

**PENGARUH PWHT DAN QUENCHING PADA SAMBUNGAN LAS PIPA ASTM A 106 GRADE B SETELAH DI REPAIR TERHADAP NILAI UJI TARIK DAN KEKERASAN**

**Khairuddin Satrio Jati Saputro**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: khairuddin.17050754044@mhs.unesa.ac.id

**Yunus**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: yunus@unesa.ac.id

**Abstrak**

Pengelasan pipa kilang termasuk hal penting karena ditinjau dari kegunaannya untuk mengalirkan minyak dan gas maka dari itu sambungan pipa harus mempunyai tingkat ketangguhan tinggi yang dilihat dari tingkat kekuatan tarik dan kekerasannya. Ada beberapa faktor yang mengakibatkan kegagalan dalam pengelasan sehingga perlu dilakukan *repair* pada pengelasan. Penelitian ini dilakukan bertujuan agar mengetahui pengaruh PWHT dan *quenching* terhadap pipa kilang ASTM A 106 Grade B dengan pengelasan *repair* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan. Jenis penelitian yang dipakai adalah jenis eksperimental dengan metode kuantitatif. Data dari hasil penelitian ini dianalisis menggunakan metode *one way anova* dan *independent sample T-test*. Dari penelitian ini didapatkan hasil signifikan dan berpengaruh dari pengelasan *repair* pada pipa kilang ASTM A 106 Grade B yang diberi perlakuan PWHT dan *quenching* dengan nilai kekuatan tarik tertinggi 376,67 N/mm<sup>2</sup> dengan variasi pendingin udara dan nilai kekuatan tarik terendah 367,68 N/mm<sup>2</sup> dengan variasi pendingin air. Kemudian juga terdapat pengaruh yang signifikan pada hasil pegujian kekerasan dengan nilai kekerasan paling tinggi 57,78 HRC dengan variasi pendingin air dan nilai kekerasan terendah 50,51 HRC dengan variasi pendingin udara. Nilai kekerasan *weld metal* paling tinggi sebesar 60,6 HRC pada variasi pendingin air dan nilai kekerasan terendah 48,2 HRC dengan variasi pendingin udara. Nilai kekerasan paling tinggi pada daerah HAZ ada pada variasi air dengan nilai 56 HRC dan nilai kekerasan terendah 47,7 HRC dengan media pendingin udara. Nilai kekerasan paling tinggi pada daerah *base metal* terdapat pada variasi air sebesar 53,65 HRC dan nilai kekerasan paling rendah 48,7 HRC terdapat pada variasi udara.

**Kata kunci:** *Pipa ASTM A 106 Grade B, Pengelasan Repair, PWHT, Quenching, Kekerasan, Kekuatan Tarik*

**Abstract**

*Welding refinery pipes is important because it is seen from it is function to distribute oil and gas so that the pipeline connection must have a high level of toughness seen from the level of tensile strength and hardness. There are several factors that result in failure in welding so it needs to be repaired on welding. The purpose of this study was to determine the influence of PWHT and quenching on ASTM A 106 Grade B refinery pipes with repair welding against tensile strength and hardness. The research used is an experimental type with quantitative methods. The data was analyzed with the one way anova method and independent sample T-test. From this study obtained significant and influential results from repair welding on astm A 106 Grade B refinery pipes that were given PWHT treatment and quenching with the highest tensile value of 376.67 N/mm<sup>2</sup> with air conditioning variation and lowest tensile strength value of 367.68 N/mm<sup>2</sup> with variations in water cooling media. Then there was a significant influence on the results of violent testing with the highest hardness value of 57.78 HRC with a variation in water cooling media and the lowest hardness value of 50.51 HRC with air conditioning media. The highest weld metal hardness value was 60.6 HRC in water cooling media and the lowest hardness value was 48.2 HRC with air media. The highest hardness value in the HAZ section was in the water variation with a value of 56 HRC and the lowest hardness value of 47.7 HRC with air media. The highest hardness value in the base metal is in the water variation of 53.65 HRC and the lowest hardness value of 48.7 HRC is in the air variation.*

**Keywords:** *Refinery Pipe ASTM A 106 Grade B, Repair Welding, PWHT, Quenching, Hardness, Tensile Strength*

**PENDAHULUAN**

Dalam periindustrian *oil* dan gas pipa merupakan media utama untuk meyalurkan aliran *oil* maupun gas dari kilang melalui proses pengolahan hingga sampai tanki

penampungan dan dipasarkan kepada konsumen (Sasongko & Nugroho,2016). Perancangan sistem perpipaan sangat dibutuhkan untuk menjamin pemakaian serta menjamin umur pemakaian dari sistem perpipaan itu

sendiri. Pengelasan memegang peranan penting dalam perkembangan industri karena pengelasan berpengaruh dalam rekayasa penyambungan logam (Wirjosumanto, 2000).

Kegagalan dalam pengelasan dapat berisiko dan menyebabkan konsentrasi yang tidak seimbang dalam tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur material (Mulyaningsih, 2009). Untuk mengatasi kegagalan tersebut perlu dilakukan repair. Dalam kasus tersebut perlakuan *repair* perlu diperhatikan karena memegang peranan penting pada kualitas hasil lasan.

*Post Weld Heat Treatment* (PWHT) adalah salah satu cara metode guna menurunkan tegangan sisa. Pada proses PWHT suhu pemanasan, waktu tahan atau *holding time* dan laju pendinginan termasuk faktor yang penting sebab pemilihan suhu dan waktu tahan dapat mempengaruhi hasil yang maksimal. Perlakuan panas pada pengelasan repair diperlukan guna menaikkan keuletan, mengurangi tegangan internal atau *internal stress*, memperhalus dimensi butir kristal dan menambah tingkat kekerasan ataupun tegangan tarik logam (Cahyono, 2015).

Selain proses *heat treatment* adapun proses *quenching* untuk meningkatkan ketangguhan material. Proses ini termasuk pemanasan material pada temperatur yang ditentukan, ditahan pada waktu yang diinginkan serta pada media pendinginan yang telah ditentukan (Jordi, 2017). Pendinginan langsung setelah dipanaskan pada temperatur tinggi dengan penahanan waktu akan menghasilkan struktur martensit yang bersifat keras dari baja (Basori, 2018).

Tujuan dari penelitian ini yakni untuk mengetahui pengaruh PWHT dan *quenching* pada sambungan las pipa ASTM A 106 Grade B setelah di *repair* terhadap nilai uji tarik dan kekerasan. Dengan pemanasan temperatur 400°C dan *holding time* selama 20 menit serta variasi pendinginan berupa udara atau pendinginan ruang, oli SAE 40, dan air.

## DASAR TEORI

### • Pengelasan *Repair*

Pengelasan *repair* merupakan jenis perbaikan sambungan las yang diakibatkan oleh rusaknya sambungan las sebelumnya sehingga perlu di *repair*. Kerusakan pada sambungan las dapat disebabkan oleh berbagai hal baik kesalahan operator maupun kondisi dari material yang akan dilas.

### • PWHT (*Post Weld Heat Treatment*)

PWHT adalah proses pemanasan material yang terkontrol baik suhu maupun waktu pemanasan dan pendinginan supaya mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan. Fungsi dari PWHT dapat mengubah struktur logam dan mengurangi dampak dari

perubahan struktur mikro akibat pemanasan yang tidak merata atau dekomposisi martensit dan struktur jenuh lainnya.

### • Uji Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu pengujian mekanik dengan cara merusak (*destruktive test*) yang dilakukan dengan cara menarik material hingga terputus supaya dapat mengetahui sejauh mana material tersebut menahan beban. Data yang didapat dari pengujian tarik yaitu kekuatan tarik, kekuatan luluh, ketangguhan, modulus elastisitas, kekuatan patah regangan dan tegangan material.

### • Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari permukaan material. Prinsip pengujian kekerasan yaitu dengan cara menekan sebuah indenter dari bahan tertentu yang lebih keras ke sebuah permukaan material dengan beban dan waktu tertentu. Pengujian kekerasan yang paling umum digunakan yakni ada tiga metode *rockwell*, *vicker* dan *brinell*.

## METODE

Pada penelitian ini metode yang dipakai adalah jenis eksperimental yakni metode guna mengetahui hasil yang ditimbulkan dari perlakuan yang telah diterapkan dengan melakukan pengamatan dibawah kondisi yang sengaja diatur oleh peneliti dan analisa yang digunakan untuk mengetahui pengaruh PWHT dan *quenching* terhadap sifat mekanik pada sambungan las *repair* material pipa ASTM A 106 grade B.

Variasi media pendingin yang digunakan yaitu media udara, oli SAE 40, dan air. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pipa ASTM A 106 grade B yang telah dilakukan pengelasan *repair*.

## Lokasi dan Waktu Penelitian

### • Lokasi Penelitian

- Pengelasan material bahan dilakukan di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia MIGAS Cepu.
- Pengujian tarik dilaksanakan di Politeknik Negeri Malang.
- Pengujian kekerasan dilaksanakan di Universitas Negeri Surabaya.

### • Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan september setelah proposal skripsi diseminarkan.

**Variabel Penelitian**

• **Variabel Bebas**

Media *quenching* Udara, oli SAE 40, dan air

• **Variabel Terikat**

Nilai kuat tarik dan nilai kekerasan

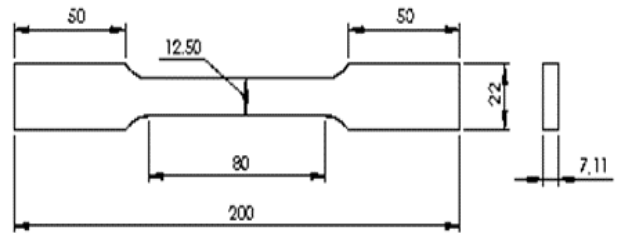
• **Variabel Kontrol**

ASTM A 106 Grade B Ø6,0" tebal 7,1 mm., pengelasan *repair* SMAW, elektroda E7016 Ø 3,2 mm, kampuhlas 70. Posisi pengelasan 6G, pengujian tarik, pengujian kekerasan metode *rockwell hardness tester*, standar pengujian spesimen tarik menggunakan JIS Z 2201 skala HRC dan titik uji kekerasan pada *base metal* dua titik, HAZ dua titik dan *weld metal* satu titik dengan total lima titik per spesimen.

- Menggerinda hasil pengelasan hingga rata dan pipa dipotong kembali
- Membuat kampuh V sudut 70° pada sisi pipa yang telah digerinda
- Mempersiapkan mesin las SMAW dan elektroda E7016
- Melakukan proses pengelasan sebanyak tiga layer (*root weld, filler weld, dan capping weld*)
- Pendinginan dilakukan diruangan terbuka

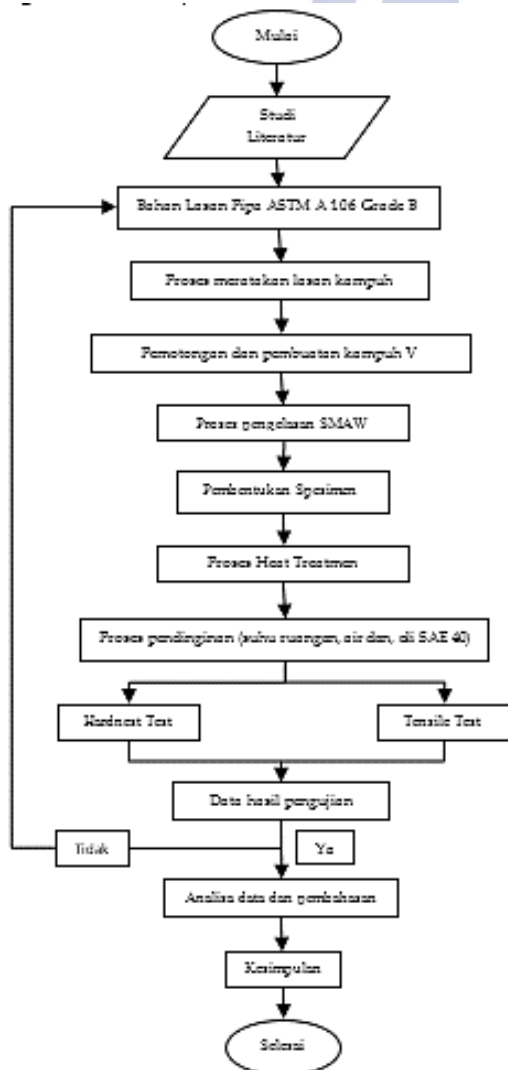
**Pembuatan Spesimen Uji**

- Pembuatan spesimen untuk pengujian tarik mengacu pada standar JIS Z 2201, dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 22 mm dan tebal 7,1 mm. Total jumlah spesimen sebanyak sembilan buah bervariasi.



**Gambar 3.** Sketsa Spesimen Uji Tarik Sesuai Standar JIS Z 2201

**Flowchart Penelitian**



**Gambar 2.** Flowchart Alur Penelitian

**Proses Pengelasan**

- Mempersiapkan material pipa astm a 106 grade b yang telah dilas

**Teknik Analisis Data**

Penelitian ini memakai teknik analisis data metode ANOVA. Kemudian dilakukan Pengujian perbedaan signifikansi data hasil pengujian dengan menggunakan SPSS versi 16. Kemudian dilanjut uji hipotesis minor memakai jenis uji *independent sample T-test*.

**HASIL dan PEMBAHASAN**

**Data Hasil Pengujian**

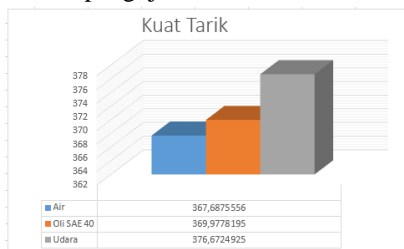
• **Pengujian Tarik**

**Tabel 1.** Data Hasil Pengujian Tarik

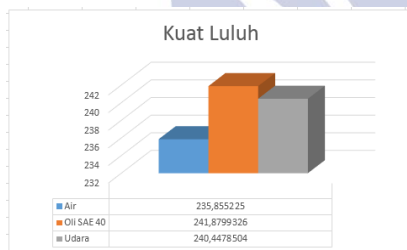
MEDIA PENDINGIN	SPS	BEBAN (N)	KUAT TARIK (N/mm <sup>2</sup> )	KUAT LULUH (Mpa)	ELONGASI (%)
UDARA	A1	32693,41	373,6390	232,3111	15,48%
	A2	33454,41	382,3361	272,9947	12,82%
	A3	34042,80	389,0606	242,5997	13,28%
	A4	32595,34	372,5182	234,1043	14,21%
	A5	33715,26	385,3173	255,4884	16,98%
	A6	32246,23	368,5283	230,2713	12,02%
	A7	33599,54	383,9948	241,8152	12,47%
	A8	32112,86	367,0041	225,0934	15,02%
	A9	32169,73	367,6541	229,3523	14,04%
RATA-RATA		32958,84	376,6725	240,4479	14,04%
OLI SAE 40	B1	31846,12	363,9556	250,1536	12,36%
	B2	34423,30	393,4092	270,6411	12,82%
	B3	32150,12	367,4301	233,8802	15,48%
	B4	30218,21	345,3510	214,2221	13,86%
	B5	33332,80	380,9463	249,6157	11,55%
	B6	31963,80	365,3005	238,3408	11,21%
	B7	31757,86	362,9469	239,7306	13,05%
	B8	33691,73	385,0483	250,0864	15,37%
	B9	31973,60	365,4126	230,2489	13,20%
RATA-RATA		32373,06	369,9778	241,8799	13,21%
AIR	C1	32283,49	368,9542	229,1058	15,60%

MEDIA PENDINGIN	SPS	BEBAN (N)	KUAT TARIK (N/mm <sup>2</sup> )	KUAT LULUH (Mpa)	ELONGASI (%)
	C2	32173,66	367,6993	231,1904	15,00%
	C3	33370,07	381,3722	244,7741	15,00%
	C4	32305,07	369,2008	231,8628	11,60%
	C5	33324,96	380,8567	260,8681	12,80%
	C6	30630,09	350,0582	227,0436	10,00%
	C7	30129,95	344,3423	226,5280	10,10%
	C8	33148,44	378,8393	244,4378	12,50%
	C9	32188,22	367,8654	226,8867	15,20%
	RATA-RATA	32172,66	367,6876	235,8552	13,09%

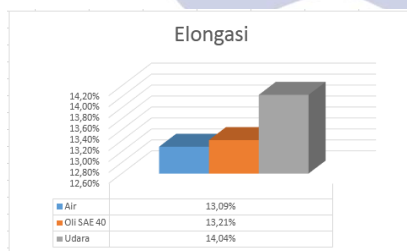
Dari perhitungan data pengujian tarik yang telah dilakukan kemudian disajikan tabel.1 diatas, berikut grafik yang telah dibuat untuk mempermudah membandingkan rata-rata nilai hasil pengujian tarik :



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tarik



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Luluh



Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Elongasi

Sambungan las *repair* pipa ASTM A 106 Grade B menggunakan media pendingin udara mempunyai kekuatan tarik rata-rata sebesar 376,67 N/mm<sup>2</sup>, kuat luluh 240,44 MPa dan elongasi 14,04%. Untuk media pendingin air mempunyai kekuatan tarik rata-rata sebesar 367,68 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan luluh 235,85 MPa dan elongasi 13,09%. Untuk media pendingin oli SAE 40 mempunyai kekuatan tarik rata-rata sebesar 369,97 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan luluh 241,87 MPa dan elongasi 13,21%. Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada diagram di atas disimpulkan jawaban sementara bahwa perlakuan PWHT dan *quenching* berpengaruh pada kekuatan tarik material. Supaya kesimpulan tersebut akurat, kemudian dilakukan

teknik analisis data menggunakan metode ANOVA dan kemudian dilanjutkan dengan uji hipotesis memakai jenis uji *independent sample T-test*.

Tabel 3. Data Hasil Uji T-Test Nilai Kuat Tarik

No.	Variasi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Sig. (2-tailed)	t	keterangan
1	Udara	9	379,7836	6,43829	2,14610	0,098	1,738	Tidak ada perbedaan yang signifikan
	Oli	9	372,2011	11,22719	3,74240		1,738	
2	Udara	9	379,7836	6,43829	2,14610	0,002	3,593	Ada perbedaan yang signifikan
	Air	9	367,2432	8,25689	2,75230		3,593	
3	Oli	9	372,2011	11,22719	3,74240	0,302	1,067	Tidak Ada perbedaan yang signifikan
	Air	9	367,2432	8,25689	2,75230		1,067	

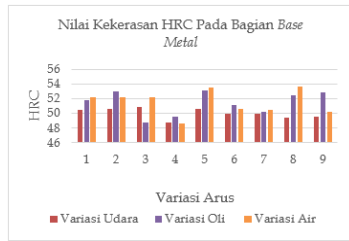
Dari hasil data pengujian T-test tabel 3 di atas, didapatkan hasil bahwa variasi udara dan air mempunyai pengaruh signifikan dilihat dari taraf signifikansi tidak kurang dari taraf yang ditentukan yaitu *alpha* 0,05. Dari hasil pengujian data diatas akhirnya dapat disimpulkan bahwa Ho ditolak dan Ha diterima untuk perbandingan variasi media pendingin udara dan air.

• Pengujian Kekerasan

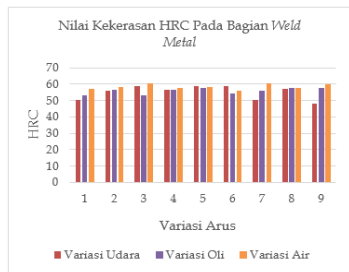
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi	Spesimen	Nilai/Titik Uji			
		Base Metal	Weld Metal	HAZ	HRC
Udara	1	50,5	50,2	50,7	50,52
Udara	2	50,6	56,2	49,55	51,3
Udara	3	50,8	59	48,8	51,64
Udara	4	48,7	56,4	47,7	49,84
Udara	5	50,65	59	48,4	51,42
Udara	6	49,95	58,9	47,7	50,84
Udara	7	49,9	50,4	49,05	49,66
Udara	8	49,35	56,8	49,05	50,72
Udara	9	49,6	48,2	48	48,68
Rata-Rata HRC Spesimen Variasi A					50,51
Oli	1	51,8	53	52,1	50,8
Oli	2	52,95	56,7	55,85	52,05
Oli	3	48,7	53,4	51,4	49,5
Oli	4	49,5	56,3	50,5	50,25
Oli	5	53,1	57,8	53,25	49,4
Oli	6	51,15	54,2	51,95	48,95
Oli	7	50,15	55,8	52,35	49,95
Oli	8	52,4	57,9	57,1	52,1
Oli	9	52,8	57,6	56,1	51,1
Rata-Rata HRC Spesimen Variasi B					51,91
Air	1	52,2	57	51,8	53
Air	2	52,2	58,2	50,8	52,84
Air	3	52,15	60,2	48,55	52,32
Air	4	48,6	57,4	51,5	51,52
Air	5	53,55	58,4	49,95	53,08
Air	6	50,55	56,2	56	53,86
Air	7	50,4	60,6	49,7	52,16
Air	8	53,65	57,5	51,95	53,74
Air	9	50,15	59,9	51,15	52,5
Rata-Rata HRC Spesimen Variasi C					52,78

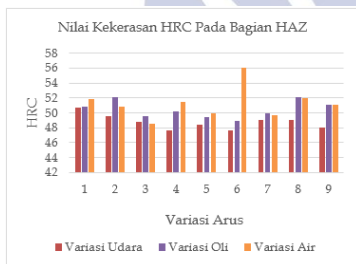
Pengujian nilai kekerasan dilakukan pada tiga lokasi yaitu *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Ketiga bagian tersebut merupakan bagian yang terkena dampak panas dari pengelasan sehingga harus diketahui kekuatannya. Untuk mempermudah dalam menganalisis dibuat grafik dari data di atas sebagai berikut:



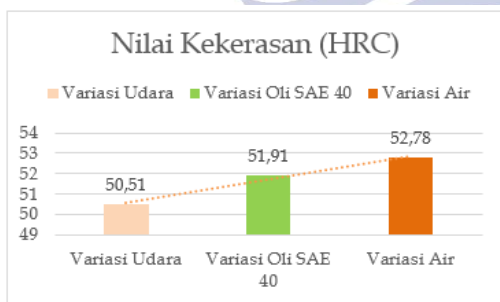
Gambar 7. Grafik Perbandingan Tingkat Kekerasan Base Metal



Gambar 8 Grafik Perbandingan Tingkat Kekerasan Weld Metal



Gambar 9. Grafik Perbandingan Tingkat Kekerasan HAZ



Gambar 10. Diagram Nilai Uji Kekerasan

Hasil pengelasan *repair* pipa ASTM A 106 grade B dengan PWHT menggunakan media pendingin air mempunyai rata-rata nilai kekerasan tertinggi yaitu 52,78 HRC dan nilai kekerasan terendah pada media pendingin udara dengan jumlah rata-rata yaitu 50,51 HRC. Pada area *base metal* nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada variasi pendingin air sejumlah 53,65 HRC. Pada area *weld metal* nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada variasi pendingin air sejumlah 60,60 HRC. Pada area HAZ nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada variasi pendingin air

sejumlah 56 HRC. Kemudian supaya dapat membuktikan bahwa ada pengaruh yang signifikan dilakukan teknik analisis data menggunakan metode ANOVA dan kemudian dilanjutkan dengan uji hipotesis memakai jenis uji *independent sample T-test*.

Tabel 3. Data Hasil Uji T-Test Nilai Kekerasan

No.	Variasi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Sig. (2-tailed)	t	keterangan
1	Udara	9	48,7722	0,96893	0,32298	0,004	-3,378	Ada perbedaan yang signifikan
	Oli	9	50,4356	1,13865	0,37935		-3,378	
2	Udara	9	48,7722	0,96893	0,32298	0,005	-3,246	Ada perbedaan yang signifikan
	Air	9	51,2667	2,09195	0,69732		-3,246	
3	Oli	9	50,4356	1,13865	0,37935	0,322	-1,022	Tidak Ada perbedaan yang signifikan
	Air	9	51,2667	2,09195	0,69732		-1,022	

Dari hasil data pengujian T-test tabel 3 di atas, didapatkan hasil bahwa variasi udara dan air mempunyai pengaruh signifikan dilihat dari taraf signifikansi tidak kurang dari taraf yang ditentukan yaitu  $\alpha$  0,05. Dari hasil pengujian data diatas akhirnya dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima untuk perbandingan variasi media pendingin udara dan air.

### Hasil Analisa

- Pengujian Tarik**

Dari hasil data pengujian tarik yang telah dilaksanakan disimpulkan bahwa pengelasan *repair* pipa kilang yang menggunakan variasi media pendingin udara memiliki rata-rata nilai kekuatan tarik yang tertinggi dari variasi lainnya dengan jumlah rata-rata 376,6725 N/mm<sup>2</sup> sedangkan variasi Oli SAE 40 memiliki jumlah rata-rata 369,9778 N/mm<sup>1</sup> dan variasi air memiliki jumlah rata-rata 367,6876 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini dikarenakan media pendingin udara termasuk pendinginan lambat. Variasi pendingin udara memberikan waktu pada material agar dapat menghasilkan kristalisasi dan mengikat unsur dari logam.



Gambar 11. Hasil Pengujian Tarik

- Pengujian Kekerasan**

Dari dara hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa bahwa pengelasan *repair* pipa kilang yang memakai variasi pendingin air mempunyai rata-rata nilai kekerasan paling tinggi dari variasi lainnya dengan jumlah rata-rata 52,78 HRC sedangkan variasi Oli SAE 40 memiliki jumlah rata-rata 51,91 HRC dan variasi udara memiliki jumlah

ratarata 50,51 HRC. Pendinginan memakai media air dapat memberikan pendinginan lebih cepat dibandingkan dengan oli karena viskositas media air lebih kecil sehingga dapat lebih cepat menyerap panas sehingga akan dingin lebih cepat. Air mempunyai sifat menyerap panas sepuluh kali lebih cepat dari pada oli.



**Gambar 12.** Hasil Pengujian Kekerasan

## PENUTUP

### Kesimpulan

- Hasil pengujian tarik material pipa kilang ASTM A 106 grade B hasil sambungan las *repair* dengan PWHT dan media *quenching* udara memiliki rata-rata nilai kekuatan tarik tertinggi dari variasi lainnya dengan rata-rata 376,67 N/mm<sup>2</sup> sedangkan variasi Oli SAE 40 memiliki rata-rata 369,97 N/mm<sup>2</sup> dan variasi air memiliki nilai terendah dengan rata-rata 367,68 N/mm<sup>2</sup>.
- Hasil pengujian kekerasan material pipa kilang ASTM A 106 grade B hasil sambungan las *repair* dengan PWHT dan media *quenching* air memiliki rata-rata nilai kekerasan tertinggi dari variasi lainnya yakni 52,78 HRC sedangkan media pendingin Oli SAE 40 memiliki rata-rata 51,91 HRC dan nilai kekerasan terkecil ada pada media pendingin udara sebesar 50,51 HRC.
- Pada hasil pengujian tarik dan kekerasan menghasilkan data yang berbanding terbalik hal tersebut dimungkinkan karena material yang mempunyai nilai kekuatan tarik yang tinggi merupakan material yang ulet dibandingkan material yang mempunyai kekerasan yang baik merupakan material yang memiliki permukaan keras ataupun getas. Hasil ini sama seperti penelitian sebelumnya yang menjelaskan. Hubungan antara kekerasan dari suatu material tidak selalu berbanding lurus dengan kekuatan tarik, karena dua hal tersebut memiliki arti yang tak sama. Kekerasan merupakan ketahanan material terhadap deformasi pada permukaan, sedangkan kekuatan tarik merupakan ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terjadi di seluruh bagian material. (Achmadi, 2017)

### Saran

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dan dapat memvariasi PWHT, memvariasi media *quenching* maupun jenis pengujian mekanik lainnya.
- Ketika pengelasan harus memperhatikan faktor seperti waktu dalam pengelasan, sebab pengelasan repair pipa tidak semudah pengelasan pipa baru.

- Pada proses pengujian kekerasan perlu dilakukan uji kekerasan pada bagian permukaan dalam pipa tidak hanya bagian permukaan luar, dikarenakan permukaan pipa bagian dalam nantinya akan dialiri fluida yang akan bergesekan dengan dinding pipa bagian dalam.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ungkapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Soeryanto, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Priyo Heru Adiwibowo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1-Teknik Mesin, Dr. Yunus, M.Pd. selaku dosen pembimbing, Mochamad Arif Irfa'i, S.Pd., M.T dan Dr. Dewanto, M.Pd. selaku dosen penguji skripsi. Kedua orang tua dan teman terdekat yang selalu mendukung untuk menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, A. 2017. "Studi Eksperimen Pengaruh Perlakuan Quenching Dengan Variasi Pendingin Konsentrasi Air Garam Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37". *SIMETRIS*, 11(2), 34-42.
- Basori, B. (2018). Pengaruh Media Quenching terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Paska Hardfacing. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 3(2) 66-72
- Cahyono, Azis. (2015). Heat Treatment (Perlakuan Panas) Dengan Cara Normalizing, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).
- Mulyaningsih, D.R. (2009), "Analisa Resiko Cacat Las Pada Pengelasan Tubular Joint Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram Ishikawa", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Tugas Akhir, Surabaya.
- Sasongko, G., & Nugroho, S. (2016). Analisis Kegagalan Pipa Elbow 180 Pada Furnace. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 4(2), 234-240.
- Wirjosumarto, Harsono & Okumura, T. 1996. "Teknologi pengelasan Logam". Jakarta: pradnya paramita.