasa yang terbentuk		Fe ₂ Al ₅	Fe ₂ Al ₅	Fe ₂ Al ₅
	<i>Broken Layer</i>	Al	68.99 (14)	70.96 (16)	61.66 (18)
		Fe	14.2	8.84	20.84
Si		6.66	6.62	6.46	
Fasa yang terbentuk		(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	

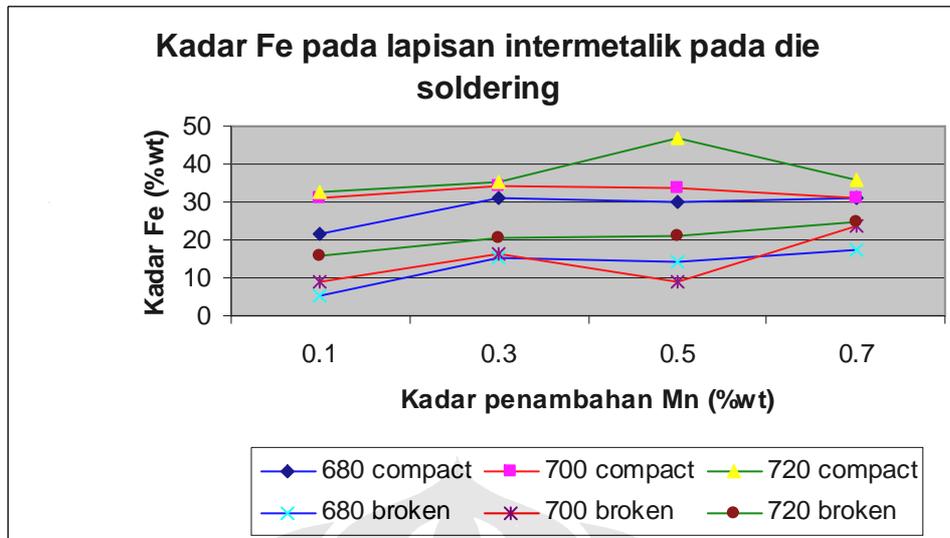
0.7 Mn	Compact Layer	Al	50.05 (19)	55.2 (21)	56.17 (23)
		Fe	30.98	30.99	35.95
		Si	6.5	2.79	7.96
	Fasa yang terbentuk		Fe_2Al_5	Fe_2Al_5	Fe_2Al_5
	Broken Layer	Al	62.59 (20)	61.64 (22)	66.56 (24)
		Fe	17.36	23.93	24.99
Si		6.49	7.11	7.59	
Fasa yang terbentuk		(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	(Al,Fe,Si)	



Gambar 4. 2 Kandungan aluminium pada lapisan *compact* dan *broken* yang di plot pada diagram fasa Fe-Al.



Gambar 4.3 Kandungan aluminium pada lapisan intermetalik pada fenomena *die soldering*



Gambar 4.4 Kandungan Fe pada lapisan intermetalik pada fenomena *die soldering*

Dari tabel 4.1 diatas, dapat dilihat pada setiap perlakuan yang berbeda, kandungan Al dan Fe pada *compact layer* dan *broken layer* berbeda. Secara umum dapat dilihat bahwa *compact layer* memiliki kandungan Fe lebih banyak dibandingkan dengan *broken layer*, namun berbeda dengan kadar Al dan Si. Kadar kedua unsur tersebut pada *broken layer* relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan *compact layer*.

Jika permukaan cetakan yang terbuat dari H13 terjadi kontak dengan Aluminium cair, Al akan menyerang daerah H13 yang batas butirnya lemah sehingga pit erosi terbentuk. Fe dari baja akan berdifusi kedalam Al cair dan membentuk lapisan intermetalik. Karena afinitas Al terhadap Fe tinggi, maka ketika terjadi kontak akan terjadi reaksi kimia yang menyebabkan terbentuknya lapisan fasa biner seperti FeAl, FeAl₂, Fe₂Al₅, dan FeAl₃^[24]. Kandungan Al, Fe dan Si yang berbeda di tiap lapisan seperti yang tertera pada tabel 4.1 dan morfologi lapisan pada gambar 4.1 di atas, dapat pula dijelaskan dengan gambar 2.13. Fasa awal yang terjadi pada *compact layer* merupakan fasa biner seperti FeAl, FeAl₂, FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Dimana fasa ini terjadi akibat reaksi dari setiap fasa dengan aluminium cair secara kontinu dan Fe berdifusi keluar dari permukaan. Selanjutnya fasa Fe₂Al₅ bereaksi dengan Al dan Si pada molten sehingga terbentuk fasa ternary -(Al,Fe,Si). Oleh sebab itu, kandungan Al dan Si akan meningkat pada *broken layer*, sedangkan pada Fe, kandungannya akan

menurun. Menurut analisa penulis, dengan kandungan Al, Fe dan Si tersebut, kemungkinan fasa yang terbentuk adalah fasa ternary Al-Fe-Si.

Untuk dapat lebih memastikan, unsur Al yang terkandung pada lapisan-lapisan tersebut di plot kedalam diagram fasa Fe-Al, sehingga dapat di perkirakan fasa-fasa yang terbentuk pada lapisan tersebut sesuai dengan unsur Al yang terkandung.

Dari gambar diatas, nomer ganjil dan berwarna hijau adalah penomeran yang dilakukan penulis untuk mengidentifikasi *compact layer*, sedangkan nomer ganjil yang berwarna merah adalah penomeran yang dilakukan penulis untuk mengidentifikasi *broken layer*. Dari diagram tersebut, pada *compact layer* diperkirakan fasa yang terbentuk adalah Fe_2Al_5 , dan $FeAl_3$. Sedangkan pada *broken layer* daerah yang terbentuk sudah berada pada fasa Al. Kemungkinan fasa yang terbentuk adalah fasa ternary $-(Al,Fe,Si)$. Karena kandungan Si pada *broken layer* meningkat.

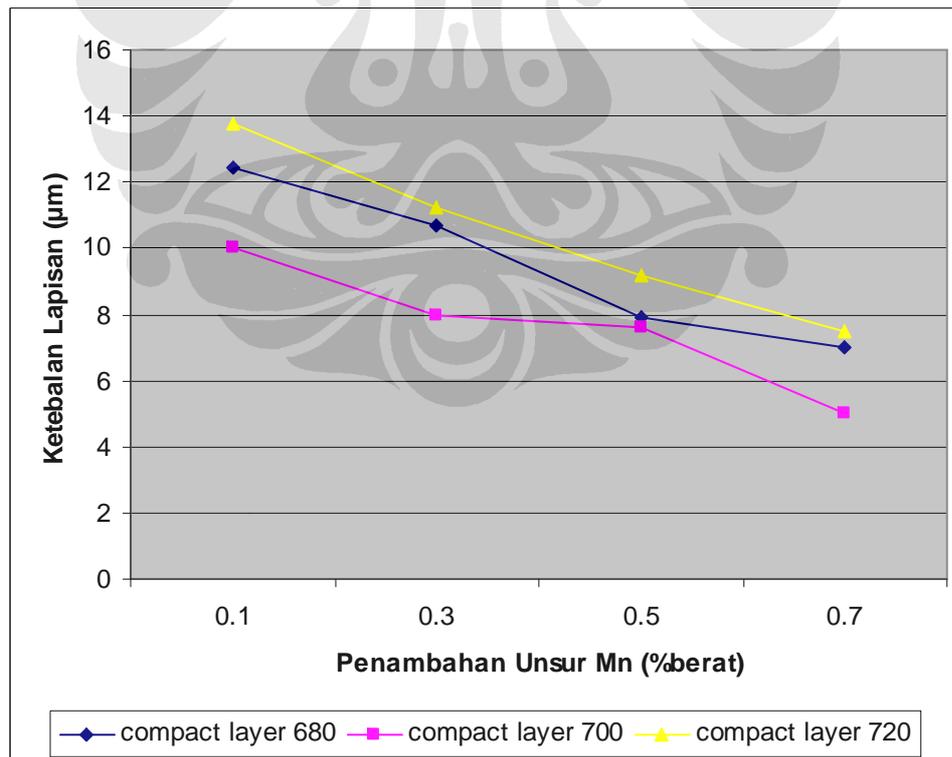
Dalam penelitian ini, tidak terlihat adanya pengaruh Mn terhadap kandungan Al dan Fe pada setiap lapisan yang terbentuk. Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menunjukkan tidak adanya pengaruh penambahan Mn pada lapisan intermetalik. Dari kedua gambar tersebut hanya dapat diketahui bahwa kandungan aluminium pada *broken layer* lebih tinggi dibandingkan aluminium yang terkandung pada *compact layer*. Sedangkan kandungan Fe pada *compact layer* lebih tinggi daripada Fe yang terkandung pada *broken layer*. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi yang terjadi pada *compact layer* berada pada daerah yang kaya kandungan Fe-nya. Seperti telah dijelaskan diatas, Fe dari H13 akan berdifusi keluar dan bereaksi dengan Al yang masuk kedalam permukaan H13. Sehingga pada *compact layer* didapat kandungan Fe yang banyak sementara kadar Al yang terkandung didalamnya sedikit. Sedangkan pada *broken layer* kadar Fe yang ada lebih sedikit daripada kadar Fe yang terkandung pada *compact layer*. Hal ini disebabkan reaksi yang terjadi pada *broken layer* adalah reaksi antara fasa biner (Fe_2Al_5 dan $FeAl_3$) dengan AlSi dengan volume cair berlebih. Kandungan Fe pada fasa biner yang bereaksi dengan AlSi lebih sedikit dibandingkan Al yang terkandung pada AlSi cair dan fasa biner itu sendiri. Sehingga pada *broken layer*

itu sendiri akan didapatkan kandungan Al yang lebih tinggi dan kandungan Fe yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *compact layer*.

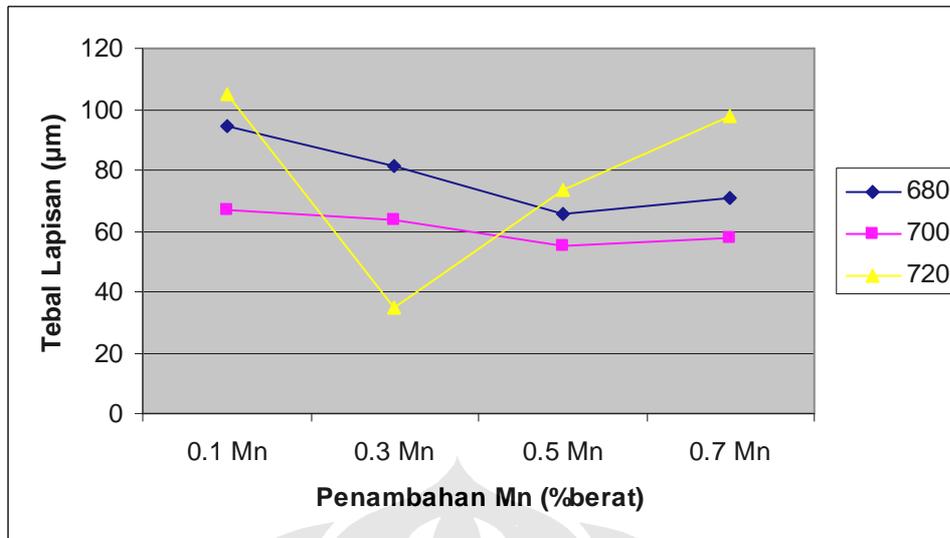
4.2. PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR Mn DAN TEMPERATUR CELUP TERHADAP KETEBALAN LAPISAN INTERMETALIK PADA *DIE SOLDERING*

Pada hasil percobaan dengan penambahan Mn dan temperatur pencelupan yang berbeda-beda, didapat pula ketebalan lapisan intermetalik yang berbeda-beda pula. Perbandingan tersebut adalah perbandingan ketebalan lapisan intermetalik antara *compact layer* dan *broken layer*, perbandingan lapisan intermetalik dengan kenaikan temperatur dalam jumlah penambahan Mn yang sama, dan perbandingan lapisan intermetalik pada temperatur yang sama dengan penambahan Mn yang berbeda-beda.

4.2.1. Perbandingan Ketebalan Lapisan I dan Lapisan II Pada Lapisan Intermetalik Dalam Fenomena *Die Soldering*



Gambar 4.5 Grafik ketebalan *compact layer* pada lapisan intermetalik dalam fenomena *die soldering*



Gambar 4. 6 Grafik ketebalan total pada lapisan intermetalik dalam fenomena *die soldering*

Pada hasil percobaan pencelupan baja H13 dengan variasi penambahan Mn yang berbeda-beda dan temperatur tahan yang berbeda pula, didapat variasi ketebalan antara *compact layer* dan *broken layer*. Secara umum, berdasarkan pada grafik diatas, terlihat bahwa pada lapisan I hasil percobaan mempunyai ketebalan yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan II.

Fasa ternary mempunyai ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan fasa biner. Karena volume Al melt berlebih, maka reaksi antara intermetalik dan melt mendominasi difusi dari permukaan baja.

Broken layer yang merupakan fasa ternary $-(Al,Fe,Si)$ memiliki ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan *compact layer* yang merupakan fasa biner FeAl, karena pada lapisan kedua merupakan lapisan intermetalik yang letaknya lebih dekat dengan Aluminium cair, sehingga pada fasa tersebut masih terdapat fraksi volum liquid yang tinggi. Apabila fraksi volume liquid tinggi, maka akan cenderung aktif dengan unsur lain, dimana unsur yang akan bereaksi dengan fraksi aluminium tersebut adalah Fe yang berasal dari permukaan H13.

4.2.2. Pengaruh Penambahan Unsur Mn Terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik Pada *Die Soldering*

Pada gambar 4.5 diatas, dapat dilihat adanya pengaruh penambahan Mn terhadap ketebalan *compact layer*. Pada gambar dapat dilihat, semakin banyak kadar Mn yang ditambahkan, maka *compact layer* yang terbentuk akan semakin

kecil. Fenomena ini mengindikasikan adanya peran Mn sebagai inhibitor reaksi pembentukan *compact layer*. Penambahan Mn mengakibatkan tingkat kejenuhan pada AlSi cair menjadi meningkat. Hal ini mengakibatkan kecenderungan Al untuk bereaksi dengan Fe yang terkandung pada H13 akan semakin berkurang. Tingkat kejenuhan yang tinggi mengakibatkan kecenderungan Fe untuk berdifusi keluar dan bereaksi dengan Al akan semakin berkurang. Hal ini berdampak pada ketebalan lapisan yang semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar Mn pada Al cair.

Sementara pada gambar 4.6 dapat dilihat ketebalan lapisan total yang terbentuk. Dari grafik tersebut, pengaruh Mn terhadap pembentukan *broken layer* tidak begitu berpengaruh. Hal ini dapat terlihat dari kecenderungan ketebalan lapisan yang naik turun dengan penambahan unsur Mn kedalam Al-12Si. Penambahan kadar Mn lebih terlihat pada *compact layer* daripada *broken layer*. Hal ini kemungkinan terjadi karena pada *broken layer* reaksi yang terjadi adalah reaksi antara fasa biner pada *compact layer* dengan Al-12Si cair. Seperti telah diketahui pada gambar 4.2, gambar 4.3 dan gambar 4.4 bahwa penambahan Mn tidak berpengaruh terhadap kandungan Al dan Fe pada setiap lapisan. Dengan demikian kandungan Mn juga tidak berpengaruh terhadap indikasi terbentuknya fasa tertentu pada setiap lapisan yang terbentuk. Penambahan Mn hanya mempengaruhi laju difusi Fe terhadap Al. Sedangkan reaksi yang terjadi pada *broken layer* merupakan reaksi fasa biner dengan Al-12Si cair. Reaksi ini tidak dipengaruhi oleh difusi Fe yang terjadi pada *compact layer*. Sehingga pengaruh Mn pada pembentukan *broken layer* tidak terlihat pada percobaan ini.

Sedangkan pada temperatur, pengaruhnya terhadap ketebalan lapisan intermetalik pada *die soldering*, dapat dilihat secara umum, bila dibandingkan dengan temperatur holding 680°C, pada temperatur 700°C terjadi penurunan tebal lapisan intermetalik, sedangkan pada temperatur 720 °C, lapisan intermetalik pada *die soldering* kembali meningkat, kecuali pada penambahan 0.3%Mn pada temperatur 720 °C.

Pada grafik diatas, terjadi penurunan ketebalan lapisan pada temperatur 700°C dan kenaikan pada temperatur 720°C. Pada temperatur 700°C energi difusi untuk membentuk lapisan intermetalik lebih kecil jika dibandingkan dengan

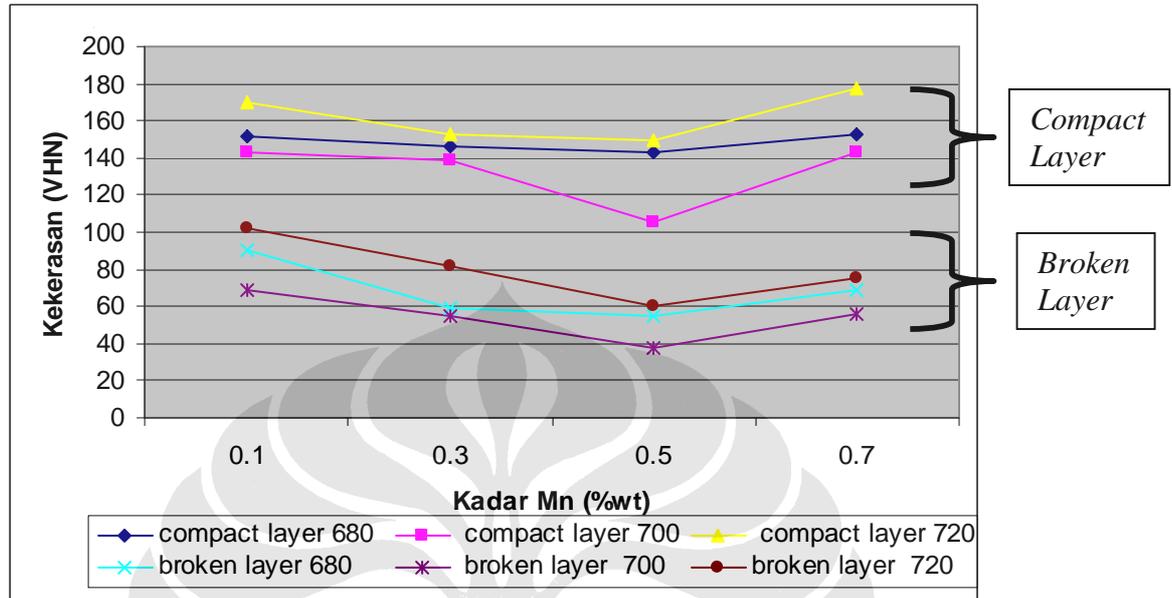
energi melarut. Hal ini mengakibatkan mekanisme pelarutan lebih mendominasi sehingga ketebalan lapisan menurun, dan ketebalan maksimum telah tercapai terlebih dahulu sebelum temperatur 700°C.

Selama injeksi dan solidifikasi, difusi atom aluminium dan besi melewati permukaan cetakan terjadi untuk membentuk lapisan intermetalik. Ketika siklus baru dimulai, logam cair masuk ke dalam rongga cetakan. Energi yang dibutuhkan untuk difusi masih rendah, walaupun begitu energi ini masih cukup untuk digunakan oleh lapisan intermetalik untuk terus tumbuh. Energi pelarutan pada tahap ini sudah tinggi, tapi masih lebih rendah dibandingkan dengan energi untuk berdifusi. Pada siklus selanjutnya, ketebalan lapisan intermetalik mencapai batas kritis, energi untuk berdifusi terus menurun hingga tidak ada lagi energi untuk berdifusi. Pada tahap ini energi untuk pelarutan mendominasi sehingga soldering yang terjadi kembali melarut lagi ke dalam logam cair.

Pengurangan massa telah terjadi pada permukaan cetakan, namun tidak menjadikannya bebas dari lapisan intermetalik. Energi untuk difusi meningkat karena larutnya Fe_xAl_y ke dalam logam cair, namun besarnya masih lebih kecil. Pada tahap ini, energi pelarutan akan menurun sehingga terjadi peningkatan ketebalan pada lapisan intermetalik. Siklus ini akan terus berlanjut dan permukaan cetakan juga secara berkala akan kehilangan besi yang larut ke dalam logam cair.

Sedangkan pada penambahan 0.3%Mn temperatur 720°C, terjadi penurunan yang signifikan. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya mekanisme pelarutan kembali *broken layer* pada suhu tinggi.

4.3. PENGARUH PENAMBAHAN Mn DAN TEMPERATUR CELUP TERHADAP KEKERASAN LAPISAN INTERMETALIK PADA DIE SOLDERING



Gambar 4. 7 Grafik kekerasan pada *compact layer* dan *broken layer* pada lapisan intermetalik yang terbentuk.

4.3.1 Perbandingan Kekerasan Pada *Compact Layer* dan *Broken Layer* Pada Lapisan Intermetalik yang terbentuk.

Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa *compact layer* lebih keras daripada *broken layer*, hal ini berkaitan dengan difusi Fe kedalam lapisan tersebut. Semakin dekat lapisan intermetalik dengan H13, kemungkinan komposisi Fe yang berdifusi kedalam lapisan intermetalik tersebut juga akan semakin besar, sehingga kekerasan pun akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar Fe. Mengacu pada tabel 4.1 diatas, dari *compact layer* ke *broken layer*, terjadi peningkatan kadar Al dan juga penurunan kadar Fe. Hal tersebut jelas akan menurunkan tingkat kekerasan pada *compact layer*. Tingginya kadar Al sangat berpengaruh terhadap penurunan kekerasan lapisan intermetalik yang terbentuk. Kadar Al pada *broken layer* lebih tinggi bila dibandingkan dengan *compact layer*, dan kandungan Fe pada *broken layer* lebih sedikit daripada *compact layer*. Hal ini dikarenakan semakin mendekati aluminium, kadar Fe yang terkandung akan semakin sedikit dan kadar Al yang terkandung akan semakin banyak. Semakin

jauh jarak lapisan dengan H13, maka kandungan Fe nya akan semakin sedikit. Hal ini sangat mempengaruhi kekerasan yang terjadi.

4.3.2 Pengaruh Penambahan Unsur Mn terhadap Kekerasan pada Lapisan Intermetalik.

Pada gambar 4.7 diatas, dapat dilihat hubungan antara kekerasan dengan penambahan unsur Mn. Dari grafik tersebut, tidak dilihat adanya pengaruh penambahan unsur Mn pada Al-12%Si. Tingkat kekerasan yang terjadi tidak terlalu signifikan dan terlihat konstan. Hal ini kemungkinan terkait dengan pengaruh kadar Al dan Fe yang terkandung pada setiap lapisan. Telah dijelaskan diatas bahwa penambahan unsur Mn pada Al-12%Si tidak mempengaruhi kadar Fe dan Al pada lapisan intermetalik. Sedangkan kekerasan kemungkinan besar identik dengan kandungan unsur Fe dan Al pada lapisan tersebut. Semakin banyak kadar Al dan semakin sedikit kadar Fe yang terkandung pada lapisan tersebut maka kekerasannya akan semakin menurun. Sebaliknya jika semakin tinggi kadar Fe dan semakin rendah kadar Al maka kekerasan lapisan tersebut akan semakin meningkat. Sementara dari gambar 4.3 dan gambar 4.4 tidak terlihat adanya keteraturan penurunan dan kenaikan unsur Fe dan Al seiring dengan penambahan unsur Mn pada Al-12%Si. Sehingga penambahan unsur Mn tidak berpengaruh terhadap kekerasan pada lapisan intermetalik.

Secara umum, bila dilihat pada grafik, kekerasan semakin meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur logam cair, akan menurunkan kekerasan dan ketahanan aus cetakan, sehingga cetakan mudah tererosi. Hal ini menyebabkan laju difusi atom-atom besi dan aluminium meningkat^[49]. Laju difusi yang tinggi pada temperatur tinggi dapat dibuktikan pada tabel 4.1 yang menerangkan kandungan unsur-unsur pada berbagai macam keadaan. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur, akan semakin tinggi pula kadar Fe pada setiap lapisan. Semakin tinggi kadar Fe, akan semakin tinggi pula kekerasan yang akan diperoleh. Hal ini menandakan bahwa laju difusi Fe akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur, dengan demikian semakin meningkatnya temperatur maka kekerasan lapisan intermetalik akan semakin keras.

Namun pada temperatur 700°C , kekerasan akan semakin menurun. Hal ini disebabkan pada temperatur tersebut, energi yang digunakan untuk berdifusi lebih kecil daripada energi untuk melarut. Hal ini berpengaruh pada difusi Fe menuju aluminium cair. Turunnya laju difusi ini akan menurunkan kadar Fe pada lapisan. Hal ini berpengaruh terhadap kekerasan yang ada pada lapisan tersebut. Semakin tinggi kadar Fe pada lapisan tersebut, akan semakin tinggi pula kekerasan pada lapisan intermetalik.

