

PENELITIAN PENGARUH DAYA LASER DAN GAS SELUBUNG TERHADAP HASIL PENGELASAN PADA PADUAN ALUMINIUM DENGAN LASER CO₂ GELOMBANG KONTINYU

Muchiar

Pusat Penelitian Fisika - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengaruh luaran daya laser dan laju aliran gas selubung terhadap lebar dan kedalaman ulat-las pada proses pengelasan paduan aluminium dengan laser CO₂ gelombang kontinyu aliran aksial cepat. Sebagai benda kerja digunakan paduan aluminium jenis A5052, A5083, A7N01, A6061, dan A5182. Pengelasan dilakukan pada luaran daya laser mulai dari 2 kilowatt hingga 4 kilowatt, dengan kenaikan secara berkala sebesar 0,5 kilowatt. Hasil percobaan menunjukkan bahwa besarnya kandungan logam aluminium didalam suatu paduan aluminium berpengaruh terhadap daya atau energi laser yang diperlukan untuk pengelasan. Makin besar kandungan logam aluminium, makin tinggi daya atau energi laser yang diperlukan, akibat makin tingginya faktor refleksi dari paduan tersebut. Sedangkan gas selubung juga akan mempengaruhi daya laser yang diperlukan. Makin tinggi laju gas selubung, makin tinggi daya laser yang diperlukan untuk pengelasan.

ABSTRACT

Research on the influence of the output power laser and the flow speed of a shielding gas to the width and penetration of the welding bead in the welding process of an aluminum alloy by fast axial flow continuous wave CO₂ laser had been conducted. The aluminum alloys type A5052, A5083, A7N01, A6061, and A5182 made used as a working pieces. The welding process conducted with laser output power started from 2 kilowatt to 4 kilowatt with periodical increase equal to 0,5 kilowatt. Result showed that the level of aluminum metal content in aluminum alloy have an effect on the laser energy needed for welding process. The more the aluminum content, the more the energy needed. The speed of the shielding gas also affect the laser power needed for welding process. The more the speed of the shielding gas, the more laser energy needed for welding.

PENDAHULUAN

Kemajuan dalam pengembangan teknologi laser telah mampu menghasilkan laser berdaya tinggi, dalam orde kilowatt. Ada dua jenis laser daya tinggi yang populer penggunaannya untuk keperluan industri, yaitu laser Nd-YAG yang menghasilkan berkas laser dengan panjang gelombang 1,06 μm , dan laser CO₂ yang menghasilkan berkas laser dengan panjang gelombang 10,6 μm . Kedua panjang gelombang ini berada dalam daerah infra merah, sehingga penggunaannya sesuai sekali untuk pekerjaan-pekerjaan yang memerlukan konsentrasi panas tinggi.

Berkas laser amat berbeda dari cahaya alami yang kita terima sehari-hari. Berkas laser merupakan berkas cahaya yang koheren dan terkolimasi, dengan arah radiasi hampir sejajar, dan dengan panjang

gelombang tunggal. Apabila berkas ini difokuskan akan dihasilkan bintik fokus dalam ukuran orde mikron dengan rapat energi sangat tinggi.

Konsentrasi energi yang sangat tinggi tersebut akan dapat melelehkan dan menguapkan logam jika energi tersebut dapat diserap dengan baik. Jadi apabila dilakukan pengelasan dengan cara ini suatu lubang (*hole*) akan dapat dibentuk dengan cara penguapan. Lubang ini dapat digerakkan maju sepanjang material yang dilas dengan dinding yang lebur menutupi dibelakangnya. Pengelasan dengan cara ini dikenal sebagai teknik pengelasan fusi *keyhole*.

Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian percobaan untuk mengetahui pengaruh perubahan daya luaran laser dan gas selubung terhadap lebar dan kedalaman dari ulat-las untuk logam paduan aluminium. Percobaan telah dilakukan

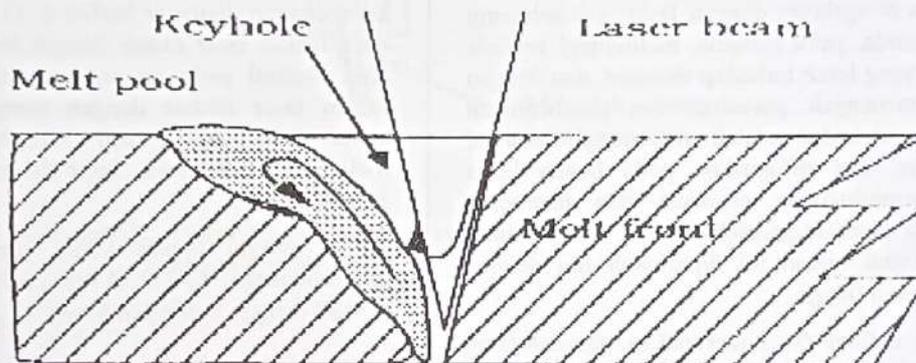
terhadap lima jenis paduan aluminium, yaitu jenis-jenis A5052, A5083, A7N01, A6061, dan A5182. Kelima jenis paduan aluminium ini memiliki komposisi berbeda. Laser yang digunakan pada percobaan ini adalah laser CO₂ kontinyu jenis aliran aksial cepat dengan daya yang dapat divariasikan hingga maksimum 4 kilowatt.

PRINSIP PENGELASAN DENGAN LASER

Prinsip pengelasan dengan laser merupakan teknik pengelasan fusi *keyhole* yang dicapai dengan rapat energi yang sangat tinggi. Rapat energi yang

sangat tinggi ini diperoleh dengan cara memfokuskan berkas laser menjadi bintik fokus yang sangat kecil, dalam ukuran mikron.

Pada rapat energi terfokus pada suatu titik dalam orde 10^4 watt/mm² penguapan logam akan dapat terjadi dengan cepat, mengawali pembentukan sebuah lubang kecil atau *keyhole* pada benda kerja. Apabila *keyhole* masuk lebih dalam kedalam benda kerja, berkas laser dengan cepat dihamburkan didalamnya, dan meningkatkan interaksi energi laser kedalam benda kerja. Selama energi laser terdapat pada titik tersebut, tekanan uap yang terjadi akan mencegah luruhnya bagian logam cair disekeliling *keyhole* ini, sehingga ia dapat dipertahankan tetap terbuka. (Lihat Gambar 1).



Gambar 1. Pembentukan keyhole pada pengelasan dengan berkas laser.

Apabila laser beroperasi dalam modus kontinyu, dan berkas laser tersebut digerakkan maju sepanjang garis las, material cair pada ujung depan dari *keyhole* akan menghasilkan olakan yang sangat kecil yang didukung oleh tegangan permukaan. Pada saat berkas laser bergerak maju, ombak tersebut menyesuaikan diri sekeliling bagian tersebut dan melorot ke bagian belakang dari *keyhole*, berkumpul bersama membentuk dinding cair dan mengeras disepanjang kedalaman *keyhole*. Aksi ini akan menghasilkan ulat las dengan permukaan atas yang sedikit menonjol dengan pola *chevron* menunjuk ke arah awal dari pengelasan. Permukaan atas ulat las dengan laser umumnya rapi dan memiliki penampilan estetik dibandingkan dengan hasil pengelasan busur konvensional.

Pada pengelasan dengan laser CO₂, selain bergantung pada daya laser dan kemampuan penyerapan energi dari material yang dilas untuk panjang gelombang 10,6 μ m, juga dipengaruhi oleh beberapa variabel yang lain, yaitu, bintik fokus,

kedalaman medan, defokus, gas selubung, dan laju pengelasan.

Bintik Fokus

Diameter berkas laser umumnya bervariasi dengan dayanya, untuk laser dengan daya dari 1 sd. 25 kilowatt, diameter ini bervariasi antara 10 sd. 70 millimeter. Untuk mencapai rapat daya yang tinggi guna pembentukan *keyhole* pengelasan (10^3 hingga 10^5 watt per millimeter persegi) ukuran bintik fokus akan berpengaruh.

Kedalaman Medan

Kedalaman medan (*depth of field*) adalah daerah dimana diameter pinggang berkas terfokus tidak melebihi 5% dari diameter minimum bintik fokus [Formula 1]. Kedalaman fokus dapat ditentukan dengan formula.

Defokus

Defokus adalah jarak antara bintik fokus dengan permukaan benda kerja. Defokus bisa berharga positif, apabila bintik fokus diatas permukaan benda kerja atau bisa juga berharga negatif, apabila bintik fokus terletak didalam benda kerja. Untuk pengelasan bahan yang tebal, bintik fokus harus ditempatkan sedemikian rupa, sehingga energi tidak hanya terpusat pada permukaan bahan yang dilas.

Defokus dipilih sedemikian rupa sehingga diameter berkas bertambah tidak melebihi angka 5 % dari harga bintik fokus. Pada posisi ini densitas daya laser berkurang tidak lebih dari sekitar 10 %.

Gas Selubung

Pada pengelasan dengan laser, gas selubung berfungsi ganda, yaitu pertama, melindungi *keyhole* dan logam yang lebur terhadap oksidasi, dan dengan demikian mencegah porositas dan pembentukan oksida. Fungsi kedua adalah melindungi transmisi berkas laser saat difokuskan pada benda kerja dengan meminimalkan ekspansi dan hamburan berkas yang disebabkan oleh uap dan gas disekitar *keyhole*. Untuk tujuan ini diperlukan gas dengan potensi ionisasi tinggi.

Gas helium (He) merupakan gas selubung terbaik untuk menghasilkan performansi dan kualitas hasil las yang tinggi dengan laser CO₂, sebab gas ini memiliki potensi ionisasi tertinggi. Nitrogen (oxygen-free nitrogen; OFN) hampir sama baiknya dengan helium didalam melindungi terhadap plasma yang tidak dikehendaki, tetapi dari segi kualitas las dapat menimbulkan kerapuhan pada baja tertentu. Argon adalah gas penyelubung yang sangat baik untuk mencegah oksidasi. Gas ini tidak bereaksi dan membentuk selubung plasma, walaupun respeknya tidak sebaik helium dan nitrogen.

Laju Pengelasan

Selama pengelasan didalam *keyhole* akan terbentuk uap logam yang sangat panas. Uap ini akan bereaksi dengan udara atau gas selubung dan membentuk formasi plasma. Formasi plasma ini bermanfaat apabila masih berada didalam *keyhole*.

Apabila berkas laser terlalu lama berada pada titik (lubang) tersebut, akan terjadi peningkatan jumlah uap logam didalam *keyhole*. Peningkatan jumlah uap logam ini akan menyebabkan formasi plasma berkembang menjadi makin tebal, menyembur keluar dan menutupi *keyhole*. Karena formasi plasma ini kurang transparan terhadap panjang gelombang laser CO₂, maka akan

menghambat penyerapan energi oleh benda kerja dan juga secara parsial menghamburkan berkas laser yang datang, yang mengakibatkan berkurangnya kedalaman penetrasi.

Sebaliknya, kecepatan las yang terlalu cepat, tidak memberi kesempatan terbentuknya *keyhole* dengan kedalaman yang memadai, sehingga hasil pengelasan akan menghasilkan ulat-las yang kurang sempurna.

PERCOBAAN

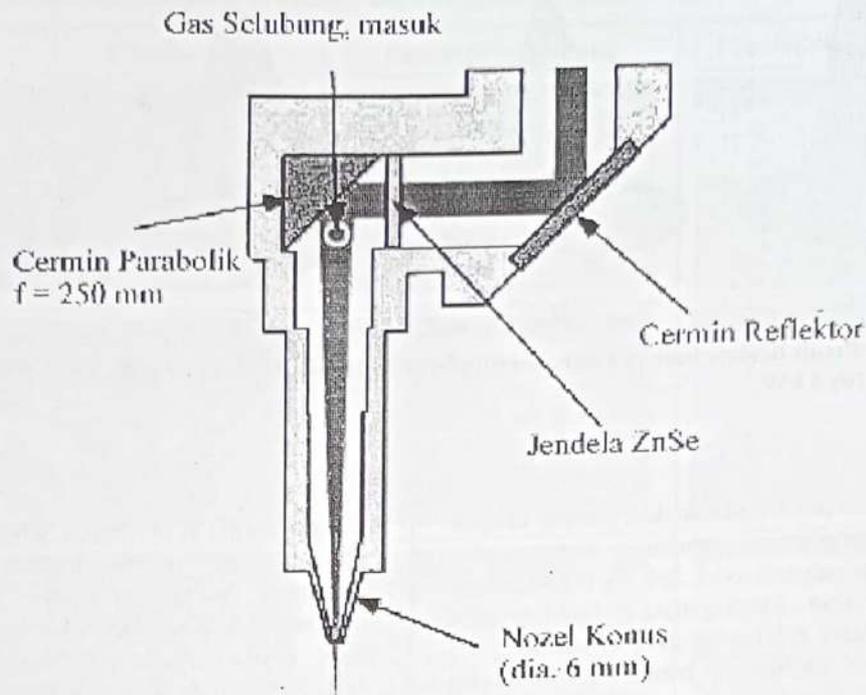
Pada percobaan ini digunakan laser CO₂ gelombang kontinyu tipe aliran aksial cepat dengan eksitasi lucutan dc, dengan daya maksimum 4,0 kW. Untuk keperluan percobaan ini laser diatur pada mode TEM₀₀. Pada mode ini akan dihasilkan berkas laser dengan diameter berkas ± 12,5 mm. Besarnya daya luaran laser diatur dengan mengatur besarnya arus eksitasi pada tabung lucutan. Daya rata-rata luaran laser diukur dengan menggunakan *Power meter*. Sedangkan profil intensitas, dalam arah melintang, dari berkas laser diamati menggunakan *Beam Analyzer*.

Sebagai benda kerja, diambil pelat-pelat aluminium tipe A5052, A5083, A7N01, A6061, dan A5182 dengan ketebalan 6 mm.

Sebelum proses pengelasan dilakukan, pelat-pelat ini terlebih dahulu harus dibuat diffus dan dibersihkan, guna mengurangi efek pantulan, memperluas permukaan serap, dan mencegah pencemaran oleh logam atau benda lainnya. Benda kerja ini ditempatkan diatas meja kerja yang mempunyai kebebasan bergerak dalam arah horisontal dan vertikal, yang dapat diatur oleh komputer. Laju pengelasan diatur dengan mengatur laju pergerakan dalam arah horisontal.

Sebagai selubung digunakan gas Argon, yang walaupun efeknya tidak sebaik gas Helium didalam meredam berkembangnya plasma pada *keyhole*, tetapi harganya relatif lebih murah. Dalam percobaan ini gas diarahkan ke permukaan benda kerja dengan menggunakan nozel konus yang terpasang pada kepala sistem laser. Nozel konus yang digunakan mempunyai diameter 6 mm (lihat Gambar 2).

Pada penelitian ini daya laser divariasikan antara 2 sd. 4 kilowatt, sedangkan laju pengelasan dipertahankan konstan sebesar 1,5 meter per menit, dan defokus juga dipertahankan tetap sebesar 2 millimeter. Sementara laju gas selubung divariasikan antara 30 sd. 40 liter per menit. Perubahan pada masing-masing variabel ini dilihat pengaruhnya terhadap lebar dan kedalaman penetrasi ulat-las.



Gambar 2. Penampang nozel konus yang digunakan untuk mengarahkan aliran gas selubung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

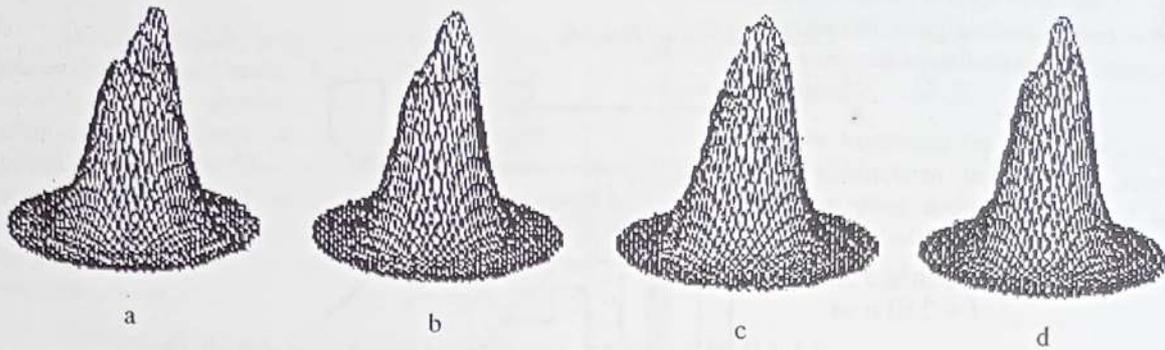
Komposisi kimia dari jenis-jenis paduan aluminium berbentuk pelat datar yang digunakan sebagai benda kerja didalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 ini terlihat bahwa paduan aluminium jenis A5052 mengandung 96,77 % Aluminium, jenis A5083 mengandung 94,906 % Aluminium, jenis A5182 mengandung

95,03 % Aluminium, jenis A 6061 mengandung 97,15 % Aluminium, dan jenis A7N01 mengandung 93,47 % Aluminium.

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui profil penampang dari berkas laser sebelum difokuskan adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) sampai dengan (d), berturut-turut untuk daya 1 kilowatt, 2 kilowatt, 3 kilowatt, dan 4 kilowatt.

Tabel 1. Komposisi kimia paduan aluminium yang digunakan sebagai cuplikan.

Paduan Aluminium	Tebal (mm)	Komposisi Kimia (% massa)								
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5052	6	0,08	0,27	0,01	0,00	2,69	0,18	0,00	-	96,77
A5083	6	0,139	0,125	0,04	0,04	4,577	0,116	0,011	0,016	94,936
A7N01	6	0,07	0,14	0,08	0,08	1,18	0,21	4,74	0,03	92,44
A6061	6	0,57	0,42	0,20	0,20	1,03	0,25	0,15	0,03	97,15
A5182	6	0,08	0,23	0,03	0,03	4,55	0,03	0,01	0,01	95,03



Gambar 3. Profil berkas luaran laser, berturut-turut, untuk daya (a) 1 kW, (b) 2 kW, (c) 3 kW dan (d) 4 kW.

Pada Gambar 4 diperlihatkan gambar tampak atas serta gambar penampang lintang dan penampang memanjang dari kelima jenis paduan aluminium tersebut. Masing-masing cuplikan dilas dengan daya laser 3 kilowatt dengan sekubung gas Argon pada laju 40 liter per menit, laju pengelasan 1,5 meter per menit serta defocus = -2 mm.

Tabel 2 memperlihatkan variasi lebar dan kedalaman (penetrasi) ulat-las pada daya laser berkisar dari 2 hingga 4 kilowatt, masing-masing pada laju gas selubung Argon 30 liter per menit dan laju pengelasan 1,5 meter per menit serta defocus = -2 mm.

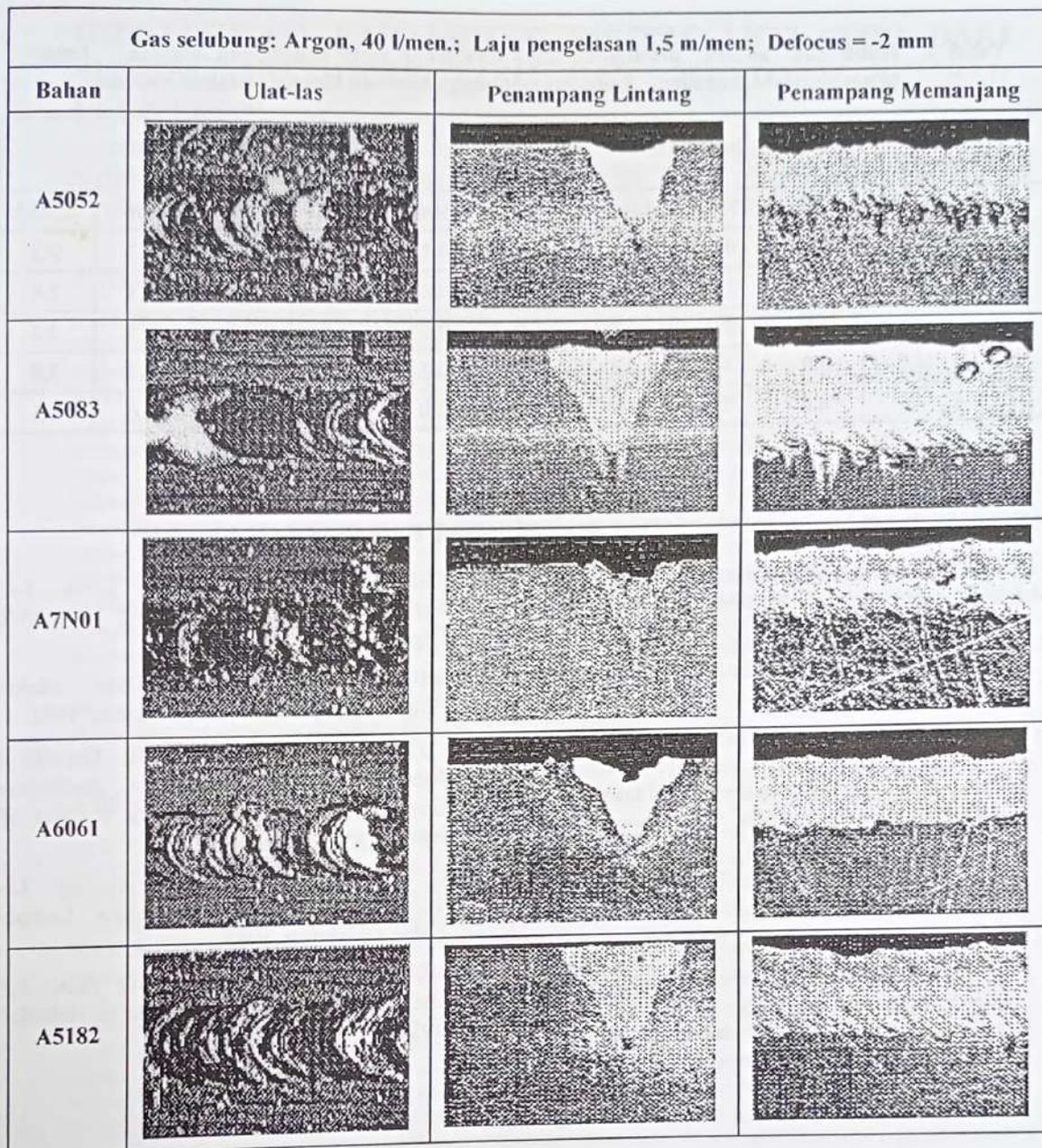
Sedangkan Tabel 3 memperlihatkan variasi lebar dan kedalaman ulat las ulat-las pada daya laser berkisar dari 2 hingga 4 kilowatt, masing-masing pada laju gas selubung Argon 40 liter per menit dan laju pengelasan 1,5 meter per menit serta defocus = -2 mm.

Dari data-data pada Tabel 2 dan Tabel 3 tersebut terlihat bahwa untuk paduan aluminium jenis A5083, A7N01, dan A5182, pengelasan dengan daya luaran laser sebesar 2 kilowatt memberikan ulat-las sekitar 2,5 millimeter dan kedalaman ulat-las sekitar 2,5 millimeter. Selanjutnya dengan kenaikan daya hingga 4 kilowatt, lebar ulat-las bertambah hingga menjadi sekitar 4,0 millimeter dan ketebalannya sekitar 6,0 millimeter. Sedangkan untuk paduan aluminium jenis A5052, lebar ulat-las sebesar sekitar 2,6 millimeter diperoleh pada daya 2,5 kilowatt, dan kedalaman ulat-las yang dicapai adalah sekitar 2,5 millimeter. Pada daya 2 kilowatt pengelasan boleh dikata belum terjadi, karena ulat-las yang terbentuk kurang dari 0,1 millimeter. Lebar dan kedalaman ulat-las ini akan bertambah dengan bertambahnya daya, yaitu

menjadi sekitar 6 millimeter lebarnya dan sekitar 4 millimeter kedalamannya pada daya luaran laser 4 kilowatt. Paduan aluminium jenis A6061 menghasilkan lebar ulat-las sekitar 3,2 millimeter pada daya 3 kilowatt dan kedalaman yang dihasilkannya adalah sekitar 3 millimeter. Pada daya 2,5 kilowatt, pengelasan boleh dikatakan tidak terjadi, karena lebar ulat-las kurang dari 0,1 millimeter. Lebar ulat-las ini meningkat menjadi sekitar 3,5 millimeter dengan kedalaman sekitar 3,2 millimeter pada daya luaran laser 4 kilowatt.

Apabila data-data dari Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 diperhatikan, maka terlihat ada suatu hubungan antara jumlah Aluminium yang terkandung didalam paduan dengan lebar atau kedalaman ulat-las. Makin tinggi kandungan Aluminiumnya, makin sempit ulat-las yang terbentuk. Bahkan untuk paduan jenis A5052 (mengandung 96,77 % Aluminium), lebar las yang berarti baru terbentuk pada daya luaran laser sekitar 2,5 kilowatt. Sedangkan untuk paduan jenis A6061, yang mengandung jumlah Aluminium paling tinggi, yaitu 97,15 %, pengelasan yang menghasilkan bead yang berarti baru terjadi pada luaran daya sekitar 3 kilowatt.

Mengingat bahwa lebar dan kedalaman dari ulat-las berkaitan dengan lebar dan kedalaman dari *keyhole*, dan ini berkaitan dengan jumlah energi yang diserap oleh cuplikan, maka terlihat bahwa makin tinggi jumlah Aluminium yang terkandung didalam paduan, makin sedikit energi yang diserap, dan makin tinggi energi yang diperlukan untuk pengelasan. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh sifat refleksi dari Aluminium yang cukup tinggi, sehingga makin tinggi kandungannya, makin tinggi pula faktor refleksinya, sehingga makin berkurang jumlah energi yang terserap.



Gambar 4. Ulat-las dan penampang lintang serta penampang memanjang untuk berbagai bahan benda kerja yang di las dengan daya laser 3 kilowatt.

Tabel 2. Hubungan antara perubahan daya dan perubahan lebar dan kedalaman ulat-las. Laju pengelasan = 1,5 m/men.; Laju gas selubung (Ar) = 30 l/men.; Defokus = -2 mm

Daya (kW)	Lebar Ulat-las (mm)					Kedalaman Ulat-las (mm)				
	A5052	A5083	A7N01	A6061	A5182	A5052	A5083	A7N01	A6061	A5182
2	0,5	2,6	2,2	< 0,1	2,5	0,2	2,6	2,3	< 0,1	2,4
2,5	2,7	3,1	2,8	0,5	3,2	2,6	3,6	3,2	0,2	3,5
3	4,0	3,4	4,0	3,4	3,7	3,2	4,7	3,8	3,4	3,8
3,5	3,9	3,8	3,9	4,2	3,9	3,6	6	3,7	4,2	5,0
4	4,0	4,0	3,5	3,7	4,3	3,7	6	6	3,3	6,2

Tabel 3. Hubungan antara perubahan daya dan lebar serta kedalaman ulat-las. Laju pengelasan = 1,5 m/men.; Laju gas selubung (Ar) = 40 l/men.; Defokus = -2 mm.

Daya (kW)	Lebar Ulat-las (mm)					Kedalaman Ulat-las (mm)				
	A5052	A5083	A7N01	A6061	A5182	A5052	A5083	A7N01	A6061	A5182
2	0,7	0,9	0,8	0,8	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3
2,5	1,0	3,5	2,5	0,7	3,2	0,4	2,7	1,5	0,3	2,4
3	3,4	3,8	3,3	0,8	4,0	2,3	3,4	3,0	0,3	3,5
3,5	4,0	3,9	3,8	3,4	4,2	2,5	4,2	3,6	2,2	3,8
4	4,1	4,6	3,8	4,4	4,3	4,0	5,6	4,0	3,6	4,6

KESIMPULAN

Dari data-data hasil percobaan yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Daya atau energi laser yang diperlukan untuk pengelasan bergantung pada tebal bahan yang hendak di las.
- Kandungan atau kadar Aluminium yang terkandung didalam suatu paduan aluminium menentukan besarnya daya atau energi laser yang diperlukan untuk pengelasan. Makin tinggi kadar Aluminium suatu paduan aluminium makin tinggi daya atau energi laser yang diperlukan untuk pengelasan.
- Aliran gas selubung (Argon) berpengaruh terhadap daya atau energi laser yang diperlukan. Makin tinggi laju aliran gas selubung (Argon) makin tinggi daya atau energi laser yang diperlukan untuk pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. CHRISTOPER DAWES C. ENG, *Laser Welding*, Abington Publishing Cambridge, England, 1992.
2. WILLIAM M. STEIN, *Laser Material Processing*, Springer-Verlag, London, 1991.
3. LUXON, JAMES T.PARKER, DAVID E., *Industrial Laser and Their Applications*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall International Editions.
4. C. BRECK HITZ, *Understanding Laser Technology*, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1985.
5. WALTER KOECHNER, *Solid State Laser Technology*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1988.