



Analisa Pengaruh Variasi Waktu *Post Weld Heat Treatment* Pada Pengelasan SMAW Baja A36 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji Impak dan Struktur Mikro

Paolo Ciptanto Lubis¹⁾, Untung Budiarto, Sarjito Jokosisworo¹⁾

Laboratorium Las dan Material Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : paolociptanto@gmail.com

Abstrak

Pengelasan sering digunakan pada konstruksi dan industri perkapalan. Baja A 36 memiliki potensi keretakan las yang tinggi, maka perlu dilakukan (PWHT) *Post Weld Heat Treatment*. Tujuan penelitian untuk mendapatkan kekuatan tarik, impak dan struktur mikro pada pengelasan SMAW (*shielded Metal Arc Welding*) dengan menggunakan variasi waktu PWHT. Menggunakan metode eksperimen yang dilakukan secara langsung dalam semua proses pekerjaannya. Hasil yang didapat, tegangan tarik Non PWHT mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 46,01 Mpa, PWHT 1 jam sebesar 461,44 Mpa, dan PWHT 3 jam material mendapatkan hasil terkecil sebesar 455,80 Mpa. Nilai regangan RAW material sebesar 38,13%, PWHT 3 jam lebih baik banding PWHT 2 jam dengan rata-rata 33,73%, PWHT 2 jam sebesar 22,33%, PWHT 1 jam sebesar 21,37%, dan Non PWHT sebesar 23,15%. Nilai modulus elastisitas RAW sebesar 154,74 Gpa, PWHT 1 jam sebesar 242,50 Gpa, PWHT 2 jam sebesar 254,64 Gpa, PWHT 3 jam sebesar 167,16 Gpa, dan nilai Non PWHT sebesar 262,23 Gpa. Hasil uji impak absorb energy tertinggi pada PWHT 2 jam sebesar 1,921 Joule/mm², Non PWHT sebesar 0,485 Joule/mm², dan RAW material sebesar 1,662 Joule/mm². Struktur mikro daerah base metal, HAZ, dan weld metal memiliki ferit dan perlit. Baja A 36 tanpa perlakuan panas memiliki kekuatan yang lebih besar, maka hasil yang mendekati Non PWHT adalah nilai terbaik.

Kata Kunci : Baja A 36, SMAW, PWHT, Kekuatan Tarik, Kekuatan Impak, Struktur Mikro

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan pekerjaan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi dan industri sekarang ini. Pada proses pengelasan banyak hal yang harus diperhatikan, salah satunya adalah perlakuan panas. Perlakuan panas dengan temperatur 590° C, 620° C, dan 650° C dengan *holding time* 30 dan 60 menit dapat mempengaruhi struktur mikro. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* mengakibatkan dominasi fasa bainit berkurang[1].

Pengujian setelah mendapatkan perlakuan PWHT untuk semua variasi temperatur memiliki persyaratan. Hasil uji tarik pada pipa baja ASTM A252 bahwa tegangan tarik pada sambungan las tertinggi terjadi pada spesimen tanpa PWHT

sebesar 567 Mpa, tegangan tarik terendah terjadi pada spesimen PWHT 650°C yaitu sebesar 474 Mpa mengalami penurunan tegangan tarik 93 Mpa atau sebesar 16,4% dari spesimen tanpa PWHT[2].

Variasi PWHT selanjutnya terjadi pada PWHT 8 jam, PWHT 18 jam dan PWHT 24 jam. Spesimen pengujian tarik menggunakan standar ASTM B 557-06, untuk mendapatkan tegangan masing-masing dari logam induk aluminium. Persentase regangan dari logam induk dan logam yang telah di-PWHT sebesar 19,8% dan spesimen pengelasan tanpa PWHT memiliki regangan 15,3% yang menunjukkan pengurangan keuletan dari material karena pengaruh pengelasan[3].

Diantara beberapa macam proses pengelasan ini, salah satunya yang akan digunakan dalam penelitian adalah proses SMAW (*Shielded Metal*

Arc Welding) yang meliputi parameter kuat arus pada 70 A dan PWHT 600°C, 100 A dan PWHT 600°C, maka pengamatan struktur mikro pada spesimen uji nilai kekerasan tertinggi terdapat pada 70 A dan PWHT 600°C. Pengaruh suhu yang cukup menyebabkan dendrit terurai membentuk butir-butir fasa. Kondisi ini tentu menyebabkan daerah *HAZ* dan *Weld Metal* memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibanding di daerah las[4].

Pengujian impact juga dilakukan untuk mengetahui seberapa tangguh bahan material tersebut. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode charpy sesuai dengan ASTM (E23-820) pada baja A36 dimana spesimen diletakkan pada tumpuan dengan posisi yang horizontal atau mendatar dan arah pembenahannya berlawanan arah dengan takikan berbeda dengan metode Izodnya, dimana arah pembenahannya searah dengan arah takikan. Harga impact tertinggi ialah pada pengelasan 65 Ampere di spesimen 2 yang memiliki nilai sebesar 0,77 Joule/mm². dikarenakan proses pengelasan ini tidak memerlukan arus yang besar karena jika memakai arus yang besar berakibat panas yang berlebih membuat logam menjadi getas dan cepat patah[5].

Adapun pengujian tarik pembebanan pada baja dengan memberikan gaya yang berlawanan pada bahan dengan arah menjauh dari titik tengah, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu bahan. Dalam pengujian ini penggunaan jenis elektroda juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil. Penggunaan jenis elektroda yang berbeda dan jenis pengujian tarik yang berbeda menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda[6].

Pada penelitian sebelumnya spesimen dipanaskan ke dalam tungku pemanas pada temperatur 600° C selama 1 jam. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada perlakuan panas tanpa *heat treatment* dengan nilai uji tarik sebesar 479 Mpa sedangkan nilai kekuatan tarik pada spesimen dengan *post weld heat treatment* sebesar 374 Mpa[7].

Salah satu pengujian pada penelitian ini adalah uji impact dengan 4 variasi perlakuan yaitu 1 variasi tanpa perlakuan panas, 3 variasi dengan perlakuan panas annealing 690° C dengan variasi waktu penahanan 30, 60, 90 menit. Benda uji yang tidak dilakukan proses PWHT *annealing* mempunyai nilai ketangguhan yang paling rendah yaitu rata-rata 1,005 Joule/mm², PWHT *annealing* dengan waktu penahanan 90 menit nilai ketangguhan rata-ratanya meningkat yaitu 1,645 Joule/mm²[8].

Studi penelitian ini tentu menggunakan standar dalam acuan selama pengujian, yang nantinya akan mendapatkan kesesuaian baik buruknya bahan yang

telah diuji pada baja A36. Mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahanan 1 jam dan 4 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 1000° C, sehingga semakin besar waktu penahanan yang diberikan pada baja ASTM A572 Grade 50, menghasilkan kekuatan yang besar[9].

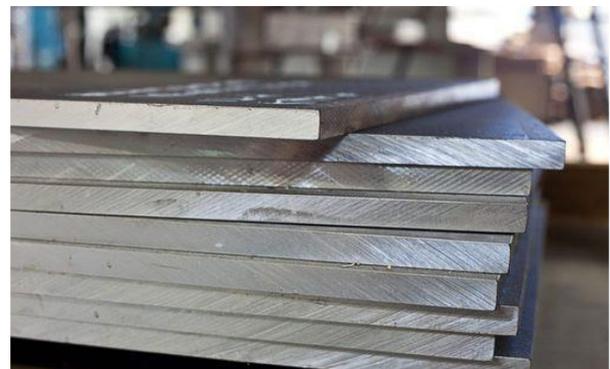
2. METODOLOGI

2.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data-data dikumpulkan dari buku, jurnal, internet, dan penelitian langsung ke lapangan. Material baja A36 merupakan objek yang diteliti. Dimana material baja A36 merupakan baja dengan kandungan karbon rendah. Serta banyak digunakan dalam pembuatan rangka kapal, termasuk pembuatan lambung kapal.

Tabel 1. Komposisi Baja A36

	Unsur	Kandungan (%)
C	Karbon	0,25
Si	Silikon	0,28
Mn	Mangan	1,03
P	Fosfor	0,04
S	Belerang	0,05
Cu	Tembaga	0,20



Gambar 1. Plat Baja A36

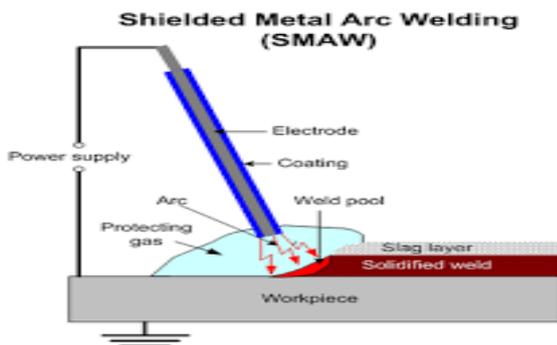
Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi sebagai paduan utama sebagai unsur penguat. Kandungan karbon dalam baja berkisar 0,2%-2,1% (Choudhury et al., 2001). Baja juga mengandung unsur-unsur seperti sulfur (S), fosfor (P), silicon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Baja karbon rendah (Low Carbon Steel) bersifat lunak, kekuatan relative rendah, tetapi keuletannya tinggi atau sering disebut baja lunak (Mild Steel) dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%.

2.2 Pengelasan

Pengertian pengelasan adalah teknik penyambungan suatu logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari

defenisi tersebut dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan adalah aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh.

Dalam penelitian ini menggunakan pengelasan SMAW yaitu pengelasan yang 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 pelindung berupa *fluks*.



Gambar 2. Skema Pengelasan SMAW

2.3 Pembuatan spesimen

Setelah proses pengelasan selesai, material dipotong untuk dibuat spesimen uji. Pengujian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini meliputi pengujian tarik, pengujian impak, dan pengujian struktur mikro. Pada awal pembuatan dilakukan pengukuran dimensi setiap pengujian, kemudian dilakukan pemotongan, plat terlebih dahulu dipotong dengan menggunakan gerinda menjadi ukuran yang sesuai standart tiap spesimen uji.

2.4 Aplikasi Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Pemanasan material baja sering disebut dengan istilah PWHT, yang dilakukan dengan cara memanaskan kembali material pada temperatur 600°C, dan waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Material akan mengalami perubahan struktur dan grain akibat efek dari pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak homogeny menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material tersebut memiliki sifat yang lebih keras namun ketangguhannya lebih rendah. *Post Weld Heat Treatment – tempering* dilakukan untuk mendapatkan keseragaman struktur butir. Pada pengujian ini identasi dilakukan pada titik dengan beban 150 N dan menggunakan standar ASTM E 92 pada masing-masing suhu selama 60 menit[10].

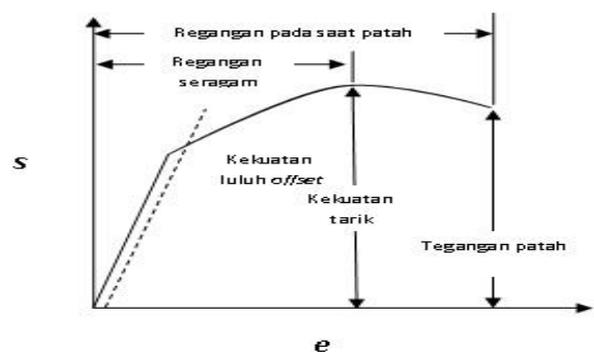
Proses ini mempunyai faktor-faktor penting agar tujuan dari PWHT dapat tercapai.

- Expansion area
Karena proses panas akan mengakibatkan terjadinya pemuaihan dan ekspansi material maka harus diperhatikan bahwa saat stress relieve material tersebut tidak mengalami restrainat.
- Insulasi
Saat element sudah terpasang dengan benar maka area disekitar element harus ditutup untuk menjaga kestabilan suhu.
- Cleaning material
Material harus bersih dari segala greasi atau cairan.
- Support material
Proses pemanasan akan mengakibatkan terjadinya pelunakan material. Maka material yang di PWHT harus diberikan support sehingga tidak terjadi distorsin akibat adanya gaya gravitasi[11].

Variabel pada penelitian sebelumnya ada 3 variasi yaitu suhu annealing pada PWHT sebesar 650°C, 695°C, dan 740°C. Setelah melakukan pengujian tarik didapatkan nilai tegangan maksimal (σ_u) Non PWHT sebesar 702,95 Mpa, PWHT 650°C sebesar 614,51 Mpa, PWHT 695°C sebesar 567°C, PWHT 740°C sebesar 531,65 Mpa[12].

2.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian merusak yang dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada material yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah, atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda dan ujung lainnya yang diikat hingga benda putus dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan panduannya, khususnya pada kekuatan tarik material tersebut. Uji tarik merupakan dasar dari pengujian bahan yang dijadikan dasar pada studi mengenai kekuatan suatu bahan atau material.



Gambar 3. Contoh Hasil Uji Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh pengujian tarik.

1. Tegangan tarik (σ)

Tegangan tarik merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (fracture). Kekuatan tarik maksimum dari suatu bahan dapat dirumuskan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Dimana, σ merupakan Tegangan tarik maksimum (Mpa, N/mm²), P merupakan Beban Maksimum (N), dan A_0 merupakan Luas penampang awal (mm²).

2. Regangan tarik (e)

Regangan tarik maksimum adalah pertambahan panjang maksimum yang dihasilkan dari suatu material setelah dilakukan pengujian tarik. Regangan tarik dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

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

Dimana, L_1 adalah Panjang sesudah patah (mm), L_0 merupakan Panjang awal (mm), e adalah Regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)

Ukuran kekakuan suatu material dalam grafik tegangan-regangan. Modulus elastisitas tersebut dapat dihitung berdasarkan slope kemiringan garis elastic yang linier.

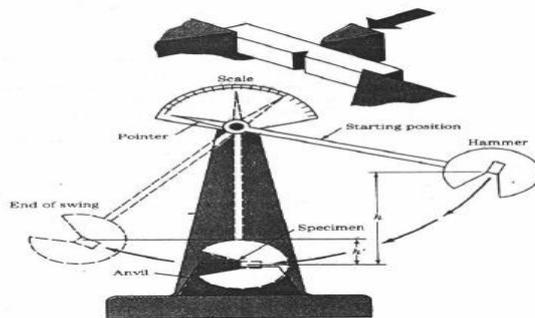
$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (3)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (Mpa), σ adalah Tegangan Maksimum (KN/mm²), dan e adalah Regangan (%).

2.6 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui spesimen menyerap energi yang diberikan. Pengujian impak merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan dari material. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan secara kejut untuk mengetahui kerapuhan pada sambungan las yang disebabkan oleh perlakuan panas, dan perlakuan normalizing. Dalam pengujian impak digunakan metode charpy yaitu pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada

tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.



Gambar 4. Skema Pengujian Metode Charpy

Pada pengujian bending ini, spesimen uji menggunakan metode charpy sesuai dengan ASTM (E23-82). Pengujian dilakukan pada daerah las dan daerah HAZ hasil las material ASTM A36 yang digunakan untuk material lambung kapal dengan dimensi spesimen uji 10 mm x 10 mm x 55 mm dan memiliki takikan berbentuk V sudut 45° dengan kedalaman 2 mm ditengah.

2.7 Pengujian Mikrografi

Pengujian mikrografi ini dilakukan dengan tujuan mengetahui struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW yang telah di PWHT, dan membandingkan hasil struktur mikronya. Tahap-tahap yang dilakukan pada pengujian mikrografi yaitu, mengamplas spesimen uji, melakukan polishing, melakukan etching menggunakan larutan HNO3 3,25% dengan alkohol 75 % dan larutan aqua regia, melakukan observasi menggunakan mikroskop optik, dan melakukan pengambilan gambar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komposisi Bahan

Pada penelitian ini agar memastikan sesuai atau tidaknya jenis bahan yang diambil, perlu dilakukan adanya uji komposisi. Dan baja A36 adalah material yang digunakan pada penelitian ini.

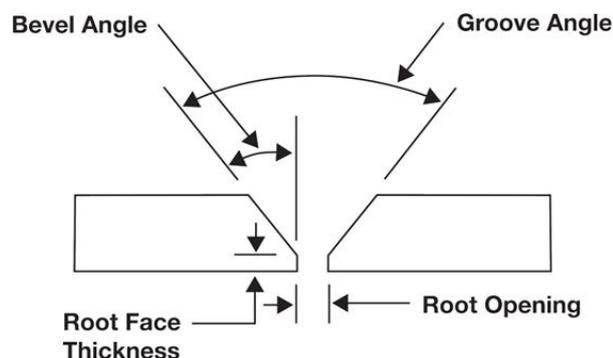
Tabel 2. Komposisi Bahan

Unsur	Kandungan (%)	
C	Karbon	0,25
Si	Silikon	0,28
Mn	Mangan	1,03
P	Fosfor	0,04
S	Belerang	0,05
Cu	Tembaga	0,20
Fe	Besi	98

Dari hasil uji komposisi material baja A36 didapat komponen-komponen serta besar kandungan seperti pada Tabel 2 (Fe) = 98,00%, (Mn) = 1,03%, guna meningkatkan ketahanan serta kekerasan, (Si) = 0,28%, guna meningkatkan daya tahan oksidasi dan tahan panas. Serta unsur lain (C) = 0,25%, (P) = 0,04, dan (S) = 0,05%, (Cu) = 0,2%. Maka dalam penelitian ini bahan yang digunakan memenuhi standart.

3.2 Hasil Pengelasan

Pengelasan baja A36 menggunakan pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan arus 100A. Proses pengelasan ini merupakan proses pengelasan manual dengan menggunakan kawat las yang harus diganti setiap kali pengelasan. Dalam proses pengelasan tersebut harus memperhatikan aturan dan prosedur pengelasan WPS (*Welding Procedure Specification*) karena penting untuk menjaga hasil sambungan pada suatu material atau spesimen agar didapatkan sambungan las yang baik. Pada penelitian ini proses pengelasan mengacu kepada standar AWS NUMBER 3 dengan posisi las datar (1G) dengan sambungan single V-butt joint dengan sudut 60° .



Gambar 5. Desain Alur Pengelasan

Penelitian ini menggunakan pengelasan SMAW, dengan detail sebagai berikut:

Mesin las yang digunakan MIG PATENT 503, jenis elektroda E7016 AWS 5.1, diameter elektroda 2,6 mm, logam induk Baja A36, posisi pengelasan Down Hand (1G), sudut kampuhnya Single V-butt joint 60° , voltage antara 18-22V, dan menggunakan arus 100A. Setelah dilakukan tahap persiapan, maka dilakukan tahap pengelasan.



Gambar 6. Proses Pengelasan SMAW

3.3 Pembuatan Spesimen

Spesimen yang sudah di las, kemudian dilakukan pemotongan sesuai ukuran yang telah ditentukan yaitu, 5 spesimen uji tarik dengan gage length (G) 50 mm, length of reduced section (A) 57 mm, width (W) 12,5 mm, thickness (T) 10 mm, radius of fillet (R) 12,5 mm, overall length 200 mm, width of grip section 20 mm, dan length of grip section 50 mm.

Sedangkan ukuran uji impak tiap spesimen dengan overall length (L) 55 mm, width (W) 10 mm, thickness (T) 10 mm, dan angle of notch 45° .

3.4 Proses Pemanasan Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Setelah spesimen dibuat, langkah selanjutnya aplikasi pemanasan setelah dilakukan pengelasan yaitu *Post weld Heat Treatment (PWHT)* pada material. Aplikasi PWHT dilakukan dengan pemanasan di oven pemanas yang memiliki kapasitas maksimum 1100°C , material uji yang dipanasi sampai 600°C . seluruh spesimen uji tarik, uji impak dan struktur mikro dimasukkan seluruhnya bersamaan ke dalam oven, pengambilan pertama dari dalam oven yaitu di waktu 1 jam, kemudian pengambilan kedua di waktu 2 jam, dan yang terakhir pengambilan ketiga di waktu 180 menit dengan menggunakan stopwatch Handphone untuk menghitung tiap-tiap waktu penahanan material tersebut. Proses pemanasan material menggunakan oven ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Madha. Setelah dilakukan holding time maka material didinginkan dengan suhu ruangan 28°C - 30°C dengan cara material yang berada dalam oven dikeluarkan menggunakan alat penjepit daari dalam oven.

3.5 Analisa Hasil Uji Tarik (Tensile Strenght)

Dari hasil pengujian didapatkan tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas dari material uji. Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan data-data yang akan dianalisa lebih lanjut.

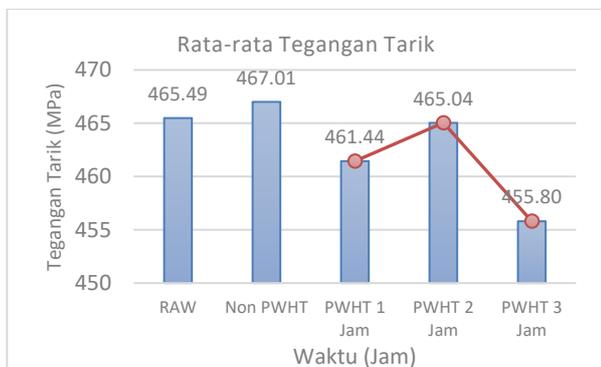
1) Tegangan Tarik

Setelah dilakukan pengujian tarik, maka didapatkan nilai tertinggi dan terendah pada setiap spesimen sebagai berikut:

Tabel 3. Data hasil Tegangan Tarik

Spesimen	No	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	P Maks (KN)	σ Maks (Mpa)	Range Deviasi	Deviasi Rata-rata (Mpa)
PWHT 1 jam	1	13,1	10,2	62,5	567,74	469,74	461,44
	2	14,1	10,2	65,9	458,21		
	3	13,8	10,25	64,7	457,41		
	4	13,9	10,25	61,3	430,25		
	5	13,3	10	61,5	462,41		
PWHT 2 jam	1	13,1	10,25	63	469,19	476,89	465,04
	2	13,45	10	63,4	471,38		
	3	13,9	10,45	61	419,95		
	4	14,3	10,25	67,2	458,47		
	5	14,15	10,1	65,9	461,11		
PWHT 3 jam	1	14,65	9,8	62,7	436,72	458,86	455,80
	2	13,5	10,3	60,5	435,10		
	3	14	10	63,7	455,00		
	4	13,35	10,2	62,4	458,25		
	5	13,6	10,2	63	454,15		
Non PWHT	1	12,3	10,4	58,3	455,75	475,99	467,01
	2	13,5	10,2	64,6	469,14		
	3	14,15	10,25	67,2	463,33		
	4	13,8	10,3	66,6	468,55		
	5	13,45	10	64,5	479,55		
RAW	1	13,6	10,12	55,2	401,07	484,98	465,49
	2	13,55	10,17	65,6	476,04		
	3	13,79	10,19	68	483,92		
	4	13,62	10,75	66,2	452,14		
	5	13,83	10,48	65,2	449,85		

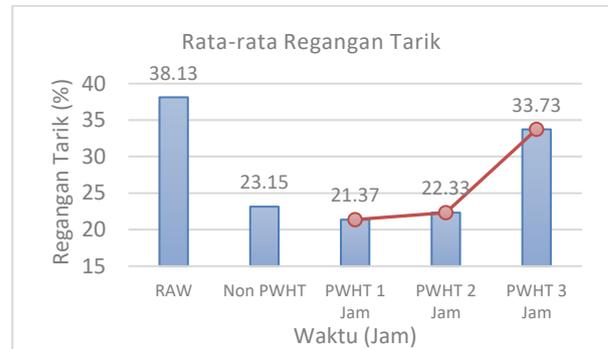
Dari Tabel 3 dapat dilihat hasil Non PWHT material mendapatkan nilai kekuatan tarik paling tinggi dibanding spesimen lainnya dengan rata-rata 467,01 Mpa. Spesimen PWHT 3 jam material memiliki kualitas paling rendah dengan nilai rata-rata 455,80 Mpa, untuk perlakuan panas pada PWHT 2 jam lebih baik dibandingkan dengan PWHT 1 jam dengan rata-rata sebesar 465,04 Mpa, sementara RAW material lebih baik dibandingkan dengan PWHT 1 jam dengan rata-rata sebesar 465,49 Mpa. Maka dari Gambar 7 dapat dilihat perbedaan perlakuan panas dengan *Holding Time* yang berbeda-beda. Dimana Non PWHT menunjukkan kualitas hasil lebih baik.



Gambar 7. Grafik Tegangan Tarik

2) Regangan Tarik

Dari pengujian tarik diatas didapatkan hasil regangan setiap perlakuan panas maupun tanpa perlakuan panas masing-masing spesimen sebagai berikut :



Gambar 8. Grafik Regangan Tarik

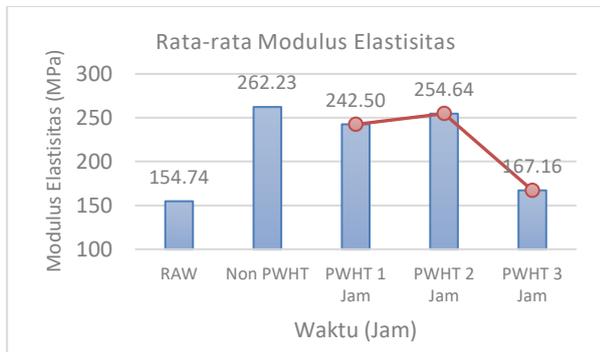
Dari data hasil pengujian plat baja A36 yang memiliki nilai regangan tertinggi dan nilai regangan maksimum pada material RAW sebesar 38,13%, sementara untuk spesimen dengan perlakuan panas 3 jam lebih baik dibanding 2 jam dengan rata-rata 33,73%, dan spesimen dengan perlakuan panas 2 jam lebih baik juga dibandingkan dengan *PWHT* 1 jam dengan nilai regangan rata-rata sebesar 22,33%, dari semua spesimen dengan perlakuan panas yang mendapatkan nilai terkecil dibanding spesimen lain adalah *PWHT* 1 jam dengan nilai regangan rata-rata sebesar 21,37%, tanpa perlakuan panas mendapatkan rata-rata sebesar 23,15 %.

Tabel 4. Data Hasil Regangan Tarik

Spesimen	No	Lo (mm)	L' (mm)	ΔL (mm)	e (%)	Range Deviasi	Deviasi Regangan Rata-rata (%)
PWHT 1 Jam	1	50	60,4	10,4	20,8	25,04	21,37
	2	50	62,6	12,6	25,2		
	3	50	62,6	12,6	25,2		
	4	50	61	11	22		
	5	50	60,65	10,65	21,3		
PWHT 2 Jam	1	50	61,5	11,5	23	24,85	22,33
	2	50	60,55	10,55	21,1		
	3	50	62,95	12,95	25,9		
	4	50	61	11	22		
	5	50	61,6	11,6	23,2		
PWHT 3 Jam	1	50	69,2	19,2	38,4	37,55	33,73
	2	50	67,5	17,5	35		
	3	50	67,5	17,5	35		
	4	50	65,6	15,6	31,2		
	5	50	63,9	13,9	27,8		
Non PWHT	1	50	56,4	6,4	12,8	27,12	23,15
	2	50	58,6	8,6	17,2		
	3	50	63,4	13,4	26,8		
	4	50	63,2	13,2	26,4		
	5	50	61,1	11,1	22,2		
RAW	1	50	60,2	10,2	20,4	43,44	38,13
	2	50	65,8	15,8	31,6		
	3	50	69,65	19,65	39,3		
	4	50	69,65	19,65	39,3		
	5	50	71,15	21,15	42,3		

3) Modulus Elastisitas

Setelah didapat tegangan dan regangan tarik, maka didapat juga nilai modulus elastisitas sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik Modulus Elastisitas

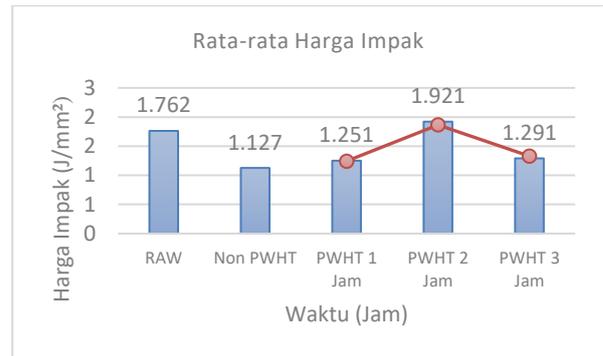
Dari Gambar 9. Dapat diketahui bahwa elastisitas plat baja A36 pada RAW material dengan nilai rata-rata sebesar 154,74 Gpa, perlakuan panas atau PWHT 1 jam dengan nilai rata-rata 242,50 Gpa tidak berbanding jauh dengan PWHT 2 jam, untuk PWHT 2 jam pada baja A36 lebih baik dibandingkan dengan PWHT 3 jam memiliki nilai rata-rata sebesar 254,64 Gpa sedangkan PWHT 3 jam dengan nilai rata-rata sebesar 167,16 Gpa, sementara spesimen tanpa perlakuan panas memiliki nilai rata-rata sebesar 262,23 Gpa untuk nilai rata-rata paling tertinggi. Maka dari nilai hasil elastisitas ini tanpa perlakuan panas merupakan spesimen terbaik.

Tabel 5. Data Hasil Modulus Elastisitas

Spesimen	N	σ Maks (Mpa)	e (%)	Modulus Elastisitas (Gpa)	Range Deviasi	Rata-rata Modulus Elastisitas (Gpa)
PWHT 1 Jam	1	467,74	1,66	281,10	275,24	242,50
	2	458,21	2,02	227,29		
	3	457,41	2,02	226,89		
	4	430,25	1,76	244,46		
	5	462,41	1,70	271,37		
PWHT 2 Jam	1	469,19	1,84	254,99	277,58	254,64
	2	471,38	1,69	279,25		
	3	419,95	2,07	202,68		
	4	458,47	1,76	260,49		
	5	461,11	1,86	248,44		
PWHT 3 Jam	1	436,72	3,07	142,16	194,06	167,16
	2	435,10	2,80	155,39		
	3	455,00	2,80	162,50		
	4	458,25	2,50	183,59		
	5	454,15	2,22	204,21		
Non PWHT	1	455,75	1,02	445,07	394,66	262,23
	2	469,14	1,38	340,94		
	3	463,33	2,14	216,10		
	4	468,55	2,11	221,85		
	5	479,55	1,78	270,02		
RAW	1	401,07	1,63	245,75	218,63	154,74
	2	476,04	2,53	188,31		
	3	483,92	3,14	153,92		
	4	452,14	3,14	143,81		
	5	449,85	3,38	132,93		

3.6 Analisa Hasil Uji Impak

Dari pengujian impak pada variasi waktu tunggu pada proses PWHT didapatkan nilai kekuatan sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Impak

Data perbandingan hasil uji impak untuk variabel PWHT 1 jam, PWHT 2 jam, PWHT 3 jam, Non PWHT, dan RAW material dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa nilai impak seluruh variabel memberikan hasil yang berbeda. Plat baja karbon A36 absorb energy yang terbesar adalah dimiliki material PWHT 2 jam, dengan nilai sebesar 1,921 Joule/mm². Absorb energy yang dihasilkan PWHT 1 jam sebesar 1,251 Joule/mm² lebih besar dibandingkan dengan PWHT 3 jam, sementara Non PWHT absorb energy yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan PWHT 1 jam dengan nilai sebesar 1,127 Joule/mm². Dan untuk RAW material memberikan Absorb energy yang besar juga dibanding PWHT 1 jam dan PWHT 3 jam dengan nilai sebesar 1,762 Joule/mm². Maka masing-masing variabel menunjukkan adanya perubahan kenaikan pada spesimen PWHT 2 jam yang lebih besar.

Tabel 6. Data Hasil Uji Impak

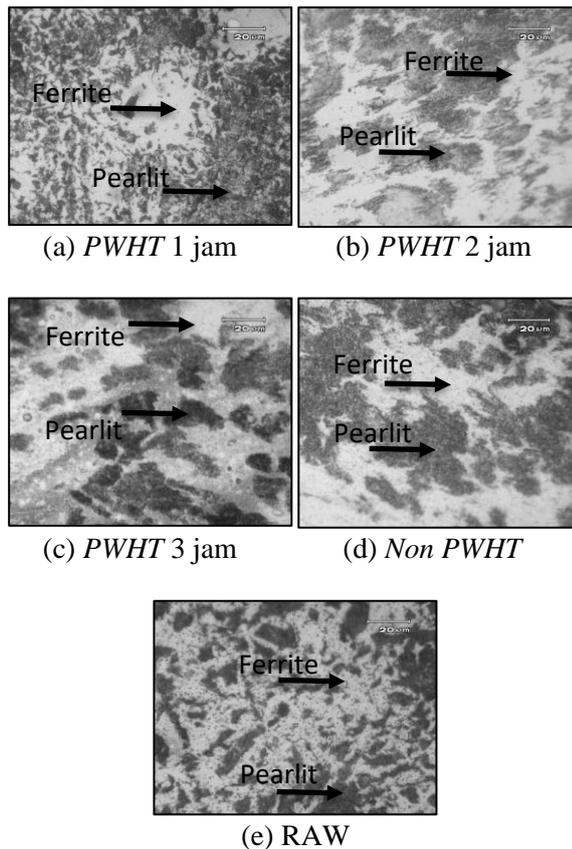
Spesimen	N	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Energi (J)	Harga Impak (J/mm ²)	Range Deviasi	Deviasi Rata-rata (J/mm ²)
PWHT 1 Jam	1	10,5	10	132	1,257	1,109	1,251
	2	10,85	10	154	1,419		
	3	10,4	10	125	1,202		
	4	10,3	10	108	1,049		
	5	10,6	10	137	1,292		
PWHT 2 Jam	1	10,2	10	231	2,265	2,222	1,921
	2	10,45	10	190	1,818		
	3	10,75	10	139	1,293		
	4	10,8	10	210	1,944		
	5	10,5	10	210	2,000		
PWHT 3 Jam	1	10,8	10	142	1,315	1,651	1,291
	2	10,6	10	140	1,321		
	3	10,5	10	130	1,238		
	4	10,75	10	100	0,930		
	5	10,43	10	191	1,831		
Non PWHT	1	10,85	10	101	0,931	1,773	1,127
	2	10,8	10	102	0,944		
	3	10,6	10	179	1,689		
	4	10,4	10	98	0,942		
	5	10,35	10	200	1,932		

	1	10	10	182	1,820	
RAW	2	10,37	10	173	1,668	1,894
	3	10,3	10	130	1,262	1,762
	4	10,85	10	189	1,742	1,430
	5	10,67	10	194	1,818	

3.7 Analisa Struktur Mikro

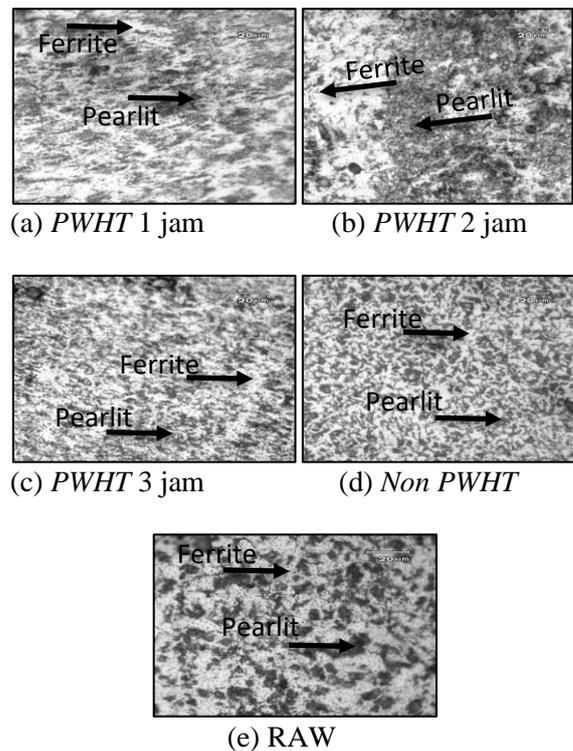
Pada penelitian ini pengujian mikrografi dilakukan pada 5 jenis spesimen, yaitu : Baja A36 dengan perlakuan panas pada *holding time* 1 jam, perlakuan panas pada *holding time* 2 jam, perlakuan panas pada *holding time* 3 jam, baja A36 tanpa perlakuan panas, dan RAW material. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan perubahan struktur mikro baja A36 dan kondisi aktual dari *grain* (butir) yang ada pada material uji akibat perlakuan panas. Sebelum dilakukan pengujian mikro, spesimen terlebih dahulu dilakukan *polishing* dan *etching* dengan cara dilarutkan dengan larutan HNO₃ dan alkohol. Selanjutnya dilakukan pengujian mikro dengan perbesaran 200x maka hasil yang di analisa pada daerah pengelasan, terdapat 3 daerah penting yang akan di teliti.

1. Hasil struktur mikro pada daerah logam induk *base metal*



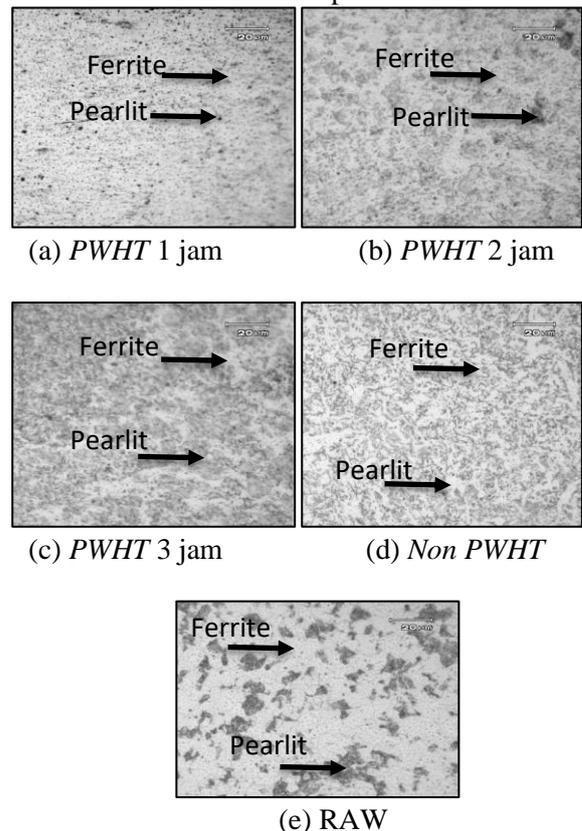
Gambar 11. Struktur mikro pada daerah *base metal*

2. Hasil struktur mikro pada HAZ



Gambar 12. Struktur mikro pada daerah HAZ

3. Hasil struktur mikro pada daerah *weld metal*



Gambar 13. Struktur mikro pada daerah *Weld Metal*

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan semua pengujian maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

Pada kekuatan tarik, *PWHT* 2 jam memiliki nilai paling baik atau lebih tinggi dibandingkan dengan *PWHT* 1 jam, dan *PWHT* 3 jam dengan nilai sebesar 465,04 Mpa, pada RAW material memberikan nilai sebesar 465,49 Mpa, sementara *Non PWHT* memberikan nilai sebesar 467,01 Mpa. Sehingga tegangan tarik tertinggi terdapat pada *Non PWHT*.

Pada regangan tarik nilai regangan dari semua spesimen yang diberi *PWHT* pada variasi waktu penahanan berbanding terbalik dengan hasil rata-rata tegangan tarik, dimana RAW material mendapatkan hasil yang paling tinggi sebesar 38,13%, *PWHT* 3 jam lebih baik dibandingkan dengan *PWHT* 1 jam dan 2 jam dengan nilai sebesar 33,73%. Sementara *Non PWHT* mendapatkan nilai sebesar 23,15%. Maka dapat disimpulkan nilai yang mendekati pada nilai RAW adalah *PWHT* 3 jam. Semakin lama waktu penahanan maka regangan semakin naik dan mendapatkan nilai paling tinggi.

Pada modulus elastisitas nilai *PWHT* 2 jam merupakan variasi terbaik pada perlakuan panas dengan nilai sebesar 254,64 Gpa dibandingkan dengan *PWHT* 1 jam dan 3 jam, RAW material lebih rendah dibandingkan dengan semua variasi sebesar 154,74 Gpa, sementara *Non PWHT* mendapatkan nilai sebesar 262,23 Gpa. Sehingga ditarik kesimpulan tanpa perlakuan panas akan memberikan nilai yang baik pada elastisitas Baja A36.

Pada pengujian impak nilai kekuatan terbesar didapat pada *PWHT* 2 jam sebesar 1,921 Joule/mm². Maka dari hasil pengujian spesimen pada baja A36 dengan perlakuan panas atau *PWHT* 2 jam adalah variasi yang terbaik.

Struktur mikro pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* memberikan hasil yang merata pada *PWHT* 3 jam. Maka semakin lama waktu tunggu yang diberikan, semakin rapi butiran yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, M. I. R., Ari. M. & Rohmat, I. K. 2019. "Analisis Temperatur *PWHT* Dan *Holding Time* Pada Sambungan Las Material SA 386 Grade 11 Class 1 Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro". *Jurnal Inovtek Polbeng*. Vol. 9, No.2.
- [2] Setiawan, I. & Ilman, M. N. 2012. "Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanis dan Korosi Sambungan Las Spiral Saw pada Pipa Baja ASTM A252". *Jurnal*

Energi dan Manufaktur, (UGM), Vol. 5, No. 1.

- [3] Randhiko, A., Haryadi, G. D. & Umardani Y. 2014. "Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (*PWHT*) T6 Pada Aluminium Alloy 6061-O dan Pengelasan *Longitudinal Tungsten Inert Gas* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro". *Jurnal Teknik Mesin*, (UNDIP), Vol. 2, No. 3.
- [4] Nugraha, Y. D. P., Suharno. & Estriyano, Y. 2017. "Pengaruh *Proses Post Weld Heat Treatment* (*PWHT*) Pada Pengelasan Material Paduan Super Berbasis Nikel Dengan Metode *Tungsten Inert Gas (TIG)* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro". *JIPTEK*, (UNS), Vol. X No. 2.
- [5] Erlangga, D. 2017. "Analisa Struktur Mikro Pada Material Baja Karbon Rendah Akibat Pengelasan Pada Pengujian Impact Dan Pengujian Tarik". *Jurnal Teknik Mesin*, (UBL), vol. 5, no. 1.
- [6] Sardi, V. B., Jokosisworo, S. & Yudo, H. 2018. "Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi". *Jurnal Teknik Perkapalan*, (UNDIP), vol. 6, no. 1.
- [7] Nasra, K. A., Zuldesmi. & Kewas, J. C. 2020. "Pengaruh *Post Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon ST42 dengan Pengelasan *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*". *Actuator Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1.
- [8] Wibowo, F. W., Yudiono, H. & Widayat, W. 2013. "Pengaruh *Holding Time Annealing* Pada Sambungan *SMAW* Terhadap Ketangguhan Las Baja KR945". *Skripsi Teknik Mesin*, Universitas Negeri Semarang.
- [9] Limbong, S. R. & Yulianto, T. 2016. "Analisa ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu Dan *Quenching* Terhadap Nilai Ketangguhannya". *Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan*, Intitut Teknologi Sepuluh November, pp. 56-68.
- [10] Ariesta, K., Haryadi, G. D. & Umardani, Y. 2014. "Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (*PWHT*)-*Tempering* Pada Sambungan Medium Carbon Steel NP-42 Dengan Las Thermit Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro". *Jurnal Teknik Mesin*, (UNDIP), S-1, Vol. 2, No. 2.
- [11] Yusuf, N. 2008. *PWHT (Pos Weld Heat Treatment)*. Dunia Welding dan DT: <https://hazwelding.wordpress.com/2008/04/29/pwht-welding/>. Diakses 25 Oktober 2021 Pukul 10.00 WIB.

- [12] Prabowo, Y. R., Rusiyanto. & Widayat, W. 2012. “Pengaruh Temperatur *Annealing* Sambungan Las *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Baja K-945 EMS-45”. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, (UNS), pp. 3 – 4.