PEMANFAATAN ROL KERAMIK BEKAS PADA UJI KARAKTERISASI LOW CEMENT CASTABLE PT. CALDERYS INDOPORLEN

Reynaldi Ardiyansyah [1)] , Azzahra Salwa Rahmasari [2)] , Andi Nuraliyah [3)] , Elvi Kustiyah [4)] , Mei Krismahariyanto [5)]
[1,2,3,4,5)]Universitas Bhayangkara Jakarta Raya
**corresponding author: 202010235023@mhs.ubharajaya.ac.id*

Diterima: 2 Mei 2024	Revisi: 10 Mei 2024	Disetujui : 12 Mei 2024	Terbit: 12 Mei 2024

ABSTRAK

Rol keramik adalah produk keramik teknologi tinggi yang dibuat dengan proses tekanan isostatik, berfungsi sebagai media transportasi benda benda keramik pada proses pembakaran di area tanur (*kiln*). Limbah rol keramik dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Salah satu upaya mengurangi pencemaran lingkungan adalah dengan mendaur ulang limbah buangan rol keramik untuk dijadikan bahan pembuatan produk *refraktori*. Melalui penelitian ini, limbah buangan rol keramik dijadikan sebagai pengganti bahan baku impor dalam pembuatan *castable* dengan hasil *workability test* dan *physical test* yang baik sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pengganti.

Kata Kunci: *Rol Keramik, Castable, Refraktori*

I. PENDAHULUAN

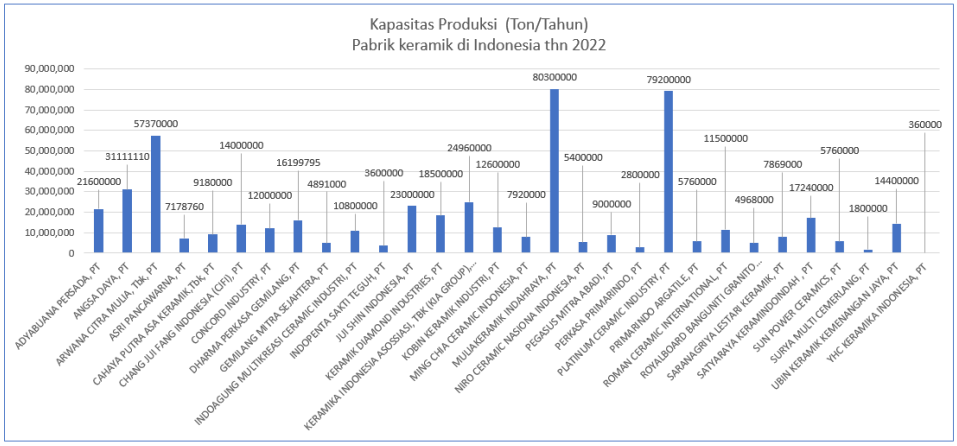
1.1 Latar Belakang

Rol keramik (*ceramic roller*) adalah produk keramik teknologi tinggi yang dibuat dengan proses tekanan isostatik (*isostatic pressing*), berfungsi sebagai media transportasi benda-benda keramik pada proses pembakaran di area tanur (*kiln*), rol ini banyak digunakan pada industri pembuatan keramik ubin (*floor tile*), keramik dinding (*wall tile*), perlengkapan meja (*table ware*), keramik elektronik (*electronic ceramic*).

Salah satu permasalahan yang timbul dalam industri tersebut adalah bahan buangan / limbah (*scrap*) rol keramik yang diakibatkan karena patah, cacat atau tolakan (*reject*) yang tidak bisa dipakai lagi sehingga menimbulkan masalah pada lingkungan, berdasarkan Peraturan Pemerintah RI no.101 thn 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun disebutkan bahwa material refractori bekas yang berasal dari proses industri yang menggunakan fasiltas *thermal* antara lain berupa tungku bakar, *boiler*, *pot lining*, dan fasilitas sejenis masuk dalam kategori limbah B3 (kode limbah B417, kategori bahaya 2), sedangkan rol keramik sendiri mengandung alumina oksida (Al_2O_3) diatas 70% dan silica (SiO_3) sebesar 20-25% yang bahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan seperti iritasi kulit,

jaringan pernapasan, dan penyebab kanker jika terpapar dalam jangka waktu yang panjang.

Saat ini jumlah limbah rol keramik di Indonesia diperkirakan cenderung bertambah seiring dengan perkembangan dan pertumbuhan manufaktur sektor properti, hotel dan apartemen, jika dilihat dari data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022 menunjukkan jumlah industri keramik yang ada di Indonesia sebanyak 31 dengan kapasitas pabrik berkisar 521,26 juta Ton /Tahun seperti terlihat pada Gambar 1. Jika limbah rol keramik yang dihasil tiap industri sebesar 0.05% maka ada 260 ribu ton/tahun limbah rol keramik yang memiliki potensi yang dapat mencemari lingkungan.



Gambar 1 . Kapasitas Produksi Pabrik Keramik di Indonesia Tahun 2022
(Asosiasi Aneka Keramik Indonesia, 2022)

Berdasarkan Peraturan menteri lingkungan hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No.P.18/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2020 tentang Pemanfaatan Limbah Berbahaya dan Beracun pada pasal 2 yang berbunyi bahwa setiap orang atau badan usaha baik yang berbadan hukum atau tidak berbadan hukum yang menghasilkan limbah B3 mempunyai kewajiban untuk melakukan pemanfaatan limbah B3 secara mandiri atau melalui lembaga / badan pemanfaat Limbah B3, sedangkan persyaratan teknis peraturan menteri KLH disebutkan bahwa pemanfaatan limbah B3 melalui proses *thermal* untuk pembuatan material *refractory* atau sejenis harus memiliki kandungan Al_2O_3 minimum atau lebih dari 50%, dikarenakan rol keramik memiliki kandungan oksida alumina di atas 50% maka badan usaha atau perorangan mempunyai kewajiban untuk melakukan pemanfaatan limbah B3 baik itu untuk substitusi bahan baku, substitusi sumber energi yang pada dasarnya dapat mengurangi kerusakan/ pencemaran lingkungan.

Berdasarkan hasil uji sucofindo bahwa kandungan roller kiln 80% adalah alumina (Al_2O_3), kontak langsung dengan aluminium oksida dalam bentuk debu atau nanopartikel dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan mata. Alumina umumnya tidak diserap dengan baik oleh saluran pencernaan manusia. Konstaminasi alumina yang signifikan dan jangka panjang dari makanan atau minuman, kemungkinan keracunan

alumina. Kontaminasi alumina yang berlebihan dapat berakibat kepada kondisi kesehatan, seperti gangguan saraf dan penyakit tulang. Pekerja di industri yang berhubungan dengan produksi atau penggunaan alumina, terutama dalam kondisi di mana terjadi paparan debu atau nanopartikel tingkat tinggi, mungkin berisiko lebih tinggi terhadap efek kesehatan yang serius.

Alumina tidak dianggap sangat beracun bagi lingkungan. Namun, nanopartikel debu alumina dalam jumlah besar di lingkungan dapat menimbulkan efek berbahaya bagi tumbuhan dan hewan. Prosedur penyimpanan dan pembuangan yang tepat harus diikuti untuk mencegah pencemaran lingkungan. Alumina tidak mudah terbakar; Namun, ia dapat bertindak sebagai pengoksidasi dan mendukung pembakaran zat lain. Untuk menghindari bahaya kebakaran, penting untuk menyimpan dan menangani alumina secara terpisah dari bahan yang mudah terbakar. Alumina yang terlepas lingkungan dalam bentuk nanopartikel dapat mengganggu kehidupan organisme. Jika nanopartikel alumina terhirup oleh hewan atau terakumulasi pada tanaman, mereka dapat merusak paru-paru dan saluran pernapasan serta mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Limbah yang mengandung alumina jika mencemari sumber air seperti sungai atau danau, dapat mengganggu ekosistem perairan. Alumina yang terlarut dalam air dalam konsentrasi tinggi dapat berdampak buruk bagi organisme akuatik seperti ikan dan kehidupan akuatik lainnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kembali limbah-limbah berupa *roller kiln* menjadi pengganti *raw material* pada PT. Calderys Indoporlen. Penggunaan limbah ini juga bertujuan untuk menggantikan bahan baku impor berupa bauxite menjadi bahan baku dari dalam negeri, penggantian bahan baku ini dapat menurunkan modal perusahaan dalam memperoleh *raw material* serta dapat meningkatkan nilai Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) dari produk perusahaan yaitu Roram RB. Roram RB merupakan salah satu produk dari PT. Calderys Indoporlen yang diaplikasikan pada produk-produk yang sering dipindahkan atau bergerak seperti contohnya pintu pada tungku pemanas atau furnace, karena produk ini dikhususkan untuk menahan gesekan ketika produk tersebut dipindah posisikan.

II METODE

Proses pembuatan *Low Cement Castable (LCC)* ini dilakukan dengan 2 variasi, yaitu original dan dengan menggunakan rol keramik bekas pada suhu 110°C, 800°C, dan 1500°C. Secara garis besar, proses pembuatan *LCC* ini akan dijelaskan pada Gambar 2.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu: preparasi pengujian bahan dasar sampel, pengecoran sampel *Low Cement* (LC), serta

Pengujian Sampel *Low Cement Castable* (LCC), yang selanjutnya akan diuraikan sebagai berikut:

2.1 Preparasi Pengujian Bahan Dasar Sample

Preparasi pengujian memiliki 3 jenis pengujian, yaitu Sizing Raw Material, serta pengecekan Bulk Density, Heating Resistance, dan Moisture Content pada limbah roller kiln yang akan digunakan.

a) Sizing Raw Material

Sizing Raw Material merupakan proses memperkecil ukuran *Roller Kiln* yang masih berupa berbentuk *roll* hingga menjadi ukuran sesuai yang dibutuhkan. *Roller Kiln* yang kami dapat masih berupa bentukan roll, sehingga harus dihancurkan terlebih dahulu hingga mendapatkan ukuran yang dibutuhkan, material yang diinginkan harus berdiameter 3-6mm, 1-3mm, dan 0-1mm. *Roller Kiln* dihancurkan secara manual dengan cara ditumbuk, kemudian *rollller kiln scrap* disaring dengan saringan berdiameter 6mm, 3 mm dan 1mm, sehingga didapatkan *raw material* dengan ukuran diameter yang diinginkan.

b) Bulk Density

Bulk Density merupakan berat suatu massa tanah per satuan volume tertentu. Masing-masing roller kiln scrap dihitung Bulk Density nya dengan cara *roller kiln scrap* dimasukkan ke dalam wadah yang sudah diketahui volume nya hingga penuh, kemudian total berat dari *roller kiln scrap* tersebut dibagi dengan total volume wadah yang digunakan, yaitu dengan rumus :

$$BD = \frac{m}{V}$$

Dimana :

BD = Bulk Density $(\mathrm{gr/cm^3})$

m = Massa *Roller Kiln Scrap* (gr)

V = Volume Wadah Pengukur $(\mathrm{cm^3})$

c) Heating Resistance

Heating Resistance merupakan pengetesan daya tahan bahan baku pada ketahanan suhu tertentu terhadap *melting point* bahan baku tersebut. *Roller Kiln Scrap* pada masing-masing ukuran yaitu 3-6mm, 1-3mm dan 0-1mm diambil kemudian dibakar pada furnace pada suhu 1.450℃ selama ±8 jam. Pengetesan ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan raw material pada suhu tertentu, apabila *roller kiln scrap* meleleh pada suhu tersebut maka dapat dipastikan bahwa sampel tersebut tidak dapat digunakan, karena akan meleleh dan daya kekuatannya menjadi sangat menurun.

d) Moisture Content

Moisture Content merupakan pengetesan kelembapan atau kadar air pada bahan baku yang akan digunakan yaitu roller kiln. *Moisture Content* dilakukan untuk mengetahui kadar air pada *raw material* karena kandungan air pada *raw material* nantinya dapat mempengaruhi kualitas pada produk yang

diaplikasikan. Pengetesan ini dilakukan dengan cara mengambil sebagian sampel *raw material* secara acak kemudian sampel dimasukkan ke dalam alat *Moisture Analyzer*, prinsip nya yaitu sampel dipanaskan sampai suhu tertentu sehingga dapat diketahui kandungan kelembapan pada sampel tersebut

2.2 Pengecoran Sampel *Low Cement Castable (LCC)*

Roller Kiln Scrap yang sudah dimixing secara manual dengan bahan komposisi lain, kemudian dimasukkan ke dalam mesin mixer dengan kapasitas 10kg. *Mixing* dilakukan dengan 2 tahapan, yaitu *dry mixing* dan *wet mixing* masing-masing 5 menit, *dry mixing* yaitu pengadukan dilakukan secara kering tanpa air, hal ini bertujuan supaya campuran menjadi homogen. Kemudian *wet mixing* dilakukan dengan komposisi air x-y%.

Kemudian sampel produk LCC dicetak pada *moulding* diatas meja getar untuk melakukan pengetesan *flowability test*, yaitu sampel yang sudah dicetak kemudian digetar selama 30 detik hingga 0,5A. Pengetesan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui daya alir pada sampel tersebut, Supaya ketika pengaplikasiannya produk dapat mengalir sempurna yaitu tidak terlalu encer maupun tidak terlalu kental. Karena jika terlalu encer pada saat pengaplikasiannya produk akan melebar dan keluar dari tempat pengecoran sedangkan jika terlalu kental nantinya produk akan sulit mengalir dan pekerjaan akan terhambat.

Setelah *flowability* sesuai TDS, kemudian sampel dimasukkan ke dalam gelas plastik untuk mengetahui *setting time* dari produk LCC tersebut. *Setting time* yang baik adalah berkisar antara 60 hingga 240 menit. *Setting time* yang terlalu cepat tidak bagus karena berakibat produk akan mengering terlebih dahulu sebelum pengecoran selesai dilakukan, sedangkan apabila *setting time* terlalu lama akan berakibat pekerjaan menjadi lama selesai.

Sampel LCC juga dicetak pada *moulding specimen* denga jumlah 3 sampel. Kemudian sampel dikeringkan secara *natural drying* pada suhu 25℃ dan dengan *Relative Humidity (RH)* 90% selama $\pm$48 jam. Hal ini bertujuan untuk membuat sampel kering secara natural supaya mengimplementasikan ketika pengecorannya di tempat yang diaplikasikan juga dengan cara *natural drying*.

Sampel LCC yang sudah mengering secara *natural drying* kemudian dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 110℃ selama $\pm$24 jam, hal ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada sampel *specimen* sehingga produk akan menjadi lebih kuat.

2.3 Pengujian Sampel *Low Cement Castable (LCC)*

Pengujian sampel *Low Cement Castable (LCC)* memiliki empat tahapan pengujian sebagai berikut :

a) Uji Pembakaran

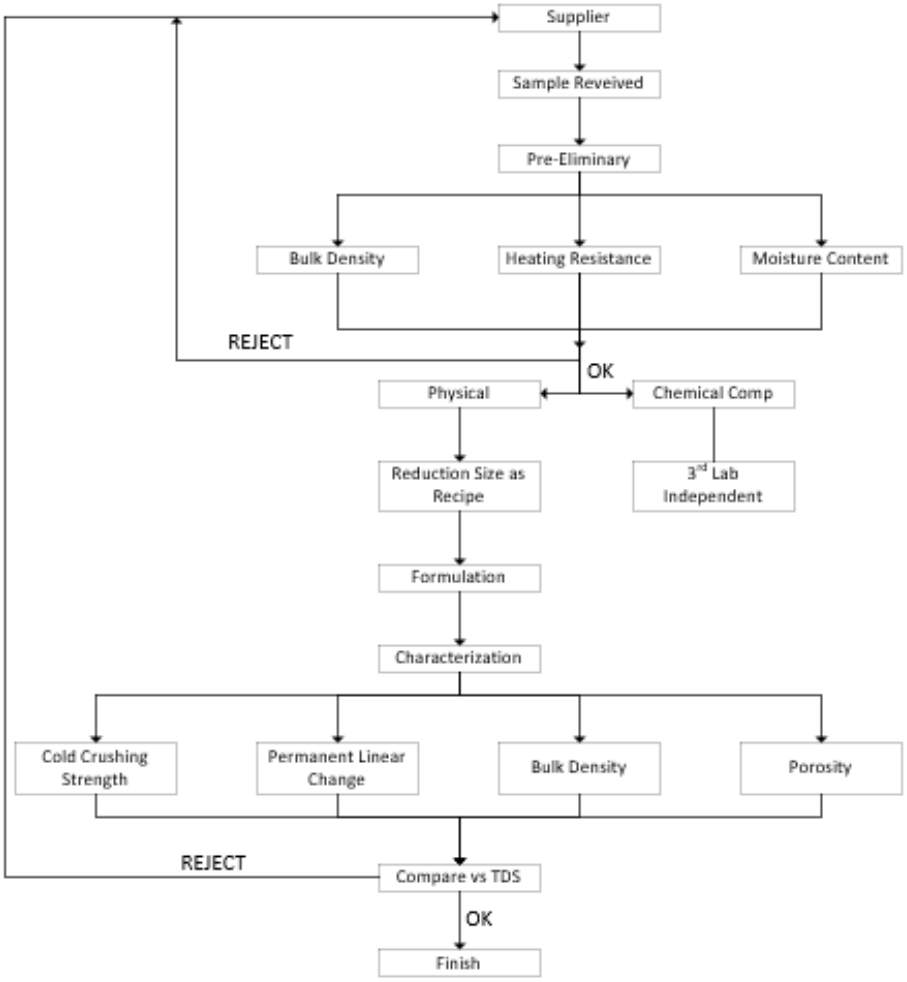
Sampel LCC yang sudah dipanaskan menggunakan oven dihitung dimensi nya terlebih dahulu, kemudian Sampel dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu

sesuai dengan TDS Perusahaan yang ada. Pada sampel LCC yang kami uji coba memiliki suhu uji yaitu pada 800℃ dan 1.500℃, sampel tersebut akan dites apakah tahan terhadap panas tinggi tersebut.

b) Uji *Permanent Linear Change (PLC)*
Sampel LCC yang sudah dibakar di furnace pada suhu tertentu, kemudian akan dihitung kembali dimensi nya, hal ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan dimensi pada sampel yang telah dibakar. Karena terdapat batasan maksimum terhadap perubahan dimensi produk baik itu berupa penyusutan maupun pemuaian.

c) Uji *Modulus Of Rupture* (MOR)
Sampel LCC akan dites kekuatan nya berupa pengujian *Modulus Of Rupture* (MOR), sampel akan ditekan pada satu titik yaitu di tengah sampel hingga nantinya sampel akan terbagi menjadi dua bagian. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kekuatan sampel apabila terdapat tekanan yang kuat pada satu bagian.

d) Uji *Cold Crushing Strength* (CCS)
Sampel LCC yang sudah melewati proses MOR akan dilakukan pengetesan bernama *Cold Crushing Strength* (CCS), sampel akan ditekan salah satu sisinya hingga sampel hancur. Sampel tersebut ditekan menggunakan besi dengan dimensi lebar yang sama dengan sampel LCC supaya tekanan yang diberikan merata terhadap sampel, kemudian sampel ditekan dengan sebuah mesin hingga sampel hancur dan didapatkan nilai kekuatan nya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sampel apabila diberi tekanan pada saat pengaplikasiannya.



Gambar 2 Diagram Alir Proses Pembuatan *Low Cement Castable*

III HASIL DAN PEMBAHASAN

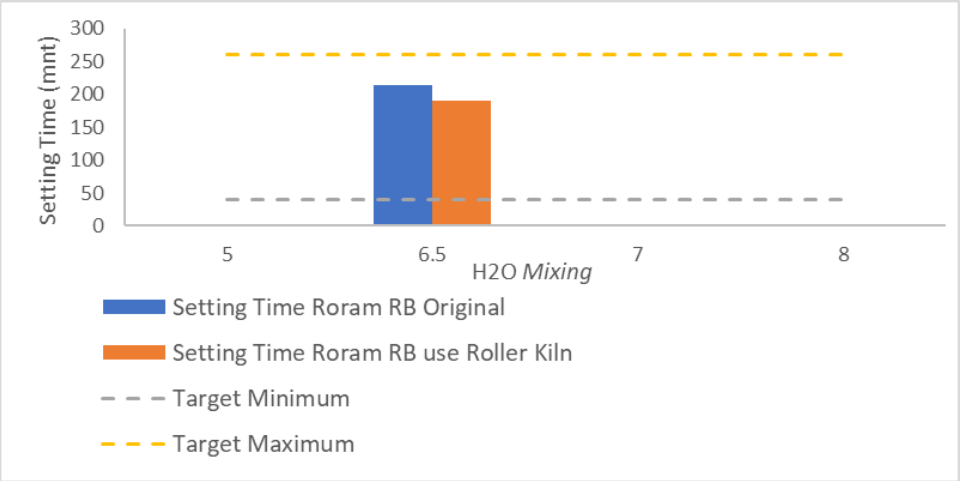
Setelah dikeluarkan dari cetakan lalu dimasukkan kedalam oven dan *furnace*, proses selanjutnya yaitu uji karakteristik pada kedua variasi *Low Cement Castable* dengan melalui 5 pengujian karakterisasi, yaitu uji *Setting Time, Flowability, Bulk Density, Cold Crushing Strenght* (CCS), dan *Permanent Linier Change* (PLC).

3.1 Analisa *Setting Time* (ST)

Setting time adalah waktu dibutuhkan (waktu berlalu) untuk castable tahan api untuk mengeras mulai dari yang pertama penambahan cairan dalam proses pencampuran sampai waktu castable tahan api telah cukup mengeras sehingga bentuknya dapat dihilangkan tanpa rusak atau mengalir (merosot). Dalam spek, waktu yang ditetapkan untuk mengeras sesuai standar adalah 40 – 260 menit seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan perbedaan antara roram RB original dengan roram RB yang menggunakan *Roller Kiln*. Pencampuran H_2O yang digunakan keduanya adalah

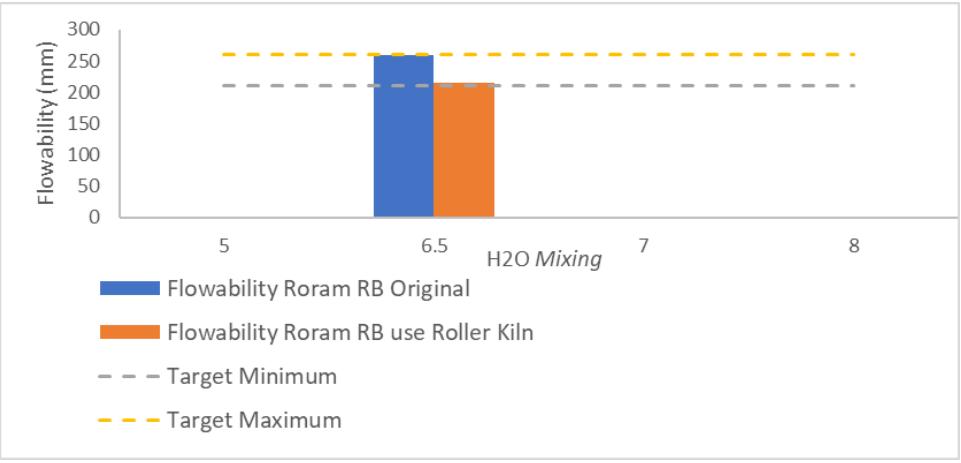
6,5%. Nilai waktu *setting original* (215 menit) mendekati target maksimal, sedangkan untuk *setting roller kiln* (190 menit) berada diantara *setting* minimal (40 menit) dan *setting* maksimal (260 menit) . Sesuai dengan standar yang berlaku, hasil *setting time* keduanya bagus karena tidak mendekati batas minimum dan tidak melebihi batas maksimum, karena hasil *setting time* sangat berpengaruh untuk pengaplikasian *castable* tersebut.



Gambar 3. Grafik Compare *Setting Time*

3.2 Analisa *Flowability*

Flowability suatu castable adalah kemampuan massa castable untuk bergerak mencapai area tertentu dengan amplitudo getaran tertentu dan dalam waktu tertentu, dalam hal ini studi *flowability* yang ideal dicapai jika aliran dalam jarak 210 – 260 mm seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.



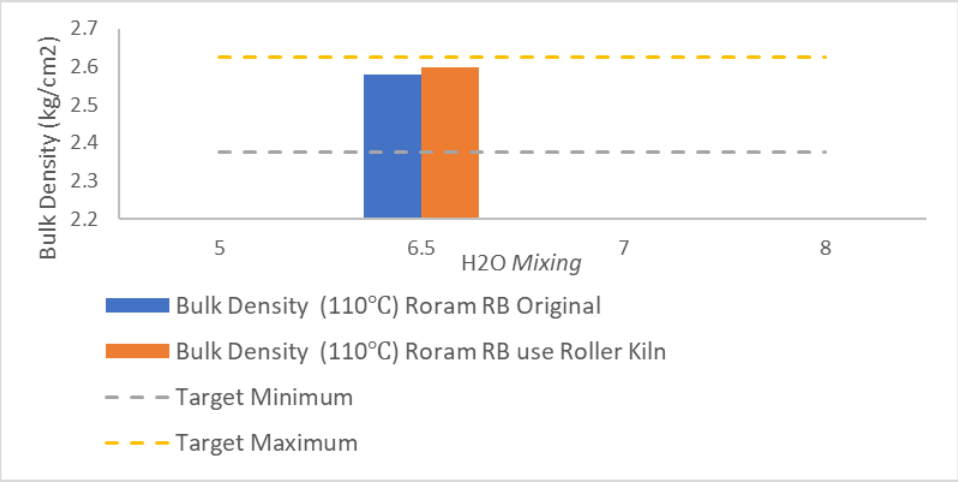
Gambar 4. Grafik Compare Flowability

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *flowablity* masing-masing sebesar 260 dan 215 untuk original dan *roller kiln*. Pada nilai *flowability* roram RB original mencapai

target maksimum (260), sedangkan nilai *flowability* Roram RB yang menggunakan *Roller Kiln* diatas target minimum (210). Pencampuran H_2O sudah berada ditengah dari standar (6.0% - 7.0%), jika air mengikuti spesifikasi maksimum maka akan terjadi segregasi pada Roram RB Original, tetapi jika air mengikuti spesifikasi maksimum pada Roram RB *Use Roller Kiln* nilai *flowability* masih bisa menaik dan berada dibawah spesifikasi maksimum (260) sehingga tidak akan terjadi segregasi. Uji *Flowability* ini dilakukan dengan menggunakan *moulding* dan meja *vibrator* selama 30 detik.

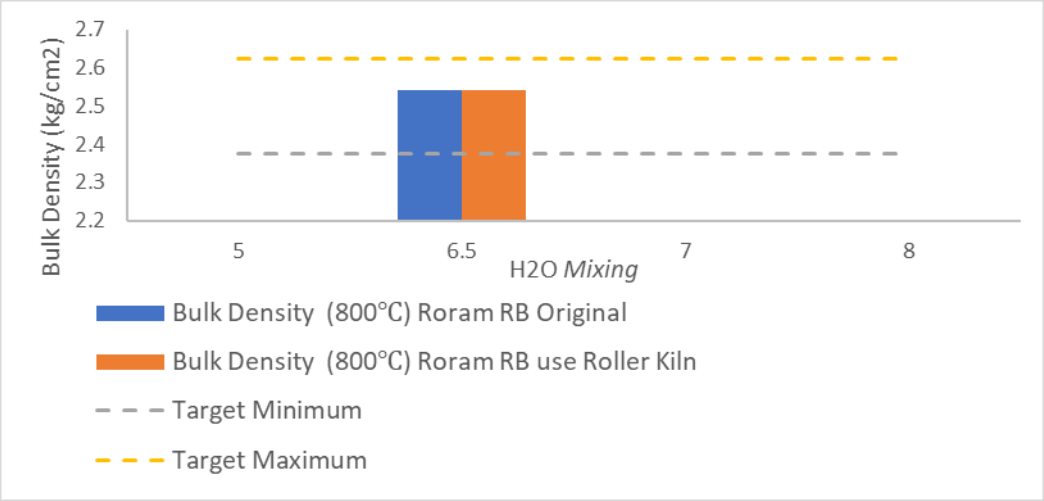
3.3 Analisa *Bulk Density* (BD)

Bulk density adalah jumlah material penyusun yang mengisi volume suatu bidang dan diformulasikan terhadap perbandingan massa material terhadap volumenya, dalam penelitian ini ditentukan *bulk density* mengikuti EN 1402 yang menetapkan batas bawah (x gr.cm-3 × 0,95%) dan batas atas (x gr.cm-3 1,05%) seperti yang dijelaskan pada Gambar 5 - 7 masing-masing untuk *bulk density* 110°C, 800°C dan 1500°C



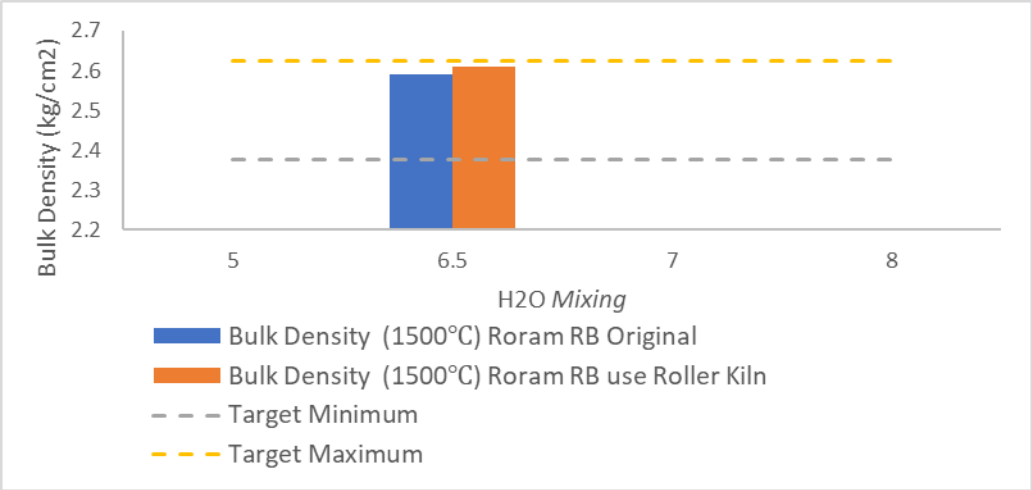
Gambar 5. Grafik Compare Bulk Density 110°C

Untuk membandingkan *Bulk Density* Roram RB Original dan Roram RB *Use Roller Kiln* pada temperature 110°C dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk *Bulk Density* Roram RB memiliki hasil 2,58kg/cm^2 sedangkan untuk Roram RB menggunakan *Roller Kiln* memiliki hasil 2,60kg/cm^2. Hal ini berarti penggunaan *Roller Kiln* untuk menggantikan Bauxite pada formula Roram RB dapat diaplikasikan, karena nilai Bulk Density yang masih masuk pada spesifikasi dari produk castable Roram RB.



Gambar 6. Grafik Compare Bulk *Density* 800°C

Pada Gambar 6, *Bulk Density* Roram RB Original dan Roram RB *Use Roller Kiln* pada *temperature* 800°C memiliki hasil yang sama yaitu 2,54kg/cm^2. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *Bulk Density* maka bahan refraktori memiliki rasio berat terhadap volume dengan kapasitas yang besar karena kemampuannya menyimpan panas dalam sistem.

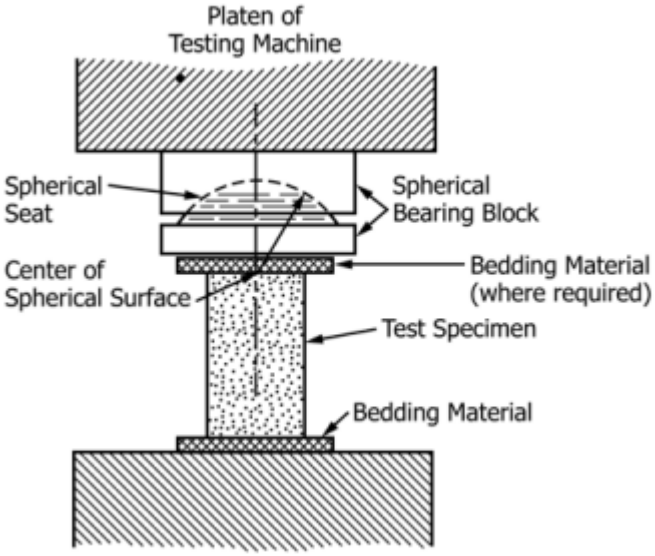


Gambar 7. Grafik Compare Bulk Density 1500°C

Bulk Density Roram RB Original dan Roram RB *Use Roller Kiln* pada temperature 1500°C dari Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa untuk *Bulk Density* Roram RB memiliki hasil 2,59kg/cm^2 sedangkan untuk Roram RB menggunakan Roller Kiln memiliki hasil 2,61kg/cm^2. Hal ini berarti penggunaan Roller Kiln dapat diaplikasikan, karena nilai *Bulk Density* yang masih masuk pada spesifikasi dari produk castable Roram RB.

3.4 Analisa *Cold Crushing Strength (CCS)*

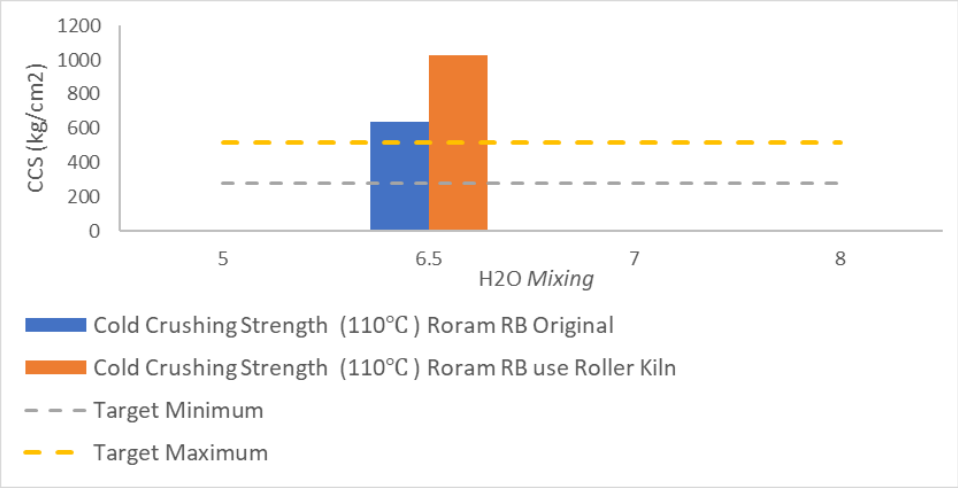
Pengujian *Cold Crushing Strength (CCS)* dilakukan dengan cara, sampel ditaruh diantara besi pembatas dengan ukuran panjang dan lebar yang sama dengan sampel yang akan diuji, kemudian besi yang memiliki ukuran panjang, lebar dan tinggi yang sama seperti sampel ditaruhkan di atas sampel. Sampel dan besi tersebut dimasukkan ke dalam mesin dan disusun sedemikian rupa sehingga tersusun seperti pada Gambar 8, Sampel (*Specimen*) akan ditekan oleh mesin hingga sampel hancur sehingga akan terlihat nilai kekuatan maksimum yang dapat diterima oleh sampel pada monitor(ASTM International, 2015).



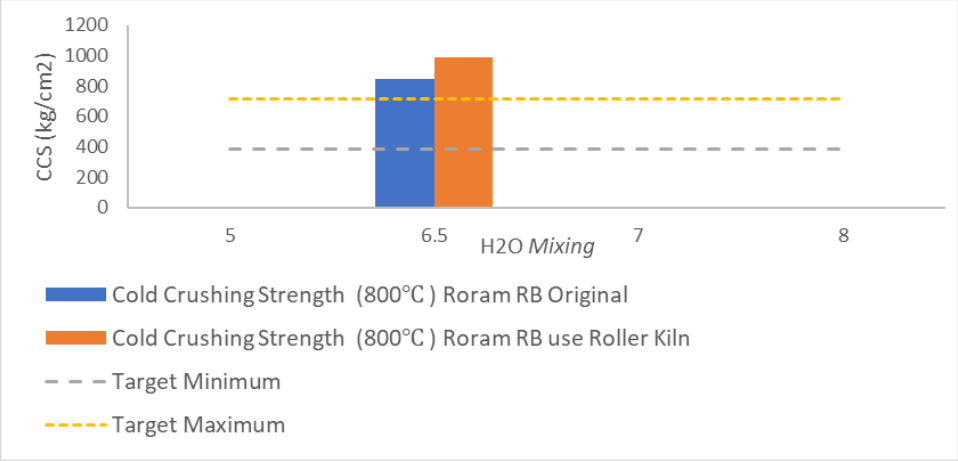
Gambar 8. Ilustrasi Proses Cold Crushing Strength

Kekuatan penghancur dingin atau kekuatan penghancur adalah beban maksimum per satuan luas yang dapat diterima oleh refraktori, sifat ini sangat penting untuk diketahui karena kekerasan berbanding lurus dengan ketahanan material refraktori terhadap beban impak. Refraktori yang memiliki kekuatan penghancur dingin yang tinggi akan lebih tahan terhadap beban benturan. Grafik compare CCS 110°C, 800°C dan 1500°C dapat dilihat pada gambar 9 – 11.

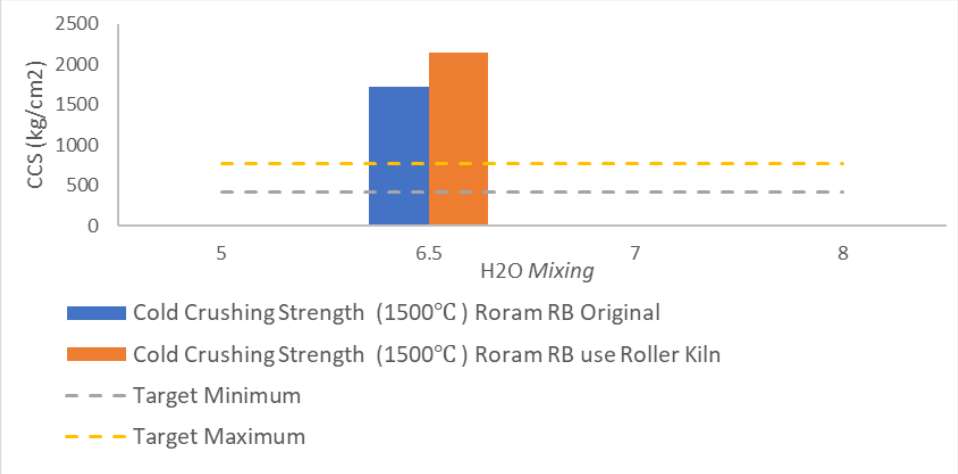
Berdasarkan Gambar 9 – 11 menunjukkan bahwa material original maupun yang menggunakan *Roller Kiln* memiliki nilai CCS yang lebih tinggi dari spesifikasi, hal ini dimungkinkan karena ketika kedua material diterima lebih besar dari spesifikasi nya, sehingga berat dalam volume bertambah atau padat maka CCS menjadi tinggi.



Gambar 9. Grafik Compare CCS 110°C



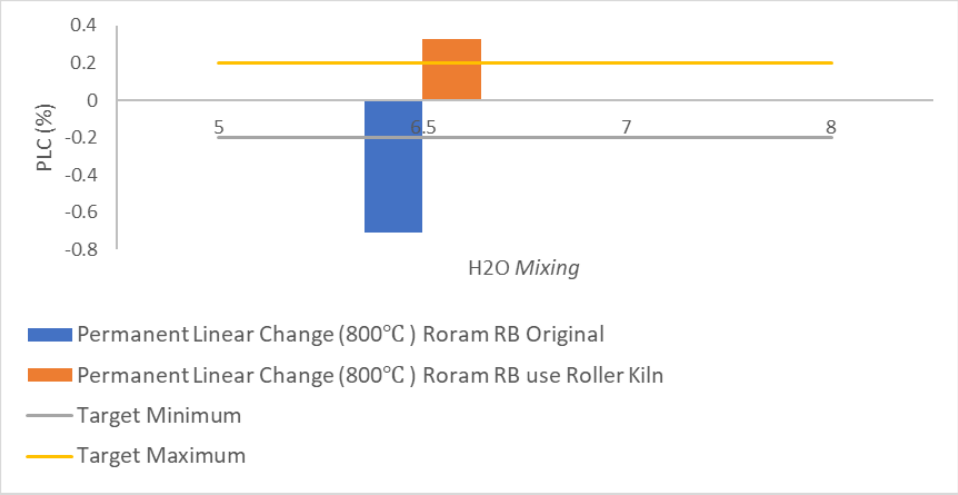
Gambar 10. Grafik Compare CCS 800°C



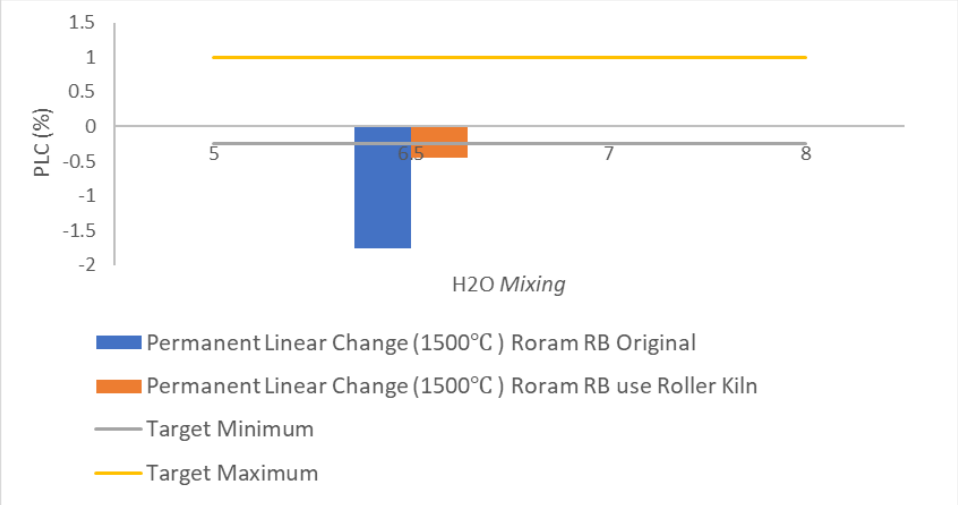
Gambar 11. Grafik Compare CCS 1500°C

3.5 Analisa *Permanent Linear Change* (PLC)

Permanent linear change adalah perubahan tetap, menyusut atau mengembang dari material *refractories* setelah mengalami proses pemanasan/pembakaran. Grafik *compare* PLC untuk suhu 800°C dan 1500°C dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Grafik Compare PLC 800°C



Gambar 13. Grafik Compare PLC 1500°C

Dari kedua data *Permanent Linear Change* (PLC) pada Gambar 11 dan Gambar 12, terlihat material dengan perbandingan formulasi original dengan *roller kiln* tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh perusahaan, hal ini kemungkinan dikarenakan pembakaran di *furnace* tidak dalam 1 *chamber* (ruang bakar).

IV. KESIMPULAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan bahan baku refraktori (*Roller Kiln*) sebagai pengganti bahan baku impor pada hasil *Bulk Density*, CCS (*Cold Crushing Strength*), PLC (*Permanent Linear Change*), *Flowability*, dan *Setting Time* dapat disimpulkan bahwa :

a. Pengaruh penggunaan bahan baku refraktori *Roller Kiln* pada produk *Low Cement Castable* tipe Roram RB memiliki pengaruh pada produk *Low Cement Castable* yang dibakar pada suhu 1500℃, yaitu produk Roram RB yang menggunakan *Roller Kiln*, lebih tahan terhadap pembakaran tersebut dari pada Roram RB Original yang menggunakan Bauxite.
b. Penggunaan mekanik limbah *Roller Kiln* memiliki parameter BD, CCS, PLC yang lebih baik dari standar yang ditentukan oleh IP setelah dicoba diterapkan pada Roram RB.
c. Limbah *Roller Kiln* ini dapat berpotensi menggantikan bahan impor berupa bauxite jika diperlakukan sesuai dengan sta ndar yang telah ditetapkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen pembimbing Lapangan dan PT. Indoporlen Refractories khususnya ditunjukkan kepada bagian *Research and Development* (RnD) yang telah membimbing dan mengizinkan penelitian ini dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2015). *Designation: C133 – 97 Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories 1*. 2–2. https://doi.org/10.1520/C0133-97R15

Charles A. Schacht. (2004). *Refractories Handbook* (L. L. Faulkener, Ed.; 1st ed.). Marcel Dekker, Inc.

López-Perales, J. F., Contreras, J. E., Vázquez-Rodríguez, F. J., Gómez-Rodríguez, C., Díaz-Tato, L., Banda-Muñoz, F., & Rodríguez, E. A. (2021). Partial replacement of a traditional raw material by blast furnace slag in developing a sustainable conventional refractory castable of improved physical-mechanical properties. *Journal of Cleaner Production*, *306*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127266

Ogolo, N. A., & Onyekonwu, M. O. (2021). Effect of aluminum oxide nanoparticles on biotic factors of the environment-A Review İD İD. *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, *08*(2), 247–258. www.mocedes.org.

Roushdy, M. H. (2019). Recycling of the Mixture Resulted from Roller Kiln Waste and Ceramic Tiles Sludge Waste in the Manufacturing of Ceramic Floor Tiles. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, *8*(9), 2278–3075. https://www.researchgate.net/publication/334284254

Seifert, S., Dittrich, S., & Bach, J. (2021). Recovery of raw materials from ceramic waste materials for the refractory industry. *Processes*, *9*(2), 1–17. https://doi.org/10.3390/pr9020228

Septriana, A., Astuti, W., Soemantri Brodjonegoro No, J., Lampung, B., Lampung, P., Penelitian Teknologi Mineral -LIPI Jl Ir Sutami Km, B., Bintang, T., & Selatan, L. (2017). Daur Ulang Refraktori Bekas Pakai Kiln Dan Fly Ash Batu Bara Dengan Variasi Tekanan Greenbody. *Metalurgi*, *32*(3), 97–104. www.ejurnalmaterialmetalurgi.com

Yanlk, F., & Vardar, F. (2015). Toxic Effects of Aluminum Oxide (Al2O3) Nanoparticles on Root Growth and Development in Triticum aestivum. *Water, Air, and Soil Pollution*, *226*(9). https://doi.org/10.1007/s11270-015-2566-4

Zeghad, M., Mitterpach, J., Safi, B., Amrane, B., & Saidi, M. (2017). Reuse of refractory brick wastes (RBW) as a supplementary cementitious material in a concrete. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, *61*(1), 75–80. https://doi.org/10.3311/PPci.8194