

Investigasi Morfologi TWDI (*Thin Wall Ductile Iron*) Akibat Proses *Multi Stage Spheroidising*

Luchyto Chandra Permadi^{1*}, Faisal Khoufi Asshidiqi², Dwi Agus Sudjimat³

^{1,2}Universitas Islam Raden Rahmat, Malang

³Universitas Negeri Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: luchy.chandra@gmail.com

Received: 14/10/2021

Revised: 31/12/2021

Accepted: 03/01/2022

Abstract. *Thin Wall Ductile Iron (TWDI) is used in exhaust manifolds in the automotive industry. Thin Wall Ductile Iron can also be referred to as thin, ductile and strong steel. However, from some of the improvements, further in-depth observations and research are still being carried out. We found the weaknesses that exist in the development of Thin Wall Ductile Iron, especially in the factor of carbide formation and increasing the strength, hardness, ductility, toughness and wear resistance, as well as being able to reduce the residual stress of the cast material. One of the ways to investigate Thin Wall Ductile Iron is in the form of multi-stage spheroidising treatment. The treatment is to obtain observations in obtaining results about Thin Wall Ductile Iron or improvements to Thin Wall Ductile Iron, as well as in-depth studies on preventing the formation of carbides and knowing the structure of Thin Wall Ductile Iron. Temperature and time are the main parameters given to heat treatment, therefore, multi-stage spheroidising treatment was carried out in this study. The test continued with the surface structure test using XRF and XRD. Various studies and empirical evidence show that it is very important for further observation and development in the refinement of Thin Wall Ductile Iron.*

Keywords: *Investigation, Thin Wall Ductile Iron, Spheroidising*

Abstrak. *Thin Wall Ductile Iron (TWDI) digunakan dalam exhaust manifold di industri otomotif. Thin Wall Ductile Iron bisa juga disebut dengan baja tipis ulet dan kuat. Namun dari beberapa penyempurnaannya masih dilakukan pengamatan dan penelitian mendalam lebih lanjut lagi. Didapatkan kelemahan-kelemahan yang ada pada pengembangan Thin Wall Ductile Iron, terutama pada faktor terbentuknya karbida dan meningkatkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, & ketahanan aus, selain juga dapat mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) material cor. Menginvestigasi Thin Wall Ductile Iron salah satunya adalah dalam bentuk hal perlakuan dengan *multi stage spheroidising*. Diperlakukannya untuk mendapatkan hal pengamatan dalam mendapatkan hasil tentang Thin Wall Ductile Iron atau penyempurnaan Thin Wall Ductile Iron, serta kajian mendalam mengenai pencegahan terbentuknya karbida dan mengetahui struktur pada Thin Wall Ductile Iron. Suhu dan waktu menjadi parameter utama yang diberikan pada perlakuan panas, maka dari itu, dilakukan perlakuan *multi stage spheroidising* penelitian ini. Pengujian dilanjutkan dengan uji struktur permukaan menggunakan XRF dan XRD. Berbagai kajian dan bukti empirik menunjukkan bahwa sangat pentingnya pengamatan dan pengembangan lebih lanjut dalam penyempurnaan Thin Wall Ductile Iron.*

Kata Kunci: *Investigasi, Thin Wall Ductile Iron, Spheroidising*

I. PENDAHULUAN

Material banyak digunakan dalam bidang teknik terutama pemesinan ialah baja. Baja dan besi merupakan satu-satunya material persyaratan teknis maupun ekonomis, selain itu baja memiliki sifat yang tidak dapat dibandingkan dengan material lain seperti kekerasan, kekuatan, ketangguhan, dan keuletan yang baik. Baja logam besi yang banyak digunakan baik dalam dunia industri-industri/bidang kerja lain [1]. TWDI meningkatkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, & ketahanan aus, selain juga dapat

mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) material cor diperlakukan panas [2]. Ditinjau dari penggunaannya, baja suatu komponen & sebagai konstruksi [3].

Kelemahan dimiliki besi cor (FC) itulah *British Cast Iron Research Association (BCIRA)* tahun 1948 mencampurkan paduan unsur-unsur serium, tembaga, nikel, & unsur paduan lainnya besi cor, sehingga menghasilkan besi cor dengan bentuk grafit bulat. Baja dapat dikeraskan & ditingkatkan keuletannya dengan dilakukan proses perlakuan panas [4]. Aplikasi pemakaiannya,

semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan gesek yang menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk akan menurunkan ketangguhannya. Usaha menjaga agar logam lebih tahan gesekan/tekanan dengan cara perlakuan panas pada baja, hal ini memegang peranan penting meningkatkan kekerasan baja sesuai kebutuhan. *Heat treatment* proses kombinasi antara pemanasan & pendinginan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat dalam jangka waktu tertentu dimaksudkan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu pada logam/paduan [4].

Proses pengecoran terbentuk logam cara mencairkan logam padat temperatur yang tinggi, kemudian menuangkan logam cair kedalam cetakan & dibiarkan membeku. Bahan baku besi kasar, sekrap baja, sekrap balik seperti coran yang cacat, bekas penambah, saluran turun, paduan besi seperti Si, Fe-Mn mengatur komposisi [5]. Besi sendiri salah satu jenis logam paling banyak digunakan dibidang teknik & penggunaan besi dapat disesuaikan kebutuhan karena banyak macamnya dengan sifat & karakter berbeda-beda & besi biasanya mengandung beberapa unsur paduan.

Unsur paling dominan pengaruhnya terhadap sifat-sifat besi unsur karbon (C), meskipun unsur-unsur lain tidak bisa diabaikan. Besar kecilnya presentase unsur karbon (C) berdampak sifat mekanik besi tersebut, misalnya kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*), kemampuan bentuk, & sifat-sifat mekanik lainnya. Bahan-bahan teknik mempunyai keuletan di bagian inti & kekerasan di bagian permukaan salah satu faktor yang memperpanjang umur dari bahan dalam performa keuletan menahan beban baik statistik maupun dinamik.

Paduan Fe-C-Si memerlukan biaya rendah dalam produksi, kapasitas tinggi dari daur ulang & berbagai sifat mekanik yang berada di fungsi matriks logam, serta ukuran, bentuk, & jumlah grafit [6]. Aplikasi paduan telah diperluas dalam tahun terakhir, khususnya industri otomotif karena perkembangan terbaru dari dinding tipis pengecoran < 5 mm. Studi terbaru menunjukkan *ductile iron* dari dinding tipis sebanding pada ketahanan rasio/berat dengan paduan aluminium pada penggunaan di bidang otomotif, oleh karena itu paduan dianggap sebagai paduan baru [6]. untuk mendapatkan skala *morfologi* & korosi tingkat (CS), & memberikan contoh skala untuk analisis karakteristik *fisikokimia*. *Elektrokimia Impedansi Spektroskopi* (EIS) dilakukan secara

bersamaan untuk menampilkan perubahan struktur, [7].

Meningkatkan maupun menurunkan presentase unsur karbon dari besi padatan tidak semudah keadaan cair, *heat treatment* tidak untuk menaikkan/menurunkan unsur tetapi meningkatkan kekerasan, keuletan, & menghilangkan tegangan sisa [8]. Murcia et al.,[8] paduan *Ductile Iron* yang presipitasi grafit dalam bentuk nodul bola tertanam matriks logam untuk mendapatkan daktilitas pada materi. Pentingnya bentuk nodul, model diusulkan untuk memprediksi pepadatan *ductile iron* mengasumsikan bentuk bulat sempurna selama proses tumbuh hingga pepadatan akhir dari material. Salah satu untuk cara untuk meningkatkan sifat mekanik dari besi cor dengan proses *heat treatment*, dimana proses itu tidak mampu merubah komposisi kimia dari material diproses. Proses *heat treatment*, tingkat kekerasan akan mengalami perubahan, maka mengarah kearah peningkatan sifat mekanik dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) untuk mendapatkan kekerasan, keuletan, & ketangguhan sehingga memiliki performa maksimal & umur pakai yang lama.

TWDI pelapisan dinding tipis permukaan besi berfungsi penguat keuletan. Besi disini dimaksud besi tipis memiliki beban rendah/ringan, antara ketebalan 1- 5 mm. Pada hasil TWDI yang berkualitas baik dipengaruhi beberapa faktor dari awal pembuatannya. Beberapa ahli mengemukakan cara menghasilkan TWDI yang baik, hal ini dibuktikan dari data empirik. [9] berhasil membuat TWDI bebas karbida dengan ketebalan 3 mm dalam cetakan pasir dengan nilai CE (4,5-5,08)%. Serge & Bhattacharjee [10] dengan menggunakan inokulan yang mengandung Bi & Ce berhasil membuat TWDI 3 mm dengan nilai CE (4,6 - 4,9)%. Sedangkan Dogan [11] membuat plat ketebalan (1,5 - 9) mm dengan menggunakan nilai CE (4,7 - 4,8)%. David [12] memperoleh TWDI yang harus diperhatikan desain cetakan memungkinkan terjadinya *soundness casting* & kondisi logam cair sebelum tuang sehingga menghasilkan struktur mikro homogen & bersih dari karbida. Sosa [13] berfokus efek jumlah nodul RS & TWDI temperatur *austempering* 280 dan 360° C. Choi [14] pembentukan struktur mikro & sifat mekanik. Fras [15] mengatakan struktur mikro yang bersih dari karbida maka nilai CE minimum 4,3% & juga mengusulkan nilai CE (4,75% - 4,92%) untuk memperoleh struktur mikro bersih dari karbida untuk TWDI dengan ketebalan

(3-5) mm. Ferro [16] metalurgi dilakukan cara optik & bidang emisi *mikroskop electron* & parameter mikro. Andriollo [17] perilaku termo yang menggunakan penyelidikan mikroskop elektron. Alabbasian [18] struktur mikro & sifat mekanik.

TWDI Ni-resist besi cor (tipe D-5S) digunakan dalam *exhaust manifold* di industri otomotif terutama berisi hingga 29% berat nikel, 4,9% berat silikon & 1,7% berat kromium [18]. Struktur mikro TWDI bagian tepi akan membentuk suatu lapisan terdiri atas grafit berbentuk serpih/*vermicular*. Nama lapisan tersebut *flake graphite rim anomaly* [19] *skin effect*. Ketebalan lapisan maksimum yang pernah dicapai 20/0,2 mm [20]. Lapisan ini sangat mengganggu sifat tarik, menurunkan kekuatan & keuletan karena grafit serpih berperan sebagai konsentrasi tegangan & menjadi lokasi permulaan retak, lapisan kulit dihilangkan dengan proses permesinan.

Nodul grafit & distribusi ukuran telah dianalisis TWDI, penghitungan nodul 2-D dikonversi menjadi jumlah nodul 3-D dengan metode FDM [21]. Metodologi baru berhubungan *Ductile Iron Cast Irons* (DCIS) memakai perilaku dengan jarak pemisahan & ukuran nodul grafit melalui analisis data eksplorasi [22]. Sama halnya parameter perlakuan panas sifat plastik *unalloyed Ductile Iron ausferritic*, seperti pemanjangan & ketangguhan suhu 60° C [23]. Berfokus efek jumlah nodul pada RS & TWDI piring distorsi. Sebagai *cast, ferritik & sampel austempered*. Peran yang dimainkan oleh dua temperatur *austempering* (280°C & 360°C) & tiga *nodul* signifikan berbeda (265, 1200, & 1700 *nodul*) dibahas dengan membentuk perubahan struktur mikro yaitu struktur mikro kehalusan ditahan *fraksi volume austenit* ($V_{\gamma}\%$), & kadar karbon *austenit* ($C_{\gamma}\%$) [13].

Silicon-molybdenum Ductile Iron suhu maksimum pointwise 973 K (700° C). Perilaku mekanik dari Si-Mo besi cor dengan tes kelelahan hingga 10 juta siklus, suhu meningkat hingga 973 K (700° C) [24]. Karakterisasi mekanik dilengkapi dengan tarik & tes tekan dan berikutnya pemeriksaan *fractographic*; hasil tes mekanik berkorelasi dengan struktur mikro besi cor & perlakuan panas [25]. Perkembangan selanjutnya pengukuran suhu dicoran dilakukan dengan *termokopel* (TC), dimasukkan ke dalam lelehan. TC pengaruh pematangan *casting*, terutama dicoran dinding tipis kandungan panas meleleh kecil dibandingkan dengan kekuatan pendinginan TC

[25]. Perilaku *termoelastis* dari nodul grafit terkandung *ductile iron* berasal atas dasar penyelidikan mikroskop elektron Analisis elemen homogenisasi memverifikasi konsistensi suhu ruang sifat elastis *ductile iron* diukur skala mikro & makro [17]. Efek konten RE & ketebalan sampel struktur mikro, termasuk hitungan grafit nodul, bentuk nodul grafit, *spheroidising*., & jumlah ferit, yang diamati [14].

Gorny, [25] *Ductile Iron hipereutektik* berperan dalam diri pasir pengerasan molding menghasilkan coran dengan bentuk *spiral Archimedes* & dengan ketebalan dinding 1, 2 & 3 mm. Percobaan berdasarkan pengukuran temperatur & pemeriksaan mikro, pengukuran suhu mengungkapkan pematangan *eutektik* dipiring tipis (≤ 4.3 mm) dibagi menjadi dua tahap [21]. TWDI coran alternatif menarik untuk beberapa aplikasi kekuatan rasio berat menjadi variabel desain utama. Efek urutan inokulasi & komposisi kimia inokulan berat bagian *castings* mikro, dengan perhatian khusus grafit *chunky*, diselidiki. Kombinasi jenis inokulan dengan urutan inokulasi dipilih mendasarkan pada pengalaman pengecoran [16]. Meskipun pasir halus & cetakan dilapisi menyebabkan jarak lebih jauh logam cair, kekerasan & kekuatan sampel menurun [20] [26].

Sulamet [20] memproduksi TWDI, perhatian khusus harus diambil pada pembentukan efek kulit. efek kulit tepi serpihan *grafit interdendritik* terbentuk di permukaan. pembentukan efek kulit ditentukan isi magnesium & tingkat pendinginan. Efek kulit ketebalan ditentukan tingkat & daerah interaksi logam cair dengan cetakan pendingin. Selama produksi TWDI. Desain ini berdasarkan prinsip Y-blok memungkinkan langsung menuangkan logam cair ke cetakan tanpa melewati sistem gating [20]. Dalam aturan umum pengecoran desain bagian paling tebal dari pemain harus ditempatkan. Pengaturan ini dimaksudkan menjamin penyelesaian proses pengisian [20]. Mempertahankan tingkat pendinginan dalam memproduksi TWDI mencegah pembentukan karbida [20]. percobaan menyoroti dalam semua desain, yang memiliki struktur mikro & terdiri dari nodul grafit dalam *matriks ferit*, tidak ada jejak karbida dan efek kulit terbentuk. Brinell angka kekerasan untuk semua desain melampaui standar JIG G5502.

Penelitian tentang TWDI yang dikembangkan [20] pembuat TWDI terjadi karena kegagalan perawatan logam cair & pembentukan

karbida. Penelitian ini dilakukan untuk melihat efek setara karbon pada struktur mikro dari TWDI, terutama pembentukan karbida. Beberapa menuangkan dibawa untuk memperoleh bervariasi setara karbon (CE) nilai-nilai. komposisi kimia diperiksa sebelum pengobatan cair dengan menggunakan spektrometri. Berdasarkan *American Standard Testing Material* (ASTM) A427 & juga dengan menggunakan *Cyuzou Kun* dan *NIS Element Softwares*. Hasilnya adalah setara karbon tidak mempengaruhi pembentukan karbida tapi tidak mempengaruhi nodularitas. Pada penelitian selanjutnya sumber zat besi & batubara sebagai sumber karbon. ukuran partikel dengan kandungan Fe tertinggi digunakan proses reduksi. Variasi proses reduksi membuat perbandingan massa, suhu proses, & waktu proses. Rasio massa 1: 4 & 1: 5. Suhu proses yang 900 C & 1000 kali C. Proses 10, 20, & 30 menit.

A. Twdi (Thin Wall Ductile Iron)

Rekomendasi didasarkan pedoman ketebalan pengecoran normal, penggunaan ADI dinding tipis dalam referensi yang sangat terbatas. Fras & Gorny [15] menyebutkan TWDI diperoleh dengan perlakuan panas jangka pendek *casting* tanpa penambahan unsur paduan. Mourad et al (2008) melaporkan pengaruh suhu *austempering* karakteristik TWDI menggunakan sampel ketebalan 2, 4, 6, & 8mm. Javaid [9] berhasil membuat TWDI bebas karbida ketebalan 3 mm dalam cetakan pasir dengan nilai CE (4,5 -5,08)%. Serge [10] dengan menggunakan inokulan yang mengandung Bi dan Ce berhasil membuat TWDI 3mm dengan nilai CE (4,6 -4,9)%. Sedangkan Dogan membuat plat ketebalan 1,5-9 mm dengan menggunakan nilai CE (4,7 – 4,8)%. Fras [15] mendapatkan suatu struktur mikro yang bersih dari karbida maka nilai CE minimum 4,3% & juga mengusulkan nilai CE (4,75% – 4,92%) untuk memperoleh struktur mikro bersih dari karbida untuk TWDI dengan ketebalan (3-5) mm.

Massone [12] untuk memperoleh TWDI yang harus diperhatikan desain cetakan yang memungkinkan terjadinya *soundness casting* & kondisi logam cair sebelum tuang sehingga dapat menghasilkan struktur mikro yang homogen dan bersih dari karbida. Parameter harus diperhatikan untuk memperoleh struktur mikro bersih dari karbida. Nilai CE untuk ketebalan benda tuang (10-30) mm agar bersih dari struktur karbida (4,35-4,65)%. Jika ketebalan ditipiskan maka nilai CE

harus dinaikkan. Jika CE mencapai nilai 50% diperoleh struktur mikro bersih karbida 40% matriks feritik. Dengan menjaga unsur-unsur lain, seperti Mn, P, S dan Cr, berhasil membuat struktur mikro TWDI bersih dari karbida nilai CE yang lebih rendah dan nilai CE sebesar 4,72% untuk memperoleh 100% matriks feritik. Sulamet [20] *Ductile Iron* (DI) memiliki banyak karakteristik unggul dibandingkan dengan aluminium tetapi tidak dapat bersaing di masalah berat badan. TWDI diproduksi karena lebih ringan berat DI membuat TWDI mungkin untuk bersaing dengan aluminium dalam hal berat badan. Standar ketebalan pengecoran diklasifikasikan TWDI belum ditetapkan. Sulamet [20] bagian tertipis yang pernah dibuat 1,4 mm. Ketebalan TWDI masalah utama selama proses pengecoran. Seperti dijelaskan diatas ketebalan TWDI di bawah 5 mm, dibawah ketebalan pengecoran normal. Ketebalan berkurang laju pendinginan akan meningkat & cenderung untuk mempromosikan pembentukan karbida selama pematatan. Untuk mengatasi hal ini, laju pendinginan harus dipertahankan. Ada banyak cara untuk mengendalikan laju pendinginan dan salah satunya desain pengecoran.

B. Spheroidising

Spheroidising perlakuan panas digunakan melunakkan baja sebelum pembentukan dingin. Banyak bagian di bidang otomotif seperti roda gigi dibentuk memanfaatkan *spheroidising*. Namun, perlakuan panas *spheroidising* dapat berlangsung beberapa waktu & energi. Waktu untuk *spheroidising* bisa dipersingkat pemahaman tentang dampak memulai mikro kinetika *spheroidising* dihasilkan sifat mampu bentuk dingin. Dua yang berbeda *hot rolled* (bainitik & perlitik) dan 1 bar dinormalisasi 15Mn Cr5 baja mikro panas dirawat di 692° C (1277°F), menjalani karakterisasi mikrostruktur perangkat lunak analisis, & menjadi sasaran uji tarik. Bainitik mikro *spheroidising* tercepat, diikuti oleh perlitik panas dan kemudian baja normal. Meskipun memiliki persentase terendah *spheroidising*, baja dinormalisasi memiliki pengurangan tertinggi di daerah sebelum 6 jam perlakuan panas. Kedua baja panas memiliki pengurangan yang lebih tinggi di daerah setelah 6 jam karena persentase lebih tinggi dari *spheroidising*. Mikrostruktur mulai memiliki efek dominan pengurangan di daerah, kekuatan leleh atas terlepas dari persen *spheroidising* persentase rendah *spheroidising*. Namun,

persentase tinggi *spheroidising* sifat ini konversi ke nilai tunggal tanpa mikro sebelumnya. Suhu lebih rendah digulung struktur perlitik tampaknya memiliki kombinasi terbaik dari waktu perlakuan panas untuk *spheroidising* dan kemampuan kerja yang dihasilkan.

Kamyabi [27] persentase kontribusi dua parameter, mikro awal dan waktu *spheroidising*, dengan persen *spheroidising* di CK60 baja. Mikrostruktur awal terdiri dari martensit, perlit kasar, perlit halus dan bainit & kali *spheroidising* dipilih 4, 8, 12, & 16 jam. *Spheroidising* dilakukan pada suhu konstan 700 °C. Setelah *spheroidising* selesai, sampel disiapkan untuk mengamati struktur mikro mereka di bawah mikroskop optik dan untuk menentukan persen *spheroidized* menggunakan MIP (*software*). Ditemukan bahwa waktu *spheroidising* yang paling berpengaruh (58,5%) dari *spheroidising* persen dan mikro awal hanya memiliki kontribusi 31,1%. Sedangkan Magdalena [27] mengemukakan metalografi magnesium induk paduan untuk sistem Fe-C-V komposisi eutektik menyebabkan kristalisasi dari karbida bulat. Isi dari karbida 5,6%, yang mewakili 33% dari semua karbida vanadium yang mengkristal. Menambahkan RE ke basis paduan meleleh menyebabkan 31% dari karbida vanadium mengkristal sebagai dendrit. Pengujian sifat mekanik telah membuktikan bahwa pengobatan *spheroidising* karbida VC di tinggi vanadium besi cor meningkatkan kekuatan tarik sekitar 60% dan elongasi 14-21 kali, tergantung pada jenis agen *spheroidising* digunakan. Studi tribological telah menunjukkan bahwa tinggi vanadium besi cor dengan eutektik, dendritik dan bulat karbida memiliki ketahanan aus abrasif lebih dari dua kali lebih tinggi dari baja cor.

Zhiqing [28] menjabarkan dari sebuah durasi pendek (5 menit) memegang pada 1023 K (atas A1 suhu) dan durasi pendek (3 menit) memegang pada 893 K diadopsi di setiap perlakuan panas siklik. *Spheroidising* dipercepat selama perlakuan panas siklik, dan rasio *spheroidising* tumbuh dengan angka siklik. Setelah perawatan panas 12-siklus, ada beberapa daerah tidak lengkap *spheroidising* di spesimen, dan *sementit lamellae* sebagian besar berubah menjadi partikel sementit. Karakter morfologi sementit untuk 12 siklus mirip dengan yang menjalani anil selama 10 jam pada 973 K. Kekuatan baja setelah perlakuan panas 5-siklus adalah yang terendah dalam perlakuan panas siklik berikut, tetapi masih lebih tinggi dari itu dari spesimen dengan anil

subkritis dalam jangka panjang (10 jam). Setelah perlakuan panas 12-siklus, kekuatan baja eksperimental dekat bahwa dari baja normal, dan plastisitas adalah yang terbaik dalam semua spesimen dipanaskan. Qian [29] pengaruh *spheroidising* parameter nilai pada struktur mikro dari cincin bantalan 100Cr6 *hotrolled* dipelajari. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa suhu pendinginan dan waktu penahanan memiliki efek yang besar pada ukuran dan kebulatan partikel karbida, sedangkan anil laju pendinginan hanya memiliki efek yang signifikan pada ukuran partikel karbida. Serangkaian uji mekanis menunjukkan bahwa semua parameter memiliki pengaruh besar pada kekuatan tarik, plastisitas dan kekerasan, tapi tidak membuat perbedaan pada elastisitas. Mengingat kinerja kerja, suhu anil rasional, waktu tahanan dan tingkat pendinginan yang cepat harus dipilih.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penulisan karya ilmiah ini adalah melakukan telaah berbagai pustaka dan referensi lain yang berkaitan dengan *Thin Wall Ductile Iron* dengan pemberian perlakuan *spheroidising*.

III. HASIL

Menambahkan perlakuan panas pada logam besi dapat menghasilkan TWDI (*Thin Wall Ductile Iron*) dengan mengurangi tingkat karbida, seperti penelitian Javaid [9] berhasil membuat TWDI (*Thin Wall Ductile Iron*) bebas karbida ketebalan 3 mm dalam cetakan pasir. Serge [10] dengan menggunakan inokulan yang mengandung Bi dan Ce berhasil membuat TWDI (*Thin Wall Ductile Iron*) 3mm, sedangkan Fras [15] mendapatkan suatu struktur mikro yang bersih dari karbida untuk memperoleh struktur mikro bersih dari karbida untuk TWDI (*Thin Wall Ductile Iron*) dengan ketebalan (3-5) mm dengan perlakuan panas. Perlakuan panas dengan beberapa siklus durasi waktu pemanasan dan pendinginan sekitar 5 -12 siklus ini dapat mengurangi karbida dengan logam besi tebal lebih dari 5 mm. Ketebalan berkurang laju pendinginan akan meningkat & cenderung untuk mempromosikan pembentukan karbida selama pemadatan. Untuk mengatasi hal ini, laju pendinginan harus dipertahankan.

Mikrostruktur mulai memiliki efek dominan pengurangan di daerah kekuatan leleh

atas terlepas dari persen *spheroidising*. Persentase tinggi *spheroidising* di konversi ke nilai tunggal tanpa mikro sebelumnya. Suhu lebih rendah struktur perlitik memiliki kombinasi terbaik dari waktu perlakuan panas untuk *spheroidising*. *Spheroidising* dipercepat selama perlakuan panas dan rasio *spheroidising* 12-siklus. Setelah perlakuan panas 12-siklus, kekuatan baja normal dan plastisitas yang terbaik dalam semua spesimen yang dipanaskan

Hasil kajian tentang *Thin Wall Ductile Iron* menunjukkan ketersediaan karbon penting dan kombinasi persediaan karbon lebih tinggi serta suhu mampu mencegah oksidasi lebih lanjut. Sangatlah berpeluang *Thin Wall Ductile Iron* dengan pemberian perlakuan *spheroidising*, yaitu pemberian perlakuan dengan suhu 700°C dengan *holding* selama 30 jam untuk menghasilkan struktur nilai yang maksimal pada *Thin Wall Ductile Iron*.

IV. KESIMPULAN

TWDI yang biasanya digunakan dalam *exhaust manifold* di industri otomotif yang tanpa kita sadari selama ini. TWDI bisa juga disebut baja tipis ulet dan kuat. Namun dari beberapa penyempurnaannya masih dilakukan pengamatan dan penelitian mendalam lebih lanjut lagi. Didapatkan kelemahan-kelemahan yang ada pada pengembangan TWDI, terutama pada faktor terbentuknya karbida dan meningkatkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, & ketahanan aus, selain juga dapat mengurangi tegangan sisa (*residual stress*) material cor. Menginvestigasi TWDI salah satunya adalah dalam bentuk hal perlakuan dengan *multi stage spheroidising* Hal ini diperlukannya untuk kajian dalam mencegah terbentuknya karbida dan mengetahui struktur pada (TWDI). Suhu dan waktu yang menjadi parameter utama yang diberikan pada perlakuan panas tersebut adalah suhu 700°C dan diholding selama 30 jam. Dan dilakukan pengujian XRF dan XRD Hal ini untuk mendalami struktur permukaan. Berbagai bukti empirik menunjukkan bahwa sangat pentingnya pengamatan dan pengembangan lebih lanjut dalam penyempurnaan TWDI.

REFERENSI

[1] Lilipaly, Eka, and Lopies, "Analisis Nilai Kekerasan Baja S-35C dalam Proses Karburasi Padat Mernanfaatkan Tulang

Sapi sebagai Katalisator dengan Vanasi Waktu Penahanan," *J. Teknol. Vol.*, vol. 8, no. 2, p. 936, 2011.

[2] AFS, "115th. Metalcasting Congress." Schaumburg, IL USA, pp. 5–8, 2011.

[3] Nurman and Sudjadi, "Studi Ketahanan terhadap Korosi pada Material Baja Pegas Daun Mobil Roda 4 dengan Berat 1000 kg yang telah Dinitridasi dengan Plasma Diskrit Buatan BATAN," *Jurna! Prima*, vol. 5, no. 10, p. 279, 2008.

[4] Purboputro, "Peningkatan kekakuan pegas daun dengan cara Quenching," *J. Media Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 15–21, 2009.

[5] Nuryanto, "Sifat Fisis dan Mekanis Besi Cor dengan Penggunaan Bahan Bakar dari Kokas Lokal dengan Perekat Tebu dan Aspal," *Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, pp. 0–5, 2008.

[6] V. Lauro Figueroa *et al.*, "Artemisa Evaluation and characterization of antimicrobial prop- erties of pregnenolone- derivatives on *Staphylococcus aureus*," *Kleb. pneumoniae Escherichia coli, Microbiol.*, vol. 50, pp. 13–18, 2008.

[7] H. Guo, Y. Tian, H. Shen, X. Liu, and Y. Chen, "Study on the Electrochemical Corrosion and Scale Growth of Ductile Iron in Water Distribution System. School of Environmental Science and Engineerin.," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, pp. 6993–7010, 2016.

[8] S. C. Murcia, E. A. Ossa, and D. J. Celentano, "Nodule evolution of ductile cast iron during solidification," *J. Metall. Mater. Trans.*, vol. 45, no. 2, pp. 707–718, 2014.

[9] A. Javid, M. Sahoo, C. Labrecque, and M. Gagné, "An Overview of CANMET ' s R & D Activities on Thin-Wall Ductile Iron Castings," *Mod. Cast.*, pp. 1–11, 2009.

- [10] G. Serge, L. C, and A. Bhattacharjee, "Inter-Laboratory Study of Nodularity and Nodule Count of Ductile Iron by Image Analysis," *Int. J. Met.*, vol. 8, no. 2, pp. 51–63, 2014.
- [11] K. Schrems, O. Doğan, and J. Hawk, "Verification of Thin Wall Ductile Iron Test methodology," *ASTM J.*, vol. 30, no. 1, pp. 47–54, 2003.
- [12] P. J. David, R. Massone, Boeri, and J. Sikora, "Mechanical Properties of Thin Wall Ductile Iron - Influence of carbon Equivalent and Graphite Distribution," *ISIJ Int.*, vol. 44, no. 7, pp. 1180–1187, 2004.
- [13] A. D. Sosa, M. D. Echeverría, O. J. Moncada, N. Míngolo, and J. A. Sikora, "Influence of nodule count on residual stresses and distortion in thin wall ductile iron plates of different matrices," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, no. 11–16, pp. 5545–5551, 2009.
- [14] J. O. Choi, J. Y. Kim, C. O. Choi, J. K. Kim, and P. K. Rohatgi, "Effect of rare earth element on microstructure formation and mechanical properties of thin wall ductile iron castings," *Mater. Sci. Eng.*, vol. 383, no. 2, pp. 323–333, 2004.
- [15] E. Frás, M. Gorny, and H. Lopez, "Thin Wall Ductile Iron Castings As Substitutes For Aluminium Alloy Castings," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 59, no. 2, pp. 459–465, 2014.
- [16] P. Ferro, A. Fabrizi, R. Cervo, and C. Carollo, "Effect of inoculant containing rare earth metals and bismuth on microstructure and mechanical properties of heavy-section near-eutectic ductile iron castings," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 9, pp. 1601–1608, 2013.
- [17] T. Andriollo, J. Thorborg, and N. Tiedje, "A micro-mechanical analysis of thermo-elastic properties and local residual stresses in ductile iron based on a new anisotropic model for the graphite nodules," *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, vol. 24, no. 5, p. 55012, 2016.
- [18] F. Alabbasian, S. Mohammad, A. Boutorabi, and S. Kheirandish, "Effect of inoculation and casting modulus on the microstructure and mechanical properties of ductile NI-resist cast iron," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 651, pp. 467–473, 2015.
- [19] R. E. Ruxanda and D. M. Stefanescu, "Microstructure Characterization of Ductile Thin Wall Iron Castings," *AFS Trans.*, vol. 177, no. 2, pp. 1–16, 2015.
- [20] R. D. Sulamet-Ariobono and J. W. Soedarsono, "Effect Of Plate Thickness And Casting Position On Skin Effect," *Int. J. Technol.*, no. 3, pp. 374–382, 2016.
- [21] K. M. Pedersen and N. Tiedje, "Nucleation and solidification of thin walled ductile iron -Experiments and numerical simulation," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 414, pp. 358–362, 2005.
- [22] J. A. Basurto-hurtado, R. A. Osornio-rios, and A. Dominguez-gonzalez, "An Approach Based on the Exploratory Data Analysis to Relate the Wear Behavior with the Microstructure of Ductile Cast Irons," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, pp. 1–11, 2016.
- [23] E. Guzik, M. Sokolnicki, and A. Nowak, "Effect of Heat Treatment Parameters on the Toughness of Unalloyed Ausferritic Ductile Iron," *J. Arch. Foundry Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 79–84, 2016.
- [24] A. I. Almanza, "Effect Of Cobalt In Thin Wall Ductile Iron And In Materials Science And Engineering," 2020.
- [25] P. Matteis, G. Scavino, and A. Castello, "High-Cycle Fatigue Resistance of Si-Mo Ductile Cast Iron as Affected by Temperature and Strain Rate," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 46, no. 9, pp. 4086–4094, 2015.
- [26] M. H. Idris, A. Ourdjini, and M. Karirnian, "Influence of Gating System, Sand Grain Size, and Mould Coating on Microstructure and Mechanical Properties of Thin-Wall Ductile Iron," *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 17, no. 12, pp. 38–45, 2010.
- [27] A. Karnyabi-Gol and M. Sheikh-Amid, "Spheroidizing Kinetics and Optimization of Heat Treatment Parameters in CK60 Steel Using Taguchi Robust Design," *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 17, no. 4, pp. 45–52, 2010.
- [28] Z. i-qing LU, H. ZHANG, Q. g MENG, Z. WANG, and W. FU, "Effect of Cyclic Annealing on Microstructure and Mechanical Properties of Medium Carbon Steel," *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 23, no. 2, pp. 145–150, 2016.

- [29] D. S. Qian, K. W. Wang, Q. L. Liu, and L. Hua, "Effect of annealing parameters on microstructure and mechanical property of hot-rolled 100Cr6 bearing ring," *Mater. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 11, pp. 1086–1093, 2016.