

Efek penggunaan serbuk karbon aktif sebagai pelumas dalam proses kompaksi

Tengku Jukdin Saktisahdan¹, M. Mujibur Rahman²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Asahan
Jalan Jend. Ahmad Yani, Kisaran Naga, Kisaran Timur, Kisaran, Sumatera Utara 21216

²Department of Mechanical Engineering, Universiti Tenaga Nasional
Putrajaya Campus, Jalan IKRAM-UNITEN, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia
Email korespondensi: jukdinsaktisahdan@yahoo.co.id

Abstrak

Salah satu keuntungan dari proses kompaksi serbuk terhadap proses manufaktur lainnya adalah peningkatan kualitas dengan toleransi yang dapat terjaga dan biaya proses yang rendah. Namun, selama fase pemadatan, gaya gesek signifikan yang biasanya dihasilkanyang mana memberikan efek buruk pada kualitas produk akhir. Pelumas polimer biasanya digunakan untuk mengurangi gesekan, baik antar partikel maupun antara massa serbuk permukaan cetakan. Akan tetapi, dikarenakan suhu leleh yang rendah terjadi selama proses sintering bagian pelumas yang berada di permukaan terbakar habis dan pelumas yang terperangkap di dalam kompaksi mengembang sehingga meninggalkan pori-pori yang menurunkan kekuatan produk dari sinter. Untuk mengatasi masalah pelumasan ini, digunakanlah serbuk karbon aktif sebagai pelumas campuran dengan variasi 0.1%, 0.3% dan 0,5%. Bahan baku dasar yang disiapkan dengan mencampur serbuk besi ASC 100.29 yang diaduk secara mekanis dengan serbuk karbon selama 30 menit. Massa serbuk yang telah dicampurkan dipadatkan pada suhu 30 °C dan 150 °C dengan mengaplikasikan beban penekan bergerak turun kebawah dan keatas secara simultan sebesar 130 kN. Kompaksi mentah yang bebas cacat kemudian dipanaskan pada tungku sintering menggunakan gas argon dengan jadwal sintering yang berbeda yaitu dengan suhu 800°C, 900°C and 100°C. Produk hasil sintering diuji secara mekanis dan mikrostrukturnya dievaluasi. Hasilnya menunjukkan bahwa sifat produk sinter dipengaruhi oleh kandungan karbon, suhu kompaksi dan jadwal sintering.

Kata kunci: serbuk karbon, faktor gesekan, proses pemadatan, proses sintering, sifat mekanis, mikrostruktur

Abstract

One of the advantages of powder compaction to other manufacturing process is the improved quality with maintained tolerances and reduced processing cost. However, during the compaction phase, significant friction force usually generated which gives adverse effect to the quality of final products. Polymeric lubricant is usually used to reduce friction, both inter-particle and between powder mass and the die surface. However, due to its lower melting temperature, during sintering process, portion of the lubricant at the surface is burnt out and trapped lubricant inside the compact expands leaving pores which lowers down the strength of the sintered products. In order to overcome this problem, fine activated carbon varying from 0.1%, 0.3% and 0.5% was used as admixed lubricant. The feedstock was prepared by mechanically mixing iron ASC 100.29 powder with designated carbon powder for 30 minutes. Powder mass was compacted at 30°C and 150 °C by applying simultaneous downward and upward load of 130 kN. The defect-free green compacts were heated at argon gas fired sintering furnace at different sintering schedule i.e, 800°C, 900°C and 100°C. The sintered products were tested mechanically and their microstructures were evaluated. The results revealed that the properties of sintered products were affected by carbon content, forming temperature, and sintering schedules.

Keywords: carbon powder, friction factor, compaction process, sintering process, mechanical properties, microstruture

1. Pendahuluan

Pada abad ini, ada banyak proses manufaktur yang digunakan untuk menghasilkan produk akhir. Salah satunya adalah Metallurgi Serbuk (Powder Metallurgy). Teknologi metallurgi serbuk adalah untuk menghasilkan produk yang halus dan rumit serta dapat mendekati bentuk produk akhir melalui proses kompaksi dan dilanjutkan dengan proses sintering. Fitur khas yang dimiliki oleh proses metallurgi serbuk adalah pengurangan biaya, peningkatan kinerja, desain yang disesuaikan dan

produksi bahan unik [1]. Penerapan bagian metallurgi serbuk telah menikmati pertumbuhan yang cukup karena keuntungan dari metode konvensional. Sementara itu, aplikasi otomotif telah mendominasi pertumbuhan penggunaan teknologi ini dan sekarang mencapai sekitar 80% penggunaan akhir di seluruh dunia [2]. Akan tetapi, ada banyak komponen yang dihasilkan oleh metallurgi serbuk untuk bagian taman dan kebun, perkakas tangan, hobi, peralatan rumah tangga, perangkat keras, kunci, motor industry dan

lain-lain, memenuhi persyaratan toleransi dimensi untuk bagian dengan geometri yang kompleks [3].

Proses pemadatan serbuk adalah proses untuk menghasilkan berbagai macam komponen dengan cara dipadatkan dalam wadah/cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Massa serbuk yang telah dipadatkan ke bentuk yang diinginkan disebut juga dengan kompaksi mentah. Serbuk logam yang dipadatkan pada suhu ruangan (30 °C) dapat juga disebut dengan pemadatan dingin konvensional atau pada suhu yang tinggi di atas suhu ruang disebut dengan pemadatan panas [4]. Pemadatan (kompaksi) serbuk melibatkan empat langkah utama. Pertama, serbuk utama dan bahan aditif lain/pelumas dicampur secara mekanikal. Kedua, serbuk utama yang telah dicampur dengan bahan aditif (serbuk massa) dipadatkan kedalam bentuk yang sesuai pada cetakan tertutup untuk menghasilkan bahan kompaksi mentah. Ketiga, bahan kompaksi mentah yang telah bebas cacat kemudian dilakukan proses sintering pada keadaan suhu dan waktu yang terkendali dan keempat adalah produk akhir. Bahan kompaksi mentah harus memiliki kekuatan yang cukup untuk dilakukan proses sintering [2,5,6]. Kekuatan mekanik dari kekuatan bahan kompaksi mentah terjadi akibat partikel serbuk yang saling menekan pada saat proses kompaksi (pemadatan) sehingga dapat terjadinya deformasi plastis pada saat penekanan [7].

Pada saat terjadinya proses pemadatan, gesekan yang terjadi antara serbuk, dinding cetakan dan antar partikel serbuk menyebabkan distribusi kepadatan serbuk tidak merata [8]. Gesekan yang terjadi antara serbuk massa dan dinding cetakan secara signifikan mempengaruhi evolusi struktur mikro dan pengembangan tegangan sisa pada saat kompaksi [9]. Pelumasan digunakan pada saat kompaksi adalah untuk mengurangi gesekan yang terjadi serta membuat distribusi kerapatan seragam. Ada dua jenis cara metode pelumasan yang digunakan pada saat proses kompaksi untuk mengurangi gesekan yaitu pelumasan dengan cara dicampur pada serbuk utama dan yang kedua dengan cara meletakkannya pada dinding cetakan (*die wall*) [10]. Metode pelumasan yang banyak dilakukan dengan cara mencampur sejumlah bagian pelumasan secara massal kedalam serbuk dasar umumnya dapat meningkatkan kepadatan (densitas) pada kompaksi bahan mentah.

Dari para peneliti sebelumnya [10-12], Zinc Stearate banyak digunakan sebagai bahan campuran untuk pelumasan untuk mengatasi gesekan, namun hal itu menyebabkan terjadinya pori-pori pada bahan mentah diakibatkan suhu titik lebur zinc stearate yang rendah yaitu 125 °C. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk menggantikan bahan pelumasan polimer (Zinc Stearate) dengan bahan yang mempunyai suhu lebur yang tinggi yaitu serbuk karbon. Sejauh ini belum ditemukan penelitian yang melaporkan penggunaan karbon sebagai bahan campuran pelumasan tanpa ada bahan tambahan lain pada saat proses kompaksi dan

sintering. Oleh karena itu makalah ini menyajikan hasil studi komprehensif penggunaan serbuk karbon aktif sebagai bahan pelumasan selama kompaksi pada suhu tinggi. Diharapkan serbuk karbon dapat mengatasi gesekan yang terjadi pada saat kompaksi dan menutup pori-pori yang pada saat pemadatan terjadi

2. Metode

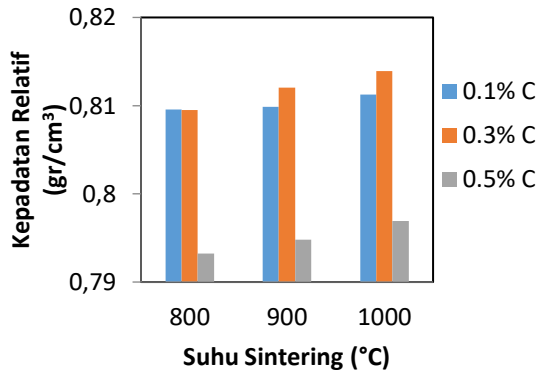
Serbuk utama yang biasanya sering digunakan adalah serbuk besi yang berbentuk bulat dengan seri ASC 100.29 buatan Höganäs AB Swedia. Bahan campuran pelumasan yang digunakan adalah serbuk karbon aktif dengan seri R4-W10 yang mempunyai titik didih sebesar 3367 °C. Serbuk besi yang di produksi oleh Höganäs AB, memiliki ukuran partikel sebesar 20 µm - 180 µm dan memiliki komposisi campurannya 1.5% Cu, 0.5% Mo, dan 4% Ni yang seimbang dengan Fe. Bahan baku disiapkan dengan pencampuran secara mekanis antara serbuk utama bahan campuran pelumasan dengan persentase berat serbuk karbon yang berbeda yaitu 0.1%, 0.3% dan 0.5% selama 30 menit. Menurut M.M Rahman dkk, [13] pencampuran yang terbaik dilakukan selama 30 menit Serbuk massa yang telah dicampur dimasukkan kedalam rongga cetakan serta didiamkan selama lebih kurang 30 menit pada suhu cetakan 150 °C sebelum dilakukan pemadatan (*Kompaksi*). Sedangkan pada pemadatan dingin (30°) tidak diperlukan pemanasan pada cetakan. Massa serbuk yang telah diletakkan kedalam cetakan kemudian dilakukan penekanan oleh dua buah penekan yang bergerak secara *multi axial* dengan beban penekanan sebesar 130 kN.

Selanjutnya, proses sintering dilakukan dengan menggunakan tungku sintering menggunakan gas argon dengan no seri tungku HT3 1400 SIC. Penggunaan gas argon adalah untuk mengeluarkan oksigen yang terdapat didalam tungku yang dapat membuat proses aoksidasi terhadap produk akhir. Suhu pemanasan pada sintering bervariasi antara 800 °C sampai 1000 °C. Peningkatan suhu pemanasan dan penurunan suhu pendinginan diatur pada temperature 10 °C/menit. Sementara itu, ada dua lamanya waktu pemanasan stabil yang dilakukan pada suhu yang diinginkan yaitu selama 30 menit dan 60 menit. Sample yang telah di sinter kemudian ditandai untuk kerapatan relatif, kekuatan tekan (lentur) dan mikrostrukturnya.

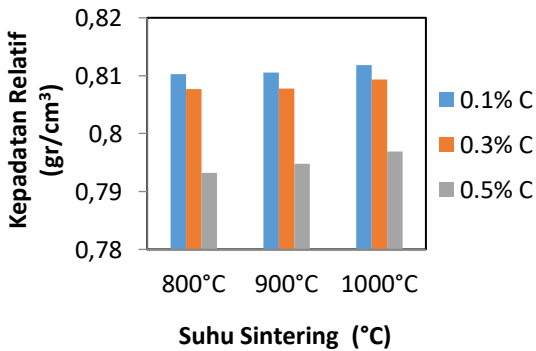
3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perubahan jumlah persentase karbon dapat mempengaruhi *relative density* (kepadatan relative) pada setiap sample. Peningkatan suhu sintering juga dapat meningkatkan jumlah kerapatan relative walaupun tidak signifikan. Peningkatan kepadatan relatif yang tertinggi didapat pada saat persentase kandungan karbon aktif berada di 0.3% dan pada suhu sintering 1000 °C. Kemungkinan hal ini disebabkan tidak

adanya panas yang diberikan kepada mass serbuk sehingga pada saat pemadatan (kompaksi) partikel serbuk tidak dapat mengisi pori-pori yang kosong pada sample. Dalam hal ini, peningkatan kepadatan relatif hanya dapat terjadi pada saat sample mengalami pemanasan (*Sintering*) yang mana partikel-partikel pada sample telah mengalami pemuaiian dan bergerak mengisi kekosongan pori-pori yang terdapat didalam sample.

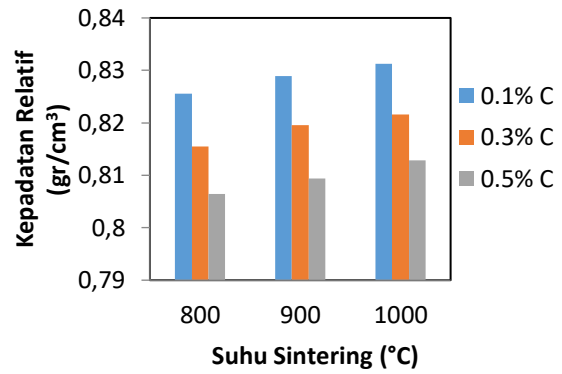


Gambar 1. Grafik kepadatan relatif pada sampel dengan suhu kompaksi 30 °C dan sintering selama 30 menit

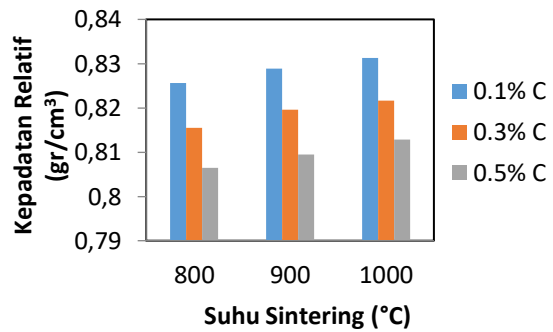


Gambar 2. Grafik kepadatan relatif pada sampel dengan suhu kompaksi 30 °C dan sintering selama 60 menit

Hasil yang berbeda diperoleh pada saat lamanya pemanasan pada suhu yang stabil (*holding time*) selama 60 menit. Dalam hal ini perbedaan jumlah persentase yang terkandung dalam serbuk utama juga dapat mempengaruhi tingkat densifikasi yang terjadi walaupun tidak secara signifikan (gambar 2). Peningkatan nilai densitas dipada saat Jumlah persentase karbon aktif yang rendah pada sampel yaitu 0.1% dan kemudian disinter pada suhu 1000°C. Hal ini disebabkan oleh sedikitnya persentase jumlah karbon aktif didalam massa serbuk mengakibatkan partikel serbuk besi dapat bergerak dan saling menyatu mengisi kekosongan pori-pori didalam sample.

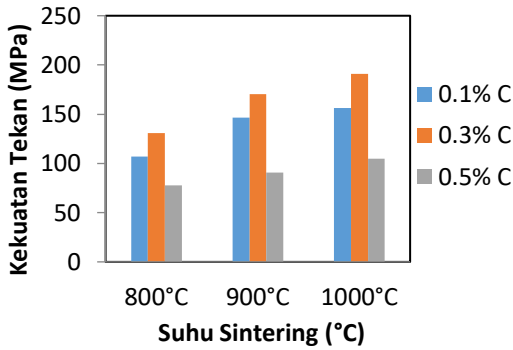


Gambar 3. Grafik Kerapatan relatif pada sampel dengan suhu kompaksi 150 °C dan sintering selama 30 menit



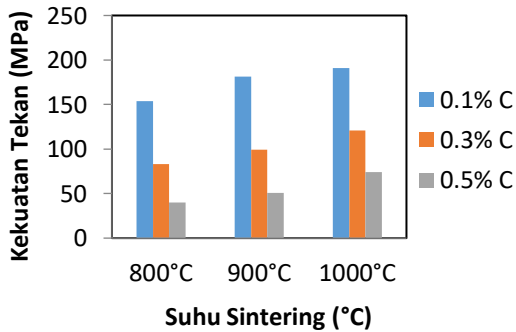
Gambar 4. Grafik kepadatan relatif pada sampel dengan suhu kompaksi 150 °C dan sintering selama 60 menit

Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa grafik densiti yang tinggi didapat apabila jumlah persentase karbon aktif yang terdapat pada serbuk utama berkurang. Dalam hal ini karbon aktif dengan persentase 0.1% memiliki densitas yang tinggi. Peningkatan jumlah densitas yang tinggi ini juga terjadi pada saat mengalami pemanasan (*sintering*) yang tinggi, yaitu sebesar 1000 °C. Perbedaan lamanya pemanasan dengan suhu stabil yang terjadi pada masing-masing sampel tidak dapat memberikan perbedaan yang signifikan pada densiti yang didapat dikarenakan proses densifikasi sudah terjadi pada saat proses kompaksi panas dan peningkatan suhu pada saat sintering. Proses pemadatan panas dapat membuat partikel serbuk besi menjadi sedikit melunak sehingga memudahkan setiap partikel serbuk besi bergerak menutupi pori-pori yang terdapat didalam sample. Suhu yang tinggi pada saat sintering dapat juga membuat partikel serbuk besi menjadi semakin membesar dan bergerak ke segala arah menutupi pori-pori yang terdapat pada sample sehingga dapat membuat peningkatan densitas sebuah sample.



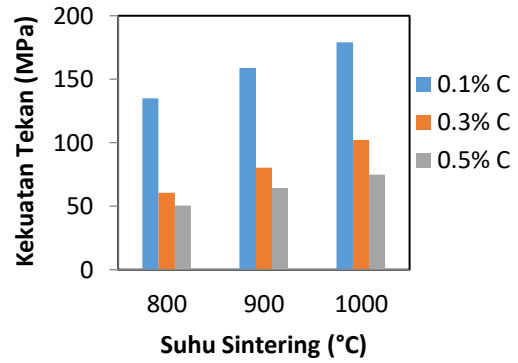
Gambar 5. Grafik kekuatan tekan pada sampel dengan suhu pemadatan 30 °C dan sintering selama 30 menit

Dalam Gambar 5. memperlihatkan bahwa setiap peningkatan suhu temperatur sintering dapat memberikan peningkatan kekuatan tekan pada sampel untuk setiap persentase karbon aktif yang berbeda. Akan tetapi, kekuatan tekan yang tertinggi didapat pada saat campuran persentase karbon aktif sebesar 0.3%. Hal ini terjadi diakibatkan oleh tingkat densitas yang juga tinggi dan dapat dilihat pada Gambar 1 diatas. Peningkatan densiti ataupun kepadatan sebuah sample memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan sampel tersebut [14].

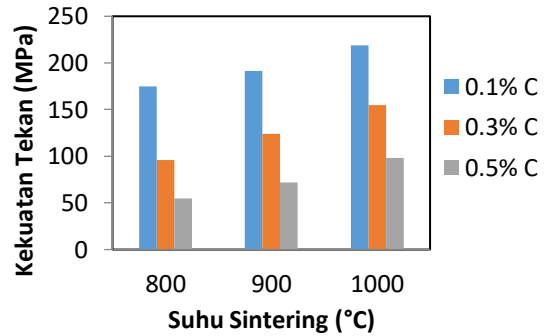


Gambar 6. Kekuatan tekan pada sampel dengan suhu pemadatan 30 °C dan sintering selama 60 menit

Perbedaan signifikan yang didapat adalah pada saat sample mengalami pemanasan dengan suhu yang stabil (*Sintering holding time*) selama 60 menit yang mana perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Peningkatan suhu sintering yang semakin tinggi dapat membuat peningkatan nilai densitas pada setiap persentase karbon aktif. Peningkatan density yang mempunyai nilai paling tinggi didapat pada campuran persentase serbuk karbon sebesar 0.1%. hal ini disebabkan oleh sedikitnya karbon dalam serbuk massa yang dapat membuat partikel serbuk besi dapat saling bergerak menutupi pori serta saling bersatu antar partikel.

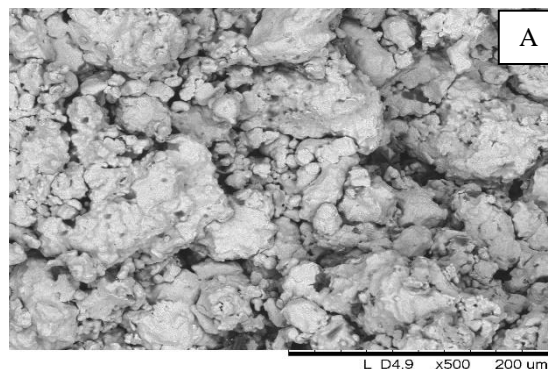


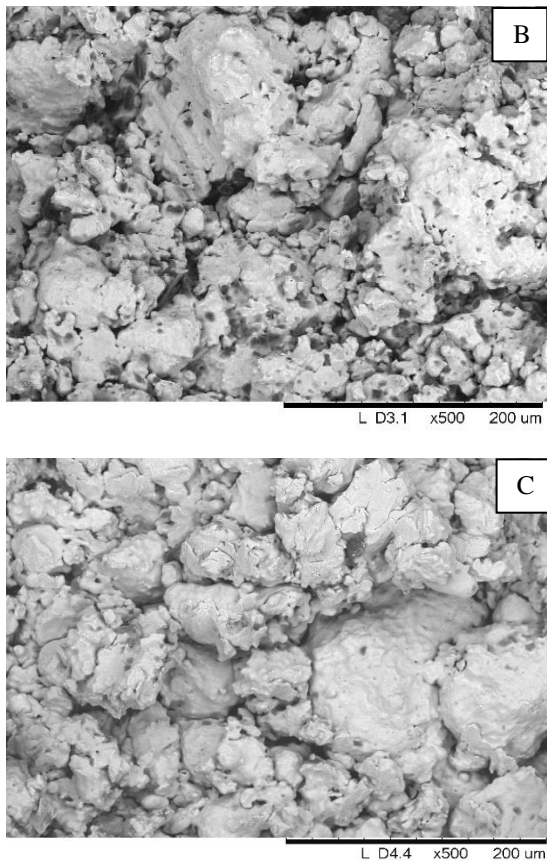
Gambar 7. Kekuatan tekan pada sampel dengan suhu pemadatan 150 °C dan sintering selama 30 menit



Gambar 8. Kekuatan tekan pada sampel dengan suhu pemadatan 150 °C dan sintering selama 60 menit

Gambar 7 dan 8 memperlihatkan grafik peningkatan kekuatan tekan pada setiap sample yang terjadi pada setiap suhu sintering yang meningkat. Akan tetapi, sintering selama 60 menit memberikan peningkatan kekuatan tekan dibandingkan sintering selama 30 menit walaupun peningkatan tersebut tidak terlalu signifikan. Perbandingan antara kompaksi panas (150 °C) dan kompaksi dingin (30 °C) pada sampel kompaksi mentah memberikan peningkatan yang tidak signifikan pada sifat mekanik selama proses sintering untuk memperbaiki densitas [15].





Gambar 9. Mikrostruktur sample dengan proses kompaksi panas dan di sinter selama 60 menit pada suhu: (A) 800 °C, (B) 900 °C dan (C) 1000 °C

Pada Gambar 9 memperlihatkan perubahan mikrostruktur serbuk besi yang di sinter selama 60 menit dengan suhu yang berbeda. Pada suhu yang semakin tinggi, serbuk besi dapat semakin mengembang serta dapat menyatu dengan serbuk besi yang lainnya sehingga memperlihatkan bentuk partikel serbuk yang semakin membesar. Di dalam Gambar 9 (A) masih banyak partikel-partikel kecil yang belum menyatu dengan partikel serbuk yang lainnya. Gambar 9 (B) memperlihatkan perubahan bertambahnya partikel yang menyatu dengan partikel lainnya serta berkurangnya pori yang berada dalam sampel tersebut. Gambar 9 (C) sudah semakin banyak partikel yang semakin besar dan menyatu antar partikel sehingga meningkatkan density serta kekuatan tekan pada sampel. Peningkatan karbon powder yang terdapat pada sample dapat membuat penghambatan formasi antara sesama partikel logam untuk bersatu saat kompaksi dan sintering. Hal ini dikarenakan ukuran serbuk karbon yang lebih besar daripada serbuk besi serta mempunyai bentuk yang tidak beraturan [16]

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil diatas dapat diambil bahwa peningkatan jumlah persentase serbuk karbon aktif tidak dapat memberikan peningkatan densitas ataupun

kekuatan tekan pada sample dikarenakan sifat dari partikel serbuk karbon yang bukan metal dan mempunyai titik didih yang sangat tinggi (3367 °C) dibandingkan serbuk utama yaitu serbuk besi yang hanya sebesar 1538 °C. proses kompaksi panas. Penyebab yang paling utama adalah dikarenakan sifat dari serbuk karbon tersebut yang tidak dapat menyatu terhadap serbuk besi dikarenakan suhu sintering yang masih rendah daripada suhu lebur karbon aktif tersebut. Kompaksi panas, suhu sintering yang tinggi serta lamanya waktu sintering memberikan pengaruh yang sangat berarti dalam peningkatan densitas serta kekuatan tekan pada sampel.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan banyak terima Kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia (MOHE), untuk mendanai penelitian ini dibawah hibah 08012011 ERGS

Daftar Pustaka

- [1] G. Ryuichiro, Powder Metallurgy in the automotive market. In: *Business briefing: global automotive manufacturing and technology*. Materials, London, UK. P 44-50.
- [2] D. Whittaker, (2000). Current and future forces driving automotive PM. *Met Powder Rep.*, **55**: 22-27.
- [3] W. B. James, & G. T. West, (2002). *Ferrous Powder Metallurgy Materials, in Powder Metal Technologies and Applications*. ASM Handbook, Vol. 07, (ASM International) p.p. 751-768.
- [4] P. Seung-jun, N. H. Heung, H.O. Kyu, & N.L. Dong, (1999). Model for compaction of metal powder. *Int. Journal of Mechanical Sciences*, Vol. **41**, p. 121-141.
- [5] A. K. Ariffin M. M. Rahman, & A. Jumahat, (2002) An experimental investigation of warm powder compaction process. In: *BSME-ASME International conference on thermal engineering*, Dhaka 2002.
- [6] B. Johanse, (2000). Experience with warm compaction of densmix powder in the production of complex parts. In: *Proceedings of Powder Metallurgy World Congress*, pp. 536-539.
- [7] *ASM metals handbook*, 9th ed, vol. 7. Metals Park, 1984.
- [8] Y Kanno, J. A. C Martins, & A. P. Costa., (2006). Three dimensional quasi-static frictional contact by using second-order cone linear complimentarity problem,” *International Journal for Numerical Methods in Engineering* **65**, p. 62-83.
- [9] C. F. Alan Cocks; Constitutive modelling of powder compaction and sintering. *Progress in Material Science* vol 46 . 2001. p. 201-229.
- [10] S. S. M. Nor, M. M. Rahman, Tarlochan, F. B. Shahida, & A. K. Ariffin, (2008). Effect of

- lubrication in reducing net friction in warm powder compaction process. *Journal of Material Processing Technology* Vol. **207**, p. 119.
- [11] M. M. Rahman, S. S. M. Nor, H. Y. Rahman, & I. Sopyan, (2012). Effects of forming parameters and sintering schedules to the mechanical properties and microstructures of final components. *Journal of Material and Design* Vol. **33**, p. 153-157.
- [12] M. M. Rahman, S. S. M. Nor, & Y. Rahman, (2011). Effects of lubrication in warm powder compaction process. *ASM Science Journal* Vol **5** (1), p. 11-18.
- [13] M.M. Rahman, S.S.M Nor, and A.K. Ariffin, (2013). Effect of lubricant content to the properties of Fe-based components formed at above ambient temperature. Malaysian International Tribology Conference. *Procedia Engineering* (68) p. 425 – 430.
- [14] A. Babakhani, A. Haerian, and M. Ghambari, (2006). On the combined effect of lubrication and compaction temperature on properties of iron-based P/M parts. *Materials Science and Engineering*(437), p. 360-365.
- [15] A. Babakhani, and A. Haerian, (2008). Effect of carbon content and sintering temperature on mechanical properties of iron based PM parts produced by warm compaction. *Powder Metallurgy Progress* 8 (2), p.156-163
- [16] A. Simchi, (2003). Effect of lubrication procedure on console sintering and micro structural features of powder compact. *Material and Design* 24 (8), p. 585-594