

**DIKTAT**

# TEORI FABRIKASI 2

**STM 234 (2 SKS TEORI)**

**SEMESTER GASAL**



**RISWAN DWI DJAMIKO, MPD**

**JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
TAHUN 2008**

## **DESKRIPSI MATAKULIAH**

Mata kuliah ini mempunyai bobot 2 SKS teori, bersifat wajib lulus dan merupakan prasyarat mata kuliah praktik las dan konstruksi. TEORI PENGELASAN LOGAM ini bertujuan agar mahasiswa mempunyai pengetahuan tentang: 1) Konsep dasar penyambungan logam dengan las; 2) Mesin dan peralatan las ; 3) Variabel pengelasan; serta ; 4) Prosedur pengelasan logam.

## **TUJUAN PEMBELAJARAN**

### **1 Mengetahui konsep dasar pengelasan logam:**

- a. Menjelaskan berbagai jenis proses las berdasarkan tingkat pencairannya, sumber energinya, dan jenis bahan tambahannya
- b. Menjelaskan prinsip kerja masing-masing jenis mesin las

## DAFTAR ISI

	Halaman
TUJUAN PEMBELAJARAN .....	1
DAFTAR ISI .....	3
BAB III BERBAGAI MACAM PROSES LAS .....	4
A. Las Kondisi Cair .....	4
B. Las Kondisi Padat .....	17
DAFTAR PUSTAKA .....	21

## **BAB III**

# **BERBAGAI MACAM PROSES LAS**

Peralatan las terdiri dari dua kelompok, yaitu mesin las dan peralatan bantu pengelasan. Mesin las merupakan alat utama yang digunakan untuk menyambung logam dengan las. Mesin ini berfungsi sebagai penyambung bahan yang dilas, sedangkan alat bantu digunakan untuk mendukung proses pengelasan.

Proses pengelasan logam secara makro diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu: (1) **Liquid state welding (LSW)**, dan (2) **Solid state welding (SSW)**. LSW adalah proses pengelasan logam yang dilakukan dalam keadaan cair, sedangkan SSW merupakan proses las di mana pada saat pengelasan, logam dalam keadaan padat. Pengelasan logam secara LSW maupun SSW mempunyai beberapa teknik/metode. Berbagai jenis las berdasarkan metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

### **A. Las Kondisi Cair (*Liquid State Welding*)**

Proses pengelasan yang dilakukan dalam kondisi cair (*liquid state welding*) terdiri dari tiga kategori, yaitu: 1) *electric arc welding*, 2) *resistance welding*, dan 3) *thermal arc welding*. Ketiga kategori tersebut didasarkan pada energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam yang akan dilas. Persyaratan yang harus diperhatikan dalam pengelasan ini adalah bahan yang dilas harus sama.

#### **1. Las Busur Listrik (*Electric Arc Welding*)**

Pada *electric arc welding*, energi panas ditimbulkan oleh loncatan elektron dari elektroda las ke benda kerja. Besar kecilnya energi dipengaruhi oleh arus & tegangan listrik, serta jarak (*gap*) antara elektroda dengan benda kerja. Banyak pengelasan logam yang dilakukan dengan metode ini, namun secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu: (1) *flash butt*, (2) *consumable electrode*, dan (3) *non consumable electrode*.

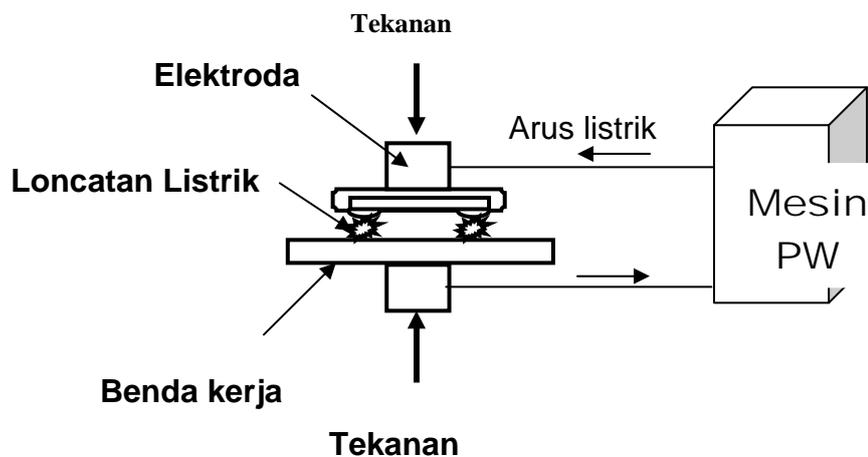
##### **a. Las Flash Butt (*Flash Butt Welding*)**

*Flash butt* merupakan metode pengelasan yang dilakukan dengan menggabungkan antara loncatan elektron dengan tekanan, di mana benda kerja yang dilas dipanasi dengan energi loncatan elektron kemudian ditekan dengan alat sehingga bahan yang dilas menyatu dengan baik. Pengelasan dengan teknik ini banyak diterapkan pada penyambungan baut pada konstruksi plat. Salah satu jenis las *Flash butt* adalah *Projection welding*.



**Gambar 26. Peralatan *Projection Welding***

**Las Proyeksi (*Projection welding*).** *Projection welding* (Las proyeksi) dilakukan dengan menghubungkan dua benda kerja yang akan disambung pada dua elektroda dan menggerakkannya secara perlahan. Ketika kedua benda kerja tersebut hampir bersentuhan, terjadilah loncatan arus listrik yang mengakibatkan pemanasan pada bagian yang dilas. Setelah itu kedua benda kerja tersebut ditekan, maka terbentuklah sambungan las (lihat Gambar 26 dan Gambar 27).



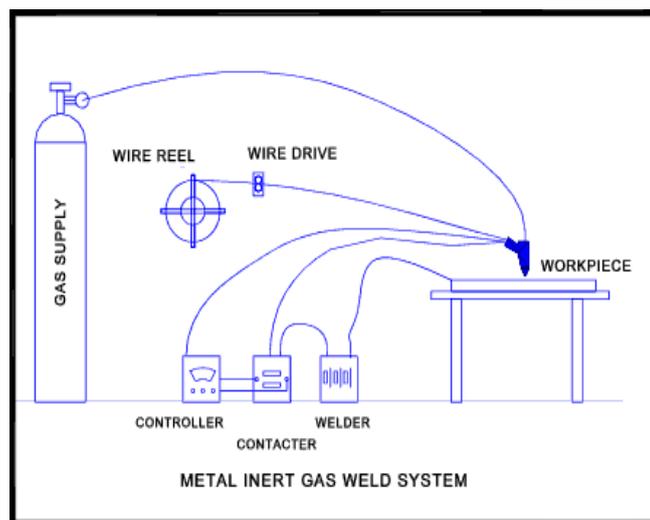
**Gambar 27. Prinsip Kerja *Projection Welding***

**b. Las Elektroda Terumpan (*Consumable Electrode*)**

*Consumable electrode* (elektroda terumpan) adalah pengelasan dimana elektroda las juga berfungsi sebagai bahan tambah. Elektroda yang digunakan terdiri dari tiga jenis, yaitu: elektroda batangan, elektroda gulungan tanpa inti, dan elektroda gulungan dengan inti fluks di tengahnya. Elektroda batangan digunakan pada las listrik (*Shielded metal arc welding / SMAW*). Elektroda gulungan tanpa inti digunakan pada las *Metal inert gas* (MIG) dan *Metal active*

gas (MAG). Elektroda gulungan dengan inti fluks digunakan pada las *Flux core arc welding* (FCAW) dan *Submerged arc welding* (SAW).

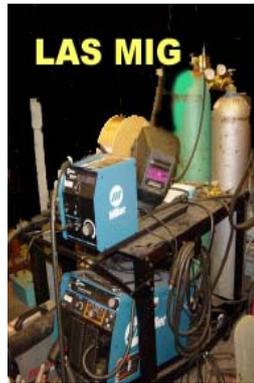
**Las MIG.** Las MIG termasuk jenis las elektroda terumpan yang banyak digunakan di industri otomotif. Hal ini dikarenakan las MIG memiliki kelebihan yaitu dapat dengan mudah digunakan untuk mengelas logam yang tipis dan juga karena menggunakan elektroda gulungan maka las MIG dapat digunakan pengelasan otomatis dengan pemrograman komputer. Prinsip kerja las MIG adalah ketika saklar *welding gun* di *on*-kan, arus listrik mengalir pada elektroda dan elektroda berjalan sesuai dengan kecepatan yang diatur sebelumnya. Sesaat sebelum ujung elektroda menyentuh benda kerja terjadilah loncatan listrik yang melelehkan benda kerja dan elektroda tersebut. Bersamaan dengan kejadian ini gas pelindung mengalir di atas permukaan deposit lasan dan melindungi deposit tersebut dari pengaruh udara luar. Lihat Gambar 28.



**Gambar 28. Prinsip Kerja Las MIG**

**Las listrik (*Shielded metal arc welding/SMAW*).** Las listrik disamping dinamakan SMAW juga disebut Manual metal arc (MMA). Penyebutan ini dikarenakan las listrik sangat sulit diotomatiskan. Namun walaupun demikian penggunaannya di industri sangat luas. Kelebihan dari las listrik adalah konstruksi sederhana dan bahan fluks yang padat sangat efektif dalam melindungi deposit lasan dari pengaruh udara luar sehingga las listrik dapat digunakan di segala medan. Penggunaan las listrik dimulai dari mengalirkan arus listrik dalam rangkaian listrik dan menyentuhkan elektroda pada benda

kerja. Sesaat setelah elektroda bersentuhan dengan benda kerja, terjadilah loncatan listrik yang panasnya dapat mencairkan kedua bahan tersebut dan terbentuk sambungan las.



**Gambar 29. Mesin Las MIG**



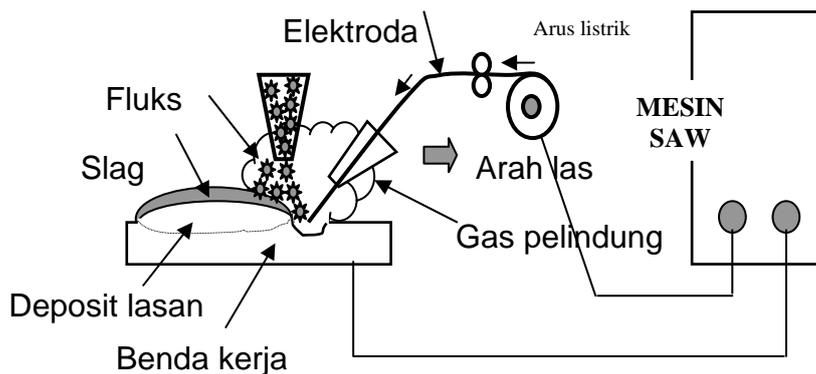
**Gambar 30. Mesin Las Listrik**



**Gambar 31. Proses Las Listrik**

**Las Busur terpendam (*Submerged arc welding/SAW*).** Las Busur terpendam banyak digunakan untuk penyambungan tabung-tabung gas, pipa besar, dan penyambungan benda-benda yang sama serta banyak. Pengelasan dilakukan secara otomatis dan fluksnya berupa butiran. Satu unit mesin las SAW terdiri dari sebuah travo, kontrol, elektroda gulungan, nosel, dan perlengkapan

untuk menaburkan fluks. Pengelasan dimulai dengan mengalirkan arus listrik pada rangkaian listrik SAW. Elektroda berjalan dan menyentuh benda kerja. Loncatan busur listrik dari elektroda ke benda kerja mencairkan keduanya. Pada saat bersamaan butiran fluks ditaburkan agar deposit lasan yang terbentuk terlindung dari udara luar. Gambar 32 mengilustrasikan prinsip kerja SAW.



**Gambar 32. Prinsip Kerja Las SAW**



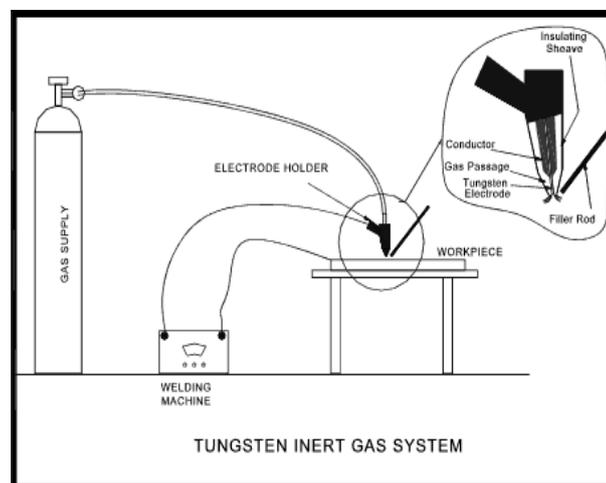
**Gambar 33. Mesin Submerged Arc Welding (SAW)**

**c. Las Elektroda Tak Terumpan (*Non Consumable Electrode*)**

*Non consumable electrode* adalah pengelasan dengan menggunakan elektroda, di mana elektroda tersebut tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Elektroda hanya berfungsi sebagai pembangkit nyala listrik, sedangkan bahan tambah digunakan *filler metal*. Jenis las yang menggunakan prinsip ini adalah Las TIG (*Tungsten inert gas welding*) dan Las Plasma (*Plasma arc welding / PAW*). Di sini gas lemas / *inert* pada las TIG berfungsi sebagai gas pelindung

deposit lasan, sedangkan *plasma* disamping berfungsi sebagai pelindung juga sebagai peningkat panas dari busur listrik.

**Las Tungsten inert gas (TIG).** Salah satu jenis *non consumable electrode* yang paling banyak digunakan adalah las TIG atau lebih dikenal dengan sebutan las Argon. Argon termasuk gas lemas (*inert gas*) yang berfungsi sebagai pelindung deposit lasan dari pengaruh udara luar. Gas Argon harganya cukup mahal dan sangat berpengaruh terhadap biaya pengoperasian las TIG. Berkaitan dengan hal tersebut, biasanya las jenis ini digunakan untuk mengelas stainless steel dan logam-logam nonfero seperti Aluminium, Titanium, dll. Bagian utama las TIG adalah sebuah Inverter, satu unit peralatan kontrol, welding gun, satu tabung gas pelindung beserta regulatornya. Pengoperasian las TIG dimulai dengan mengalirkan arus listrik ke dalam rangkaian listrik, pada saat ujung elektroda didekatkan pada benda kerja akan terjadi loncatan arus listrik bersamaan dengan keluarnya gas pelindung yang panasnya dapat mencairkan bahan tambah (*filler metal*) dengan benda kerja dan terjadilah pengelasan. Lihat Gambar 34.



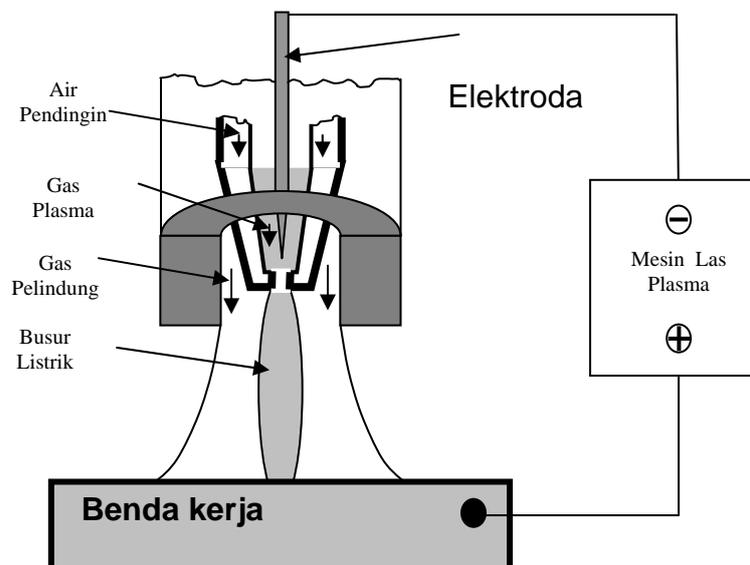
**Gambar 34. Prinsip Kerja Las TIG**

**Las Plasma.** Penyambungan logam dengan las Plasma, prosedurnya sama dengan las TIG. Penempatan elektroda di dalam nosel tersendiri dapat memisahkan busur api dengan gas pelindung. Elektroda las plasma terbuat dari tungsten dengan elemen tambahan thorium sebanyak 2% dan nosel dibuat dari bahan tembaga. Ada tiga model pengoperasian las Plasma berkaitan dengan

ukuran nosel dan laju gas plasma, yaitu: 1) Plasma mikro (*Microplasma*) dengan arus listrik antara 0,1 sampai 15 A; 2) Arus menengah (*Medium current*) yang arusnya antara 15 hingga 200 A; dan 3) *Keyhole plasma* digunakan untuk pengelasan di atas arus 200 A. Dalam kondisi normal, las Plasma menggunakan arus searah (DC) yang mempunyai karakter arus menurun (*drop voltage*). Penyalaan busur listrik pada saat awal pengelasan lebih sulit jika dibandingkan dengan las yang menggunakan karakter arus konstan (*constan voltage*). Lihat Gambar 36.



**Gambar 35. Mesin Las TIG**



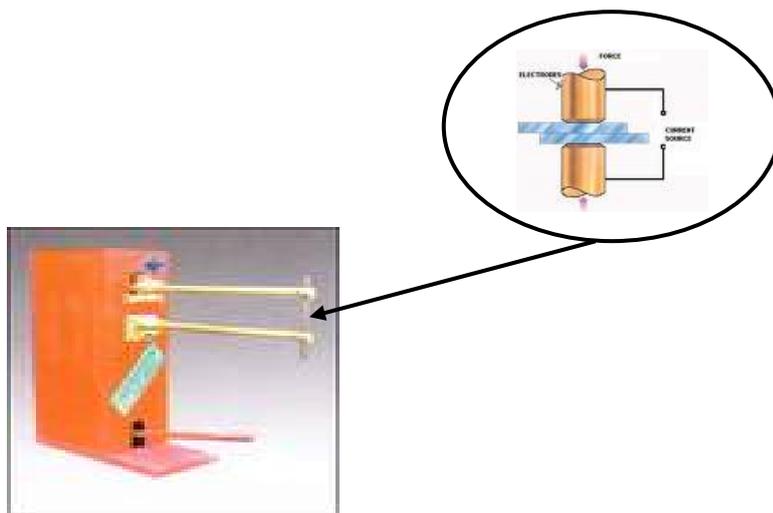
**Gambar 36. Prinsip Kerja Las Plasma**

## 2. Las Tahanan (*Resistance Welding*)

*Resistance welding* atau las tahanan biasanya digunakan pada pengelasan pelat-pelat logam yang tipis yang banyak dilakukan di industri otomotif. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam dibangkitkan oleh tahanan listrik yang terjadi pada elektroda las.

### a. Las Titik (*Spot welding*)

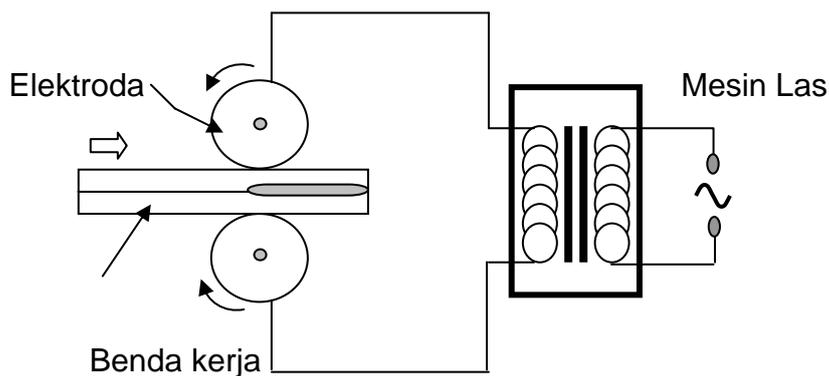
Las Titik yang merupakan salah satu proses las tertua banyak digunakan di industri khususnya industri yang banyak mengerjakan plat seperti industri otomotif. Bahan yang disambung dengan metode ini sering dilakukan pada ketebalan di bawah 3 mm. Bahan dasar sebaiknya mempunyai ketebalan sama atau dengan perbandingan 3:1. Pembangkitan panas las Titik bekerja atas dasar hambatan listrik bahan yang dilas. Bahan harus memiliki tahanan listrik yang lebih besar dari bahan elektroda yang terbuat dari elemen dasar tembaga. Pengelasan dilakukan dengan mengaliri benda kerja dengan arus listrik melalui elektroda, karena terjadi hambatan diantara kedua bahan yang disambung, maka timbul panas yang dapat melelehkan permukaan bahan dan dengan tekanan akan terjadi sambungan. Lihat Gambar 37.



**Gambar 37. Las Titik**

### b. Las Kelim (*Seam welding*)

Ditinjau dari prinsip kerjanya, las Rol sama dengan las Titik, yang berbeda adalah bentuk elektrodanya. Elektroda las Rol berbentuk silinder. Las jenis ini banyak digunakan untuk menyambung benda kerja yang membutuhkan kerapatan, seperti pembuatan tangki bahan bakar, pengalengan makanan, dan lain-lain. Lihat Gambar 38.



**Gambar 38. Prinsip Kerja Las Kelim (*Seam Welding*)**



**Gambar 39. Mesin Las Kelim (*Digital Seam Welding*)**

### 3. Las Energi Panas (*Thermal Welding*)

Energi panas yang digunakan dalam proses las jenis ini adalah proses konveksi dari pembakaran gas atau dari sebab lain. Proses las yang bekerja atas dasar prinsip tersebut adalah las Oxy-acetylene, las Laser, dan las Sinar elektron. Las yang paling banyak digunakan dari jenis ini adalah las Gas.

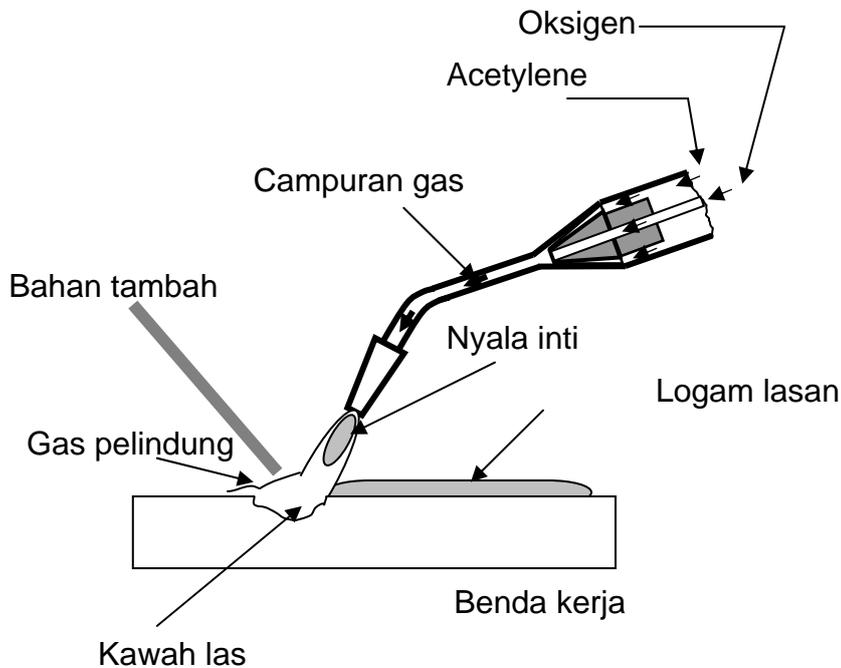
#### a. Las Gas (*Gas Welding*)

Walaupun panas dari gas bakar sudah lama diketahui dan persediaannya tidak terbatas di alam bebas, namun penerapannya dalam pengelasan relatif lebih baru bila dibandingkan dengan las Listrik. Bahan bakar gas banyak jenisnya, diantaranya adalah LPG, LNG, Metan, dan Acetylene.

**Las Karbit (*Oxy-acetylene welding / OAW*).** Gas yang banyak digunakan untuk pengelasan logam adalah gas Acetylene. Las yang menggunakan gas Acetylene dinamakan las Acetylene (karbit). Dalam penerapannya pada las, gas Acetylene dicampur dengan gas Oksigen kemudian di bakar. Panas yang ditimbulkan digunakan untuk pengelasan. Karena pencampurannya dengan Oksigen inilah las Karbit juga disebut Las Oxy-Acetylene (*Oxy-acetylene welding*). Lihat Gambar 40.

Gambar 40 memperlihatkan prinsip kerja las Karbit. Dalam proses pembakaran, tidak semua campuran gas oksigen dan acetylene terbakar secara sempurna. Gas yang terbakar sempurna membentuk nyala inti yang digunakan untuk mencairkan logam, sedangkan sisanya membentuk nyala luar yang berfungsi sebagai gas pelindung deposit logam lasan.

Proses pencampuran gas bisa dimanipulasi sesuai dengan tujuan pengelasan. Campuran yang terlalu banyak acetylene menyebabkan banyak gas acetylene yang tidak terbakar, bentuk nyala inti memanjang dengan warna kuning kemerahan. Bentuk nyala seperti ini dinamakan nyala Karburasi. Nyala Karburasi mempunyai suhu sekitar 1000 °C sehingga cocok untuk proses *Brazing*, *Soldering* dan pengelasan alumunium, namun tidak dapat digunakan untuk pengelasan baja.

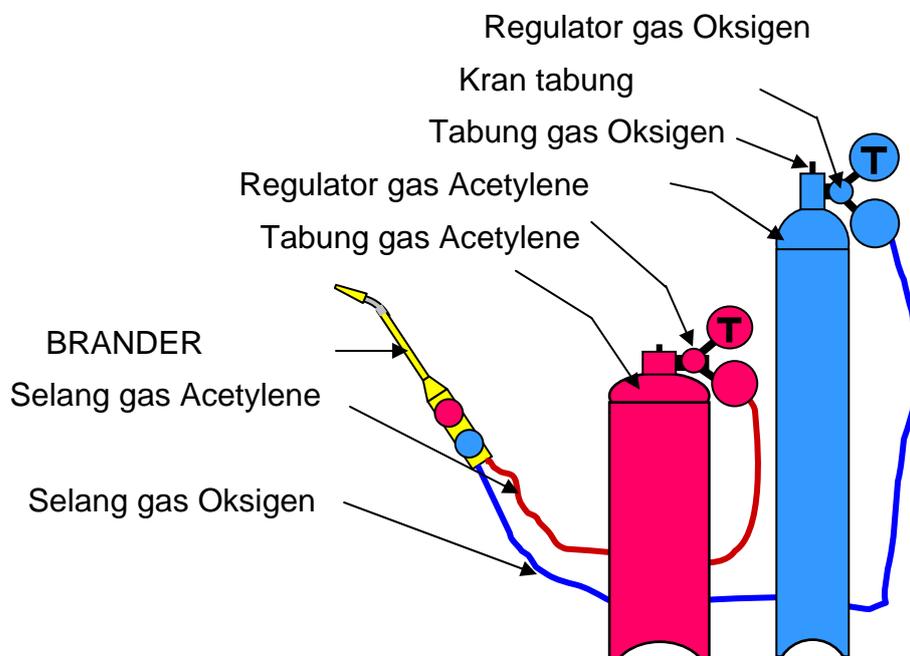


**Gambar 40. Prinsip Kerja Las Karbit**

Campuran gas yang terlalu banyak oksigen disebut nyala Oksidasi. Nyala intinya berbentuk kerucut dengan warna putih kebiruan, panjangnya lebih pendek dari nala Netral, dan bersuara mendesis. Temperatur nyala Oksidasi sekitar 3500 °C. Walaupun temperatur tersebut sudah dapat mencairkan baja namun jika diterapkan pada pengelasan baja akan terjadi oksidasi, karena banyak sisa gas oksigen yang tidak terbakar mengikat elemen Fe dan membentuk oksida besi ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Oksida besi ini menyebabkan cacat las yang berupa *slag inclusion* (kotoran yang ikut ke dalam deposit logam lasan).

Bentuk nyala lain dalam las Gas adalah nyala Netral yang diakibatkan karena pembakaran campuran gas oksigen dan acetylene dengan perbandingan relatif sama (biasanya sedikit lebih banyak oksigen). Nyala berbentuk busur dengan warna putih kekuningan dan panjangnya melebihi nyala Oksidasi tetapi lebih pendek dari nyala Karburasi. Temperatur yang dapat dicapai sekitar 3200 °C dan sangat cocok jika digunakan untuk pengelasan baja.

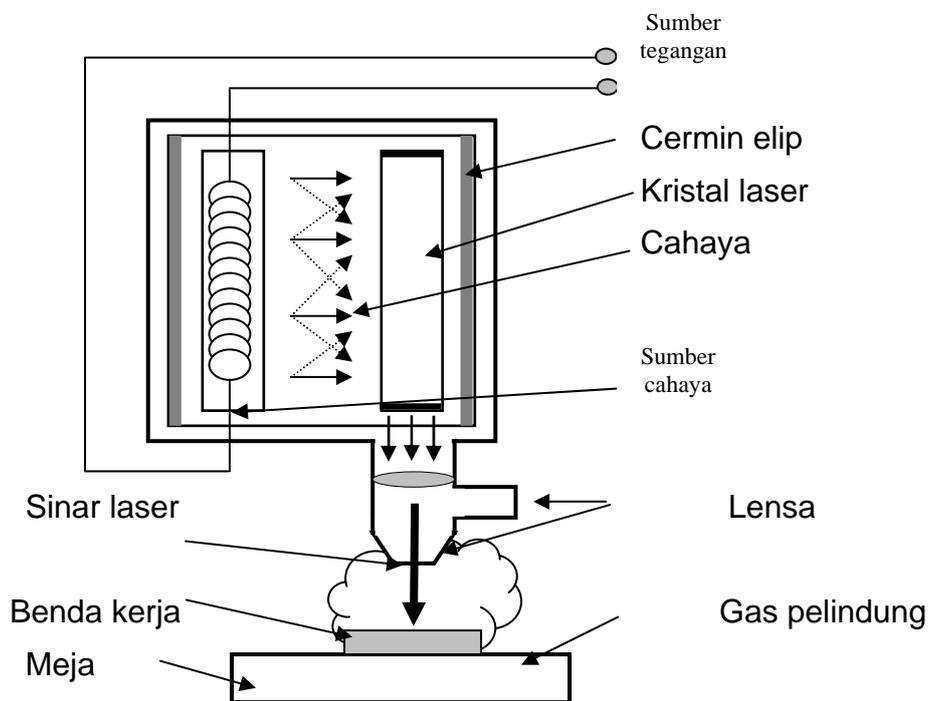
Seperangkat las Karbit terdiri dari satu tabung oksigen, satu tabung acetylene, satu unit selang gas, satu uni regulator, dan brander. Tabung gas digunakan untuk menampung gas, regulator digunakan untuk mengetahui isi tabung dan mengatur tekanan tabung, selang gas untuk menyalurkan gas dari tabung ke brander, serta brander digunakan sebagai alat pencampur gas Oksigen dan Acetylene. Lihat Gambar 41.



**Gambar 41. Seperangkat Peralatan Las Karbit**

## b. Las Sinar Laser

Laser merupakan sinar yang mempunyai karakteristik unik. Gelombang cahayanya di alirkan lurus ke depan tanpa adanya penyebaran. Karena gelombang cahaya yang tidak menyebar dapat menimbulkan efek panas pada benda yang dikenainya. Pada pengelasan, energi panas sinar ini diterapkan untuk mencairkan logam yang dilas.



**Gambar 42. Prinsip Kerja Las Sinar Laser**

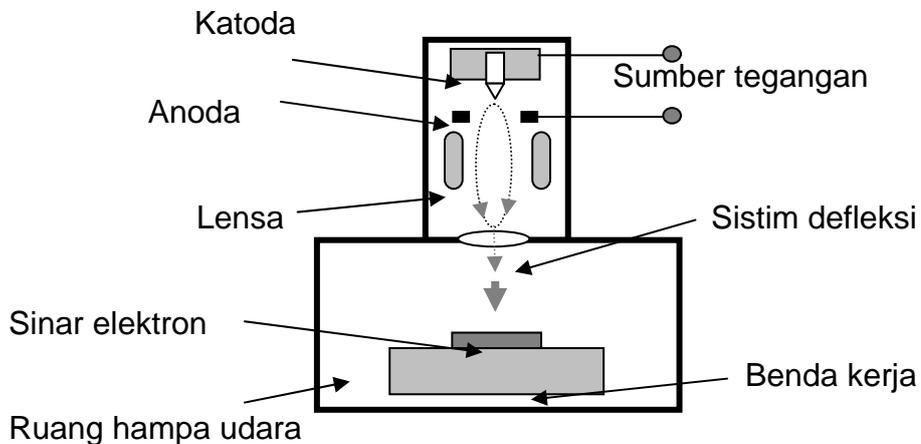
Gambar 42 memperlihatkan ketika sumber cahaya diberikan muatan listrik memancarkan cahaya dan cermin elip memantulkannya ke kristal Laser. Kristal Laser meneruskan cahaya tersebut ke lensa. Lensa memfokuskan cahaya ke benda kerja dan memanaskannya sehingga proses las terjadi. Bersamaan dengan peristiwa itu gas pelindung disalurkan untuk melindungi deposit logam lasan. Penerapan prinsip las Sinar laser pada mesin las dapat dilihat pada Gambar 43.



**Gambar 43. Las Sinar Laser**

**c. Las Sinar Elektron**

Las Sinar elektron juga tergolong pengelasan yang menggunakan energi panas. Energi panas didapat dari energi sebuah elektron yang di tumbukkan pada benda kerja. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut, elektron yang dipancarkan oleh katoda ke anoda difokuskan oleh lensa elektrik ke sistim defleksi. Lihat Gambar 44.



**Gambar 44. Prinsip Kerja Las Sinar Elektron**

Sistim defleksi meneruskan sinar elektron yang sudah fokus ke benda kerja. Sinar yang sudah fokus tersebut digunakan untuk melakukan pengelasan benda kerja. Benda kerja harus ditempatkan di dalam ruang hampa udara agar deposit logam tidak teroksidasi udara luar. Mesin las Sinar elektron dapat dilihat pada Gambar 45.



**Gambar 45. Las Sinar Elektron**

## **B. Solid State Welding**

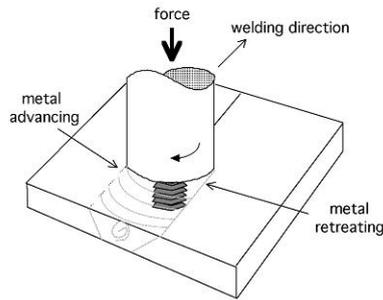
Pengelasan yang dilakukan dalam keadaan padat (*Solid state welding*) mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah bahan tidak harus sama dan efek panas yang menyebabkan adanya *Heat affected zone* (HAZ) dapat dieliminasi sekecil mungkin. *Heat affected zone* atau daerah terpengaruh panas yang terjadi di sekitar sambungan las ini dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat logam yang dilas.

### **1. Friction Welding**

*Friction welding* atau las gesekan merupakan proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang diakibatkan karena adanya gesekan dari dua material yang akan disambung. Sebagai contoh dapat kita lihat pada sambungan bola dudukan spion sepeda motor dengan tangkainya. Sambungan tersebut dilakukan dengan cara mengikat salah satu bagian dan ditekan oleh bagian lain kemudian diputar dengan kecepatan tinggi, sehingga timbul energi panas yang dapat memudahkan pelintasan atom-atom pada logam yang disambung dan terjadilah ikatan yang sangat kuat.

### **2. Cold Welding**

Pengelasan dingin (*Cold welding*) adalah pengelasan yang dilakukan dalam keadaan dingin. Yang dimaksud dingin di sini, bukan berarti tidak ada panas, panas dapat saja terjadi dari proses tersebut, namun tidak melebihi suhu rekristalisasi logam yang dilas.



**Gambar 46. Friction Welding**

Proses penyambungan logam terjadi karena adanya tekanan yang sangat tinggi atau adanya pelintasan atom-atom logam melewati batas kedua logam yang dilas, sehingga pengelasan jenis ini harus terbebas dari pengaruh oksida logam dan permukaan yang akan disambung harus rata dan halus.

#### **a. Las Ultrasonik (*Ultrasonic Welding / UW*)**

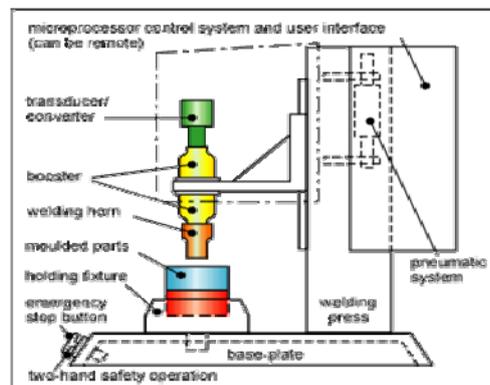
Teknologi Ultrasonik dapat digunakan untuk banyak penerapan yang berbeda, tergantung kesesuaiannya terhadap gelombang suara serta karakteristik energi mekaniknya. Keuntungan dari getaran gelombang pendek adalah sangat baik karakteristik aranya dan sinyal yang tinggi dapat digetarkan dengan mudah.

Energi ultrasonik digunakan untuk memperbaiki struktur material dalam metalurgi. Getaran mekanis frekuensi tinggi mempunyai efek terhadap pembersihan. Tekanan puncak hingga 1000 Bar tidak hanya membantu dalam memindahkan partikel unsur/butir permukaan material, tetapi juga dapat melepaskan selubung padat bahan logam dengan bantuan getaran frekuensi rendah.

Dalam bidang pengelasan, energi ultrasonik diterapkan pada berbagai jenis logam, bahkan dapat digunakan untuk menyambung logam titik cair yang berbeda. Disamping itu pengelasan dengan teknologi tersebut telah terbukti sangat sukses dalam berbagai aplikasi seperti elektronika, industri otomotif, serta masih banyak bidang lainnya.

Mesin las Ultrasonik terdiri dari satu unit sistim kontrol *microprocessor*, sebuah *transducer*, sebuah sistim penumatik, sepasang *booster* (penguat ferekuensi), sebuah *welding horn*, *moulded parts*, sebuah *holding fixture*, dan plat dasar (*base-plate*). Lihat Gambar 47.

Sistim kontrol berfungsi mengatur frekuensi yang kemudian diteruskan ke *transducer*. *Transducer* getaran ultrasonik dikuatkan oleh boster dan disalurkan pada benda kerja. Pada waktu yang sama sistim penumatik memberikan tekanan ke benda kerja, maka terjadilah sambungan las. Mesin Las Ultrasonic dapat dilihat pada Gambar 48.



**Gambar 47. Prinsip Kerja Las *Ultrasonik***

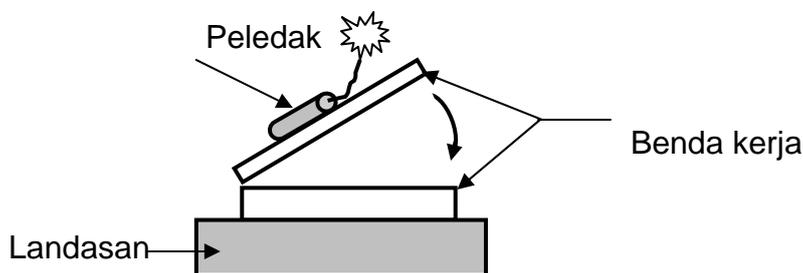


**Gambar 48. Mesin Las *Ultrasonic***

### b. Las Ledakan (*Explosive Welding / EW*)

Las ledakan tergolong pada proses las dingin. Proses las terjadi di bawah suhu rekristalisasi bahan yang dilas. Penyambungan bahan yang dilakukan dengan suhu di bawah rekristalisasi logam ini mempunyai banyak kelebihan, diantaranya adalah struktur mikro bahan tidak banyak terpengaruh, dapat menyambung bahan yang berbeda titik cairnya, sehingga sambungan las mempunyai kualitas yang sangat baik.

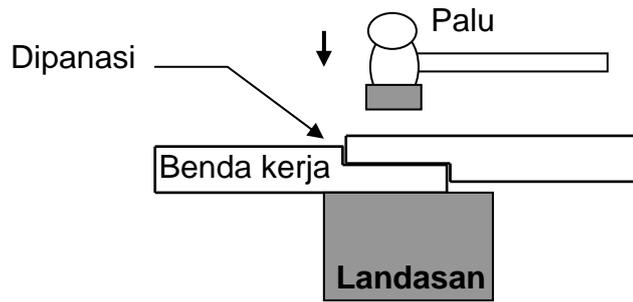
Pengelasan dengan cara ledakan dibutuhkan peralatan landasan, bahan peledak, dan peralatan untuk membersihkan benda kerja. Permukaan benda kerja harus terbebas dari oksida dan halus, agar ketika ada tekanan akibat dari energi ledakan, bagian yang disambung dapat menyatu dengan baik. Kelebihan dari las ledakan adalah dapat digunakan untuk menyambung benda-benda yang mempunyai bahan berbeda titik cairnya, misalnya baja dengan tembaga. Lihat Gambar 49.



**Gambar 49. Cara Kerja Las Ledakan**

### 3. Las Tempa (*Forge Welding*)

Penyambungan logam dengan cara ini dilakukan dengan memanasi ujung logam yang akan disambung kemudian ditempa, maka terjadilah sambungan. Panas yang dibutuhkan sedikit di atas suhu rekristalisasi logam, sehingga logam masih dalam keadaan padat.



**Gambar 50. Cara Kerja Las Tempa**

#### **Daftar Pustaka**

- Dieter, G.E. (1983). *Engineering design: A materials and processing approach*. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- Graham E. (1990). *Maintenance Welding*, Prentice-Hall Inc: New Jersey.
- Smith, F.J.M. (1992). *Basic fabrication and welding engineering*, Hong Kong: Wing Tai Cheung Printing Co. Ltd.