

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Fatik

Fatik atau kelelahan merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang, diketahui bahwa apabila pada suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*) karena umumnya perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu : awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*), dan perpatahan akhir (*fracture failure*).

#### 1. Awal Retak (*initiation crack*)

Cacat (*defect*) pada struktur dapat bertindak sebagai awal keretakan. Cacat pada struktur berdasarkan asal terbentuknya dapat dikategorikan menjadi dua kelompok.

- a. Cacat yang terbentuk selama masa fabrikasi, disebabkan oleh :

- 1) Cacat lateral yang terjadi pada material (*material defect*).
  - 2) Cacat yang disebabkan karena proses penggerjaan material (*manufacturing defect*). Contohnya seperti tumpulnya peralatan peralatan atau jeleknya peralatan yang digunakan untuk penggerjaan material, panas yang berlebihan yang disebabkan karena pengelasan dan sebagainya.
  - 3) Pemilihan material yang salah atau proses perlakuan panas material (*poor choise of material or heat treatment*). Contoh pemilihan material yang salah seperti, material yang seharusnya digunakan untuk *fatigue* tetapi cenderung digunakan untuk *corrosion cracking* oleh karena pemilihan perlakuan panas yang tidak diketahui. Perlakuan panas seperti *carburizing* pengerasan permukaan hampir selalu menyebabkan perubahan pada permukaan.
  - 4) Teknik produksi dari material yang salah (*poor choise of production technique*).
  - 5) Desain material yang salah (*poor detail design*).
- b. Cacat yang terbentuk selama *service* struktur, diantaranya disebabkan oleh:
- 1) Kelelahan struktur, terjadi saat struktur mencapai umur kelelahannya.
  - 2) Fluktuasi tegangan pada permukaan yang telah mengalami korosi

## 2. Perambatan retak (*crack propagation* )

Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan fracture merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. *Initiation Crack* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.

## 3. Perpatahan akhir (*fracture failure*)

Final fracture adalah proses akhir kerusakan pada struktur saat mengalami pembebanan, sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Ketika terjadi penjalaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang. Sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban.

Pada tahap ini penjalaran retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua. Penjalaran yang cepat tersebut sering disebut *fast fracture*.

Fatik atau kelelahan didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya dan pada satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak (*crack*) atau patahan (*fracture*) secara keseluruhan sesudah fluktuasi tertentu. (Dieter,1992)

*Progressive* mengandung pengertian proses fatik terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama pemakaian, sejak komponen atau struktur digunakan. *Localized* berarti proses fatik beroperasi pada luasan lokal yang mempunyai tegangan dan regangan yang tinggi karena : pengaruh beban luar, perubahan geometri, perbedaan temperatur, tegangan sisa dan tidak kesempurnaan diri. *Crack* merupakan awal terjadinya kegagalan fatik dimana kemudian *crack* merambat karena adanya beban berulang. *Fracture* merupakan tahap akhir dari proses *fatigue* dimana bahan tidak dapat menahan tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih.

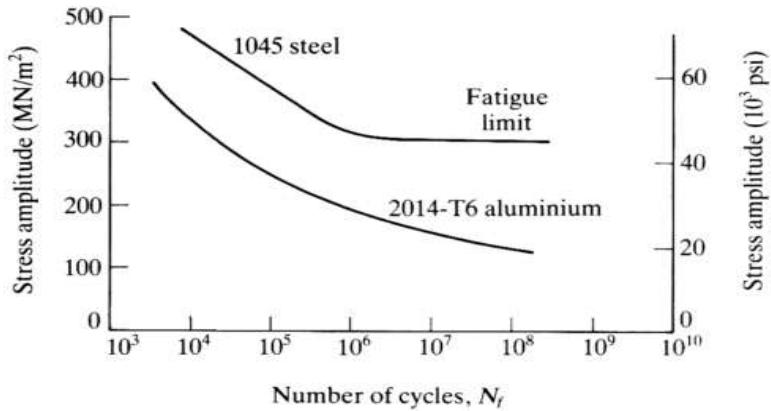
Secara alami logam berbentuk kristalin artinya atom-atom disusun berurutan. Kebanyakan struktur logam berbentuk poli kristalin yaitu terdiri atas sejumlah besar kristal-kristal yang tersusun individu. Tiap-tiap butir memiliki sifat mekanik yang khas, arah susunan dan susunan tiap arah, dimana beberapa butir diorientasikan sebagai bidang-bidang yang mudah slip atau meluncur dalam arah tegangan geser maksimum. Slip terjadi pada logam-logam liat dengan gerakan dislokasi sepanjang bidang kristalografi. Slip terjadi disebabkan oleh beban siklik *monotonic*.

Ketahanan fatik suatu bahan tergantung dari perlakuan permukaan atau kondisi permukaan dan temperatur operasi. Perlakuan permukaan merubah kondisi permukaan dan tegangan sisa di permukaan. Perlakuan permukaan *shoot peening* menghasilkan tegangan sisa tekan yang mengakibatkan ketahanan lelah yang meningkat (Collins,1981). Sedangkan perlakuan

permukaan yang menghasilkan tegangan sisa tarik menurunkan ketahanan *fatigue*-nya. Hal itu terjadi karena pada permukaan terjadi konsentrasi tegangan tekan atau tarik yang paling tinggi. Pada kondisi permukaan sedang menerima tegangan tarik maka tegangan sisa tekan pada permukaan akan menghasilkan resultan tegangan tekan yang semakin besar. Tegangan tekan akan menghambat terjadinya *initial crack* atau laju perambatan retak. Sehingga ketahanan lelah meningkat, dan akan terjadi sebaliknya apabila terjadi tegangan sisa tarik di permukaan.

Pada dasarnya kegagalan fatik dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat fatik sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan. (Dieter,1992)

Penyajian data fatik rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 2. Untuk beberapa bahan teknis yang penting.



Gambar 1. Kurva S-N. (Sisworo,2009)

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan fatik (*endurance limit* ) baja ditentukan pada jumlah siklus  $N > 10^7$ . (Dieter,1992)

Persamaan umum kurva S-N dinyatakan oleh persamaan (*dowling*,1991)

$$S = B + C \ln (N_f) \quad \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

B dan C adalah konstanta empiris material

Pengujian fatik dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen patah pada siklus tertentu. (Dieter, 1992) menyatakan untuk mendapatkan kurva S-N dibutuhkan 8-12 spesimen.

Retak fatik biasanya dimulai pada permukaan di mana lentur dan torsi menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan yang tinggi atau di tempat-tempat yang tidak rata menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Oleh

karena itu, batas ketahanan (*endurance limit*) sangat tergantung pada kualitas penyelesaian permukaan [Van Vlack,1983].

Pengujian fatik dilakukan dengan *Rotary Bending Machine*. Jika benda uji diputar dan diberi beban, maka akan terjadi momen lentur pada benda uji. Momen lentur ini menyebabkan terjadinya beban lentur pada permukaan benda uji dan besarnya dihitung dengan persamaan (*international for use of ONO'S,-*)

$$\sigma = \frac{W L / 2}{\pi / 32 d^3} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Dengan:  $\sigma$  = Tegangan lentur (kg/cm<sup>2</sup>)

W = Beban lentur (kg)

d = Diameter benda uji (cm)

## B. Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah

Faktor-faktor yang mempengaruhi atau cenderung mengubah kondisi kelelahan atau kekuatan lelah yaitu tipe pembebanan, putaran, kelembaban lingkungan (korosi), konsentarsi tegangan, suhu, kelelahan bahan, komposisi kimia bahan, tegangan-tegangan sisa, dan tegangan kombinasi. Faktor-faktor yang cenderung mengubah kekuatan lelah pada pengujian ini adalah kelembaban lingkungan (korosi) dan tipe pembebanan sedangkan putaran, suhu, komposisi kimia dan tegangan sisa sebagai variabel yang konstan selama pengujian sehingga tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan lelah.

### 1. Faktor kelembaban lingkungan

Faktor kelembaban lingkungan sangat mempengaruhi kekuatan lelah sebagaimana yang telah diteliti (Haftirman, 1995) bahwa pada kelembaban relatif 70 % sampai 80%. Lingkungan kelembaban tinggi membentuk pit korosi dan retak pada permukaan spesimen yang menyebabkan kegagalan lebih cepat terjadi.

### 2. Tipe pembebanan

Tipe pembebanan ini sangat mempengaruhi kekuatan lelah sebagaimana yang diteliti oleh (Ogawa, 1989) bahwa baja S45S yang diberikan tipe pembebanan lentur putar dan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah yang sangat berbeda, baja S45S dengan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah lebih rendah dari baja yang menerima pembebanan lentur putar.

### 3. Faktor putaran

Sebagaimana yang telah diteliti oleh (Iwamoto, 1989) dengan hasil bahwa putaran antara 750 rpm sampai 1500 rpm mempunyai kekuatan lelah yang hampir sama tetapi apabila putaran 50 rpm menurunkan kekuatan lelah jauh lebih besar dari putaran 750 rpm dan 1500 rpm, sehingga putaran yang berada diantara 750 rpm sampai 1500 rpm tidak mempengaruhi kekuatan lelah dengan signifikan.

#### 4. Faktor suhu

Faktor suhu sangat mempengaruhi kekuatan lelah karena suhu menaikkan konduktifitas elektrolit lingkungan sehingga dapat mempercepat proses oksidasi. Untuk mengkondisikan pengujian standar terhadap suhu, pengujian dilakukan pada temperatur kamar. Pada pengujian di suhu 40° C retakan pada spesimen memanjang dari pada pengujian di suhu 20° C dengan retakan yang halus, karena suhu yang tinggi menyebabkan molekul air yang terbentuk mengecil di permukaan baja sehingga mempercepat terjadinya reaksi oksidasi dan membuat jumlah pit korosi jauh lebih banyak, akibatnya pit korosi cepat bergabung membentuk retakan yang memanjang. Mengemukakan secara umum kekuatan lelah baja akan turun dengan bertambahnya suhu diatas suhu kamar kecuali baja lunak dan kekuatan lelah akan bertambah besar apabila suhu turun. (Dieter, 1986)

#### 5. Faktor tegangan sisa

Faktor tegangan sisa yang mungkin timbul pada saat pembuatan spesimen direduksi dengan cara melakukan pemakanan pahat sehalus mungkin terhadap spesimen sehingga pemakanan pahat tidak menimbulkan tegangan sisa maupun tegangan lentur pada spesimen.

#### 6. Faktor komposisi kimia

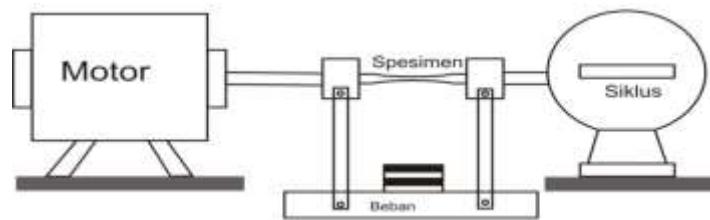
Pengaruh faktor komposisi kimia terhadap kekuatan lelah diharapkan sama untuk seluruh spesimen uji dengan pemilihan bahan yang diproduksi

dalam satu kali proses pembuatan, sehingga didapat kondisi pengujian yang standar untuk seluruh spesimen uji.

### C. Pengujian Kelelahan (*Fatigue*)

#### 1. Alat Uji Fatik

Berikut adalah skema alat uji fatik *rotary bending*



Gambar 2. Skema alat uji fatik rotary bending

#### 2. Komponen alat uji fatik :

##### a. Poros

Poros adalah salah satu elemen mesin yang sangat penting peranannya dalam mekanisme suatu mesin ( Sularso dan suga,2002). Semua motor yang meneruskan daya putar ke elemen mesin yang lain nya harus melalui poros. Jadi poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik puntiran, torsi atau bending dari suatu bagian ke bagian yang lainnya.

Menurut klasifikasinya poros dapat dibagi menjadi :

##### - Poros transmisi

Poros ini tidak hanya sebagai pendukung dari elemen mesin yang diputarnya, tetapi juga menerima beban dan meneruskan momen atau

torsi. Beban yang diterima dapat berupa beban puntir murni maupun kombinasi beban puntir bending. Misalnya poros kopling, poros roda gigi dan lain-lain.

- Poros spindel

Poros jenis ini adalah poros yang relatif pendek, dan hanya menerima puntir murni., walaupun sebenarnya beban lenturnya juga ada, tetapi relatif kecil dibandingkan beban puntirnya. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

- Gandar

Poros jenis ini adalah poros yang tidak menerima beban puntir, ada yang terpasang secara tetap pada pendukungnya, dan ada pula yang ikut berputar bersama-sama dengan elemen mesin yang terpasang padanya. Dalam hal ini poros tersebut hanya menerima beban lentur.

b. Motor listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan merubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnit. Sebagaimana kita ketahui bahwa, kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak menolak dan kutub-kutub yang tidak senama akan saling tarik menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita memperoleh sebuah magnet pada sebuah poros yang

dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

Dengan cara inilah energi listrik dapat diubah menjadi energi mekanik.

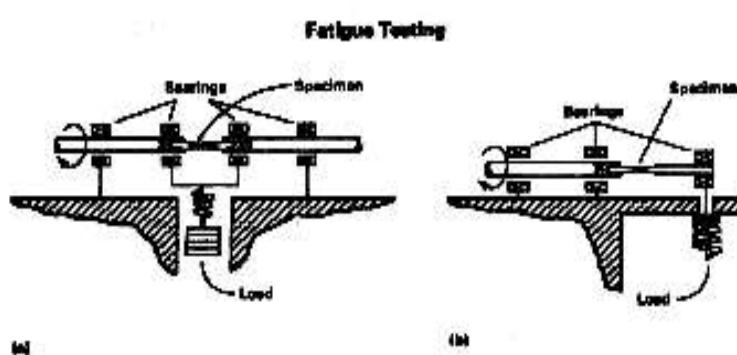
#### **D. Klasifikasi Mesin Uji Fatik**

##### *1. Axial (Direct-Stress)*

Mesin uji fatik ini memberikan tegangan ataupun regangan yang seragam ke penampangnya. Untuk penampang yang sama mesin penguji ini harus dapat memberikan beban yang lebih besar dibandingkan mesin lentur statik dengan maksud untuk mendapatkan tegangan yang sama.

##### *2. Bending Fatigue Machines*

*Cantilever Beam Machines*, dimana spesimen memiliki bagian yang mengecil baik pada lebar, tebal maupun diameternya, yang mengakibatkan bagian daerah yang diuji memiliki tegangan seragam hanya dengan pembebanan yang rendah dibandingkan lenturan fatik yang seragam dengan ukuran bagian yang sama.

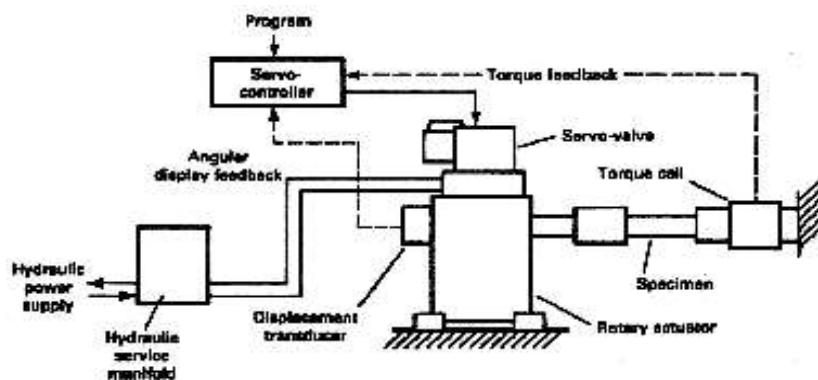


Gambar 3. RR. Moore-Type Machines dapat beroperasi sampai 10.000 rpm.  
(Sastrawan, 2010)

Gambar diatas RR. Moore-Type Machines dapat beroperasi sampai 10.000 rpm. Dalam seluruh pengujian tipe-lenturan, hanya material yang didekat permukaan yang mendapat tegangan maksimum.

### 3. *Torsional Fatigue Testing Machines*

Sama dengan mesin tipe Axial hanya saja menggunakan penjepit yang sesuai jika puitiran maksimal yang dibutuhkan itu kecil. Gambar dibawah ini adalah “Mesin Uji Fatik akibat Torsi” yang dirancang khusus.



Gambar 4. *Torsional Fatik Testing Machines*. (Sastrawan, 2010)

### 4. *Special-Purpose Fatigue Testing Machines*

Dirancang khusus untuk tujuan tertentu. Dan merupakan modifikasi dari mesin penguji fatik yang sudah ada. Penguji kawat adalah modifikasi dari “*Rotating Beam Machines*”.

### 5. *Multiaxial Fatigue Testing Machines*

Dirancang untuk pembebanan atau lebih dengan maksud untuk menetukan sifat logam dibawah tegangan *biaxial* atau *triaxial*.

## E. Baja AISI 1045

Pemilihan baja AISI 1045 karena baja ini banyak dipakai dalam pembuatan komponen-komponen permesinan, murah dan mudah didapatkan di pasaran. Komponen mesin yang terbuat dari baja ini contohnya poros, roda gigi dan rantai. Adapun data-data dari baja ini adalah sebagai berikut :

1. AISI 1045 diberi nama menurut standar *american iron and steel institute* (AISI) dimana angka 1xxx menyatakan baja karbon, angka 10xx menyatakan karbon steel sedangkan angka 45 menyatakan kadar karbon persentase (0,45 %).
2. Penulisan atau penggolongan baja AISI 1045 ini menurut standar yang lain adalah sama dengan DIN C 45, JIS S 45 C, dan UNS G 10450.
3. Menurut penggunaannya termasuk baja kontruksi mesin.
4. Menurut struktur mikronya termasuk baja hypoeutectoid (kandungan karbon  $< 0,8\% C$ ).

Dengan meningkatnya kandungan karbon maka kekuatan tarik dan kekerasan semakin menjadi naik sedangkan kemampuan regang, keuletan, ketangguhan dan kemampuan lasnya menurun. Kekuatannya akan banyak berkurang bila bekerja pada temperatur yang agak tinggi. Pada temperatur yang rendah ketangguhannya menurun secara dratis.

Kandungan unsur pada AISI 1045 menurut standard ASTM A 827-85 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Unsur pada baja AISI 1045 (ASTM A 827-85)

Unsur	%	Sifat mekanis lainnya
Karbon	0,42 – 0,50	Tensile strength
Mangan	0,60 – 0,90	Yield strength
Fosfor	Maksimum 0,035	Elongation
Sulfur	Maksimum 0,040	Reduction in area
Silicon	0,15 – 0,40	Hardness

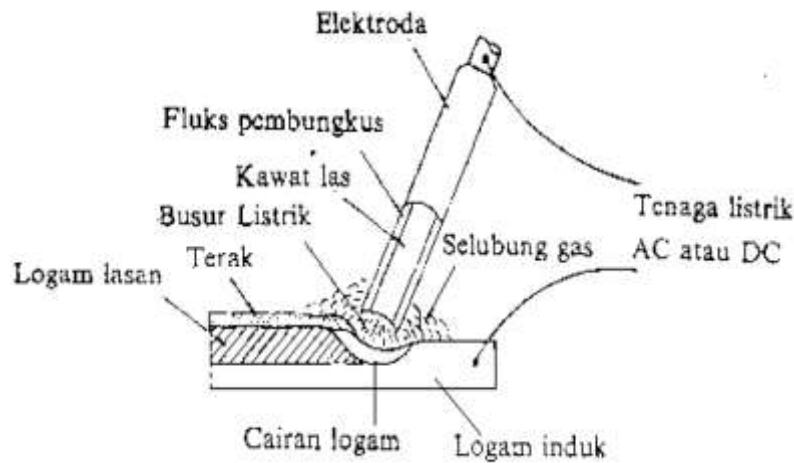
## F. Pengelasan

Definisi pengelasan 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. Mengelas menurut Alip (1989) 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 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. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

#### **G. 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 kampuh 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 di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



Gambar 5. Las SMAW (Wiryosumarto, 2000)

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk mendukung hasil las yang mulus, kuat dan efisien diantaranya mengenai parameter pengelasan ( Panjang busur, Voltage, Arus listrik)

Tabel 2. Diameter elektroda, ketebalan benda kerja dan besarnya arus (Soetardjo, 1997).

Diameter Elektroda (inchi)	Ketebalan Benda Kerja (inchi)	Arus (ampere)
3/34	1/16	25-65
1/8	1/8	60-110
5/32	3/16	110-170
3/16	1/4	150-350
1/4	3/6	150-350
1/4	1/2	190-350
5/16	3/4	200-450
5/16	1	200-450

## H. Elektroda

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.

### **I. Besar 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 peguatan matrik las tinggi.