



Karakteristik Lelah Besi Cor Kelabu Terhadap Hasil Penambahan Silisium Melalui Metode *Open Ladle*

Arnold A.I. Litaay¹, I.M.W. Ekaputra²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

e-mail : made@usd.ac.id

Abstrak—Pada penelitian ini, karakteristik lelah besi cor kelabu diteliti pengaruhnya terhadap penambahan 2.9% dan 3.8% silisium (Si). Pengujian lelah dilakukan dengan mengikuti standar ASTM E-466. Spesimen uji lelah yang digunakan berbentuk silinder dengan panjang ukur (*gauge length*) 48 mm dan diameter sebesar 6 mm. Penentuan beban awal pengujian lelah ditentukan sebesar 80% dari kekuatan tarik besi cor. Dari hasil pengujian diperoleh tren kekuatan lelah yang meningkat seiring dengan meningkatnya kuantitas penambahan Si. Besi cor dengan penambahan 3.8% Si memiliki umur lelah yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan 2.9% Si. Peningkatan ini terjadi akibat jumlah grafit yang terbentuk akibat peningkatan jumlah Si menjadi semakin kecil ukurannya dan semakin terdistribusi secara merata. Hal ini mengakibatkan besi cor mampu menahan perambatan retak yang terbentuk akibat terhalang oleh penghalang retakan berupa grafit tersebut. Seiring peningkatan kekuatan lelah dan umur lelah, penambahan jumlah Si pada besi cor kelabu juga meningkatkan batas lelah hampir sekitar 10%. Batas lelah untuk besi cor dengan penambahan 3.8% berada pada rasio kekuatan lelah (S) terhadap kekuatan tarik (S_u) sebesar 0.55, sedangkan pada penambahan 2.9% berada pada rasio S/S_u sebesar 0.50.

Kata Kunci— batas lelah, besi cor kelabu, grafit, silisium

I. PENDAHULUAN

Besi cor kelabu merupakan paduan besi dan karbon yang cukup banyak digunakan sebagai komponen dalam berbagai aplikasi. Selain memiliki kekuatan yang cukup baik dalam menahan beban, besi cor kelabu mudah diperoleh di pasaran dan harganya cenderung tidak terlalu mahal. Besi cor dalam paduan logam dikategorikan sebagai paduan logam besi (*ferro*) yang komponen utamanya tersusun dari besi (Fe) dan Karbon (C) dengan komposisi tertentu. Dalam diagram fase Fe-Fe₃C, besi cor diklasifikasikan berdasarkan komposisi karbon antara 2,14 dan 6,70% C [1]. Berdasarkan proses solidifikasi pada temperatur *eutectic* besi cor dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis diantaranya besi cor kelabu (*gray cast iron*), besi cor *nodular*, besi cor putih, besi cor *malleable*, dan *compact graphit iron* [1-3].

Secara morfologi bentuk grafit pada besi cor kelabu memiliki bentuk grafit yang besar atau dalam bentuk serpihan (*flakes*). Penamaan besi cor kelabu berdasarkan pada bentuk graphit serpihan dan berwarna kelabu yang terjadi saat terjadi patahan. Serpihan grafit berperan penting sebagai peredam getaran yang diakibatkan oleh gesekan yang terjadi. Namun, serpihan graphit tersebut juga berperan sebagai lokasi pusat konsentrasi-konsentrasi tegangan mengakibatkan penurunan kekuatan pada besi cor kelabu [4-6]. Selain itu serpihan graphit mengurangi kemampuan material untuk terdeformasi dan elongasi yang terjadi saat patah kurang dari 1%. Telah dilaporkan bahwa karakteristik mekanis dari besi cor kelabu ditentukan berdasarkan laju pendinginan dan proses inokulasi yang diterapkan. Penambahan inokulasi menjadi salah satu

proses yang memegang peranan penting dalam menentukan kualitas dari besi cor kelabu. Inokulasi berperan dalam pembentukan area-area untuk pembentukan graphit pada proses solidifikasi. Inokulasi mempengaruhi jumlah, bentuk dan distribusi grafit sebagai faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan besi cor [7]. Salah satu elemen yang bisa dijadikan sebagai media inokulan adalah silisium (*Si*). Telah dilaporkan bahwa penambahan silisium mempengaruhi fase yang terbentuk saat proses pendinginan akibat meningkatnya kemampuan mengalir logam cair [4-6].

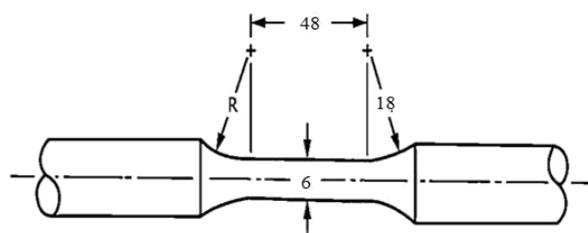
90% dari semua kegagalan logam disebabkan oleh kegagalan lelah. Hal tersebut dikarena material tidak mampu menahan beban dinamis yang terjadi pada komponen pemrosesan hingga akhirnya patah akibat kelelahan. Suatu material yang mengalami kegagalan lelah biasanya diawali dengan robeknya permukaan benda tersebut. Robekan ini lama-kelamaan membentuk retakan sehingga menyebabkan material rusak (patah) [1].

Dalam paper ini pengaruh penambahan silisium pada besi cor kelabu diteliti pengaruhnya terhadap batas kekuatan lelahnya. Penambahan 2.9% dan 3.8% *Si* dilakukan melalui proses pengecoran dengan metode *open ladle*. Pengujian lelah dilakukan menggunakan mesin *rotary bending* berdasarkan standar ASTM E-466 [8].

II. METODE PENELITIAN

Penambahan *Si* pada besi cor kelabu dilakukan melalui proses pengecoran dengan metode *open ladle*. Hasil pengecoran dicetak dalam bentuk silinder untuk kemudian diproses lebih lanjut menjadi spesimen uji lelah. Dimensi dari spesimen uji lelah memiliki panjang ukur (*gauge length*) sebesar 48 mm dan diameter sebesar 6 mm, seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Pengujian lelah dilakukan menggunakan siklus putar berfrekuensi rendah dengan rentang frekuensi antara 10 hingga 200 Hz. Alat uji lelah yang digunakan adalah *rotary bending* dengan kecepatan putar sebesar 1800 rpm, disajikan pada Gambar 2. Penentuan pembebanan awal untuk pengujian lelah adalah sebesar 80% dari kekuatan tarik besi cor kelabu. Karakteristik lelah berupa kekuatan lelah (*S*), batas lelah, dan umur lelah (*N*) dinyatakan dalam kurva antara rasio kekuatan lelah/kekuatan tarik (S/S_u) terhadap umur lelah.



Gambar 1. Spesimen uji lelah.



Gambar 2. Mesin uji tarik *rotary bending*.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Penambahan Si pada Besi Cor Kelabu

Komposisi yang digunakan pada pengecoran besi cor kelabu normal mengikuti standar komposisi FC 25 yaitu sebesar 2% Si dan 3.4% C. Penentuan komposisi berdasarkan pembacaan pada alat spektrometer selama proses peleburan. Sebelum dilakukan penambahan Si sebanyak 2.9% dan 3.8% pada hasil peleburan besi cor kelabu FC 25, batuan murni Si terlebih dahulu dicek komposisinya menggunakan spektrometer. Dari hasil pengecekan didapatkan bahwa batuan murni Si yang didapatkan dari pasaran hanya mengandung 75% Si. Sehingga perlu penyesuaian berat batuan Si yang sesuai ke dalam logam cari FC 25. Dari beberapa hasil percobaan diperoleh bahwa untuk mendapatkan penambahan komposisi 2.9% Si dibutuhkan penambahan 1 kg batuan murni Si dan 2 kg untuk mencapai komposisi 3.8% Si. Proses peleburan dan pengecekan komposisi dilakukan di PT. ITOKOH CEPERINDO.

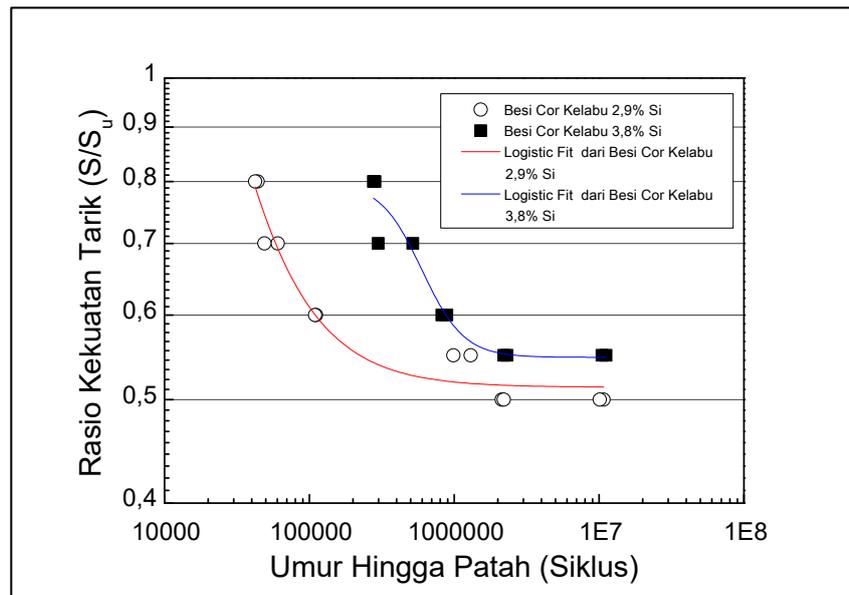
Jenis batuan Si yang ditambahkan pada besi cor kalabu ini sangat berbeda jauh dari yang diharapkan. Batuan murni Si yang digunakan memisahkan Fe dari Fe_3C sehingga lebih banyak perlit terbentuk. Si yang tidak tercampur dalam larutan padat membentuk SiO_2 dan terbakar, sehingga keluar dalam bentuk asap sisa peleburan. Hal ini menunjukkan efisiensi batuan murni Si yang tercampur dalam besi cor kelabu sebesar 48%.

B. Uji Lelah

Pembebanan awal pada pengujian lelah ditentukan sebesar 80% dari kekuatan tarik (S_u) besi cor kelabu. Untuk besi cor kelabu dengan penambahan Si sebesar 2.9% diperoleh kekuatan tariknya sebesar 151.75 MPa. Sehingga pembebanan mula-mula untuk pengujian lelah sebesar 121.4 MPa. Untuk besi cor kelabu dengan penambahan Si sebesar 3.8% diperoleh kekuatan tariknya sebesar 153.63 MPa. Sehingga pembebanan mula-mula untuk pengujian lelah sebesar 122.9 MPa.

Gambar 3 menunjukkan kurva kekuatan lelah/kekuatan tarik (S/S_u) terhadap umur lelah besi cor kelabu masing-masing untuk penambahan Si sebesar 2.9% dan 3.8%. Terlihat bahwa saat pembebanan awal dengan rasio 0.8, besi cor kelabu dengan penambahan 3,8% Si menghasilkan umur lelah yang lebih lama dibandingkan penambahan Si 2.9%. Tren tersebut berlanjut hingga pembebanan diturunkan hingga mencapai rasio pengujian 0.6. Awal batas lelah (*endurance*

limit) mulai terlihat pada rasio pengujian 0.55 untuk besi cor kelabu dengan penambahan 3.8% *Si*. Sedangkan untuk besi cor kelabu dengan penambahan 3.8% *Si*, batas lelah mulai terlihat saat rasio pengujian sebesar 0.5. Hasil ini menunjukkan bahwa selain umur lelah yang meningkat akibat penambahan *Si*, batas lelah dari besi cor kelabu juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan sebesar hampir 10%. Untuk mengetahui panjang batas lelah, pengujian dilanjutkan untuk masing-masing penambahan *Si* dengan rasio masing-masing 0.5 (2.9%) dan 0.55 (3.8%) hingga 10,000.000 siklus. Saat 10,000,000 siklus didapatkan bahwa kedua spesimen belum mengalami patah lelah. Hasil ini mengkonfirmasi batas lelah yang dimiliki oleh masing-masing besi cor kelabu dengan penambahan *Si* sebesar 2.9% dan 3.8%. Penambahan *Si* berperan penting dalam pembentukan grafit yang berukuran lebih kecil dan tersebar merata, sehingga perambatan ratak akibat konsentrasi tegangan pada ujung-ujung grafit lamellar lebih sukar terjadi.



Gambar 3. Kurva lelah besi cor kelabu dengan penambahan 2.9% dan 3.8% *Si*.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian lelah menggunakan besi cor kelabu dengan penambahan 2.9% dan 3.8% *Si* menggunakan metode *open ladle* diperoleh beberapa informasi penting, diantaranya:

1. Penggunaan metode *open ladle* mengurangi jumlah *Si* yang dapat tercampur selama proses pengecoran. Hanya sekitar 48% *Si* yang secara optimal dapat tercampur dalam pencampuran dengan besi cor kelabu.
2. Hasil pengujian lelah menunjukkan bahwa kekuatan lelah, umur lelah, dan batas lelah meningkat seiring dengan meningkatnya kuantitas *Si* yang ditambahkan ke dalam besi cor kelabu. Batas lelah besi cor kelabu meningkat hampir 10% saat *Si* ditambahkan sebanyak 3.8% dibandingkan penambahan 2.9%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Callister, W., D., *Materials Science and Engineering*, 7 ed, United States of America, John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [2] Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4 ed, United States of America, John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [3] Kalpakjian, S., Steven R.S., *Manufacturing Engineering and Technology*, 6 ed, Malaysia, Pearson Publications, 2013.
- [4] Jhonson, O.A., Talabi, S.I., Olumuyiwa I.A., Afemefuna, T.O., "Effect of Silicon Additions on the Wear Properties of Grey Cast Iron", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, n. 1, pp. 61-67, 2013.
- [5] Xue, W., Yan L., "Pretreatments of gray cast iron with different inoculants", *Journal of Alloys and Compounds*, n.0925-8388(16)32085-0, pp. 1-21, 2016.
- [6] Edalati K., F. Akhlaghi, dan M. Nili-Ahmadabadi, "Influence of SiC and FeSi addition on the characteristics of gray cast iron melts poured at different temperatures", *Journal of Materials Processing Technology* 160 (2005) 183-187, 2005.
- [7] Surdia, T. dan Saito, S, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Pramita, 2005.
- [8] ASTM E466 – 07. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials, ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Jan 24 00:50:53 EST 2019.



Arnold A.I. Litaay, S.T. adalah lulusan Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma tahun 2019. Fokus penelitiannya adalah ilmu material terkait dengan karakteristik leleh dari material logam. Skripsi tugas akhir saat program S1 terkait dengan pengujian leleh besi cor kelabu dengan penambahan variasi silisium.
