

Perubahan Karakteristik Cetakan *Green Sand* dan Cacat Inklusi Pasir Akibat Perubahan Kadar Bentonit

(1)*Sutiyoko, (2)Fatwa Madani

^{1,2)}Program Studi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten

*Email: sutiyoko@polmanceper.ac.id

Diterima: 24.10.2022, Disetujui: 24.11.2022, Diterbitkan: 30.11.2022

ABSTRACT

Bentonite is one of the main ingredients in green sand mold and has an effect on its characteristics and the casting. Bentonite affects the permeability, compactibility, shear strength, and strength of green sand mold. The purpose of this study is to investigate the greensand characteristics due to changes in bentonite content and its effect on sand inclusion defect. The variation of bentonite content is 3.5% and 4.3% of the total weight of the mold material. Tested of green sand mold includes permeability, compressive strength, compactibility, and moisture content. Casting of car disc brake to analyze its effect on casting defects. The results of the green sand characteristic test showed that the bentonite content of 3.5% had compressibility of 13.7 ± 0.4 N/cm² (standard: 14 – 18 N/cm²) and compactibility of $34 \pm 5.1\%$ (standard: 33 – 58%). Both of these characteristics are still below the greensand concrete standard. The bentonite content of 4.3% has green sand mold characteristics that are in accordance with standards of green sand mold characteristics for all the characteristics. The results of nodular cast iron indicate the occurrence of sand inclusion defect in the casting. Lack of bentonite content decreases the mold compactibility so that the sands are easily released when metal liquid enters. The liquid metal can carry sand and the sand inclusions occur in the casting. Like wise with the compressive strength that is below standard. Low compressive strength allows erosion when exposed to molten metal pressure.

Keywords: *green sand mold, bentonite, compactibility, compressive strength*

ABSTRAK

Bentonit merupakan salah satu bahan utama dalam cetakan *green sand* dan berpengaruh pada karakteristik cetakan serta hasil benda cor. Kadar bentonit mempengaruhi permeabilitas, kompaktilitas, kekuatan geser, dan kekuatan tekan cetakan *green sand*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik cetakan *greensand* akibat perubahan kadar bentonit serta pengaruhnya terhadap cacat inklusi pasir. Variasi kadar bentonit sebesar 3,5 % dan 4,3 % dari berat total bahan cetakan. Pengujian cetakan mencakup uji mampu bentuk, kekuatan tekan, dan kadar air. Uji coba pada benda cor *disc brake* mobil untuk menganalisa pengaruhnya terhadap cacat cor yang terjadi. Hasil pengujian karakteristik cetakan *green sand* menunjukkan bahwa kadar bentonit 3,5 % memiliki mampu tekan cetakan $13,7 \pm 0,4$ N/cm² (standar : 14 – 18 N/cm²) dan mampu bentuk cetakan $34 \pm 5,1$ % (standar: 33 – 58 %). Kedua karakteristik ini masih berada di bawah standar cetakan *green sand*. Kadar bentonit 4,3 % memiliki karakteristik cetakan yang sesuai dengan standar cetakan *green sand* untuk semua karakteristik cetakan yang diuji. Hasil pengecoran besi cor nodular menunjukkan terjadinya cacat inklusi pasir pada benda cor. Kekurangan kadar bentonit menurunkan mampu bentuk cetakan sehingga cetakan mudah rontok ketika cairan logam masuk. Rontoknya cetakan ini dapat membawa pasir sehingga terjadi inklusi pasir pada benda cor. Demikian halnya dengan mampu tekan cetakan yang di bawah standar. Kekuatan tekan rendah memungkinkan cetakan erosi ketika terkena tekanan cairan logam.

Kata Kunci: *cetakan green sand, bentonit, mampu tekan, kompaktilitas*

I. Pendahuluan

Cetakan *green sand* merupakan cetakan yang banyak digunakan pada industri pengecoran logam. Cetakan ini lebih sering digunakan oleh

industri kecil dan menengah dalam memproduksi produk cor dari bahan aluminium, kuningan, perunggu, dan besi cor. Cetakan *green sand* terdiri dari pasir silika, bentonit, air dan bahan tambahan lain. Kadar

bentonit berkisar 10%, kadar air berkisar 2-5 % dan kadar seacoal sekitar 5% dari berat total cetakan (Desai et al., 2016). Berbagai karakteristik cetakan *green sand* baik permeabilitas, kompaktilitas, kekuatan geser diupayakan memenuhi kriteria yang mampu menghasilkan benda cor tanpa cacat (Adedayo, 2010).

Salah satu penyusun cetakan *green sand* adalah pasir silika (SiO₂). Penggunaan pasir jenis lain seperti pasir zirkon, pasir magnesia sebenarnya dapat dilakukan (Desai et al., 2016), namun hal ini jarang dilakukan. Permasalahan yang menjadi alasan adalah karena karena harga pasir silika jauh lebih murah. Produk cor yang tidak dituntut kualitas tinggi sangat cocok jika menggunakan pasir silika sebagai bahan cetakan *green sand*. Pasir silika sebagai bahan cetakan *green sand* juga dapat diganti dengan abu biomassa dengan jumlah 9-30 % lebih banyak. Hasil karakterisasi cetakan yang diperoleh cukup memuaskan sebagai cetakan untuk pengecoran logam (Srinivasan et al., 2018).

Bahan tambahan /aditif merupakan bahan yang ditambahkan ke cetakan *green sand* untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu pada cetakan tersebut (Ihom et al., 2011). Bahan-bahan tambahan yang dapat digunakan dalam cetakan *green sand* diantaranya *fly ash* (abu batu bara), serbuk kulit buah kelapa, tepung tamarin (Tataram & Nanjundaswamy, 2013), tepung sodium *carboximetyl* (Drożyński et al., 2015). Beberapa sifat yang dapat dinaikkan dengan bahan aditif diantaranya ketahanan penetrasi terhadap logam cair, kehalusan permukaan cetakan dalam/ *cavity*, plastisitas temperatur yang tinggi (Chowdhary, 2008). Bahan tambahan serbuk tamarin meningkatkan kekuatan tarik cetakan *green sand* lebih tinggi dibandingkan *fly ash* dan serbuk tempurung kelapa (Chavan & Nanjundaswamy, 2013). Penambahan *fly ash* hasil limbah industri pembangkit listrik pada cetakan *green sand* mempengaruhi karakteristik cetakan *green sand*. Penambahan *fly ash* sampai 15% dapat dilakukan untuk mendapatkan karakteristik cetakan yang diinginkan (Sadarang & Nayak, 2021). Bahan tambahan lain yang dapat digunakan adalah tepung kulit pisang. Bahan tambahan ini bahkan mampu menghasilkan cetakan *green sand* dengan karakteristik yang hampir sama jika bahan tambahan lebih mahal seperti *dextrin*. Karakteristik cetakan *green*

sand yang dimaksud anatara lain kekuatan tekan, kekuatan geser, kekerasan, permeabilitas cetakan (Siddharth et al., 2020).

Bentonit terbentuk dari perubahan abu vulkanik dengan kandungan utama mormolinoit ditambah berbagai unsur pendamping seperti silika, kalsit, illit, felspar dan mika (Nones et al., 2015). Bentonit merupakan material yang banyak digunakan lebih dari 40 aplikasi dalam berbagai industri, baik industri tradisional maupun modern (Gong et al., 2016). Pada masa dahulu, bentonit banyak dipakai misalnya dalam industri pengecoran logam dan pengeboran lumpur (Gong et al., 2016). Sesuai perkembangan teknologi, penggunaan bentonit berkembang dalam bidang industri pengolahan makanan (Mihaljevič et al., 2006), obat-obatan (Shah et al., 2013), dan kosmetik (Nones et al., 2015).

Kadar bentonit berpengaruh terhadap karakteristik cetakan *green sand* dan kualitas benda cor yang diproduksi. Kenaikan kadar bentonit akan meningkatkan kekuatan tekan cetakan *green sand* (A. P. Ihom & Offiong, 2014). Kekuatan tekan cetakan dan kandungan air di dalamnya memiliki pengaruh besar dalam kontrol kualitas hasil benda cor (Singaram, 2010). Kenaikan pengikat / bentonit menurunkan kompaktilitas cetakan dan meningkatkan kekuatannya (Sadarang et al., 2020). Peningkatan kekuatan geser cetakan *green sand* tersebut karenan ikatan antar butir pasir semakin kuat seiring peningkatan kadar bentonit. Namun penambahan bentonit memiliki batas maksimal. Artinya, penambahan bentonit di atas batas maksimal justru akan menurunkan kekuatan geser karena bentonit berlebihan dan justru hanya ikatan antar bentonit.

Bentonit ada beberapa jenis diantaranya adalah bentonit natirium. Bentonit ini dalam industri pengecoran digunakan untuk campuran membuat cetakan *green sand*. Bentonit natrium memiliki kemampuan mengembang, tahan panas, dan daya ikat yang lebih baik jika dibandingkan dengan bentonit lainnya (Paž et al., 2019).

Selain bentonit, bahan lain yang dapat digunakan sebagai pengikat cetakan *green sand* adalah tepung singkong. Tepung ini memiliki daya ikat lebih rendah dari bentonit tapi dalam jumlah tertentu mampu diperoleh karakteristik baik untuk cetakan *green sand*. Tepung

singkong dapat diaplikasikan pada benda cor untuk berat tertentu dalam pengecoran logam. Permeabilitas cetakan *green sand* menurun dengan penambahan kadar tepung singkong (Atanda et al., 2012).

Kadar bentonit berpengaruh pada mikrostruktur benda cor. Besi cor kelabu yang dicor dengan menggunakan cetakan *green sand* berkadar bentonit 3% memiliki grafit serpih lebih kasar dibandingkan jika cetakan *green sand* berkadar bentonit 5%. Ferit pada besi cor kelabu terbentuk lebih banyak jika menggunakan cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3% dibanding 5%, namun struktur perlitnya lebih kasar. Kekerasan dan kekuatan tarik besi cor kelabu yang diproduksi dengan menggunakan cetakan *green sand* berkadar bentonit 3% lebih rendah jika dibandingkan dengan yang berkadar bentonit 5% (Budiyono et al., 2014).

Pengaruh bentonit terhadap karakteristik cetakan *green sand* banyak dilakukan penelitian dengan berbagai kadar bentonit. Karakteristik cetakan *green sand* yang dimaksud diantaranya kompaktibilitas, kekuatan geser, kadar air, dan lain-lain. Selain itu, pengaruh penggunaan bentonit juga dikaitkan dengan karakteristik struktur mikro besi cor kelabu, kekuatan tarik dan kekerasan benda cor. Berdasarkan hal ini, penelitian tentang efek kadar bentonit terhadap karakteristik cetakan *green sand* dan cacat yang terjadi pada benda cor besi cor nodular belum pernah dilakukan. Hal ini perlu diteliti untuk menghemat biaya produksi benda dengan mengurangi jumlah produk gagal akibat cacat padanya.

II. Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan studi kasus dalam proses produksi benda besi cor. Bahan cetakan terdiri dari pasir silika baru, pasir silika bekas, bentonit, sea coal, air. Bahan - bahan cetakan *green sand* divariasi dalam dua komposisi. Komposisi pasir silika bekas, pasir silika baru, dan *sea coal* pada cetakan *green sand* menggunakan berturut-turut sebanyak 300 kg, 50 kg, dan 1,25 kg. Komposisi ini sama untuk setiap variasi dari cetakan *green sand*. Kandungan bentonit dan air untuk komposisi pertama sebesar 8 kg (3,5 %) dan 10,5 kg sedangkan untuk komposisi kedua sebanyak 10 kg (4,3 %) dan 12 kg.

Masing-masing komposisi dicampur dengan mixer sampai merata. Campuran ini dibuat minimal tiga spesimen per komposisi untuk beberapa pengujian pasir antara lain pengujian mampu alir gas, mampu tekan, mampu geser, mampu bentuk, dan moisture / kelembaban. Spesimen uji mampu alir gas dibuat dengan *sand rammer* dengan ukuran panjang sampel 50 mm dan diameter 50 mm. Spesimen ini juga dipakai untuk pengujian kuat tekan dan kuat geser. Mampu alir gas, kekuatan tekan, mampu bentuk dan kekuatan geser diperoleh berdasarkan pembacaan yang tertera pada alat uji.

Uji kelembaban dilakukan dengan menimbang pasir cetak sebanyak 50 gr kemudian dipanaskan pada alat uji. Pasir kemudian ditimbang lalu dipanaskan lagi dan ditimbang lagi sampai diperoleh berat pasir menjadi konstan. Kadar air dihitung berdasarkan selisih berat awal dan akhir lalu dibagi berat awal pasir dan dikalikan 100 %.

Masing-masing komposisi cetakan *green sand* digunakan untuk membuat benda cor dengan jenis material besi cor. Hasil produk diidentifikasi cacat inklusi pasir yang terjadi. Hasil cacat yang terjadi dianalisa berdasarkan hasil pengujian pasir cetak *green sand* untuk mengetahui pengaruh penggunaan kadar bentonit yang berbeda.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Karakteristik Cetakan *Green Sand*

Karakterisasi cetakan *green sand* dengan perbedaan komposisi bentonit ditunjukkan pada Tabel 1. Mampu alir gas (permeabilitas) cetakan *green sand* standar adalah 130 – 230 cm³/detik. Cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3,5% memiliki mampu alir gas sebesar 126,7 ± 4,71 cm³/detik, sedangkan jika kadar bentonit 4,3 % memiliki mampu alir gas 130,2 ± 2,23 cm³/detik. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar bentonit 3,5 % menghasilkan mampu alir gas kurang memenuhi standar. Hal ini menyebabkan gas lebih sulit keluar dari cetakan dan dapat menyebabkan cacat di dalam benda cor. Kenaikan kadar *green sand* sebenarnya menaikkan daya ikat cetakan, namun jika kenaikan itu belum mencapai maksimal maka akan menaikkan mampu alir gas cetakan *green sand*.

Mampu tekan cetakan *green sand* menurut standar adalah 14 – 18 N/m². Penggunaan bentonit 3,5 % menghasilkan mampu tekan cetakan *green sand* sebesar 13,7 ± 0,41 N/m² sedangkan jika menggunakan bentonit 4,3 % menghasilkan mampu tekan cetakan *green sand* sebesar 16,2 ± 0,97 N/m². Peningkatan kadar bentonit selama belum mencapai kadar maksimal akan meningkatkan kekuatan tekan cetakan *green sand* (Chang & Hocheng, 2001). Hal ini dikarenakan peningkatan kadar bentonit memperkuat daya ikat antara butiran pasir sehingga lebih sulit rusak akibat gaya tekan.

Mampu bentuk cetakan *green sand* menurut standar sebesar 33 – 58 %. Mampu bentuk merupakan prosentase perubahan bentuk spesimen ketika terkena beban impak/kejut. Cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3,5 % menghasilkan mampu bentuk sebesar 34 ± 5,1 %, sedangkan dengan kadar bentonit 4,3 % menghasilkan mampu bentuk cetakan *green sand* sebesar 36 ± 2,51 %. Mampu bentuk cetakan *green sand* meningkat akibat kenaikan bentonit (Sadarang & Nayak, 2021). Kenaikan bentonit meningkatkan daya ikat antar butir pasir sehingga cetakan lebih sulit memadat ketika terkena beban kejut.

Mampu geser cetakan *green sand* sesuai standar adalah 3 – 5,5 N/m². Cetakan *green sand* dengan bentonit 3,5 % menghasilkan mampu geser cetakan sebesar 2,7 ± 0,41 N/m². Kadar bentonit 4,3 % pada cetakan *green sand* menghasilkan mampu geser cetakan *green sand* 4,1 ± 0,67 N/m². Hasil ini menunjukkan bahawa kadar bentonit 3,5 % masih menghasilkan cetakan *green sand* dengan

mampu geser di bawah standar yang ditetapkan. Peningkatan komposisi bentonit mampu meningkatkan mampu geser cetakan *green sand* (Sadarang & Nayak, 2021) karena bentonit yang mengikat pasir makin banyak sehingga pasir lebih sulit bergeser ketika ada gaya / beban geser yang mengenainya.

Kelembaban / kadar air dalam cetakan *green sand* ditetapkan 6 – 12 %. Cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3,5 % menghasilkan kadar air 8,3 ± 0,41 N/ % sedangkan kadar air pada penggunaan bentonit 4,3 % sebesar 7,7 ± 0,66 %. Nilai kadar air ini masih memenuhi kriteria yang ditetapkan untuk cetakan *green sand*. Kenaikan kadar bentonit menurunkan kadar air dalam cetakan seperti terlihat pada hasil pengujian ini. Hal ini disebabkan penambahan jumlah bentonit yang memiliki kadar air lebih rendah dari kadar air di cetakan *green sand* sehingga kadar air gabungan turun. Penurunan kadar air ini masih dalam batas aman yang ditetapkan untuk cetakan *green sand*.

Hasil karakterisasi cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3,5 % secara umum masih belum memenuhi standar karakteristik cetakan *green sand*. Mampu alir gas, kekuatan tekan, kekuatan geser, mampu bentuk semua masih berada di batas bawah dan cenderung tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan. karakteristik kadar air saja yang dapat memenuhi kriteria cetakan *green sand*.

Tabel 1. Karakteristik cetakan *green sand*

Karakteristik	Standar	Bentonit 3,5%	ST Dev	Bentonit 4,3%	ST Dev
Mampu alir gas	130-230 cm ³ /detik	126,7	4,71	130,5	2,23
Mampu tekan	14.0-18.0 N/cm ²	13,7	0,41	16,2	0,97
Mampu bentuk	33%-58%	34,0	5,10	36,0	2,51
Mampu geser	3.0-5.5 N/cm ²	2,7	0,41	4,1	0,67
Kelembaban	6%-12%	8,3	0,56	7,7	0,66

2. Cacat Inklusi Pasir pada Benda Cor

Komposisi cetakan *green sand* dengan menggunakan bentonit 3,5 % dan 4,3 % digunakan untuk membuat benda cor dari besi cor nodular. Hasil pengecoran tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 untuk penggunaan bentonit 3,5 % dan Gambar 2 untuk komposisi bentonit 4,5 %..



Gambar 1. Hasil pengecoran menggunakan bentonit 3,5 %



Gambar 2. Hasil pengecoran menggunakan bentonit 4,3 %

Benda cor hasil penggunaan bentonit dengan kadar 3,5 % pada cetakan *green sand* menunjukkan adanya lubang kecil di permukaan benda (ditandai dengan lingkaran warna merah). Lubang ini diperkirakan dari pasir yang rontok dan masuk ke permukaan benda sehingga terjadi lubang di permukaan. Pada penggunaan bentonit dengan jumlah 4,5 %, benda cor tidak mengalami cacat tersebut sehingga permukaan benda lebih baik.

Karakteristik cetakan *green sand* dengan bentonit 3,5 % menunjukkan bahwa mampu bentuk, mampu tekan, dan mampu geser

cetakan masih berada di bawah standar yang ditentukan. Mampu geser rendah menunjukkan bahwa ketahanan permukaan cetakan menerima beban geser akibat aliran logam cair lemah dan dapat mengakibatkan pasir erosi dan menempel di permukaan benda cor. Pasir yang menempel ini dapat menjadi cacat inklusi pasir di permukaan benda atau di dalam benda cor. Mampu bentuk yang rendah juga mengakibatkan cetakan lebih mudah retak akibat adanya gaya yang mengengainya. Hal ini juga dapat menyebabkan pasir lepas dari cetakan dan menimbulkan cacat akibat pasir. Mampu tekan rendah juga memiliki pengaruh negatif pada cetakan. Cetakan kurang mampu menahan beban tekan dan pasir mudah lepas dari permukaan *cavity*.

IV. Kesimpulan

Penggunaan bentonit dengan komposisi 4,3 % pada cetakan *green sand* memiliki pengaruh pada karakteristik cetakan dan hasil benda cor lebih baik dari pada komposisi bentonit 3,5 %. Mampu alir gas, mampu tekan, mampu geser, dan mampu bentuk cetakan *green sand* dengan kadar bentonit 3,5 % belum memenuhi standar yang ditentukan, sedangkan cetakan dengan komposisi bentonit 4,3 % memiliki karakteristik cetakan *green sand* yang memenuhi standar. Benda cor hasil pengecoran dengan cetakan *green sand* berkadar bentonit 4,3 % lebih baik dibandingkan dengan kadar bentonit 3,5 %. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya cacat inklusi pasir pada benda cor.

Daftar Pustaka

- Adedayo, A. V. (2010). Effects of addition of iron (Fe) filings to green moulding sand on the microstructure of grey cast iron. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 32(2), 171–175.
- Atanda, P. O., Olorunniwo, O. E., Alonge, K., & Oluwole, O. O. (2012). Comparison of Bentonite and Cassava Starch on the Moulding Properties of Silica Sand. *International Journal of Materials and Chemistry*, 2(4), 132–136. <https://doi.org/10.5923/j.ijmc.20120204.03>
- Budiyono, S., Harjanto, B., & Estriyanto, Y. (2014). Perbandingan Kualitas Hasil Pengecoran Pasir Cetak BASAH Dengan

- Campuran Bentonit 3% dan 5% pada Besi Cor Kelabu. *Jurnal Nosel*, 2(3), 1=8.
- Chang, Y., & Hocheng, H. (2001). The Flowability of bentonite bonded green molding sand. *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 238–244.
- Chavan, T. K., & Nanjundaswamy, H. M. (2013). Comparison of Fly ash with Coconut shell Powder and Tamarind powder on Green sand Mold Properties . *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 2(4), 412–416.
- Chowdhary, D. (2008). Green Sand management - Role & application of carbonaceous additives and concept of total carbon in a Green Sand system. *68th World Foundry Congress 2008, WFC 2008*, 127–132.
- Desai, B., Mokashi, P., Anand, R. L., Burli, S. B., & Khandal, S. V. (2016). Effect of Additives on Green Sand Molding Properties using Design of Experiments and Taguchi's Quality Loss Function - An Experimental Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1), 1–17. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012006>
- Drożyński, D., Kurlito, Ž., Kaczmarska, K., & Grabowska, B. (2015). Analysis of Selected Technological Properties of Green Sands With Starch-Based Additives. *Metallurgy and Foundry Engineering*, 15(3), 127–131. <https://doi.org/10.7494/mafe.2015.41.2.65>
- Gong, Z., Liao, L., Lv, G., & Wang, X. (2016). A simple method for physical purification of bentonite. *Applied Clay Science*, 119(2), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.10.031>
- Ihom, A. P., & Offiong, A. (2014). The study of green compression strength of a green sand mould using statistical approach. *Materials Science and Applications*, 5(12), 876.
- Ihom, P. A., Agunsoye, J., Anbua, E. E., & Ogbodo, J. (2011). Effects of moisture content on the foundry properties of yola natural sand. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 10(19), 85–96.
- Mihaljevič, M., Ettler, V., Hradil, D., Šebek, O., & Strnad, L. (2006). Dissolution of bentonite and release of rare earth elements at different solid/liquid ratios in a simulated wine purification process. *Applied Clay Science*, 31(1–2), 36–46.
- Nones, J., Riella, H. G., Trentin, A. G., & Nones, J. (2015). Effects of bentonite on different cell types: A brief review. *Applied Clay Science*, 105–106(March), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.036>
- Paż, S., Drożyński, D., Górný, M., & Cukrowicz, S. (2019). Properties of Bentonites and Bentonite Mixtures used in Casting Processes. *Archives of Foundry Engineering*, 19(2), 35–40. <https://doi.org/10.24425/afe.2019.127113>
- Sadarang, J., & Nayak, R. K. (2021). Utilization of fly ash as an alternative to silica sand for green sand mould casting process. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 1553–1561. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.06.077>
- Sadarang, J., Nayak, R. K., & Panigrahi, I. (2020). Effect of binder and moisture content on compactibility and shear strength of river bed green sand mould. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5286–5290. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.640>
- Shah, L. A., da Silva Valenzuela, M. D. G., Ehsan, A. M., Díaz, F. R. V., & Khattak, N. S. (2013). Characterization of Pakistani purified bentonite suitable for possible pharmaceutical application. *Applied Clay Science*, 83, 50–55.
- Siddharth, V. S., Rao, D. S., & Ramana Murthy, B. V. (2020). Investigations on the suitability of banana peel powder as an alternative additive in synthetic green sand moulding system. *International Journal of Cast Metals Research*, 33(4–5), 171–176. <https://doi.org/10.1080/13640461.2020.1796294>

- Singaram, L. (2010). Improving quality of sand casting using Taguchi method and ANN analysis. *International Journal on Design and Manufacturing Technology*, 4(1), 1–5.
- Srinivasan, K., Siddharth, C. S. K., Kaarthic, L. V. A., & Thenarasu, M. (2018). Evaluation of Mechanical Properties, Economic and Environmental Benefits of Partially Replacing Silica Sand with Biomass Ash for Aluminium Casting. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12984–12992.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.283>
- Tataram, K. C., & Nanjundaswamy, H. M. (2013). Effect of Variation of Different Additives on Green sand Mold Properties for Olivine sand. *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology* 2, 1(4), 1–4.