

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Las

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas¹ adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki.

¹ M.Alip, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1989, hlm 7.

Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

1. Jenis-jenis pengelasan:

a. Berdasarkan panas listrik

1) SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

2) SAW (*Submerged Arc Welding*)

3) ESW (*Electric Slag Welding*)

4) SW (*Stud Welding*)

5) ERW (*Electric Resistant Welding*)

6) EBW (*Electric Beam Welding*)

b. Berdasarkan panas listrik dan gas

1) GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

2) GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

3) FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

4) PAW (*Plasma Arc Welding*)

c. Berdasarkan panas yang dihasilkan campuran gas

1) OAW (*Oxygen Acetylene Welding*)

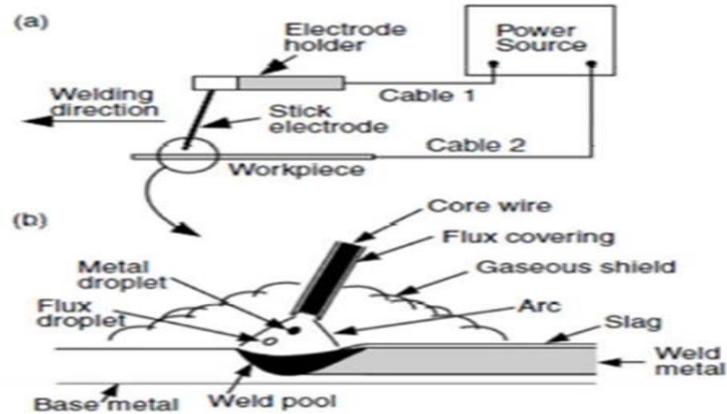


2.2 Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *fluks* yang digunakan. Bahan *fluks* yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 2.1 Las SMAW ²

Beberapa keuntungan *Shielded Metal Arc Welding* :

1. Peralatan yang digunakan tidak rumit, tidak mahal, dan mudah dipindahkan
2. Elektrodenya telah terdapat flux
3. Sensitivitasnya terhadap gangguan pengelasan berupa angin cukup baik
4. Dapat dipakai untuk berbagai posisi pengelasan
5. Dapat dikerjakan pada ketebalan berapapun
6. Pada semua material dapat memakai peralatan yang sama

Beberapa kekurangan *Shielded Metal Arc Welding* :

1. Lambat, dalam penggantian elektroda
2. Terdapat slag yang harus dihilangkan

²Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangan, Jakarta, 2000, hlm 10.

3. Pada *low hydrogen electrode* perlu penyimpanan khusus
4. Efisiensi endapat rendah

2.3 Elektroda Terbungkus

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E6013 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las *fluks* ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak.³

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Flux	Posisi ^{*)} pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22



Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah	*1 Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut
E6010, E6011		
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C	
E7016, E7018		
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C	
E6012, E6013		
E6020, E7014	tidak disyaratkan	
E7024		

Berdasarkan

jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada tabel 2.2 dibawah ini :

³Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangan, Jakarta, 2000, hlm 12.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda.

Diameter		Tipe elektroda dan amper yang digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas⁴. E6013 adalah suatu jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu.

Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E6013 adalah

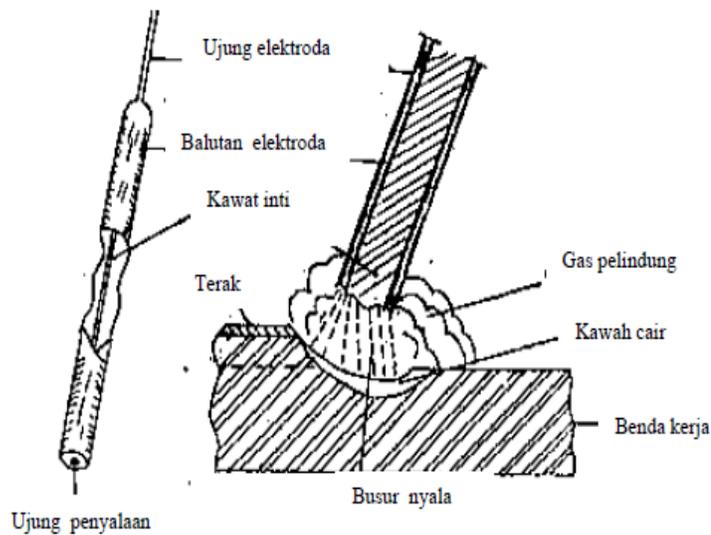
E : Elektroda las listrik (E6013 diameter 2 mm)

60 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (60.000 Psi) atau sama dengan 422 MPa.

1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan).

3 : Menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.

⁴M.Alip, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1989, hlm 13.



Gambar 2.2 Elektroda

terbungkus⁵

2.4 Baja SS 400

Baja SS400 merupakan baja karbon rendah dengan sedikit kandungan silikon. Beberapa hasil penelitian menemukan bahwa kandungan silikonnya antara 0,06 dan 0,037%

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30% sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0,45% sampai 1,70%. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun.

⁵ S. Arifin, *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1997, hlm 14.

Baja karbon rendah yang juga disebut baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi menjadi baja *kil*, baja *semi kil* dan baja *rim*, dimana penamaannya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus di dalam ingot.

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan tarik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon (C) dan menaikkan kadar mangan (Mn). Suhu transisi dari kekuatan tarik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C. Di dalam baja *rim* terdapat pemisahan antara kulit dan bagian dalam yang menyebabkan kekuatan tarik baja ini lebih rendah bila dibandingkan dengan baja *kil* dan baja *semi kil*.

Tabel 2.3 Spesifikasi Baja SS 400 ⁶

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
0,20	0,09	0,53	0,01	0,04	0,03	0,03	balance

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila didalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

Pada penelitian ini jenis baja yang digunakan adalah baja karbon rendah SS 400. Baja karbon rendah SS 400 digunakan di penelitian ini karena jenis baja ini dapat dilas dengan semua cara

⁶Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 15.

pengelasan (sifat mampu lasnya baik) yang ada didalam praktik dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan plat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

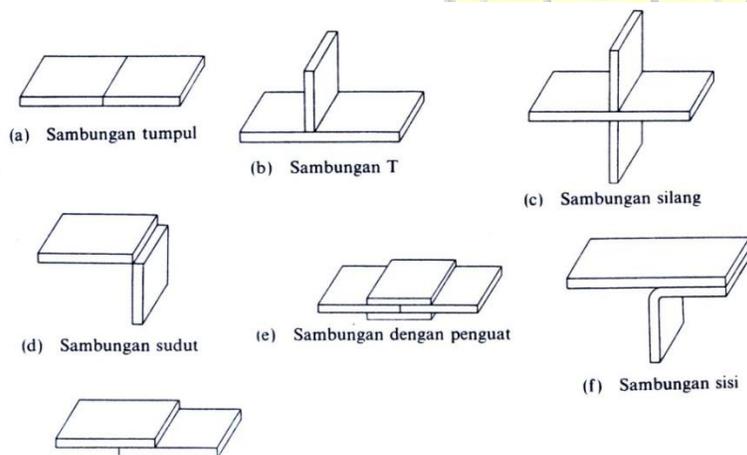
2.5 Proses Pengelasan

2.5.1 Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. sambungan tumpul
2. sambungan T
3. sambungan sudut dan sambungan tumpang

Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut di atas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



⁷Gambar 2.3 Dasar-dasar Sambungan

⁷Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 17.

1. Sambungan tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa plat pembantu dan sambungan dengan plat pembantu yang masih dibagi lagi dalam plat pembantu yang turut menjadi bagian dari konstruksi dan plat pembantu yang hanya sebagai penolong pada saat proses pengelasan.

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa plat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan plat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

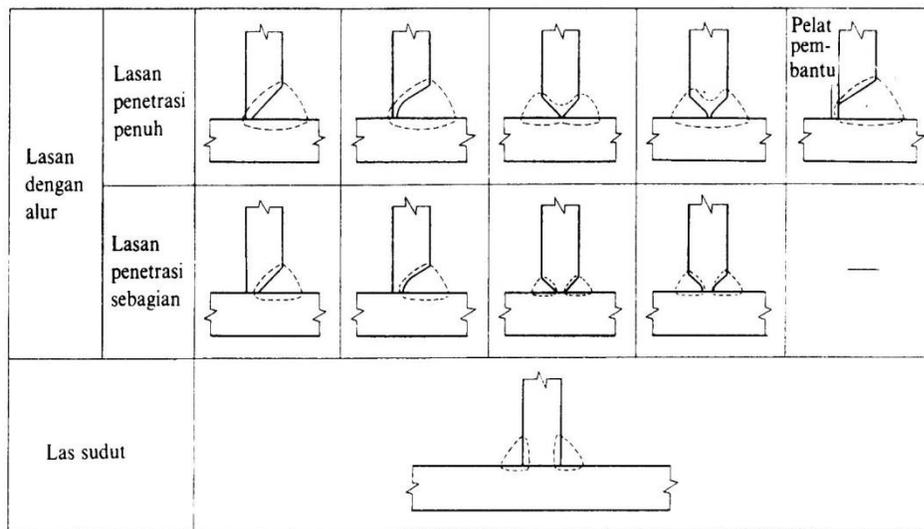
Gambar 2.4 Alur sambungan las tumpul ⁸

2. Sambungan bentuk T dan bentuk silang

Pada kedua sambungan ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu las jenis alur dan jenis las sudut. Hal-hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul diatas juga berlaku untuk

⁸Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlanggan, Jakarta, 2000, hlm 18.

sambungan jenis ini. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur.



Gambar 2.5 Sambungan T⁹

3. Sambungan sudut

Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal plat yang dapat menyebabkan retak lamel. Hal ini dapat dihindari dengan membuat alur pada plat tegak. Bila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan plat pembantu.

⁹Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 19.

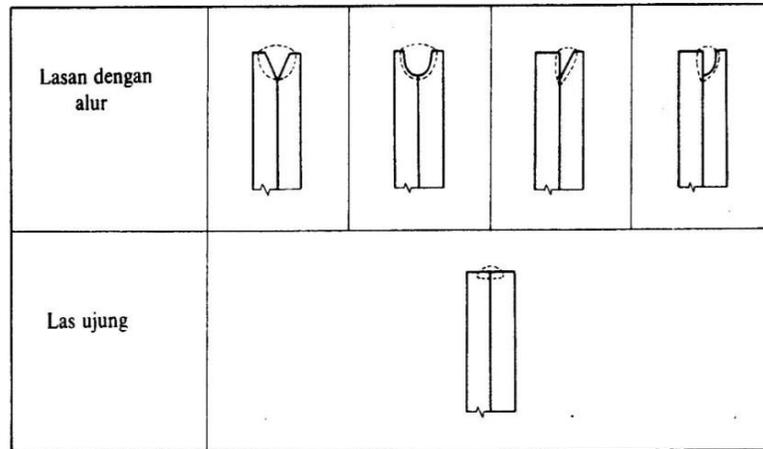
Lasan dengan alur	Lasan penetrasi penuh								
	Lasan penetrasi sebagian								—
Gabungan lasan dengan alur dan las sudut							—	—	
Las sudut									

Gambar 2.6 Sambungan Sudut ¹⁰

4. Sambungan sisi

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan sudut alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada platnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis kedua pengelasan dilakukan pada ujung plat tanpa ada alur. Jenis yang kedua ini biasanya hasilnya kurang memuaskan kecuali bila pengelasannya dilakukan dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi. Karena hal ini maka jenis ini hanya dipakai untuk pengelasan tambahan atau sementara pada pengelasan plat-plat yang tebal.

¹⁰Wiryo Sumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 20.



Gambar 2.7 Sambungan sisi¹¹

Pada penelitian ini sambungan atau kampuh yang digunakan adalah kampuh V tunggal. Sambungan atau kampuh V tunggal termasuk jenis dari sambungan tumpul. Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien, bentuk alur dalam sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-12 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-12 mm dengan sudut kampuh antara 60° - 80° , jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm.

¹¹Wiryo Sumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 21.

2.5.2 Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

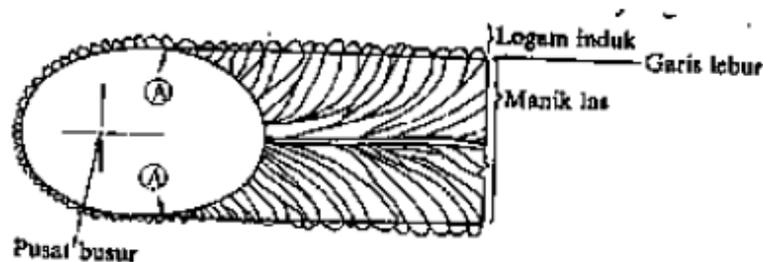
2.5.3 Daerah Las

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

1. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidak homogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah

ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las.



Gambar 2.8 Arah pembekuan dari logam las ¹²

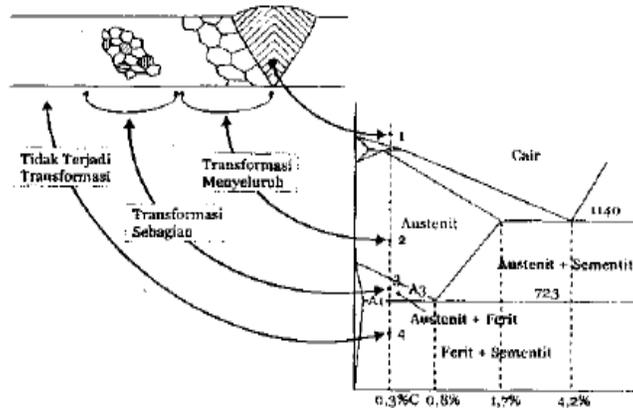
Dari Gambar diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

2. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi

¹²Wiryosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 23.

menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenit.

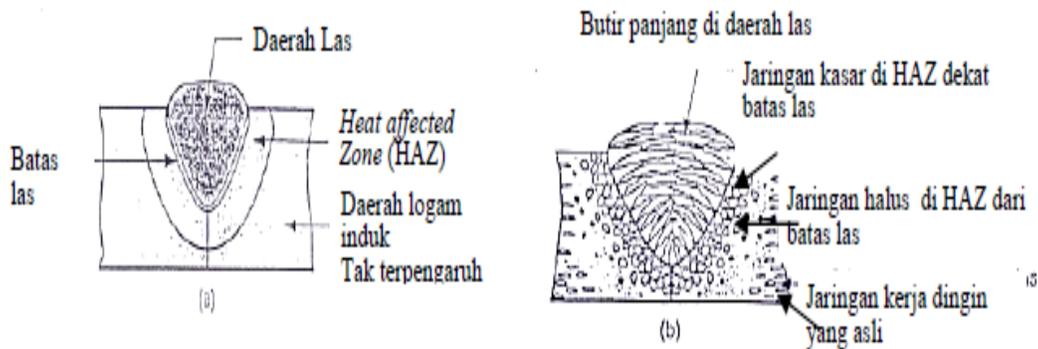


Gambar 2.9 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.¹³

3. Logam induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

¹³ V.Malau, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta, 2003, hlm 24.



Gambar 2.10 Perubahan sifat fisis pada pada sambungan las cair¹⁴

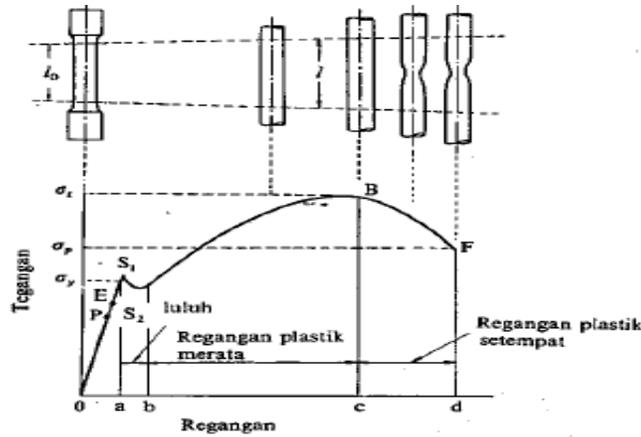
2.6 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.

Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum.

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan.

¹⁴V.Malau, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta, 2003, hlm 25.



Gambar 2.11 Kurva Tegangan Regangan¹⁵

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \quad (2-1)$$

Dimana : σ_u = Tegangan nominal (kg/mm^2)

F_u = Beban maksimal (kg)

A_0 = Luas penampang mula dari penampang batang (mm^2)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.¹⁶

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2-2)$$

¹⁵Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 26.

^{16,18}Wirjosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 27.

Dimana: ε = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

Lo = Panjang awal (mm)

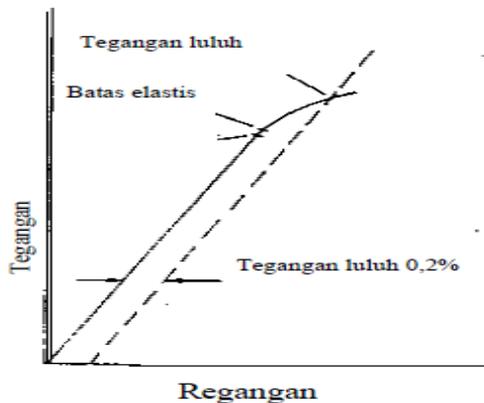
Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:¹⁷

$$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2-3)$$

Dimana: q = Reduksi penampang (%)

A₀ = Luas penampang mula (mm²)

A₁ = Luas penampang akhir (mm²)



Gambar 2.12 Batas elastis dan tegangan luluh 0,2% ¹⁸

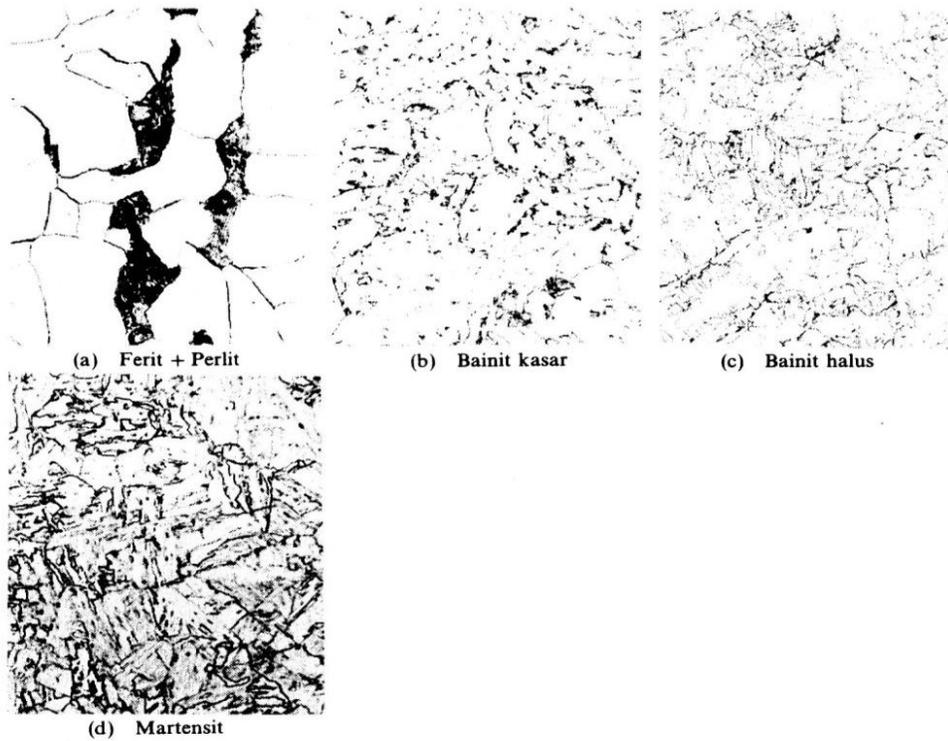
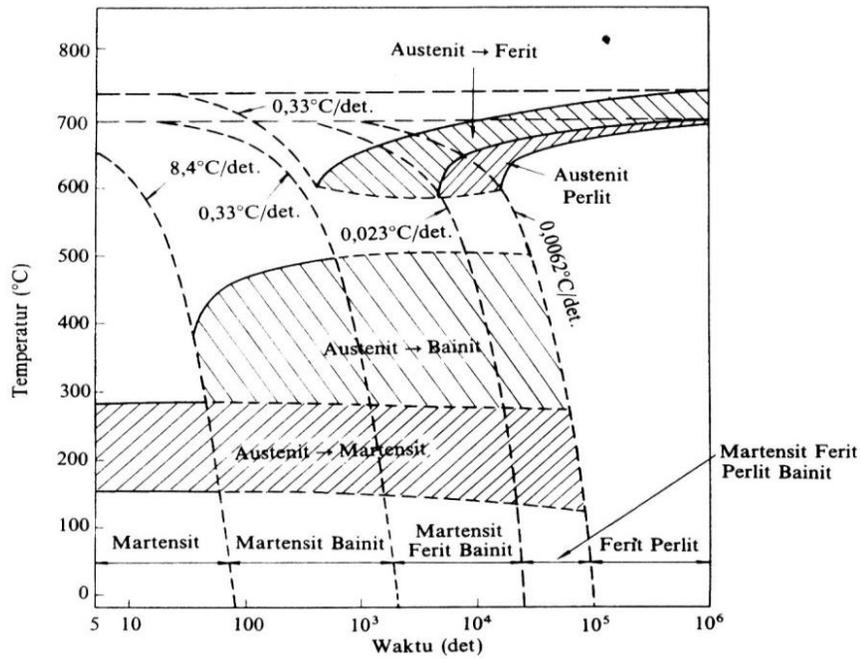
¹⁸Wiryo Sumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 28.

2.7 Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat di lihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya; mikroskop cahaya, mikroskop *electron*, mikroskop *field ion*, mikroskop *field emission* dan mikroskop sinar X.

Struktur mikro logam merupakan penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal. Pada umumnya logam terdiri dari banyak kristal (majemuk), walaupun ada diantaranya hanya terdiri dari satu kristal saja (tunggal). Tetapi logam dengan kristal majemuk memungkinkan pengembangan berbagai sifat-sifat yang dapat memperluas ruang lingkup pemakaiannya. Dalam logam, kristal sering disebut sebagai butiran. Batas pemisah antara dua kristal pemisah antara dua kristal disebut batas butir (*Grain Boundary*).

Baja dengan butiran yang kasar cenderung kurang tangguh, namun baja jenis ini lebih mudah untuk permesinan dan mempunyai kemampuan pengerasan yang lebih baik. Untuk baja yang berbutir halus, disamping lebih tangguh juga lebih ulet dibandingkan dengan yang berbutir kasar.



Gambar 2.13 Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah¹⁹

¹⁹Wiryo Sumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta, 2000, hlm 30.

1. Ferit

Ferit adalah larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Ferit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari austenite baja *hypo-eutectoid* pada saat mencapai A_3 . Ferit bersifat sangat lunak dan ulet serta memiliki kekerasan sekitar 70 – 100 BHN dan memiliki konduktivitas yang tinggi. Pada temperatur kamar batas kelarutan karbon 0,008 %, Tensile Strength rendah, struktur paling lunak pada diagram Fe-Fe₃C.

2. Sementit

Sementit adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan prosentase karbon 6,67% C. Yang bersifat keras sekitar 5 - 68 HRC, *Interstitial compound*, keras dan getas, kekuatan tarik rendah, kekuatan tekan tinggi, struktur kristal *orthorhombic* dan struktur paling keras pada diagram Fe-Fe₃C.

3. Perlit

Perlit adalah campuran sementit dan ferit yang memiliki kekerasan sekitar 10-30HRC. Perlit yang terbentuk sedikit dibawah temperature *eutectoid* memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memerlukan waktu inkubasi yang lebih banyak.

4. Bainit

Bainit merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit.

5. Martensit

Martensit merupakan larutan padat dari karbon yang lewat jenuh pada besi alfa sehingga latis-latis sel satuan yang terdistorsi. Martensit merupakan baja dengan karbon atau tanpa paduan lain. Kekuatan dan kekerasannya lebih baik dari ferit dan austenit, sangat keras, kuat dan rapuh. Ketahanan korosif paling buruk disbanding jenis stainless steel yang lain, tapi lebih baik dari pada baja karbon dan HSLA.

6. Austenit (γ)

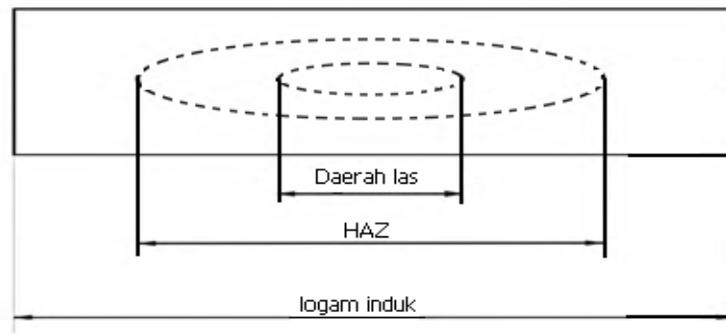
Interstitial solid solution: larutan padat karbon dalam besi γ , struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*, kubus pemusatan bidang), Kelarutan karbon max 2 % pada temperatur 1130 °C, *Tensile Strength* 1050 kg/cm², tangguh, biasanya tidak stabil pada temperatur kamar.

Dalam pengelasan terjadi siklus termal yaitu pemanasan dan pendinginan cepat. Siklus termal tersebut akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda antara logam las induk dan daerah terpengaruh panas (*HAZ*).

Karakterisasi struktur mikro lasan perlu dilakukan untuk mengetahui formasi dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik.

Uji struktur makro dilakukan untuk mengetahui struktur makro sambungan las yang terdiri dari jumlah lapis las, luas daerah lebur, daerah batas las dan lebar daerah terpengaruh panas. Struktur mikro lasan dapat diketahui dengan pengujian menggunakan mikroskop metalurgi.

Secara umum struktur mikro lasan dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini terdiri dari :



Gambar 2.14 Skema Daerah Struktur Mikro

1. Daerah lebur (*welding metal zone/WMZ*), yaitu material yang mencair selama proses pengelasan.
2. Daerah cair sebagian (*partially melted zone/PMZ*), yaitu material yang sebagian mencair dan sebagian tidak, yang berada di antara daerah lebur dan daerah terpengaruh panas.
3. Daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/ HAZ*), yaitu material yang selama proses pengelasan tidak mencair tetapi mengalami perubahan struktur mikro karena pengaruh panas.
4. Logam dasar (*base metal/BM*), yaitu logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat.

Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, daerah pengaruh panas adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pengelasan dan pendinginan secara cepat.

Tujuan karakterisasi struktur mikro las adalah untuk mengamati struktur mikro berkaitan dengan sifat-sifat mekanik yang dimiliki lasan dan mengevaluasi struktur mikro untuk mendapatkan parameter las yang paling sesuai.

2.8 Perhitungan Butiran Kristal

Untuk menghitung jumlah butir Kristal pada struktur mikro peneliti dilakukan dengan menggunakan metode *Intercept (Heyne)* ukuran butir dihitung dengan rumus sebagai berikut:²⁰

$$LK = \frac{n \times L \times 10^3}{V \times P_K} \quad (2-4)$$

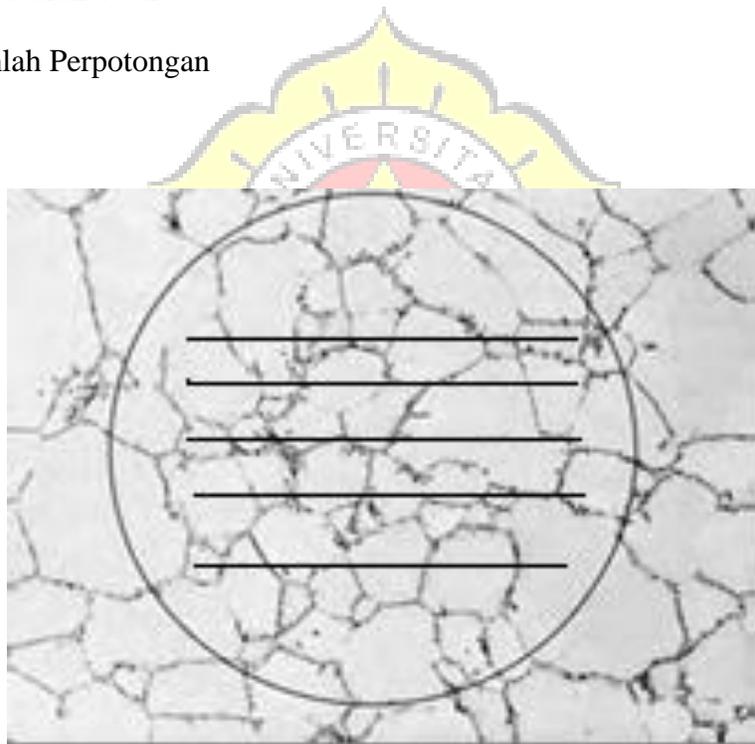
Dimana: LK = Ukuran Butir

n = Jumlah Garis

L = Panjang Garis, 100 mm

V = Perbesaran 400x

P_K = Jumlah Perpotongan



Gambar 2.15 Skema Perhitungan Jumlah Butir

²⁰ ASM, *Metallurgy and Microstructures*, ASM Handbook Committee, Metal Park, Ohio, 1989, hlm 34.

