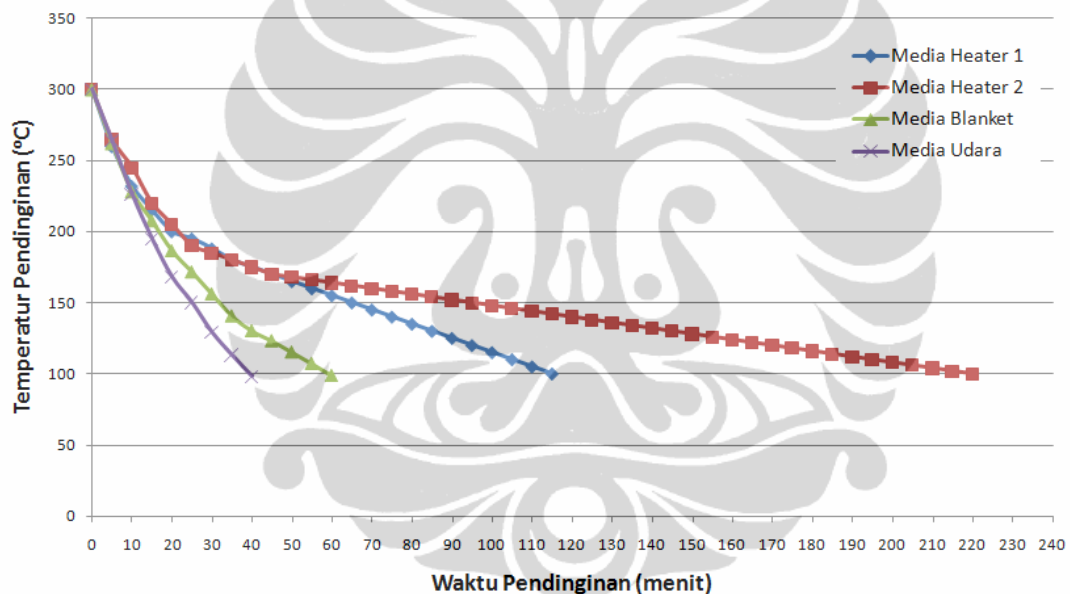


BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Laju Pendinginan

Dari hasil pengukuran temperatur pendinginan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1, diperoleh grafik hubungan antara temperatur pendinginan dan waktu pendinginan yang dibutuhkan seperti tampak pada Gambar 5.1.



Gambar. 5.1. Grafik Laju Pendinginan dari Temperatur 300°C hingga 100°C

Dari grafik di atas, tampak bahwa waktu pendinginan dari temperatur 300°C hingga 100°C media udara sangat cepat dibandingkan media pendinginan lainnya. Sedangkan media pendinginan *heater 2*, waktu pendinginannya sangat lambat. Waktu yang diperlukan untuk pendinginan dari temperatur 300°C hingga 100°C untuk masing-masing media pendinginan ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data Waktu Pendinginan

Media Pendinginan	Rentang Temperatur (°C)	Waktu (menit)
Udara	300 → 100	47
<i>Blanket</i>	300 → 100	58
<i>Heater 1</i>	300 → 100	115
<i>Heater 2</i>	300 → 100	220

Untuk mengetahui pengaruh waktu pendinginan yang diperoleh dengan sensitivitas retak, perlu dihitung waktu pendinginan kritis yang diketahui dari Gambar 2.15. Untuk mendapatkan waktu pendinginan kritis, terlebih dahulu dihitung koefisien sensitivitas retak (P_w) yang mengacu pada persamaan 2.3.

Berdasarkan persamaan 2.2, diperoleh nilai P_{CM} material SHT 780B sebesar 0,29. Jika diasumsikan $H = 4$ (untuk *low hydrogen*), parameter PH diperoleh sebesar 0,067. Parameter $P_k = 0.04$, jika tebal pelat adalah 40 mm dan jenis sambungan adalah *general* (umum). Dengan demikian, koefisien sensitivitas retak P_w yang diperoleh adalah 0.37.

Berdasarkan Gambar 2.15, diperoleh waktu pendinginan kritis untuk $P_w = 0,37$ adalah 300 detik. Waktu pendinginan yang tercantum pada grafik didasarkan pada pengelasan untuk satu *pass*. Untuk pengelasan yang *multipass* diasumsikan waktu pendinginan tersebut dikalikan dengan jumlah *pass* nya.

Pada penelitian ini, pengelasan yang dilakukan termasuk pengelasan *multipass* dengan jumlah *pass* sebanyak 14 *pass*. Dengan demikian, waktu pendinginan kritis dari temperatur 300°C hingga 100°C secara keseluruhan adalah 4200 detik atau 70 menit.

Dari data waktu pendinginan Tabel 5.1, tampak bahwa waktu pendinginan untuk media udara dan *blanket* dibawah temperatur kritisnya sehingga diperkirakan sensitif terhadap terjadinya retak. Sedangkan waktu pendinginan dengan media pendinginan *heater* di atas atau lebih besar dari temperatur kritisnya sehingga dapat diperkirakan kemungkinan terjadinya retak sangat kecil.

5.2 Pemeriksaan NDT

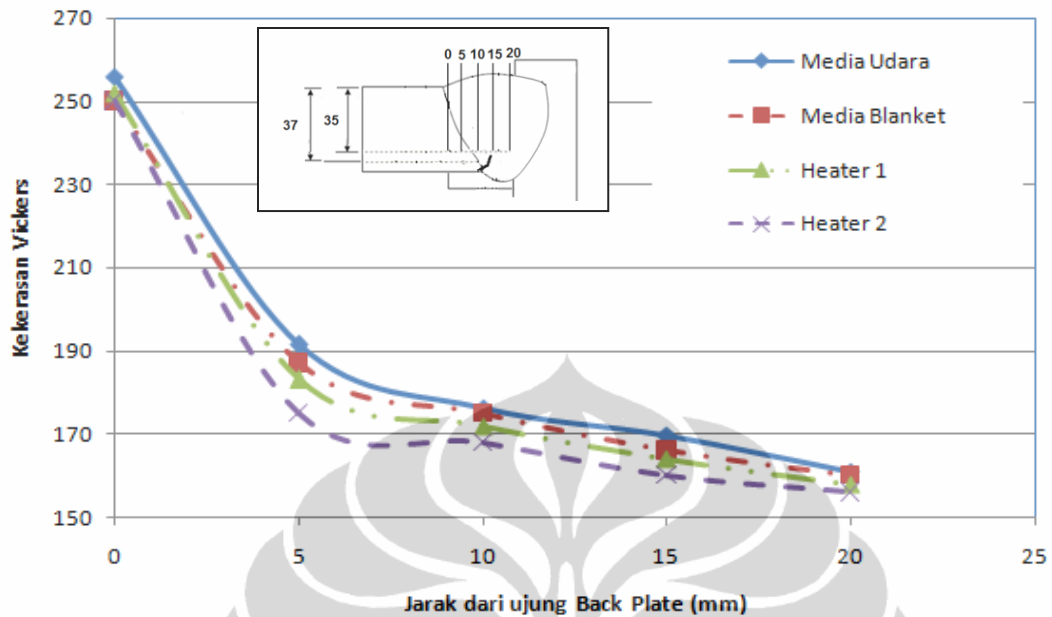
Pemeriksaan NDT dilakukan dengan menggunakan metoda ultrasonik pada daerah lasan untuk masing-masing media pendinginan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya retak yang terjadi pada daerah lasan. Berdasarkan Gambar 4.1,4.2,4.3 dan 4.4, dapat dijabarkan hasil pemriksaan dengan ultrasonik seperti ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan NDT dengan Ultrasonik

Media Pendinginan	Hasil NDT	Kondisi Retak
Udara	Retak	Panjang retakan total 170 mm
<i>Blanket</i>	Retak	Panjang retakan total 145 mm
<i>Heater 1</i>	Tidak ada retak	
<i>Heater 2</i>	Tidak ada retak	

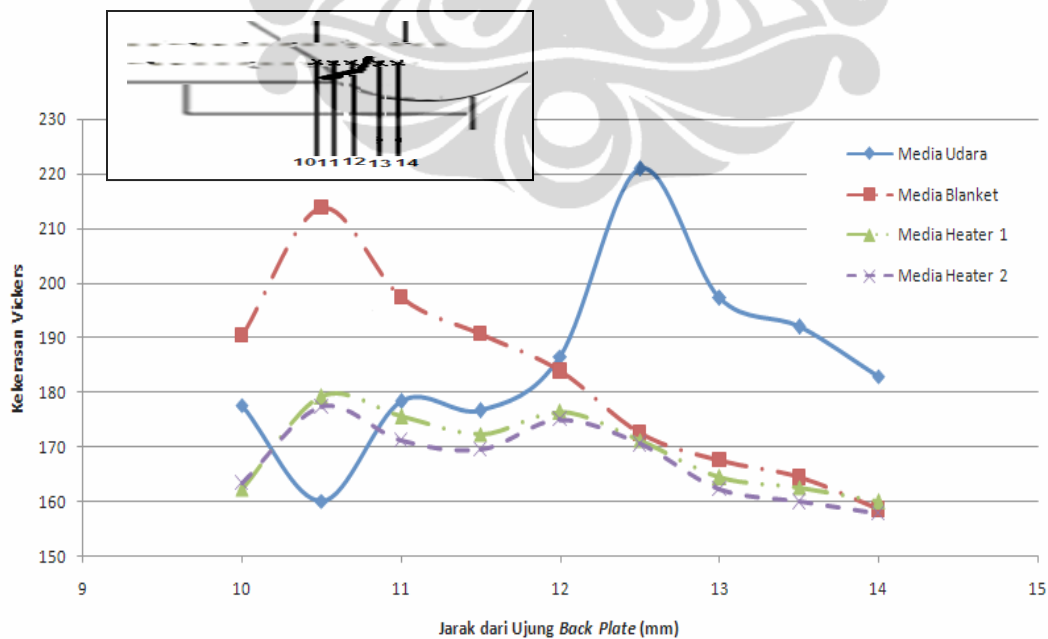
5.3 Pemeriksaan Distribusi Kekerasan

Pada penelitian ini, pengukuran kekerasan dilakukan 37 mm dari permukaan *base metalnya* yang merupakan kedalaman yang sering mengalami retak pada lasan. Untuk mengetahui lokasi lain yang tidak mengalami retak, dilakukan pula uji kekerasan pada kedalaman 35 mm (di atas daerah yang biasa mengalami retak). Hasil dari distribusi kekerasan pada kedalaman tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 sedangkan grafiknya ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Distribusi Kekerasan pada Kedalaman 35 mm *Base metal*

Dari grafik di atas, tampak bahwa pada kedalaman 35 mm dari permukaan *base metal* distribusi kekerasan hampir sama untuk masing-masing media pendinginan. Hal ini menunjukkan pada daerah tersebut tidak terjadi retak.



Gambar 5.4 Distribusi Kekerasan pada Kedalaman 37 mm *Base Metal*

Dari Gambar 5.4, tampak bahwa terdapat distribusi kekerasan yang tidak sama untuk hasil lasan yang menggunakan media pendinginan udara dan media pendinginan blanket. Pada kedua daerah tersebut, terdapat kenaikan kekerasan yang melebihi kekerasan Hv 200. Meskipun nilai kekerasan tidak mencapai 350~ Hv (kekerasan yang sensitif terhadap retak), adanya kenaikan kekerasan yang tiba-tiba dibanding daerah sekitarnya dapat memungkinkan terjadinya retak.

5.4 Pengamatan Metalografi

5.4.1 Pengamatan Secara Makro

Dari pengamatan secara makro pada Gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8, diketahui bahwa retak terjadi pada daerah sambungan antara *back plate* dan logam induk tepat pada daerah *fusion zone*. Retak tersebut merambat ke daerah logam las.

Secara makro, tampak bahwa terdapat celah antara *back plate* dan logam induk. Menurut literatur ^[11], bentuk-bentuk takikan pada daerah lasan seperti *root gap*, *undercut* dan cacat pada *weld toe* merupakan sumber konsentrasi tegangan yang mana dapat akan meningkatkan besarnya tegangan sisa yang terjadi. Celah antara *back plate* dan logam induk pada pengelasan *arm excavator* dapat digolongkan pada bentuk takikan yang menjadi sumber konsentrasi tegangan.

Menurut Nevasmaa ^[3], tegangan sisa arah longitudinal maupun tegangan sisa arah transversal pada *weld root* akan meningkat dengan penambahan jumlah *pass* lasan. Hal ini telah dijelaskan pada Gambar 2.10. Berdasarkan hal tersebut, dapat di asumsikan bahwa pada sambungan *back plate* dan logam induk dimana proses pengelasannya adalah *multi-pass* dapat mengalami tegangan sisa yang lebih besar dibanding pada daerah permukaan logam induk.

Berdasarkan kedua hal diatas, dapat diindikasikan bahwa pada daerah sambungan *back plate* dan logam induk mengalami tegangan sisa yang relatif besar karena diperkuat dengan adanya konsentrasi tegangan. Adanya tegangan sisa yang tinggi dapat menimbulkan resiko retak ^[11].

Namun demikian, faktor konsentrasi tegangan bukan merupakan penyebab utama terhadap terjadinya retak pada pengelasan *arm excavator*. Dari Gambar 4.7 dan

Gambar 4.8, tampak bahwa retak tidak terjadi meskipun terdapat konsentrasi tegangan.

5.4.2 Pengamatan Secara Mikro

Dari pengamatan metalografi secara mikro pada spesimen uji untuk semua media pendinginan, tidak ditemukan adanya struktur mikro yang sangat keras seperti martensit di daerah logam las maupun di daerah HAZ lasan. Hal ini menunjukkan bahwa retak yang terjadi tidak disebabkan oleh tingkat kekerasan yang tinggi.

Proses pengelasan yang menggunakan media pendinginan udara dan *blanket* menghasilkan variasi ukuran butir pada daerah *fusion line* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.17. Pada daerah tersebut, terdapat bagian yang memiliki butir dengan ukuran yang lebih kecil dibanding pada bagian lainnya. Adanya butir dengan ukuran yang lebih kecil diperkirakan terjadi karena pertumbuhan butir tidak membesar akibat laju pendinginan relatif lebih cepat.

Adanya variasi ukuran butir pada *fusion line* berkaitan dengan variasi kekerasan pada daerah tersebut. Ukuran butir yang lebih kecil cenderung lebih keras dan lebih getas dibanding butir dengan ukuran lebih besar. Hal ini dapat diindikasikan dengan terjadinya retak pada daerah dengan ukuran butir yang lebih kecil seperti tampak pada Gambar 4.15 dan 4.17.

Berdasarkan literatur ^[1], adanya variasi lokal struktur mikro ini akan sensitif terhadap terjadinya retak. Media pendinginan proses pengelasan yang berperan dalam mengontrol laju pendinginan akan berpengaruh terhadap terbentuknya variasi lokal struktur berupa variasi ukuran butir.

5.5 Pengamatan Fraktografi Menggunakan SEM

Pengamatan fraktografi ini dilakukan pada bagian lasan yang mengalami retak. Dari retakan tersebut, dibuat spesimen uji SEM yang memperlihatkan permukaan patahan daerah retakan.

Dari hasil pengamatan fraktografi seperti tampak pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19, terlihat adanya *cleavage* pada daerah permukaan retakan. Hal tersebut menandakan bahwa retakan yang terjadi adalah patah *brittle*. Adanya patahan getas menunjukkan pada sekitar daerah retak memiliki struktur yang keras.

Dari hasil pengamatan dan pemeriksaan di atas, secara umum dapat dirumuskan bahwa fenomena retak yang terjadi pada pengelasan *arm excavator* disebabkan oleh adanya kombinasi faktor struktur mikro yang sensitif dan tegangan. Pengaruh hadirnya hidrogen, seperti halnya fenomena retak dingin pada umumnya, belum terindikasikan dalam penelitian ini.

Struktur mikro yang sensitif dimungkinkan terbentuk pada hasil pengelasan pelat tebal HSLA *arm excavator*. Laju pendinginan yang cepat, akibat penyerapan panas pelat tebal, pada temperatur rendah menghasilkan variasi lokal besar butir pada daerah *fusion line*. Daerah dengan ukuran butir kecil akan menjadi lebih keras dan getas dari daerah sekitarnya yang ukuran butirnya lebih besar. Variasi lokal struktur mikro tersebut menyebabkan strukturnya menjadi sensitif.

Lasan *arm excavator* memiliki tegangan sisa selama proses pengelasan *multipass* berlangsung. Tegangan sisa akan meningkat tajam pada daerah yang memiliki konsentrasi tegangan yaitu celah antara *back plate* dan logam induk yang merupakan daerah *fusion line* pada proses pengelasan tersebut. Tegangan sisa yang tinggi dan struktur mikro yang sensitif yang berlangsung secara simultan diperkirakan menjadi penyebab terjadinya retak pada daerah tersebut.

Untuk menghindari hal tersebut, dapat dilakukan dengan pengontrolan laju pendinginan agar variasi lokal struktur mikro yang signifikan tidak terjadi. Hal ini dibuktikan dari hasil distribusi kekerasan yang menunjukkan bahwa pengerasan lokal pada daerah *fusion line* tidak terjadi pada pengontrolan laju pendinginan dengan menggunakan media pendinginan *heater electric*. Dengan kata lain, retak dapat dihindari dengan mengontrol waktu pendinginan dari temperatur 300°C hingga 100°C melebihi waktu pendinginan kritisnya seperti halnya pengontrolan dengan media pendinginan *heater electric*.