

THE EFFECT OF HARD FACING PROCESS ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF BUCKET TOOTH FOR DIFFERENT MANGANESE CONTENT

Suryo Darmo

Dosen
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi
suryo.darmo@ugm.ac.id

Braam Delfian Prihadianto

Dosen
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi
braam.delfian@ugm.ac.id

High hardness and wear resistance of bucket tooth are required in the face of abrasion and impact. High manganese steel is hard and ductile, making it more suitable for bucket tooth materials. Bucket tooth can wear out and need to be returned to their original size, so that bucket tooth that have been eroded must be coated with a hard material, using a hard facing process. In this study, the hard facing process was carried out in bucket tooth containing 10.4%, 11.60%, 12.70%, 13.60%, and 14.60% men (manganese) elements, using hard facing electrodes of the AWS A5.13 (JIS Z 3251). Hard facing process was using SMAW welding with an average heat input of 1087.43 J/mm. The hard facing process shown that the hardness of weld metal was always lower than of HAZ (Heat Affected Zone) and base metal. The hardness of the weld metal was almost the same for all types of the bucket tooth, which was about 233.478 HVN.

Keywords: Bucket Tooth, Hard Facing, Hardness, Base Metal, Heat Affected Zone.

1. PENDAHULUAN

Kerusakan *bucket tooth* akibat aus akan mengurangi efektifitas kerja eskavator. Penggantian *bucket tooth* yang aus menyebabkan biaya operasi eskavator menjadi tinggi. Perbaikan *bucket tooth* dengan proses *hardfacing* merupakan usaha penyelesaian dalam menurunkan biaya tinggi. *Hardfacing* adalah proses perbaikan pada permukaan logam, menggunakan proses pengelasan dengan material baru yang lebih keras untuk menambah ketahanan aus dan memperpanjang umur. Penurunan sifat mekanik *bucket tooth* yang telah mengalami proses *hardfacing* diharapkan tidak banyak terjadi, terutama terhadap kekerasannya. Perubahan struktur mikro *bucket tooth* akibat proses *hardfacing* pasti terjadi sehingga mempengaruhi sifat kekerasannya. Perbaikan *bucket tooth* yang berulang-ulang dengan proses *hardfacing* akan terbatas bila perubahan struktur mikro dan kekerasannya sudah tidak memenuhi syarat lagi untuk operasi *bucket tooth*. Penelitian ini langsung dilakukan pada *bucket tooth* hasil pengecoran yang dibuat dari baja mangan tinggi, sehingga data hasil pengujian bisa langsung dijadikan acuan oleh industri alat berat dalam pemeliharaan *bucket tooth* dari bahan baja mangan tinggi.

Srisuwan, dkk. [11] melakukan penelitian *hardfacing* pada pelat baja ASTM A572 grade 50 berukuran 100 × 190 × 25 mm, menggunakan elektrode jenis UTP LEDURIT65-based chromium carbide berukuran diameter 4,0 mm. Poses *hardfacing* dilakukan menggunakan las SMAW, tanpa pemanasan awal dan pemanasan *interpass*. Pengelasan dilakukan dengan arus listrik 168 A., tegangan listrik 26 V, dan kecepatan pengelasan 20 mm/min. Setelah pengelasan, benda uji didinginkan hingga temperatur kamar tanpa pengontrolan laju pendinginan (sekitar 20°C/min). Hasil pengujian menunjukkan kekerasan benda uji yang dilas *hardfacing* adalah sekitar 191–199 HV, kekerasan pada *heat affected zone* (HAZ) adalah 323.4 HV, dan kekerasan 2 mm dibawah permukaan las *hardfacing* adalah sekitar 630–655 HV, dan kekerasan pada permukaan luar las *hardfacing* adalah 631–680 HV.

Hardfacing yang dilakukan pada pelat baja paduan khrom rendah (3,5% berat Cr), berukuran 75 mm × 250 mm × 20 mm, menghasilkan kekerasan yang berbeda antara logam dasar, HAZ, logam *buffer*, dan logam las *hardfacing* (3 lapis *hardfacing*). Penelitian tersebut dilakukan oleh Srikarun dan Muangjumburee [9] menggunakan pengelasan SAW. Langkah pertama ialah melakukan proses pengelasan lapis *buffer*, menggunakan elektroda EN 14700: T Fe10. Langkah selanjutnya ialah melakukan proses *hardfacing* sebanyak tiga lapis, menggunakan elektroda baja martensitik EN 14700: T Fe 8. Pendepositan *hardfacing* menggunakan

sepasang kawat (*twin wire*) SAW, 600 A, 30 V, polaritas DC+, diameter elektroda 2,4 mm, kecepatan pengelasan 60 cm/min, dan masukan panas pengelasan 18 kJ/cm. Pengelasan selama *hardfacing* menggunakan elektroda baja martensitik 2g/cm dan menghasilkan prosentase *dilution* sekitar 56%. Kekerasan rata-rata pada daerah logam dasar, HAZ, *buffer*, lapis *hardfacing* 1, lapis *hardfacing* 2, dan lapis *hardfacing* 3, masing-masing adalah 189,1 HV, 416,6 HV, 260,2 HV, 439,3 HV, 556,4 HV, dan 541,7 HV.

Correa, dkk.[2] melakukan penelitian *hardfacing* pada pelat *mild steel* yang tebalnya 40 mm. *Hardfacing* dilakukan dengan *open arc welding*, menggunakan *Hardfacing Cored Wires* berdiameter 2,8 mm. Pengelasan menggunakan arus listrik 450 hingga 500 A, tegangan 28 hingga 31 V (DC), polaritas DC+, laju pengumpanan kawat 4,5 m/min, kecepatan las 1,5 m/min, sudut elektroda 10° terhadap permukaan pelat, *stick-out* 30 mm, *bead step over* 6 mm, dan laju pendepositan adalah 7,5 kg/h. Pendepositan dilakukan sebanyak delapan lapis, menggunakan dua macam elektrode yaitu paduan HCO (mengandung 4,85%C, 0,8%Si, 1,1%Mn, 24,5%Cr, Fe Balance) dan paduan CNO (mengandung 4,80%C, 0,9%Si, 0,7%Mn, 21,5%Cr, 7%Nb, Fe Balance). Kekerasan rata-rata pada permukaan hingga kedalaman 6 mm dari permukaan adalah 793 HV untuk paduan HCO dan 763 HV untuk paduan CNO.

Yang, dkk. [13] melakukan penelitian *hardfacing* pada pelat baja karbon rendah, berukuran 300 mm x 100 mm x 10 mm, menggunakan pengelasan SMAW. Pendepositan dilakukan sebanyak 6 lapis, menggunakan dua macam elektroda *hardfacing* yaitu S1 (mengandung 0,152%C, 0,632%Si, 0,330%Mn, 12,31%Cr, 0,158%Nb, Fe Balance) dan S2 (mengandung 0,152%C, 0,689%Si, 0,334%Mn, 12,41%Cr, 0,156%Nb, 0,263%Ti, Fe Balance). Kekerasan lapisan *hardfacing* menggunakan elektroda S1 dan S2, masing-masing adalah 46,2 HRC dan 45,2 HRC.

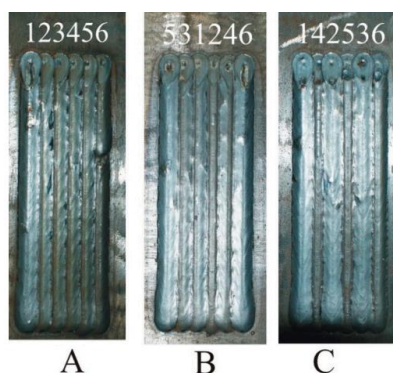
Kenaikan kekerasan *hardfacing* kadang diikuti oleh rendahnya laju keausan. Keadaan ini terjadi pada hasil *hardfacing* dari *dragline bucket tooth* [8]. *Draglines teeth* yang dikeraskan dengan proses *hardfacing* terbuat dari baja paduan rendah (mengandung 0,33%C, 1,28%Mn, 0,28%Si, 0,17%Cr, 0,22%Mo, Fe Balance). Elektroda yang digunakan pada proses *hardfacing* menggunakan tiga jenis yaitu ESAB Cobalarc-9 (mengandung 4%C, 1,2%Mn, 1%Si, 30%Cr, 1,9%Mo, Fe Balance), ESAB OK 84.84 (mengandung 3%C, 2%Si, 8%Cr, 6%V, 6%Ti, Fe Balance), ESAB OK 84.78 (mengandung 4,5%C, 1%Mn, 0,8%Si, 31,8%Cr, Fe Balance). Kekerasan dari hasil pengujian pada *base metal*, lapis *hardfacing* OK 84.78, lapis *hardfacing* OK 84.84, dan lapis *hardfacing* Cobalarc-9, masing-masing adalah 32, 42, 48, dan 51 HRC, sedangkan keausan setelah 45 menit masing-masing adalah 0,1459, 0,1016, 0,097, dan 0,0556 gram.

Srikarun, dkk.[10] melakukan *hardfacing* pada baja paduan khrom rendah (mengandung 0,38%C, 0,40%Si, 0,52%Mn, 0,17%Ni, 3,42%Cr, 0,30% Mo, Fe Sisa), berukuran 75 mm x 250 mm x 20 mm, dengan proses pengelasan *twin-wire submerged arc welding* menggunakan kawat elektroda berdiameter 2,5 mm. Jenis elektroda yang digunakan adalah *martensitic steel wire* (MA) (mengandung 0,46%C, 1,75%Mn, 0,74%Si, 7,09%Cr, Fe Sisanya), *Low carbon steel wire* (FE) (mengandung 0,10%C, 1,00%Mn, 0,200%Si, Fe Sisanya). Tambahan serbuk juga digunakan untuk memperbaiki sifat kekerasan dan ketahanan aus lapisan *hardfacing*. Jenis serbuk yang digunakan adalah *ferro-chromium powder* (PD1) (mengandung 0,04%C, 2,90%Si, 0,43%Ni, 34,7%Cr, Fe Sisanya), *ferro-carbon powder* (PD2) (mengandung 1,2%C, 0,05%Si, Fe Sisanya), dan *ferro-carbon-chromium powder* (PD3) (mengandung 0,68%C, 0,97%Si, 0,14%Ni, 11,57%Cr, Fe Sisanya). Proses *hardfacing* ada yang dilakukan dengan tambahan serbuk dan ada yang tanpa tambahan serbuk, yaitu *hardfacing* dengan MA saja (tanpa tambahan serbuk), FE saja (tanpa tambahan serbuk), FE+PD1(menggunakan tambahan serbuk PD1), FE+PD2(menggunakan tambahan serbuk PD2), dan FE+PD3(menggunakan tambahan serbuk PD3). Parameter pengelasan yang digunakan pada proses *hardfacing* adalah tegangan listrik 30 V, arus listrik 600 A, kecepatan pengelasan 60 cm/min, dan masukan panas 18 kJ/cm. Kekerasan lapisan *hardfacing* pada MA, FE, FE+PD1, FE+PD2, dan FE+PD3, masing-masing adalah 360 HV, 356 HV, 417 HV, 578 HV, dan 543 HV. dan ketahanan aus masing-masing adalah sekitar 1,35 m/mg, 1,40 m/mg, 1,45 m/mg, 2,10 m/mg, dan 1,75 m/mg. Berdasarkan hasil penelitian ini, ketahanan aus lapisan *hardfacing* akan meningkat bila kekerasannya meningkat.

Sharma dan Kumar [7], melakukan pengujian lapangan (*field trial*) terhadap *bucket tooth* yang permukaannya dikeraskan dengan proses *hardfacing*. *Bucket tooth* terbuat dari baja paduan rendah dengan komposisi 0,24%C, 1,2%Ni, 0,55%Cr, 0,20%Si, dan 0,7%Mn. Elektroda yang digunakan untuk *hardfacing* adalah HAB-90 (mengandung 2,93%C, 0,73%Mn, 1,06%Si, 0,002%S, 20,5%Cr, 0,035%P, 6,55%Ni, dan 3,76%Mo), diameter 5 mm dan panjang 450 mm. Proses *hardfacing* dilakukan menggunakan pengelasan busur D.C. dengan tegangan listrik 25V dan arus 180 A. Hasil pengujian menunjukkan kekerasan logam dasar 36 HRC sedangkan kekerasan pada bagian yang dikeraskan (*hardfacing* HAB-90) adalah 44 HRC. Laju keausan dilakukan dengan uji coba lapangan (*field trial*) selama 10 jam. Kehilangan berat bagian logam dasar adalah 4,19% sedangkan kehilangan berat pada bagian yang dikeraskan (*hardfacing* HAB-90) adalah 3,18%.

Mic'ian, dkk.[5], melakukan penelitian pelapisan permukaan pada pelat baja S355, dilas dengan 6 manik-manik (*beads*) yang berbeda urutan pengelasannya, ukuran pelat 30 cm x 30 cm x 30 mm. Ukuran lebar las tunggal adalah 2 cm dengan tinggi mendekati 3 mm. Pengelasan dibuat *overlap* sehingga lebar pelapisan mencapai 10 cm. Proses pelapisan menggunakan las GMAW dengan parameter pengelasan: tegangan 28,3 V,

arus 290 A, kecepatan pengelasan 0,4 m/min, sudut kemiringan *torch* 90°, jarak ujung kontak ke benda kerja 15 mm. Diameter kawat 1,2 mm, kecepatan pengumpanan 9,5 m/min, dan gas pelindung MIX 21(82% Ar dan 18% CO₂) dengan laju aliran 12 L/min. Panjang lasan 20 cm dibuat di bagian tengah pelat., dan proses pengelasan dilakukan dengan robot. Manik pengelasan dilakukan dengan tiga macam urutan. Jenis urutan manik pengelasan pertama adalah 1-2-3-4-5-6, yaitu setelah membuat manik pengelasan 1 dilanjutkan dengan manik pengelasan 2 yang terletak disebelahnya, dan selanjutnya manik pengelasan 3, 4 dan terakhir 6 (Gambar 1). Jenis urutan manik pengelasan kedua adalah 5-3-1-2-4-6, yaitu manik pengelasan 1 terletak di tengah, dan seterusnya sesuai urutan 2, 3, 4, 5, dan 6 (Gambar 1). Dalam hal ini manik pengelasan 3 terletak di tengah, manik pengelasan 1 dan manik pengelasan 6 di bagian pinggir. Jenis urutan manik pengelasan ketiga adalah 1-4-2-5-3-6 (Gambar 1), yaitu manik pengelasan 1 terletak di pinggir, dan seterusnya sesuai urutan 2, 3, 4, 5, dan 6. Kekerasan HAZ pada jenis urutan manik pengelasan pertama adalah antara 201 HV dan 391HV. Kekerasan HAZ pada jenis urutan manik pengelasan kedua adalah antara 240 HV dan 350HV. Kekerasan maksimum HAZ pada jenis urutan manik pengelasan ketiga adalah 345HV.



Gambar 1: Urutan manik-manik las pelapisan permukaan baja S355 [5].

- A. Urutan manik-manik las 1-2-3-4-5-6;
- B. Urutan manik-manik las 5-3-1-2-4-6
- C. Urutan manik-manik las 1-4-2-5-3-6

Baja mangan termasuk logam yang mempunyai sifat mampu las yang baik untuk penyambungan maupun perbaikan. Pemanasan setelah proses pengelasan baja mangan tidak dibutuhkan, namun dibutuhkan persiapan permukaan yang sesuai sebelum dilakukan pengelasan. Kandungan karbon pada logam pengisi (elektroda) agak dibatasi agar tidak terjadi retak setelah pendepositan [4].

Panjang busur yang baik pada saat pengelasan adalah kurang lebih sama dengan diameter elektroda yang digunakan. Panjang busur tidak boleh terlalu besar karena menyebabkan busur tidak mantap dan hasil lasannya tidak rata. Pengelasan posisi datar menggunakan elektroda dengan diameter 3 hingga 6 mm, membutuhkan tegangan antara 20 hingga 30 Volt. Arus listrik besar dibutuhkan pada pengelasan baja paduan yang bila dilas menyebabkan daerah HAZ cenderung mengeras. Kecepatan pengelasan tidak boleh terlalu besar karena pendinginan setelah pengelasan menjadi cepat sehingga HAZ cenderung mengeras. Polaritas lurus (elektroda dihubungkan ke kutub negatif) cocok digunakan untuk material yang titik cairnya tinggi karena butuh kapasitas panas tinggi. Daya tembus las tergantung pada besarnya arus pengelasan, makin besar arus listrik maka makin besar daya tembusnya [12].

$$J = 60.E.I/v \quad (1)$$

Keterangan:

- J = Masukan panas pengelasan (Joule/mm)
- E = Tegangan listrik (Volt)
- I = Arus listrik (Amper)
- v = Kecepatan pengelasan (mm/min)

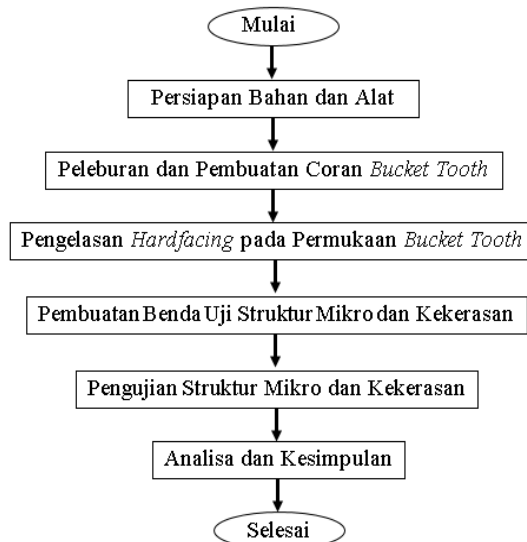
Pemilihan elektroda yang cocok untuk *hardfacing* baja mangan tinggi adalah jenis baja mangan austenitik dengan komposisi (0,6-1,2)%C, (0,5-1,1)%Si, (11,1-14,9)%Mn, (0,05)%P, (0,01)%S, (0,1)%Cr, (0,1)%Ni, (0,1)%V, (0,1)%Nb. Pengelasan menggunakan polaritas AC atau DC+, dapat dilakukan dengan posisi datar hingga posisi di atas kepala. Elektroda ini cocok untuk komponen yang mengalami beban bentur yang besar dan abrasi-sedang [3]. Besar masukan panas pengelasan yang dibutuhkan untuk proses *hardfacing* dihitung dengan Persamaan 1 [1]. Temperatur pengelasan yang tinggi dihasilkan oleh arus pengelasan yang tinggi dan menyebabkan kekerasan menjadi turun [16].

2. METODE DAN BAHAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *bucket tooth* baja mangan dan elektroda *hardfacing* AWS A5.13 (JIS Z 3251), sedangkan peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Mesin gerinda.
2. Tungku lebur dan cetakan.
3. Kaliper.
4. Mesin polish.
5. Mesin las SMAW.
6. Alat uji kekerasan (Merk: Shimadzu HMV-M3).
7. Mikroskop optik (Merk: Olympus).
8. Alat uji komposisi logam (Spektrometer, merk: Hilger).

Alur dari penelitian ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2: Diagram alir penelitian.

Sekrap baja mangan yang komposisinya telah dirancang dilebur menggunakan tungku induksi dan dituangkan dalam cetakan pasir seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Cetakan pasir yang telah dingin dibongkar untuk diambil *bucket tooth* yang telah jadi, selanjutnya dilakukan *finishing*. *Bucket tooth* cor terdiri dari 5 macam dengan kandungan mangan 10,4%, 11,60%, 12,70%, 13,60%, dan 14,60%. Data komposisi diambil dari sebagian ujung *bucket tooth* (Gambar 5) menggunakan spektrometer Hilger.



Gambar 3: Proses peleburan (a) dan penuangan cairan logam ke dalam cetakan (b).



Gambar 4: *Bucket tooth* yang sudah diproses *finishing*

Gambar 4 adalah salah satu *bucket tooth* yang sudah diproses *finishing*. Sampel pengujian untuk uji

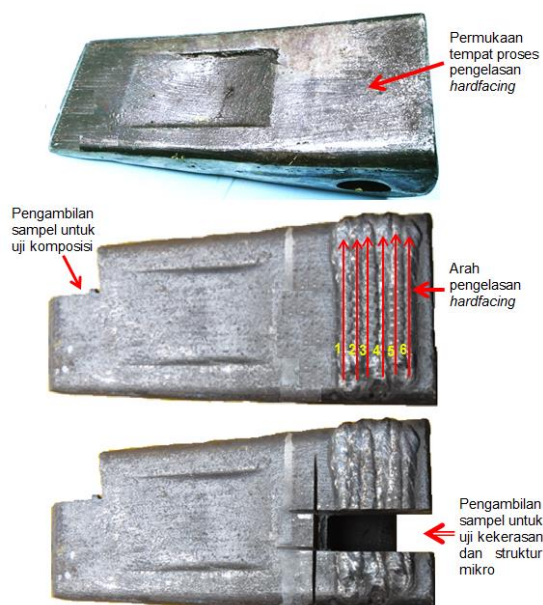
komposisi kimia diambil pada bagian ujung *bucket tooth* seperti ditunjukkan pada Gambar 5, dan hasil pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer ditunjukkan pada Tabel 1. Proses *hardfacing* dipilih pada bagian belakang *bucket tooth* yaitu pada bagian yang tebalnya sama, yaitu 15 mm (Gambar 6). Gambar 5 menunjukkan tempat permukaan yang diproses *hardfacing*, dilakukan sebanyak 5 jalur manik-manik dengan arah pengelasan sama, dan dibuat sedikit *overlap*. Bagian tengah diambil setebal sekitar 1 cm, digunakan untuk sampel pengujian kekerasan dan struktur mikro. Spesimen uji kekerasan dan struktur mikro yang telah dilakukan penghalusan permukaan dan telah dietsa ditunjukkan pada Gambar 6. Pengujian kekerasan dan struktur mikro dilakukan pada *weld metal* (titik 1), *Heat Affected Zone* (HAZ, titik 2 dan 3), *base metal* (titik 4 dan 5) seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers. *Heat input* pengelasan rata-rata yang dilakukan pada penelitian ini adalah 1087,43 J/mm.

Tabel 1: Komposisi kimia bucket tooth.

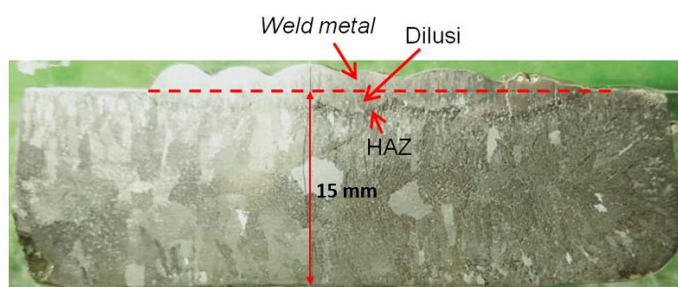
UNSUR	KOMPOSISI KIMIA (% BERAT)				
	Spesimen Nomer 1	Spesimen Nomer 2	Spesimen Nomer 3	Spesimen Nomer 4	Spesimen Nomer 5
C	1,10	1,10	1,08	1,22	1,28
Si	0,50	0,54	0,61	0,48	0,55
Mn	10,40	11,60	12,70	13,60	14,60
P	0,030	0,011	0,044	0,051	0,056
S	0,015	0,015	0,020	0,020	0,012
Cr	0,94	0,95	0,91	0,90	0,87
Fe	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>

Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 7. Kekerasan rata-rata *weld metal* (posisi/titik 1) untuk semua jenis *bucket tooth* adalah 233,478 HVN. Kekerasan *weld metal* paling tinggi terjadi pada kandungan mangan 13,6% Mn, yaitu 245,88 HVN, sehingga sangat cocok untuk dilakukan pengerasan permukaan (*hardfacing*). Kekerasan sebagian besar *weld metal* lebih rendah dari pada kekerasan dari *Heat Affected Zone* (HAZ) maupun *base metal*. Pola perubahan kekerasan pada *base metal* di bagian tengah dan pinggir (posisi/titik 4 dan 5) hampir sama. Kekerasan tertinggi terjadi pada kandungan mangan 10,4% dan 13,60% Mn, sedangkan yang terendah terjadi pada 12,70% Mn. Kekerasan *base metal* di bagian tengah selalu lebih besar dari bagian tepi karena terbentuk karbida lebih banyak. Karbida mempunyai lebih banyak waktu untuk bisa terbentuk karena proses pendinginan bagian tengah lebih lambat dari pada bagian tepi. Dilusi adalah bagian base metal yang ikut mencair dan terjadi pencampuran antara logam elektroda dan base metal. Kekerasan dan kekuatan dilusi dipengaruhi oleh *weld metal* dan *base metal*, sehingga sifat mekanis *weld metal* bisa mewakili sifat mekanik dari dilusi.

Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 7. Kekerasan rata-rata *weld metal* (posisi/titik 1) untuk semua jenis *bucket tooth* adalah 233,478 HVN. Kekerasan *weld metal* paling tinggi terjadi pada kandungan mangan 13,6% Mn, yaitu 245,88 HVN, sehingga sangat cocok untuk dilakukan pengerasan permukaan (*hardfacing*). Kekerasan sebagian besar *weld metal* lebih rendah dari pada kekerasan dari *Heat Affected Zone* (HAZ) maupun *base metal*. Pola perubahan kekerasan pada *base metal* di bagian tengah dan pinggir (posisi/titik 4 dan 5) hampir sama. Kekerasan tertinggi terjadi pada kandungan mangan 10,4% dan 13,60% Mn, sedangkan yang terendah terjadi pada 12,70% Mn. Kekerasan *base metal* di bagian tengah selalu lebih besar dari bagian tepi karena terbentuk karbida lebih banyak [14]. Karbida mempunyai lebih banyak waktu untuk bisa terbentuk karena proses pendinginan bagian tengah lebih lambat dari pada bagian tepi. Dilusi adalah bagian *base metal* yang ikut mencair dan terjadi pencampuran antara logam elektroda dan *base metal*, sehingga sifat mekanisnya tergantung pada komposisi dan struktur mikro baru yang terjadi [15]. Elektroda AWS A5.13 (JIS Z 3251) sangat cocok untuk *hardfacing* semua *bucket tooth* dengan kandungan mangan yang bervariasi, hal ini ditunjukkan dengan harga kekerasan yang hampir sama pada *weld metal* (titik 1) pada Gambar 7.



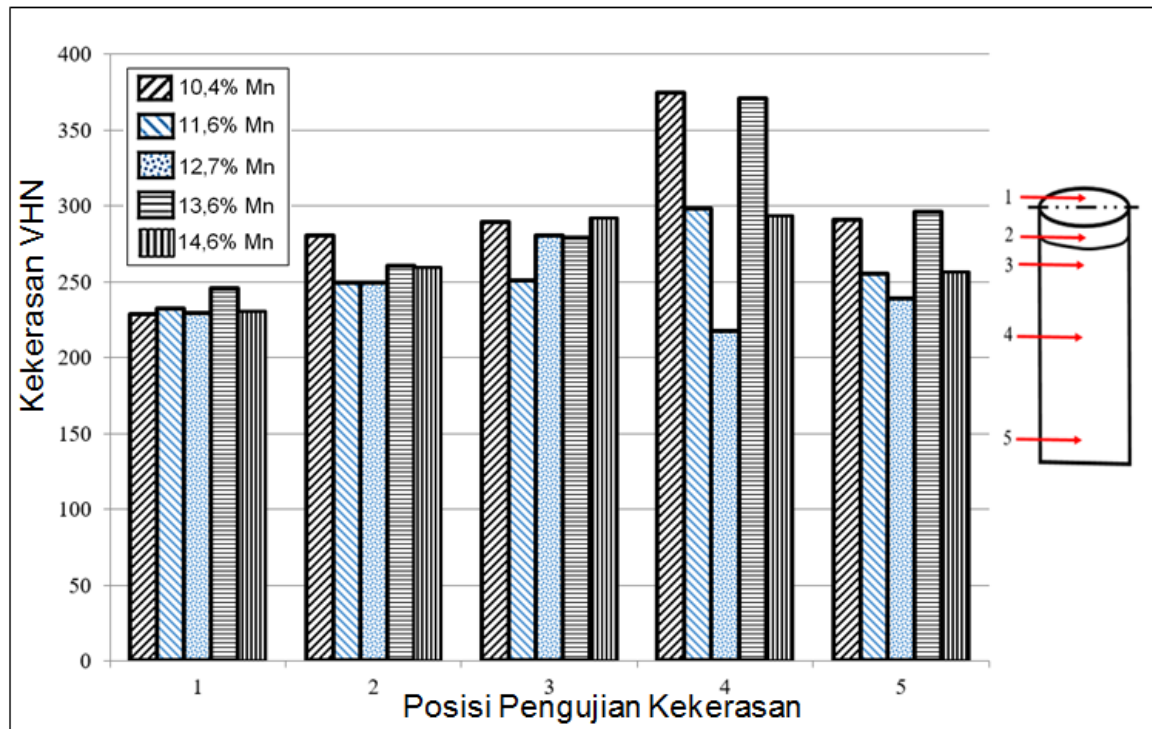
Gambar 5: Proses *hardfacing* dan pengambilan sampel uji kekerasan dan struktur mikro pada *bucket tooth*.



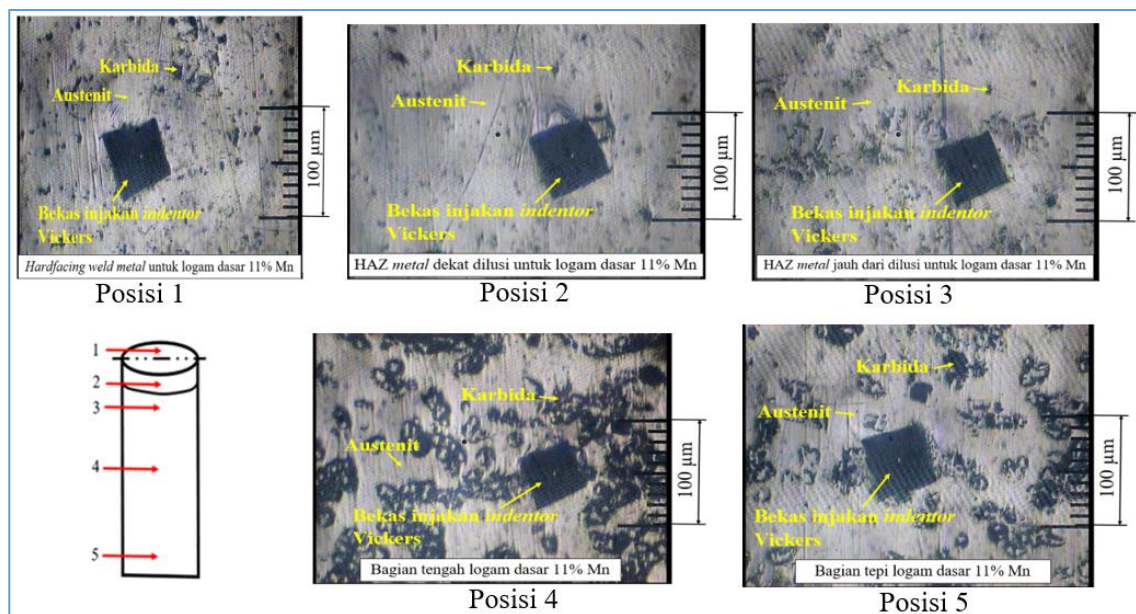
Gambar 6: Spesimen uji kekerasan dan struktur mikro, tebal 15 mm.

Tabel 1: Kekerasan *bucket tooth* pada titik pengujian berbeda.

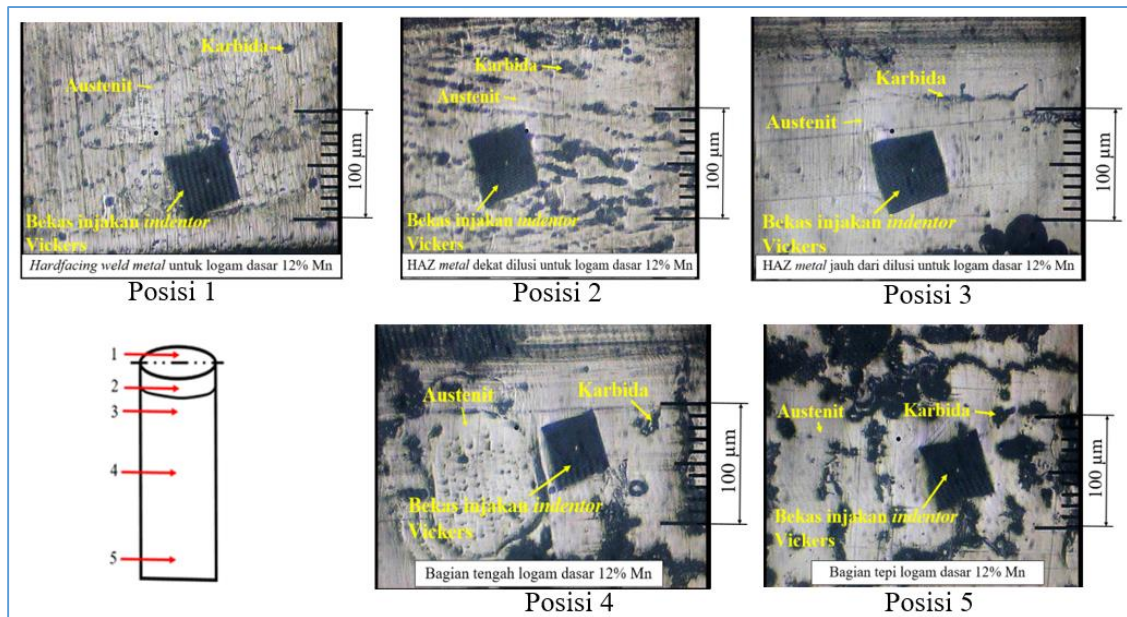
KANDUNGAN MANGAN PADA BUCKET TOOTH (% BERAT)	KEKERASAN (HVN)				
	Titik Pengujian Nomer 1	Titik Pengujian Nomer 2	Titik Pengujian Nomer 3	Titik Pengujian Nomer 4	Titik Pengujian Nomer 5
10,40	228,88	280,26	289,68	374,78	290,89
11,60	232,31	249,70	250,67	298,32	255,60
12,70	229,73	249,70	280,26	217,46	239,41
13,60	245,88	260,68	279,12	371,26	295,81
14,60	230,59	259,65	292,11	293,34	256,60



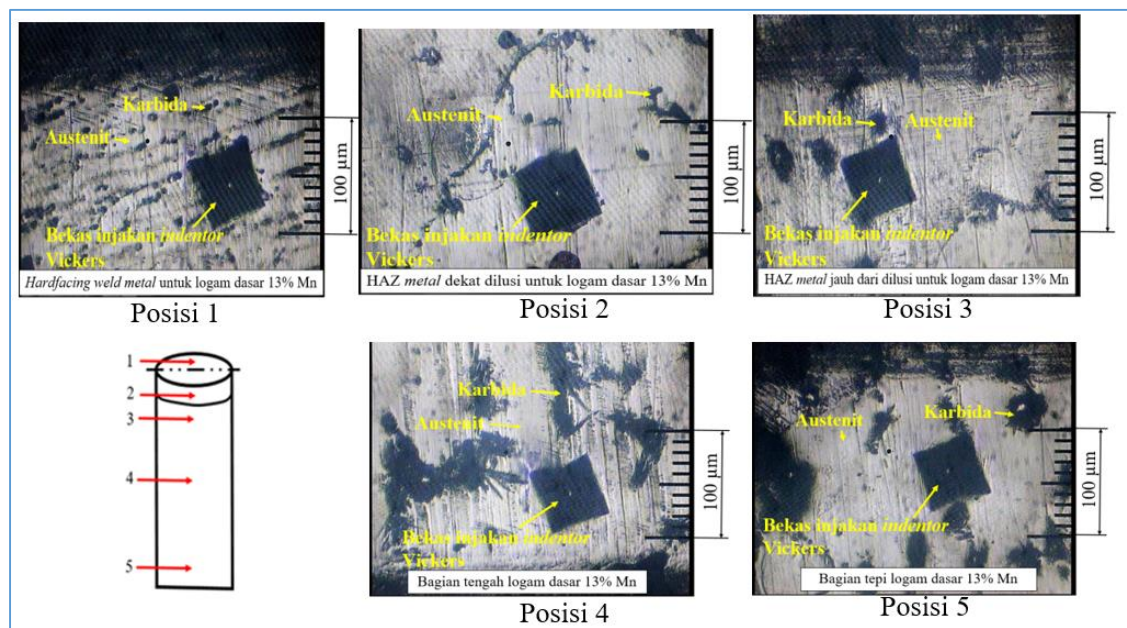
Gambar 7: Hubungan kekerasan dan kandungan Mn pada *bucket tooth*.



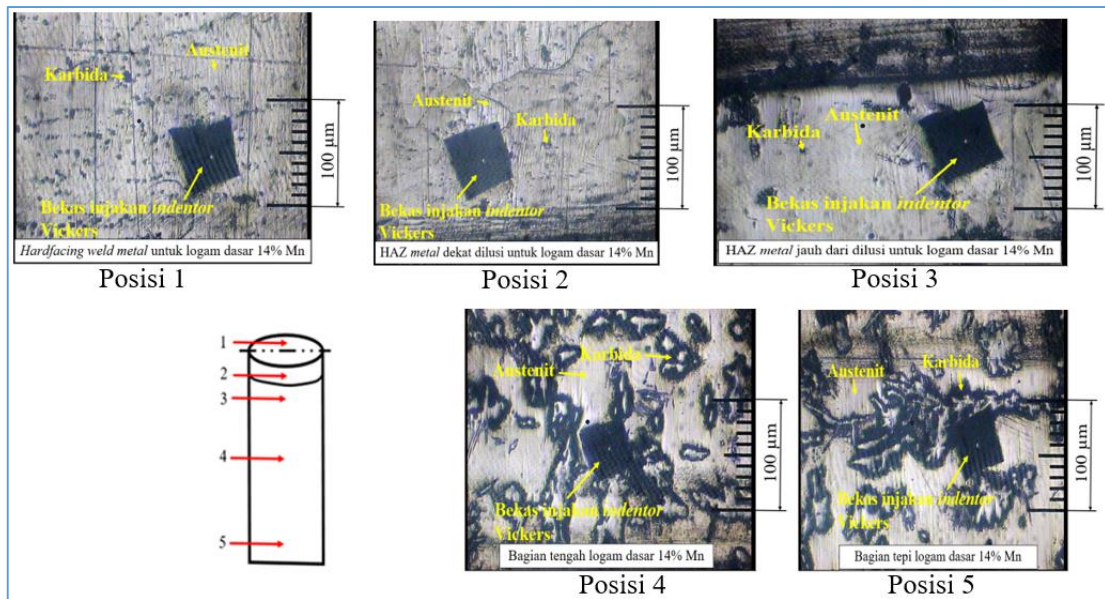
Gambar 8: Struktur mikro baja mangan 10,4% Mn (nominal 11% Mn).



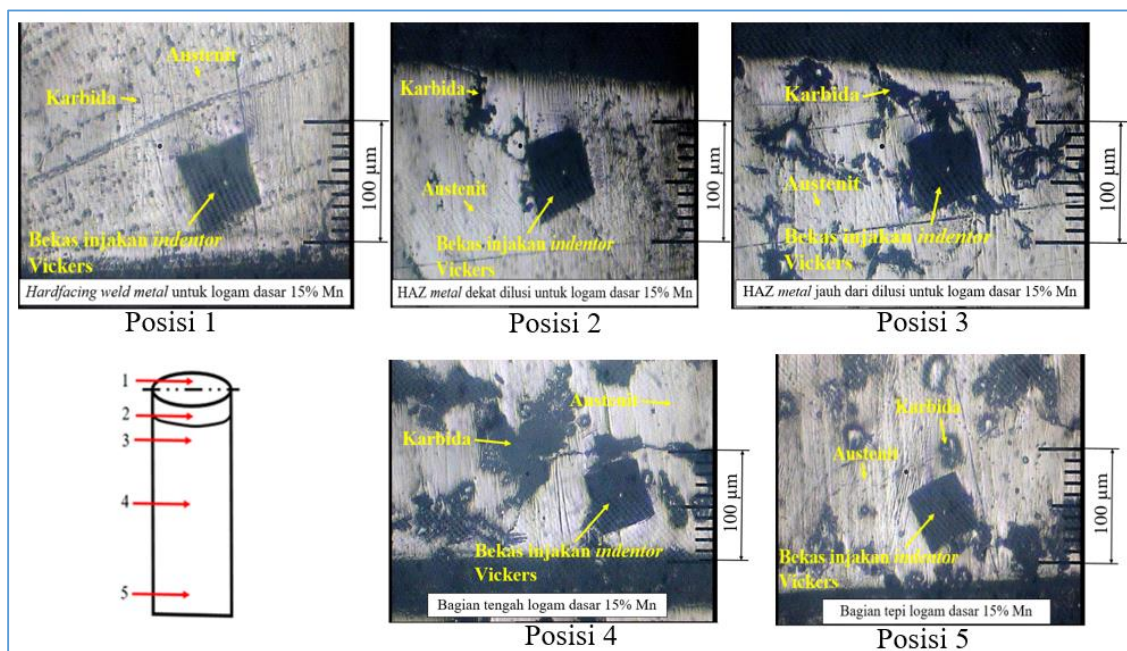
Gambar 9: Struktur mikro baja mangan 11,6% Mn (nominal 12% Mn).



Gambar 10: Struktur mikro baja mangan 12,7% Mn (nominal 13% Mn).



Gambar 11: Struktur mikro baja mangan 13,6% Mn (nominal 14% Mn).



Gambar 12: Struktur mikro baja mangan 14,6% Mn (nominal 15% Mn).

3. KESIMPULAN

Proses *hardfacing* dilakukan dengan *heat input* 1087,43 J/mm, menghasilkan kekerasan *weld metal* yang selalu lebih rendah dari pada HAZ dan *base metal*. Kekerasan *weld metal* hampir sama untuk semua jenis *bucket tooth* yaitu rata-rata sekitar 233,478 HVN, sehingga elektroda sudah sesuai untuk penggunaan *hardfacing* pada *bucket tooth* dengan kandungan Mn (mangan) 10,4% hingga 14,6% Mn. *Bucket tooth* dengan kandungan mangan 13,6% Mn sangat cocok untuk dilakukan pengerasan permukaan (*hardfacing*) dengan elektrode AWS A5.13 (JIS Z 3251), karena mempunyai kekerasan *weld metal* paling tinggi diantara yang lainnya.

4. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Pernyataan terimakasih yang sebanyak-banyaknya kami sampaikan kepada Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASME IX Boiler and Pressure Vessel Code, *Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*, QW-409.1(a), New York, 2013.
- [2] CORREA EO, ALCÂNTARA NG, VALERIANO LC, BARBEDO ND, CHAVES RR., “The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe–Cr–C–Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process”. *Journal of Surface & Coatings Technology*, V 276, pp 479–484, Agustus, 2015
- [3] ESAB Product Data Sheet, OK 13Mn, [http://www.arcoelectric.es/DocumentosProducto/OK%2086.08%20\(13Mn\).pdf](http://www.arcoelectric.es/DocumentosProducto/OK%2086.08%20(13Mn).pdf). Diakses: Maret 2021.
- [4] HAVEL, D.P.E., “Austenitic Manganese Steel A Complete Overview”. Columbia Steel Casting Co., Inc. September 2017.
- [5] MICHAŁ M, WINCZE J, GUCWA M, KONAR R, MÁLEK M, POSTAWA P., “Investigation of Welds and Heat Affected Zones in Weld Surfacing Steel Plates Taking into Account the Bead Sequence”, *Journal of Materials*, v13, 5666, pp.1 – 17, December 2020.
- [6] RACZON F, “How to Make Hard Facing Decisions”, <https://www.constructionequipment.com/how-hard-facing-decision>. Diakses Maret 2021.
- [7] SHARMA A, KUMAR S, “Experimental Investigation of the Wear Behaviour of Excavator Bucket Teeth by Hardfacing Technique”, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*. v3 Issue 6, pp.1239-1243, October 2019.
- [8] SREEJITH NV, SINGH G., “Controlling Wear via Hardfacing of Dragline Bucket Tooth”, *International Journal of Research*, vVIII, Issue IV, pp.1113-1120, April 2019.
- [9] SRIKARUN B AND MUANGJUNBUREE P., “Microstructure and Wear Behavior of Hardfacing with Ferro-alloy Powder Addition Using Submerged Arc Welding”, *Chiang Mai Journal Sci.*, v45(5), pp. 2034-204, April 2018.
- [10] SRIKARUN B, OO HZ, PETCHSANG S, MUANGJUNBUREE P., “The effects of dilution and choice of added powder on hardfacing deposited by submerged arc welding”, *Journal of Wear*, volume 424–425, pp.246–254, April 2019.
- [11] SRISUWAN N, KUMSRI N, YINGSAMPHANCHAROEN T, AND KAEWVILAI A., “Hard facing Welded ASTM A572-Based, High-Strength, Low-Alloy Steel: Welding, Characterization, and Surface Properties Related to the Wear Resistance”, *Journal of Metals*, v9, issue 2, pp 1-12, February 2019.
- [12] WIRYOSUMARTO, H. dan OKUMURA, T., *Teknik Pengelasan Logam*, Cetakan Kesepuluh, Jakarta, PT Pradnya Paramita, 2008.
- [13] YANG KE, GAO Y, YANG KÊ Y, JIANG Y, “Microstructure and wear resistance of Fe–Cr13–C–Nb hardfacing alloy with Ti addition”. *Journal of Wear*, volume 376-377, pp. 1091–1096, April 2017.
- [14] GÜROL U AND KURNAZ SC, “Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel”, *Journal of Mining and Metallurgy*, v56 (2), pp. 171 – 182. February 2020.
- [15] SUN YL, OBASI G, HAMELIN CJ, VASILEIOUA AN, FLINT TF, BALAKRISHNAN J, SMITH MC, FRANCIS JA., “Effects of dilution on alloy content and microstructure in multi-pass steel welds”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 265, pp. 71-86, March 2019.
- [16] AWALI, J., RUDIYANTO, F., THESALONICHA, S., LUBIS, M.P.D., TANJUNG, R.A., TRIANA, Y., “Analisis Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smawfcaw dengan Kampuh Double V-Groove terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Dissimilar Material JIS G3101-Ss400 dan ASTM A36”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.12, n.2, pp. 421 – 432, May 2021