

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nelu dkk (2008) melakukan penelitian tentang pengerasan permukaan pada baja karbon (A3k) yang menggunakan YAG:Nd pulse laser. Pada penelitian yang dilakukan, energi laser, frekuensi dan penyetelan fokus sangat berpengaruh terhadap penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh pengerasan permukaan dengan sinar laser terhadap struktur makro baja karbon rendah. Hasil dari penelitian ini adalah kekerasan meningkat (98-169 HV).

Sharma Amit dan Yadava Vinod (2017) melakukan penelitian tentang analisis eksperimental pemotongan laser Nd-YAG dari bahan lembaran atau plat. Kekerasan dan kekuatan bahan lembaran atau plat bervariasi setelah proses LBC (*laser beam cutting*) karena pembentukan oksida atau nitrida. Dalam hal paduan titanium, kekerasan lembaran paduan di HAZ meningkat sebesar 10% setelah proses LBC karena *martensit* transformasi.

Ayman M. Mustofa dkk (2017) melakukan penelitian tentang efek laser shock peening tanpa lapisan pada kekerasan material AL-7075. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kekerasan logam dapat meningkat dengan signifikan hingga lebih dari 80% . Hal tersebut terjadi karena peningkatan intensitas laser dan jumlah tembakan laser diradiasi per satuan luas.

Pessoa D dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh takik oleh Proses Pemotongan laser pada kelelahan perilaku *Metastabil Austenitik Stainless Steel*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penampang melintang dari lembaran dengan ketebalan 2 mm di area mendekati permukaan tepi laser yang lebih halus dari permukaan spesimen sampai kedalaman kira-kira 25 μm . Hal ini terkait dengan kekerasan meningkat menjadi 220 HV, yang sekitar 20% lebih tinggi dibandingkan dengan bahan dasarnya.

2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah penambahan dan pengaplikasian bahan fisik maupun kimia untuk merubah bentuk geometri bahan atau penampilan permukaan dalam pembuatan komponen suatu produk. Proses manufaktur membutuhkan komponen-komponen sederhana untuk diproses sehingga menjadi barang yang lebih kompleks. Misalnya

komponen seperti baut, mur, plat besi yang merupakan komponen dasar yang dapat dirakit menjadi komponen lebih rumit dan mempunyai nilai yang lebih besar dan berguna.

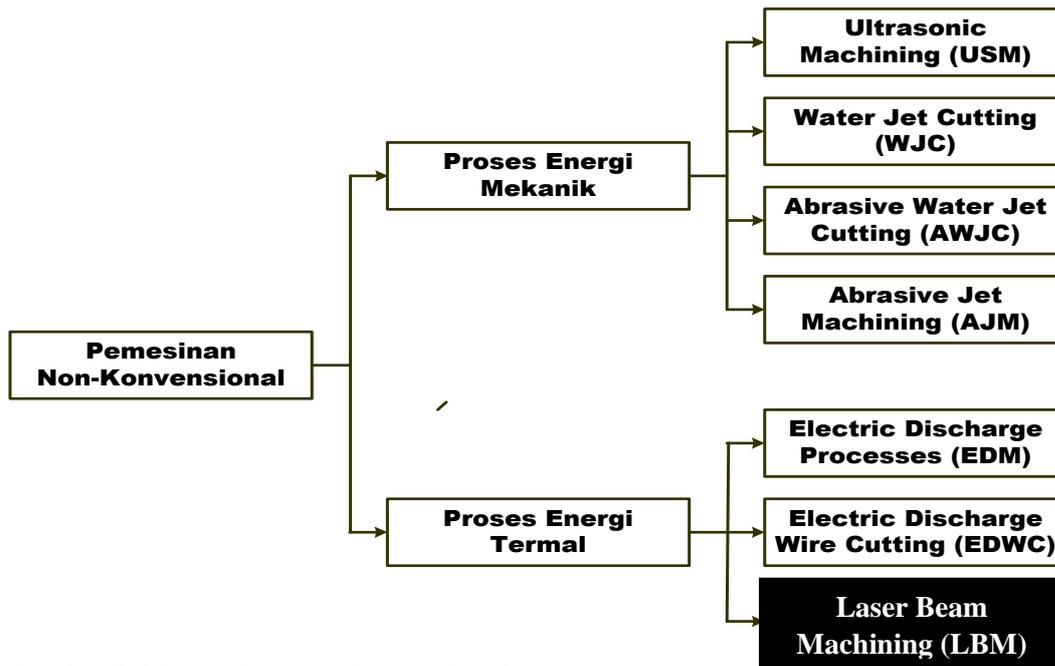
Proses permesinan merupakan proses manufaktur dimana objek dibentuk dengan cara membuang atau menghilangkan sebagian material dari benda kerjanya. Tujuan digunakan proses permesinan ialah untuk mendapatkan akurasi dibandingkan proses-proses yang lain seperti proses pengecoran, pembentukan dan juga untuk memberikan bentuk bagian dalam dari suatu objek tertentu. Adapun jenis-jenis proses permesinan yang banyak dilakukan adalah proses bubut (*turning*), proses menyekrap (*shaping* dan *planing*), proses pembuatan lubang (*drilling*), proses mengfreis (*milling*), proses menggerinda (*grinding*), proses menggergaji (*sawing*) dan proses memperbesar lubang (*boring*) (Taufiq Rochim, 1993). Proses permesinan *non traditional* adalah suatu proses pemotongan atau pembentukan material menggunakan pahat berupa pahat non konvensional, berupa energi mekanik, thermal, elektrik, maupun kimia. Kelebihan dari proses permesinan *non traditional* adalah:

1. Benda kerja yang rumit dapat dengan mudah untuk dikerjakan.
2. Dapat memproses bagian-bagian dengan proses *finishing* yang kompleks dengan tingkat toleransi yang tinggi.
3. Dapat memproses komponen dengan material yang rapuh yang tidak dapat menahan kekuatan dari proses mesin konvensional.
4. Dapat memproses benda kerja dengan nilai kekuatan dan kekerasan yang tinggi (lebih dari 400HBN).
5. Untuk memperoleh hasil yang halus tanpa meninggalkan geram yang terjadi saat proses pemotongan.
6. Dapat mengurangi nilai tegangan sisa.

Mesin-mesin *non traditional* disini dapat dibagi menjadi beberapa menurut energi yang dipakai (media potong benda kerja) adalah:

1. *Romechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi elektromekanika)
 - *Electrochemical machining*
 - *Electrochemical deburring*
2. *Mechanical energy processes* (media pemotongan dengan energi mekanik)
 - *WaterJet Cutter*
 - *Abrasive water jet cutter*
 - *Ultrasonic machining*
3. *Chemical machining*
 - *Mechanics and cemistry of chemical machining*

- *CHM processes*
- 4. *Thermal energy processes* (media pemotongan dengan energi thermal):
 - *Electric beam machining*
 - *Electric discharge machining*
 - *ARC-cutting processes*
 - *Laser beam machining*
 - *Oxyfuel cutting processes*



Gambar 2.1 Permesinan non konvensional
 Sumber: <http://slideplayer.info/slide/3791371/>

2.3 Laser Cutting

Laser cutting adalah teknologi yang menggunakan laser untuk memotong bahan, dan biasanya digunakan untuk aplikasi industri manufaktur. *Laser cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser daya tinggi paling sering melalui optik. Laser optik dan CNC (*computer numerical control*) yang digunakan untuk mengarahkan materi atau sinar laser yang dihasilkan. *Laser cutting* untuk industri dirancang untuk mengkonsentrasikan jumlah energi yang tinggi ke tempat yang kecil. Biasanya sinar *laser cutting* berdiameter sekitar 0,003-0,006 inci ketika menggunakan laser dengan panjang gelombang pendek. Energi panas yang dihasilkan oleh laser mencair, atau menguapkan bahan di daerah pengerjaan dan gas (campuran) seperti oksigen, CO₂, nitrogen, atau helium digunakan untuk membuang bahan yang menguap yang keluar dari goresan. Energi cahaya yang diterapkan langsung tempat yang membutuhkan, meminimalkan panas zonadi sekitar area yang dipotong.

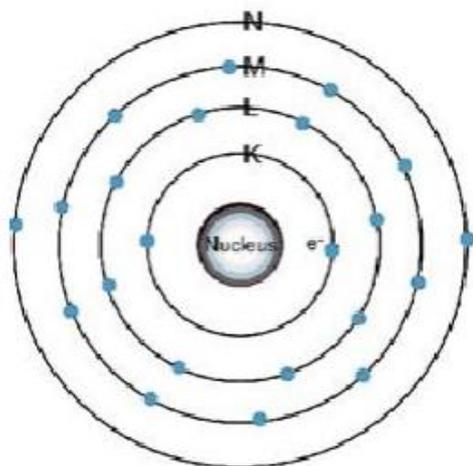
Laser cutting bekerja dengan mengarahkan output dari laser dengan daya tinggi, oleh komputer, pada bahan yang akan dipotong. Bahan akan mencair, terbakar, menguap, atau tertiuap oleh jet gas, meninggalkan tepi dengan *finishing* permukaan yang berkualitas tinggi.



Gambar 2.2 Laser Beam Machining
Sumber: PT. Surya Jaya Perkasa Surabaya

2.3.1 Prinsip Dasar Terbentuknya Laser

Kata laser merupakan singkatan dari *light amplification by stimulated emission of radiation*. Laser dapat terbentuk akibat penyerapan energi kuantum oleh material/medium laser dari sumber sinar yang menyebabkan elektron sebuah atomnya melompat ke tingkat energy yang lebih tinggi (orbit yang lebih jauh dari nukleus). Elektron ini kemudian akan jatuh ke orbit asalnya secara spontan sambil memancarkan energi yang telah diserap sebelumnya. Energi yang berupa radiasi ini memiliki panjang gelombang yang sama dengan energi penstimulasinya dan sefase dengannya.



Gambar 2.3 Elektron dengan orbitnya

Sumber: <https://wandasaputra93.files.wordpress.com>

Laser mempunyai komponen-komponen yang memungkinkan terbentuknya suatu sinar laser, yaitu:

1. Medium Laser

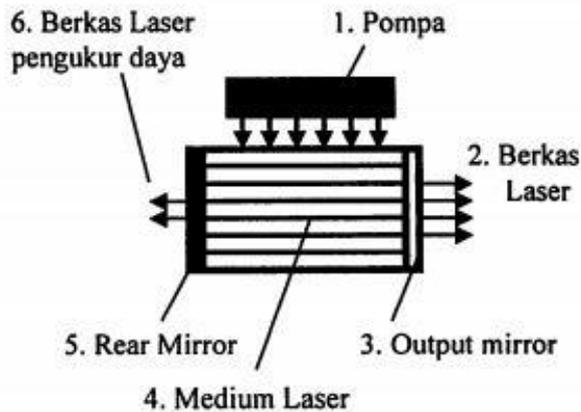
Medium laser adalah suatu material dalam bentuk atom-atom, molekul molekul, atau ion-ion yang dibangkitkan dengan suatu energi sehingga dapat memancarkan suatu sinar laser. Medium laser dari laser CO₂ adalah campuran gas antara gas N₂, CO₂ dan He. Gas CO₂ berfungsi sebagai medium laser aktif, gas N₂ dibutuhkan sebagai pembangkit energi atom CO₂, sedangkan gas He digunakan untuk pengeluaran panas/ pendingin.

2. Sistem pompa

Pompa sebagai sumber energi dari sinar laser, yang berfungsi untuk membangkitkan atom-atom ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menggunakan frekuensi yang tinggi sekitar (13,56 MHz).

3. Resonator

Resonator merupakan tempat terbentuknya sinar laser. Pada resonator ini medium laser diletakan diantara dua buah cermin, yaitu *rear mirror* dan *output mirror*. Susunan kedua cermin mempunyai kemampuan untuk memastikan gelombang sinar dipancarkan dalam arah yang benar. Pada rear mirrorf sinar laser dipantulkan, sedangkan pada ouput mirror 40-50% dari sinar laser itu akan dipancarkan keluar dari resonator.



Gambar 2.4 Komponen terbentuknya sinar laser
Sumber: Cahyati & Suroso (2006)

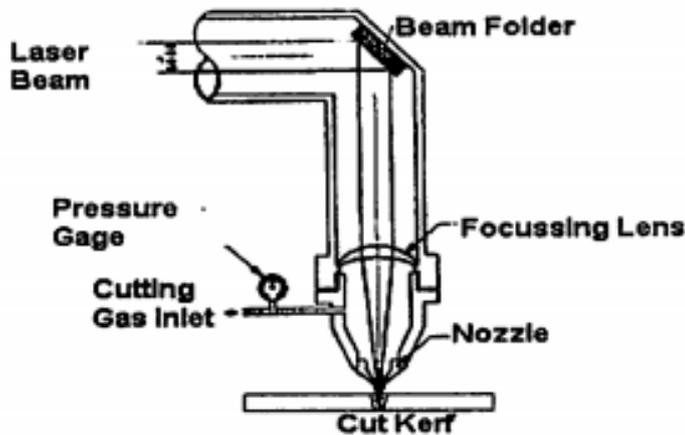
Laser dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelas berdasarkan medium yang digunakan untuk menghasilkan berkas sinar. Bahan ini bisa berbentuk padat, cair, gas dan semi konduktor. Jenis-jenis laser, yaitu:

1. *Solid state* laser adalah jenis laser yang dihasilkan karena pantulan dari warna yang dihasilkan oleh kristal, salah satunya adalah laser *ruby*.
2. *Dye* laser adalah sejenis laser yang terbuat dari cairan berwarna yang akan menghasilkan berkas laser jika diberi energi oleh kilau lampu atau laser lainnya.
3. Gas laser adalah jenis laser dengan medium gas campuran. Diantaranya adalah laser HeNe, laser Ar dan laser CO₂.
4. Semi *conductor* atau Diode laser umumnya berukuran kecil dan biasa terdapat pada perangkat elektronik seperti VCD, printer atau alat komunikasi.

2.3.2 Proses Pemotongan

Pada proses pemotongan dengan laser CO₂ menggunakan campuran gas dari CO₂, N₂ dan He yang diberi energi dengan frekuensi tinggi sehingga menyebabkan terjadinya medan listrik dalam medium laser. Ketika jumlah energi yang dibutuhkan untuk terjadinya pembangkitan (eksitasi) sinar laser telah mencukupi, maka molekul dari CO₂ akan melepaskan energi dalam bentuk foton. Foton-foton tersebut akan mengalami penguatan sehingga mulai terbentuk sinar laser yang akan direfleksikan melalui lensa. Melalui daya yang tinggi, material tersebut dipanaskan, kemudian mencair dan ada yang menguap. Dalam pemotongan material tersebut digunakan gas O₂ atau gas N₂ untuk menghilangkan material yang meleleh, gas O₂ atau gas N₂ ini dipancarkan bersama-sama dengan sinar laser keluar dari *nozzle* Sehingga material tersebut dapat terpotong. Gas potong O₂ mempunyai sifat membakar benda kerja saat terjadi pemotongan, pemotongan dengan gas

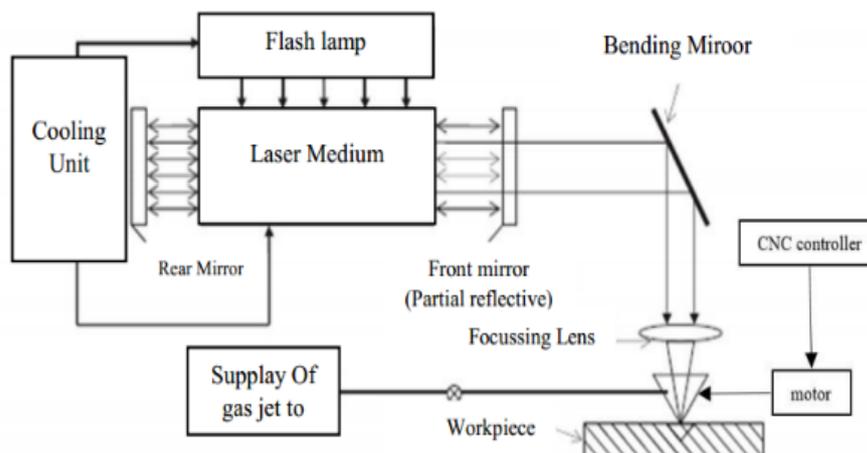
O_2 terjadi akibat reaksi eksotermik antara oksigen dengan material. Pemotongan dengan gas O_2 disebut juga *flame cutting*. Sedangkan gas potong N_2 mempunyai sifat melebur benda kerja saat terjadi pemotongan, pemotongan dengan gas N_2 terjadi karena energi dari sinar laser itu sendiri. Pemotongan dengan gas N_2 disebut juga *fusion cutting*.



Gambar 2.5 Proses pemotongan dengan *Laser Beam Machining*
Sumber: Cahyati dan Suroso (2006)

2.3.3 Bagian-bagian pada *Laser Cutting*

Laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) adalah suatu sumber radiasi yang memancarkan karakteristik sinar radiasi elektromagnetik diantara panjang gelombang ultraviolet dan infrared. Tidak semua laser memancarkan radiasi yang dapat dilihat oleh mata manusia (batas penglihatan manusia antara 400-750 urn). Laser mempunyai komponen-komponen yaitu:



Gambar 2.6 Komponen *Laser Beam Machining*
Sumber: Dubay dan Yadava (2007)

1. Medium pemompaan: Media dibutuhkan yang mengandung sejumlah besar atom. Atom media digunakan untuk menghasilkan laser.

2. *Flash Tube/ Flash Lamp*: *Flash tube* atau lampu flash digunakan untuk memberikan energi yang diperlukan ke atom untuk merangsang elektron mereka.
3. *Power Supply*: Sumber daya tegangan tinggi digunakan untuk menghasilkan cahaya pada tabung senter.
4. Kapasitor: Kapasitor digunakan untuk mengoperasikan mesin sinar laser pada mode pulsa.
5. Mencerminkan Cermin: Dua jenis cermin digunakan, yang pertama adalah 100% yang mencerminkan dan yang lainnya sebagian mencerminkan. Cermin refleksi 100% disimpan di satu ujung dan sebagian mencerminkan cermin berada diujung yang lain. Sinar laser keluar dari sisi dimana sebagian cermin mencerminkan disimpan.

2.3.4 Klasifikasi Pemotongan Laser

Terdapat 4 kategori pemotongan dengan laser yaitu:

1. *Laser sublimation cutting*
Mempunyai prinsip meleburkan material dengan panas yang dihasilkan oleh sinar laser. *Laser sublimation cutting* digunakan dalam pemotongan kayu, kertas dan plastik. Diperlukan intensitas laser yang cukup tinggi untuk menjaga hilangnya konduktivitas panas.
2. *Laser fusion cutting*
Menggunakan sinar laser untuk melelehkan material pada proses pemotongan dan gas mulia yang digunakan adalah N₂, Ar dihembuskan dan dapat menyingkirkan material yang sudah mencair. *Laser fusion cutting* ini biasanya digunakan dalam pemotongan kaca, plastik dan metal.
3. *High pressure cutting*
Merupakan bagian dari *laser fusion cutting* dimana nitrogen bertekanan tinggi tergantung tebal yang digunakan. Gas tekanan tinggi ini menyebabkan lelehan terpisah dengan cepat dari kerf. Pemotongan jenis ini mampu menghilangkan formasi getaran dan mencegah lelehan melekat terhadap pemotongan sisi. Saat nitrogen digunakan sebagai gas pemotong tidak adanya oksidasi yang mempengaruhi potongan tepi. Pemotongan ini khusus digunakan untuk pemotongan material *stainless*.
4. *Laser flame cutting*
Pada laser gas *cutting* jenis ini mempunyai prinsip kerja yang hampir sama dengan 2 tipe diatas tetapi yang membedakannya adalah penggunaan dari gas pemotong,

dimana pada jenis ini pemotongan dilakukan dengan O₂, dimana gas ini di semprotkan dari awal pemotongan untuk mempercepat reaksi eksotermis pada benda kerja.

2.4 Parameter Proses Permesinan pada *Laser Cutting*

Parameter yang dapat digunakan untuk proses permesinan pada alat *laser cutting* adalah sebagai berikut:

1. Gas yang di gunakan dalam mesin *laser cutting* terdiri dari tipe macam gas yaitu CO₂, nitrogen dan helium.
2. Tekanan gas laser pada alat ini sangat menentukan kualitas hasil akhir dari benda kerja yang dilakukan proses permesinan.
3. *Cutting speed* adalah seberapa panjang sebuah mesin melakukan pemotongan di dalam waktu tertentu. Semakin besar nilai *cutting speed* tersebut maka area pemakanan yang dilakukan akan semakin besar dalam satuan waktu.

2.5 *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut.

Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif *chromium (III) oxide* (Cr₂O₃) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari stainless steel itu sendiri. Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, *stainless steel* tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karenalapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali katika mengalami suatu goresan. Peristiwaini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium.

Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka *stainless steel* akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila

diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon. Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam *stainless steel*. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel* dan *duplex stainless steel*.

1. *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic stainless steel memiliki paduan yang cukup untuk menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. Baja ini bersifat non *ferromagnetic*. Baja tahan karat *austenitic* memiliki sifat mampu bentuk dan keuletan pada suhu rendah yang sangat baik. Selain itu baja tahan karat *austenitic* juga memiliki sifat mampu las dan ketahanan karat yang sangat baik. Baja tahan karat jenis ini sangat cocok diterapkan pada sistem dengan suhu tinggi.

a. *Type 304*

Yang paling umum dari *type 304* adalah mengandung sekitar 18% kromium dan 8% nikel. Hal ini digunakan untuk peralatan pengolahan kimia, industri makanan, susu dan minuman, untuk penukar panas dan untuk bahan kimia ringan.

b. *Type 316*

Berisi 16% sampai 18% kromium dan 11% sampai 14% nikel. Hal ini juga molibdenum ditambahkan dengan nikel dan krom dari 304. Molibdenum ini digunakan sebagai pengontrol. *Type 316* digunakan dalam proses kimia, industri *pulp*, kertas, makanan dan minuman. Pengolahan dispensing dilakukan dalam lingkungan yang lebih korosif. Molibdenum harus minimal harus 2%.

2. *Martensitic Stainless Steel*

Martensitic stainless steel dikembangkan untuk memberikan sekelompok paduan *stainless* yang akan tahan korosi dan hardenable oleh perlakuan panas. Tingkatan martensit yang baja kromium lurus yang tidak mengandung nikel. *Martensitic stainless steel* dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. *Martensitic stainless steel* terutama digunakan di mana kekerasan, diperlukan kekuatan dan pememakai resistensi.

a. *Type 410*

Basic Group martensit, yang berisi paduan terendah dari tiga dasar baja tahan karat (304, 430 dan 410). Biaya rendah, kegunaan umum, *heat treatable stainless steel*. Digunakan secara luas di mana korosi tidak parah (udara, air, beberapa bahan kimia dan makanan berasam). Aplikasi untuk bagian bagian yang sangat

menekankan sehingga membutuhkan kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi seperti pengencang.

b. Type 431

Berisi peningkatan kromium untuk ketahanan korosi yang lebih besar dan sifat mekanik yang baik. Aplikasi yang umum termasuk bagian kekuatan tinggi seperti katup dan pompa.

3. *Ferritic Stainless Steel*

Ferritic stainless steel telah dikembangkan untuk kelompok stainless steel yang tahan terhadap korosi dan oksidasi, sementara sangat tahan terhadap *stress corrosion cracking*. Baja ini bersifat magnetis tetapi tidak dapat dikeraskan atau diperkuat. Sebagai kelompok, *stainless steel* lebih tahan korosi dari pada *grade martensit*, tetapi secara umumnya lebih rendah dari pada *grade austenitic*. Seperti *grade martensit*, ini adalah *chromium straight steel* tanpa nikel. Mereka digunakan untuk garis hiasan dekoratif, wastafel dan aplikasi otomotif, khususnya sistem pembuangan

a. *Type 430*

Basic tipe feritik, dengan ketahanan korosi sedikit kurang dari *Type 304*. Jenis ini menggabungkan resistensi yang tinggi terhadap korosif seperti asam nitrat, gas sulfur dan asam makanan.

b. *Type 405*

Memiliki kromium rendah dan menambahkan aluminium untuk mencegah pengerasan ketika didinginkan dari tinggi suhu tinggi. Aplikasi yang umum adalah sebagai penukar panas.

c. *Type 409*

Berisi kadar krom terendah dari semua baja tahan karat dan juga yang paling mahal. Awalnya dirancang untuk *muffler stock* dan juga digunakan untuk bagian eksterior lingkungan yang tidak kritis korosifnya.

4. *Duplex Stainless Steel*

Baja tahan karat *duplex* merupakan baja dengan paduan *chromium*, *nickel*, dan *molybdenum* yang memiliki campuran (*duplex*) struktur mikro dengan persentase *ferrite* dan *austenite* hampir sama (keduanya sekitar 50%). Sifat tahan karat dari baja tahan karat *duplex* mirip dengan baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat *duplex* memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja tahan karat *austenitic*. Selain itu, baja tahan karat *duplex* juga memiliki ketahanan retak akibat karat yang lebih baik

daripada baja tahan karat *austenitic*. Sifat lain dari baja tahan karat duplex antara lain lebih ulet serta memiliki sifat mampu bentuk dan mampu las yang lebih baik.

5. *Precipitation hardening stainless steel*

Precipitation hardening stainless steel merupakan baja tahan karat yang memiliki kekuatan dan keuletan tinggi melalui penambahan aluminium, titanium, niobium, tantalum, vanadium, atau nitrogen. Pada baja tahan karat jenis ini, pengendapan terbentuk selama proses perlakuan panas. Struktur mikro yang terbentuk pada *Precipitation hardening stainless steel* bisa *martensitic* maupun *austenitic* tergantung dari komposisi dan proses pembuatannya.

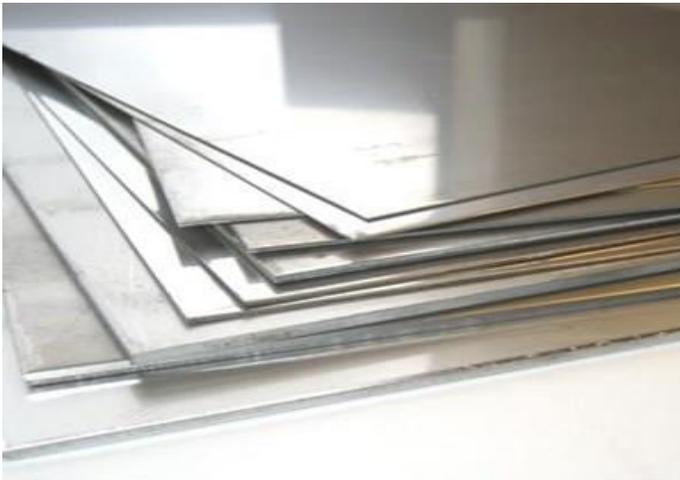
2.5.1 *Stainless Steel 316L*

Stainless Steel 316L sendiri adalah jenis stainless steel yang termasuk golongan *stainless steel austenitic*. Disebut *Stainless steel austenitic* karena kandungan materialnya cukup untuk dapat menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. Golongan ini memiliki sifat *non magnetic*. Salah satu dari golongan tersebut adalah dengan tipe 316L. Tipe ini memiliki keunggulan yaitu mampu tahan karat dan mampu las karena memiliki kandungan carbon yang rendah. Kandungan karbon yang dimiliki oleh 316L adalah berkisar 0,03%. SS316L sendiri dapat dikategorikan sebagai *food grade metal*. Artinya adalah *stainless steel* tersebut layak digunakan untuk alat perlengkapan makanan/minuman, mesin pengolah makanan/minuman dan lain-lain. Bahan Logam tersebut tidak akan memindahkan, mengkontaminasi atau mencemari makanan/ minuman dengan zat-zat kimia logamnya, seperti perubahan warna dan rasa/ bau.

Berbagai paduan unsur yang terkandung pada *stainless steel 316L* yaitu:

1. Karbon, elemen stabilisator austenit yang kuat dan juga pembentuk karbida yang biasanya terjadi pada batas butir. Karbon merupakan elemen yang penting yang terlibat dalam sensitisasi. Kestabilan karbida meningkat dengan cepat dengan bertambahnya kadar karbon.
2. Kromium, ditambahkan terutama untuk mencegah korosi pada baja. Dengan penambahan kromium, stoikiometri oksida terbentuk pada permukaan baja. Kehadiran kromium akan meningkatkan kestabilan oksida karena tingginya afinitas terhadap oksigen dibandingkan dengan iron
3. Molibdeum, merupakan unsur pembentuk karbida yang dalam pemakaiannya akan meningkatkan kecenderungan pengendapan karbida pada batas butir.

4. Mangan, merupakan suatu elemen penstabil austenit terutama pada temperature rendah karena dapat mencegah transformasi martensit. Mangan dapat berinteraksi dengan sulfur membentuk mangan sulfida, dimana morfologi dan komposisi dalam sulfida ini dapat memberikan efek yang baik pada ketahanan korosi.
5. Nikel, fungsi utama nikel adalah untuk mem-promotefasa austenit. Dengan menambahkan nikel, fasa austenit dapat secara luas terekspansi sehingga austenit dapat stabil pada dan di bawah temperatur ruang.
6. Silikon, Silikon terdapat pada semua jenis baja tahan karat dan terutama ditambahkan untuk deoksidasi selama pelelehan (*melting*). Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, silikon ditambahkan 4-5% wt dan jika ditambahkan pada beberapa paduan tahan panas 1-3% wt dapat meningkatkan ketahanan terhadap *scalling oksida* pada temperatur *elevated*. Keberadaan silikon di batas butir merusak oksidasi lingkungan.



Gambar 2.7 Plat Stainless Steel 316L
Sumber: PT Surya Jaya Perkasa Surabaya

2.6 Tekanan Gas

Tekanan gas laser pada alat ini sangat menentukan kualitas hasil akhir dari benda kerja baik dari nilai kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan suatu spesimen yang dilakukan proses pemotongan *laser beam machining*. Karena dengan tingginya tekanan gas maka panas yang dikeluarkan dari laser semakin tinggi pula yang akan mengakibatkan berubahnya struktur mikro di daerah pemotongan.

2.7 Mikrostruktur

Struktur mikro pada material sangat erat kaitannya dengan sifat pada logam tersebut. Perubahan struktur mikro pada logam khususnya bisa melalui pengaturan

laju pendinginan yang akan mengubah sifat baja dikenal dengan istilah *heat treatment*.

Macam–macam *heat treatment* adalah *annealing*, *normalizing*, *tempering* dan *hardening*.

1. *Annealing*

Annealing adalah suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperatur tertentu, menahan pada temperatur tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*). Butiran yang dihasilkan umumnya besar/kasar.

2. *Normalizing*

Merupakan proses perlakuan panas yang menghasilkan *perlite* halus, serta pendinginannya dengan menggunakan media udara, lebih keras dan kuat dari hasil *anneal*, atau bisa dikatakan sebagai proses memanaskan baja sehingga seluruh fasa menjadi *austenite* dan didinginkan pada temperatur suhu kamar, sehingga dihasilkan struktur normal dari perlit dan ferit.

3. *Tempering*

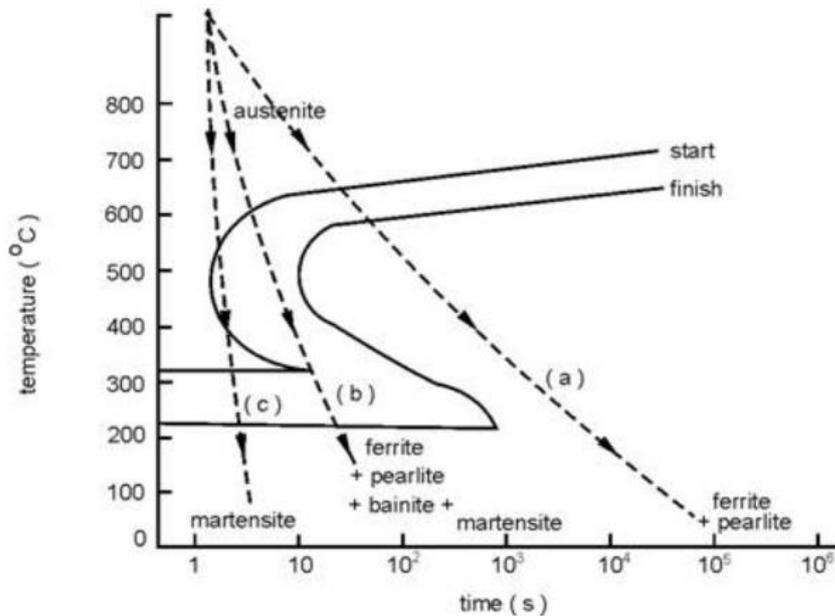
Tempering dimaksudkan untuk membuat baja yang telah dikeraskan agar lebih menjadi liat, yaitu dengan cara memanaskan kembali baja yang telah di *quench* pada temperature antara 300°F sampai dengan 1200°F selama 30 sampai 60 menit, kemudian didinginkan dengan temperatur kamar. Proses ini dapat menyebabkan kekerasan menjadi sedikit menurun tetapi kekuatan logam akan menjadi lebih kuat.

4. *Hardening*

Tujuan merubah struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh struktur martensit yang keras. Prosesnya baja dipanaskan sampai suhu tertentu antara 770-830°C (tergantung dari kadar karbon) kemudian ditahan pada suhu tersebut, beberapa saat, kemudian didinginkan secara mendadak dengan mencelupkan dalam air, oli atau media pendingin yang lain. Dengan pendinginan yang mendadak, tak ada waktu yang cukup bagi austenit untuk berubah menjadi perlit dan ferit atau perlit dan sementit. Pendinginan yang cepat menyebabkan austenit berubah menjadi martensit.

2.7.1 Heat Treatment dengan Pendinginan Menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan manerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram *continuous cooling transformation*.



Gambar 2.8 Continuous cooling transformation diagram

Sumber : <http://ncahyoo.blogspot.co.id/2014/02/perlakuan-panas-pada-baja.html>

1. Pada proses pendinginan secara perlahan seperti pada garis (a) akan menghasilkan struktur mikro perlit dan ferlit.
2. Pada proses pendinginan sedang, seperti, pada garis (b) akan menghasilkan struktur mikro perlit dan bainit.
3. Pada proses pendinginan cepat, seperti garis (c) akan menghasilkan struktur mikro martensit.

Dapat dilihat bahwa pada diagram fasa di atas ada beberapa jenis fasa yaitu, perlit, bainit, ferit, austenit dan martensit. Perbedaan dari perlit, bainit dan martensit disebabkan karena ada variasi laju pendinginan. Laju pendinginan yang sangat cepat akan menghasilkan martensit, laju pendinginan yang cukup cepat tetapi tidak mampu menghasilkan martensit akan membentuk bainit, sedangkan laju pendinginan yang lambat akan membentuk perlit.

2.8 Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan bahan atau logam terhadap deformasi plastis yaitu tekan atau indentasi. Pada umumnya pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tahanan dari bahan atau logam terhadap defirmasi plastis. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian yaitu:

1. Metode Gores

Metode ini dikenalkan oleh Fredrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala Mohs. Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material *talk*, hingga skala 10 sebagai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan.

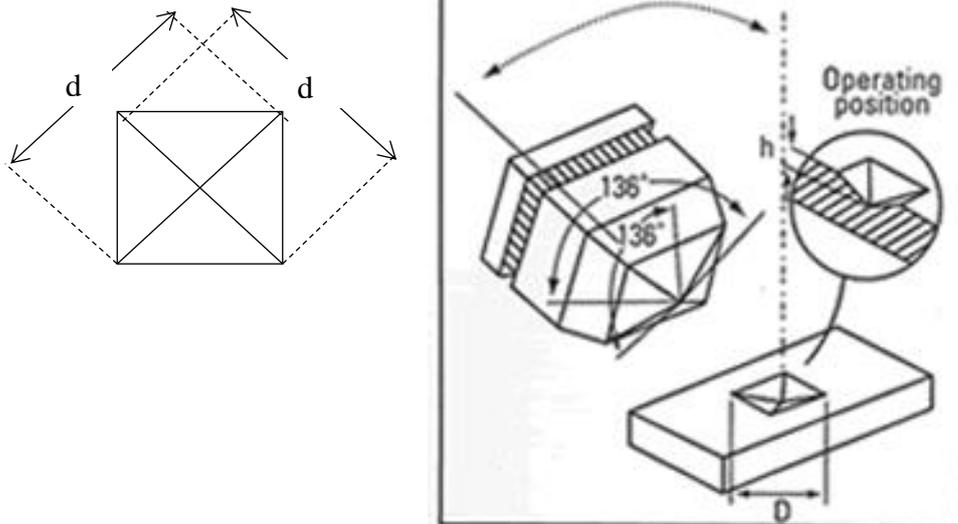
2. Metode Pantul (*rebound*)

Kekerasan suatu material ditentukan oleh alat *Scleroscope* yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap benda uji. Tinggi pantulan (*rebound*) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

3. Metode Identasi

Tipe perhitungan nilai kekerasan dengan metode indentasi lebih banyak dilakukan dikarenakan lebih mudah dan dapat dilakukan dilapangan tanpa merusak elemen mesin itu sendiri. Tipe penghitungan kekerasan material/ logam ini adalah dengan mengukur tahanan plastis dari permukaan suatu material konstruksi mesin dengan *specimen* standar terhadap penetrator. Adapun beberapa bentuk penetrator atau cara pengetasan ketahanan permukaan yang dikenal sampai saat ini adalah:

- *Pyramida indentation (vickers)* Uji kekerasan *vickers* adalah uji yang menggunakan *indentor* piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Nilai kekerasan yang didapat secara garis besar mendekati dengan nilai yang didapat pada uji *brinell*. Pengujian *vickers* dilakukan dengan penekanan pada bahan uji dengan beban tertentu dan ditahan beberapa detik untuk mendapatkan lubang yang tepat dan juga akan menghasilkan perhitungan yang mudah dan cepat.



Gambar 2.9 Indentor Vickers
 Sumber: ASM metals handbook (2000)

Gambar 2.9 adalah bentuk *indentor* pada metode *vickers* dimana sudut ujung *indentor* adalah 136° dengan diagonal 1 dan diagonal 2 yang digunakan untuk mencari diagonal rata-rata. Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban tekan yang dibagi dengan luas permukaan lekukan yang terjadi setelah penekanan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.

VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{VHN} = 1,854 \frac{2P}{(d_1 + d_2)^2} \quad (2-1)$$

Keterangan:

VHN = *Vickers hardness number*

P = Beban tekan (Kg)

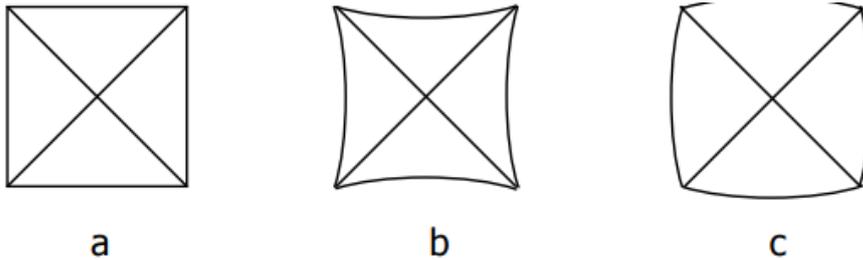
d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

Pengujian *vickers* juga memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain yaitu:

1. Kelebihan pengujian *vickers*
 - a. Skala kekerasan yang kontinue untuk rentang yang luas, dari yang sangat lunak dengan nilai 5 maupun yang sangat keras dengan nilai 1500 karena indentor intan yang sangat keras.
 - b. Dianjurkan untuk pengujian material yang sudah di proses *case hardening*, dan proses pelapisan dengan logam lain yang lebih keras.
 - c. Dapat dilakukan pada benda benda pada ketipisan 0,006 inci.

2. Kekurangan pengujian *vickers*

- a. Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban, perlu waktu lama untuk menentukan hasil kekerasan bahan.
- b. Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati dan dengan biaya yang mahal.
- c. Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.



Gambar 2.10 Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) Lekukan yang sempurna (b) Lekukan bantal jarum (c) Lekukan berbetuk tong
Sumber: Dieter (1987)

Langkah-langkah untuk melakukan pengujian kekerasan dengan metode *vickers*.

1. Mengatur *handle* pada posisi *vickers*.
2. Mengambil *indenter* untuk *vickers* dan memasang *indenter* pada tempatnya dengan menggunakan obeng.
3. Menekan pen beban sebesar 30 kg dan kemudian dicatat pada lembar kerja.
4. Meletakkan spesimen pada *anvile* dan mengatur tepat pada titik penetrasi.
5. Menggeser *handle* beban dengan tangan kanan pada posisi siap untuk penetrasi.
6. Memutar *handwheel* dengan tangan kiri sehingga permukaan spesimen tepat menyentuh ujung *indenter*.
7. Mengambil *stopwatch* dengan tangan kiri dan menyalakan ketika tangan kanan melepaskan *handle* beban.
8. Setelah 15 detik, menarik *handle* beban dan mengunci pada tempatnya.
9. Menyalakan lampu dan mengatur posisi spesimen serta fokus lensa sehingga bekas indentasi tampak pada layar.
10. Mengukur diagonal indentasi pada posisi datar dan tegak serta menghitung rata-ratanya. Setelah itu mencatat pada lembar kerja.
11. Mengulangi lagi untuk titik kedua dan ketiga.
12. Apabila sudah selesai, melepas kembali *indenter* dan meletakkan pada tempatnya

2.9 Hipotesis

Dalam penelitian ini memiliki hipotesis bahwa jika tekanan gas semakin tinggi maka panas yang dihasilkan semakin tinggi. Sehingga akan mempengaruhi sifat kekerasan material dan mengubah struktur butiran di daerah proses pemotongan.

