

# OPTIMASI PERSEN BINDER, BEBAN KOMPAKSI, DAN SUHU *SINTERING* DALAM PEMBUATAN BATU BATA TINGGI ALUMINA MENGGUNAKAN APLIKASI RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)

## *Optimization of Binders Percent, Compaction Load and Sintering Temperature in Manufacturer High Alumina Bricks Using the Application of RSM (Response Surface Methodology)*

ERIKA A. DIANAWATI<sup>1\*</sup>, PHICIATO SIRAIT<sup>1\*\*</sup>, ADITYA WIBAWA<sup>1\*\*</sup>, HUSAINI<sup>2\*\*</sup> dan PUTU T. P. ARYANTI<sup>3\*\*</sup>

<sup>1</sup> Pusat Riset Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Jl. Cisit, Sangkuriang, Bandung 40135

<sup>2</sup> Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA  
Jl. Jenderal Sudirman No. 623, Wr. Muncang, Bandung Kulon, Bandung 40211

<sup>3</sup> Fakultas Teknik Kimia, Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jl. Terusan Jenderal Sudirman, Cimahi, 40285

Korespondensi e-mail : [erik007@brin.go.id](mailto:erik007@brin.go.id)

\* Kontributor Utama      \*\* Kontributor Anggota

---

### ABSTRAK

PT Indonesia Chemical Alumina (ICA) adalah perusahaan penghasil *Chemical Grade Alumina* (CGA) sebanyak 300.000 ton per tahun. Dari jumlah tersebut, terdapat rata-rata 15.000 ton yang tidak memenuhi spesifikasi pasar setiap tahunnya. Alumina yang tidak memenuhi spek ini hanya ditumpuk oleh PT ICA dan memakan tempat, sehingga merugikan perusahaan secara ekonomi karena harus menyediakan tempat penampungan. Padahal, alumina tersebut mempunyai kandungan  $Al_2O_3$  yang masih sangat tinggi dan berbentuk fasa alpha atau  $\alpha-Al_2O_3$  yang merupakan fasa paling stabil pada temperatur tertinggi, sehingga dapat diolah menjadi bahan bermanfaat dan mempunyai nilai tambah tinggi seperti batu bata tinggi alumina melalui kompaksi dan *sintering*. Kondisi proses seperti persen binder, beban saat kompaksi dan suhu *sintering* sangat berpengaruh pada kualitas batu bata tinggi alumina yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimasi kondisi proses pembuatan batu bata tinggi alumina dengan mengidentifikasi hubungan antara variabel input dan respon yang diukur serta mengembangkan model prediksi variasi percobaan yang akan digunakan dalam mengoptimalkan kondisi proses pembuatan batu bata tinggi alumina. Program *Design Expert 7.0*® dengan *Response Surface Methodology* (RSM) *Box-Behnken Design* digunakan untuk meneliti dan memilih kondisi proses dari kombinasi tingkat faktor yang menghasilkan respon yang optimal. Berdasarkan RSM *Box-Behnken Design* diketahui bahwa efek utama dari persen binder, beban kompaksi dan suhu *sintering* merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap nilai respon batu bata tinggi alumina. Nilai respon optimal batu bata tinggi alumina yaitu kuat uji tekan 8,2229 MPa, dengan kondisi proses persen binder 3%, beban kompaksi 10 ton dan suhu *sintering* 1600°C.

Kata kunci : batu bata tinggi alumina, optimalisasi, *design expert*, *response surface methodology*.

## ABSTRACT

*PT Indonesia Chemical Alumina (ICA) is a company that produces 300,000 tons of chemical grade alumina (CGA) per year. Of this amount, there is an average of 15,000 tons that do not meet market specifications every year. Alumina that does not meet this specification is only piled up by PT. ICA and takes up space, so it is economically detrimental to the company because they have to provide space to accommodate it. In fact, this alumina has a very high  $Al_2O_3$  content and is in the form of an alpha phase or  $\alpha-Al_2O_3$  which is the most stable phase at the highest temperatures, so it can be processed into useful materials and has high added value such as high alumina bricks through compaction and sintering. Process conditions such as percent binder, load during compaction and sintering temperature greatly affect the quality of the high alumina bricks produced. The purpose of this study is to optimize the process conditions for making high-alumina bricks by identifying the relationship between input variables and the measured responses and developing a prediction model for experimental variations that will be used in optimizing the process conditions for the manufacture of high alumina bricks. The Design Expert 7.0® program with Box-Behnken Design Response Surface Methodology (RSM) is used to research and select process conditions from a combination of factor levels that produce an optimal response. Based on RSM Box-Behnken Design it is known that the main effects of binder percentage, compaction load and sintering temperature are factors that greatly influence the response value of high alumina bricks. The optimal response value for high alumina bricks is a compressive strength of 8.2229 MPa, with a process condition of 3% binder percent, a compacting load of 10 tons and a sintering temperature of 1600°C.*

*Keywords : high alumina bricks, optimization, design expert, response surface methodology.*

## PENDAHULUAN

Proses produksi alumina dengan tingkat kemurnian 99,6-99,9% melalui proses Bayer telah menjadi metode yang umum digunakan dalam industri. Proses Bayer melibatkan pengolahan bauksit, yang merupakan sumber utama aluminium, dengan menggunakan larutan alkali. Langkah-langkah dalam proses ini meliputi penghancuran bauksit, pencucian, pengendapan, pengolahan hidrat alumina, dan kalsinasi untuk menghasilkan alumina murni. Alumina dengan tingkat kemurnian tinggi ini digunakan dalam berbagai aplikasi, misalnya, dalam industri refraktori, busi, armor, tabung termokopel, substrat *Intergrated Circuit* (IC) dan komponen elektronik lainnya.

Alumina memiliki peran penting dalam industri keramik dan dianggap sebagai salah satu jenis keramik yang sering digunakan. Secara umum, pangsa pasar alumina terbagi menjadi beberapa aplikasi utama. Aplikasi refraktori menyumbang sekitar 50% pangsa pasar. Aplikasi abrasif mencakup sekitar 20% pangsa pasar, sementara porselen dan busi memiliki pangsa pasar sekitar 15%. Sisanya, sekitar 10% digunakan dalam aplikasi keramik teknik. Refraktori sangat bergantung pada parameter mikrostruktur seperti ukuran dan bentuk butir, volume relatif fase padat dan

vitreous, viskositas fase vitreous dan porositas (Sadik, Amrani dan Albizane, 2014). Persyaratan batu bata tinggi alumina tercantum pada Tabel 1.

Alumina mempunyai beberapa bentuk fasa alotropik, antara lain  $\gamma-Al_2O_3$ ,  $\delta-Al_2O_3$ ,  $\beta-Al_2O_3$  dan  $\alpha-Al_2O_3$ . Alumina fasa alpha atau  $\alpha-Al_2O_3$  merupakan salah satu bahan keramik yang paling banyak digunakan dan dikembangkan dalam industri dan laboratorium penelitian untuk berbagai keperluan. Fasa alpha merupakan fasa paling stabil pada alumina, terutama pada temperatur tinggi. Alpha alumina atau korundum mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi  $a = 4,7588$ ,  $c = 12,991$  nm,  $c/a = 2,72$ . Kation korundum ( $Al^{3+}$ ) menempati 2/3 bagian dari sisipan oktahedral, anion ( $O^{2-}$ ) menempati posisi HCP. Bilangan koordinasi dari struktur korundum adalah 6, maka tiap ion  $Al^{3+}$  dikelilingi 6 ion  $O^{2-}$  dan tiap ion  $O^{2-}$  dikelilingi oleh 4 ion  $Al^{3+}$  untuk mencapai muatan netral. Alpha alumina atau korundum ( $\alpha-Al_2O_3$ ) disamping sebagai bahan paling tahan temperatur tinggi sampai 1700°C, juga merupakan material yang sangat keras dan kuat sehingga sering dipakai sebagai bahan mekanik (Mawardani, 2014).

Tabel 1. Persyaratan batu bata tinggi alumina kemurnian 96%

Properti	Nilai	Satuan
Kandungan alumina	96	%
Densitas	3.75	g/cc
Porositas	0	%
3 point Modulus of Rupture 20°C (Specimen 3 x 3 x 50, span 19.05mm)	300	MPa
3 point Modulus of Rupture 1000°C	200	MPa
Weibull Modulus	10	-
Kekuatan tekan	2000	MPa
Young's Modulus of Elasticity	330	Gpa
Poisson's Ratio	0.22	-
Kekerasan (HR45N)	83	-
Kekerasan (Vickers Hv <sub>50</sub> )	15.71 (1600)	Gpa (Kg/mm <sup>2</sup> )
Ketangguhan Patah K <sup>1</sup> C	3.5	MPam <sup>1/2</sup>
Koefisien Ekspansi Termal (0-1200°C)	7.0x10 <sup>-6</sup>	K <sup>-1</sup>
Konduktivitas Termal	20.0	W/(mK)
Thermal Shock Resistance	200	ΔT°C quenched in water
Suhu Penggunaan Maksimum	1600	°C
Resistivitas Listrik	10 <sup>15</sup>	Ohm cm

Proses pembuatan keramik dilakukan menggunakan metode konvensional berdasarkan penggunaan serbuk. Beberapa tahap proses yang panjang melibatkan proses penentuan distribusi ukuran serbuk, pencampuran (*mixing*), penambahan *aditif/binders*, proses kompaksi, pembakaran (*sintering*) dan terakhir proses permesinan. Pada proses metalurgi serbuk, proses *sinter* merupakan proses untuk mendapatkan bahan yang padat dan kompak. Metode metalurgi serbuk bekerja dengan baik apabila ukuran alumina yang digunakan dalam skala nanopartikel. Metode ini cenderung lebih mahal karena menggunakan bahan baku serbuk yang harganya tinggi dan memerlukan proses yang panjang, seperti pencampuran, pemadatan, dan penyinteran, yang membutuhkan waktu yang lama.

Anggono dkk. (2008) meneliti proses pembuatan keramik alumina menggunakan bahan baku  $\alpha$ -alumina (bentuk poligon dan *flakes*) dengan dua metode berbeda yaitu *slip casting* dan *reaction bonding*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa densifikasi sampel semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur pemanasan pada hasil proses *reaction bonding* dan meningkat dengan kandungan alumina dalam *slip* pada hasil proses *slip casting*. Keramik alumina yang dihasilkan dari proses *sinter* suhu 1600°C menghasilkan berat jenis yang paling tinggi dan porositas yang paling rendah. Pada

sampel yang dipanaskan pada suhu 1300-1400°C tidak terjadi penyusutan (*zero shrinkage*).

Kondisi proses pembuatan batu bata tinggi alumina yang bervariasi menjadi pertimbangan dalam penentuan kualitas produk. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan Program *Design Expert* (DX) 7.0<sup>®</sup> untuk memilih kondisi proses dari kombinasi persen *binder*, beban kompaksi dan suhu *sintering* terhadap kuat uji tekan. Kelebihan program ini dapat digunakan untuk analisis dan pemodelan dari suatu permasalahan dengan satu atau lebih perlakuan dalam penelitian. Teknik permukaan respon (*Response Surface Methodology* - RSM) merupakan penggabungan metodologi matematika dan statistik (Brahmah, Anozie dan Odejobi, 2016) yang digunakan untuk menganalisis masalah yang melibatkan beberapa variabel independen (faktor) yang mempengaruhi variabel tidak bebas (respon atau hasil) dan mengoptimalkan respon atau hasil (Agustian, Hermida dan Rustamaji, 2021). RSM adalah kumpulan statistik dan matematika teknik yang berfungsi untuk mengembangkan, meningkatkan dan mengoptimalkan proses, serta respon dipengaruhi oleh beberapa faktor (variabel independen). Dua desain eksperimental utama yang digunakan dalam teknik permukaan respon adalah *Box-Behnken Design* (BBD) dan *Central Composite Design*

(CCD) (Mauritio, 2023). Penggunaan metode tersebut dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap respon, mendapatkan model hubungan antara variabel bebas dan respon, serta mendapatkan kondisi proses yang menghasilkan respon terbaik. Teknik ini dapat menganalisis dampak dari beberapa variabel dan bagaimana interaksinya dengan satu atau lebih respon variabel (Aydar, 2018). Selain itu, keunggulan metode RSM ini adalah tidak memerlukan data percobaan dalam jumlah yang besar dan tidak membutuhkan waktu lama (Iriawan dan Astuti, 2006).

Keunggulan lain dari metode RSM dalam skala laboratorium, yaitu penghematan dalam biaya eksperimen, waktu optimisasi dan total biaya energi yang dikeluarkan dari alat-alat yang digunakan selama eksperimen. Dalam skala komersial, metode ini akan menghemat biaya penelitian dan pengembangan, mempercepat fase optimisasi sehingga bisa menciptakan produksi bioetanol berskala komersial yang efektif dan efisien (Aditya dan Theofany, 2021).

Penelitian ini dilatarbelakangi dengan adanya masalah yang sedang dihadapi oleh PT Indonesia Chemical Alumina (ICA) yaitu memanfaatkan alumina yang tidak sesuai spesifikasi pasar yaitu 15.000 ton per tahun. Alumina yang tidak memenuhi spek ini hanya ditumpuk oleh PT ICA dan memakan tempat, sehingga merugikan perusahaan secara ekonomi, karena harus menyediakan tempat untuk menampung limbah alumina ini. Penelitian ini menjadi sangat penting karena alumina yang tidak sesuai spesifikasi pasar mempunyai kandungan  $Al_2O_3$  yang masih sangat tinggi dan mempunyai bentuk fasa alpha atau  $\alpha-Al_2O_3$  yang merupakan fasa paling stabil pada alumina pada temperatur paling tinggi.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah dalam penelitian ini aplikasi RSM digunakan untuk desain eksperimental utamanya. Melalui penerapan RSM, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi optimal dari persentase binder, beban kompaksi, dan suhu *sintering* dalam pembuatan batu bata tinggi alumina. Data dan analisis yang diperoleh dari penelitian ini akan memberikan landasan yang kuat bagi upaya peningkatan efisiensi dan

produktivitas dalam skala produksi batu bata tinggi alumina.

Penelitian ini sudah sesuai dengan penggunaan aplikasi RSM yang bertujuan untuk mengidentifikasi optimisasi dari variabel penelitian (persen *binder*, beban kompaksi dan suhu *sintering*) yang dilakukan sehingga dapat menjadi lebih efektif dan efisien dalam penelitian ini.

## BAHAN DAN METODE

### 1. Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian adalah alumina ( $Al_2O_3$ ) dari PT ICA, sedangkan bahan penunjang lainnya antara lain *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) dan bentonit. Air digunakan sebagai *plasticizer*. Alat yang digunakan dalam penelitian ini gelas beker, *magnetic stirrer*, spatula, timbangan digital, cawan, oven, *tube furnace*, *mold*, *hydraulic press*.

### 2. Metode

Tahap pertama penelitian adalah karakterisasi alumina PT ICA yaitu analisis komposisi kimia  $Al_2O_3$  menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui komposisi mineral alumina. Tahap kedua adalah optimisasi kondisi proses pembuatan batu bata tinggi alumina, yang terdiri atas empat langkah, yaitu 1) pembuatan rancangan formulasi desain eksperimen dan respon; 2) formulasi desain eksperimen; 3) analisis respon dan 4) optimisasi. Terakhir, tahap ketiga uji kuat tekan dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) batu bata tinggi alumina.

## Pengujian Alumina PT ICA

Tahap penelitian terdiri dari preparasi bahan dan pencetakan dengan mesin kuat tekan dilakukan di laboratorium Balai Besar Keramik. Dilakukan pula *sintering* dengan *tube furnace* di Laboratorium Metalurgi-Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA. Dalam penelitian ini digunakan Program *Design Expert* (DX) 7.0<sup>®</sup>.

Karakteristik awal kadar alumina ( $Al_2O_3$ ) PT ICA sebesar 96,81% dan komposisi

mineralnya berbentuk korundum ( $\alpha$ -  $Al_2O_3$ ). Hasil pembacaan kurva grafik XRD pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada posisi-posisi 25, 35, 38, 52 dan 57 derajat terbentuk puncak (*peak*) yang membentuk fasa korundum.

**Optimasi Kondisi Proses Pembuatan Batu Bata Tinggi Alumina**

Ada empat tahap dalam mengoperasikan RSM (Montgomery, 2001):

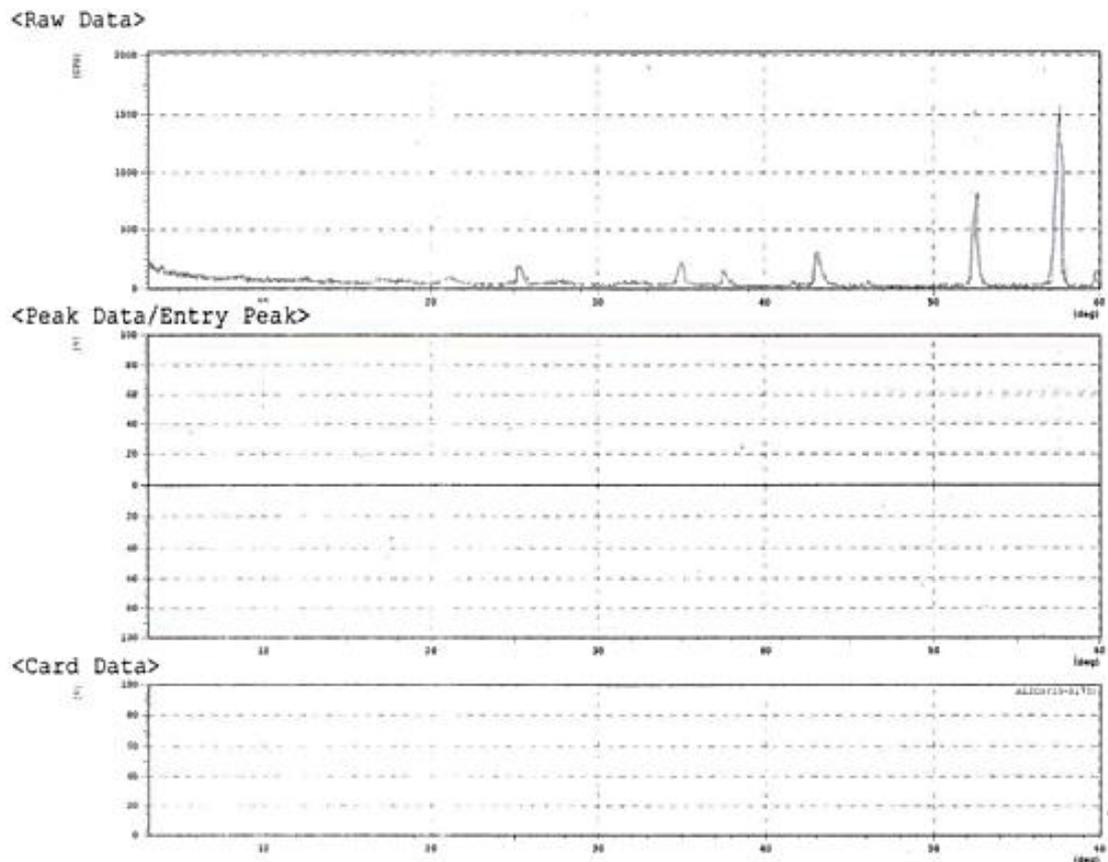
1. Tahap pembuatan rancangan formulasi dan respon  
 Pembuatan rancangan formulasi dan respon dilakukan dengan Program *Design Expert DX 7.0*® untuk menentukan variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap adalah variabel yang nilainya dibuat sama dalam tiap perlakuan karena dianggap tidak mempengaruhi respon, sedangkan variabel bebas yang akan mempengaruhi respon yang akan dihasilkan.

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah berat sampel dan variabel bebas adalah persen *binder*, beban kompaksi dan suhu *sintering*.

Dengan menentukan nilai batas minimum maksimum dari variabel bebas (Tabel 2) serta respon pengujian ke dalam Program *Design Expert DX 7.0*® RSM *Box Behnken Design*, diperoleh desain eksperimen untuk 10 percobaan yang harus dilakukan. Respon yang diukur dan dioptimasi dalam penelitian ini adalah kuat uji tekan (Tabel 3).

Tabel 2. Nilai variabel bebas dalam percobaan

Komponen	Variabel Independen	Min	Maks
A	Persen <i>binder</i> (%)	1	3
B	Suhu <i>sintering</i> (°C)	1400	1600
C	Beban kompaksi (ton)	10	12



Gambar 1. Kurva grafik hasil XRD alumina PT ICA

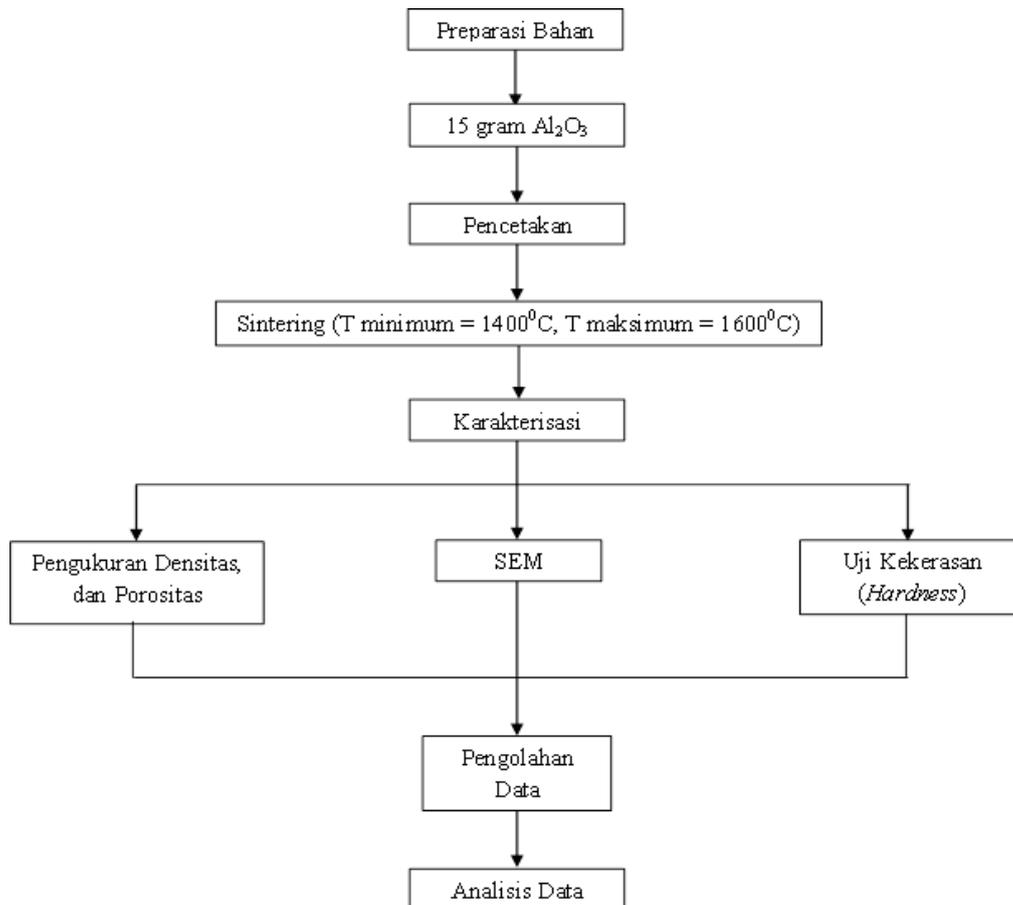
Tabel 3. Rancangan percobaan pembuatan batu bata tinggi alumina

Kode	% Binder (%)	Beban Kompaksi (Ton)	Suhu Sintering (°C)
R1	1	10	1400
R2	3	10	1400
R3	1	12	1600
R4	1	10	1600
R5	3	12	1600
R6	3	10	1600
R7	3	12	1400
R8	1	12	1400

2. Tahap formulasi

Tahap formulasi merupakan tahap pembuatan batu bata tinggi alumina sesuai dengan kondisi proses (formula) pada Tabel 2. Setiap formula akan dibuat batu bata tinggi alumina dengan berat 15 gram alumina. Diagram alir pembuatan batu bata tinggi alumina disajikan pada Gambar 2 yang diawali dengan preparasi dan

penimbangan alumina sebanyak 15 gram dan dilakukan penambahan bentonit sebanyak 0,45 gram dan air sebanyak 1,5 gram, sedangkan untuk penambahan binder yaitu CMC dilakukan sesuai dengan formula/kondisi proses yang dihasilkan oleh program. Semua bahan diaduk dan dicampur merata. Setelah bahan tercampur rata kemudian dibuat sampel uji dengan cara dikompaksi dengan cetakan (*mold*). Beban kompaksi juga ditentukan sesuai dengan formula/kondisi proses yang dihasilkan oleh program. Pengukuran sampel dilakukan sebelum dan sesudah pemanasan untuk mengetahui persen penyusutannya. Terakhir dilakukan proses sintering dengan suhu yang ditentukan melalui Program *Design Expert DX 7.0*® RSM *Box-Behnken Design* selama 1 jam. Persen binder, beban kompaksi dan suhu sintering akan menentukan kualitas batu bata tinggi alumina yang dihasilkan.



Gambar 2. Diagram alir pembuatan batu bata tinggi alumina

### 3. Tahap analisis respon

Setiap variabel respon kemudian dianalisis menggunakan analisis variansi atau *Analysis of Variance* (ANOVA) satu persatu. ANOVA adalah suatu metode untuk menguraikan keragaman total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber keragaman. ANOVA digunakan untuk menguji rata-rata lebih dari dua sampel berbeda secara signifikan atau tidak (Pradana, Saraswati dan Deviyanti, 2022). Model ANOVA yang digunakan dapat dipilih sesuai yang disarankan oleh program yaitu model yang memiliki nilai yang tertinggi dan menghasilkan nilai signifikan ANOVA. Model yang memberikan signifikansi pada ANOVA dan non signifikansi pada *Lack of Fit* dipilih untuk menganalisis variabel (Jha dan Sit, 2021).

### 4. Tahap optimasi

Pada tahap ini, respon (kuat uji tekan) ditentukan oleh tujuan optimasinya dalam Program *Design Expert DX 7.0*. Program ini akan melakukan optimasi sesuai data variabel dan data pengukuran respon yang dimasukkan. Keluaran dari tahap optimasi adalah rekomendasi beberapa formula baru yang optimal menurut program. Formula paling optimal adalah formula dengan nilai *desirability* maksimum. Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai dengan 1,0. Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1,0 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna. Tujuan optimasi bukan untuk memperoleh nilai *desirability* 1,0 namun untuk mencari kondisi terbaik.

Setelah diperoleh kondisi optimum, dilanjutkan ke tahapan verifikasi yaitu dilakukan pengolahan dan analisis batu bata tinggi alumina sesuai dengan formulasi terbaik yang didapatkan dari hasil optimasi RSM. Verifikasi dilakukan dengan tiga kali ulangan untuk meminimalisir eror empiris (Aditiya dan Theofany, 2021). Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai variabel respon yang diprediksi oleh RSM yang telah dilengkapi dengan prediksi nilai setiap respon

sehingga dapat dilihat kesesuaiannya pada tahapan verifikasi (Anihouvi dkk., 2011). Verifikasi dilakukan dengan cara melakukan pemantauan dan pengamatan kembali di lapangan dengan cara menyesuaikan data hasil optimasi dari *software* yang menunjukkan nilai *desirability* tertinggi pada DX-7 dengan kejadian yang benar-benar terjadi di lapangan yang faktornya sudah disesuaikan dengan hasil dari optimasi pada *software* (Prabudi, Nurtama dan Purnomo, 2018).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menentukan batas minimum dan maksimum pada Tabel 1 serta melakukan respon kuat uji dalam program *Design Expert DX 7.0* RSM *Box-Behnken Design* maka diperoleh hasil uji seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji respon kuat uji tekan

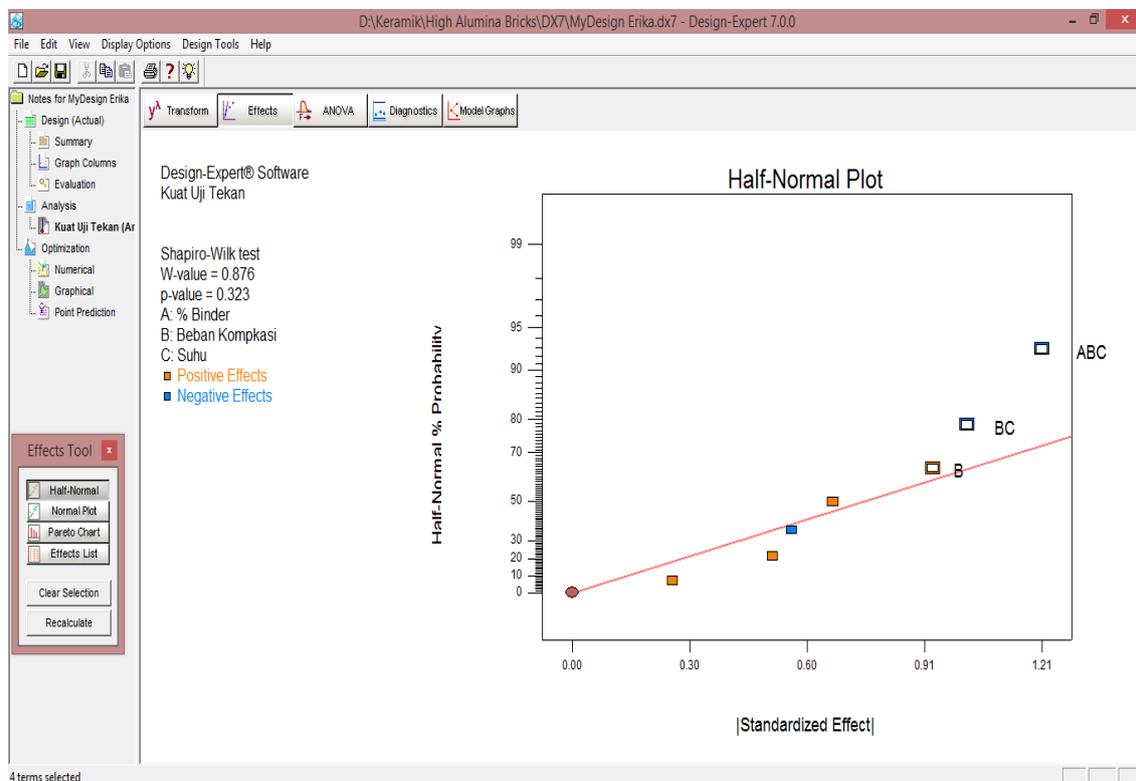
Kode	% Binder (%)	Beban Kompaksi (Ton)	Suhu Sintering (°C)	Kuat Uji Tekan (MPa)
R1	1	10	1400	19,6146
R2	3	10	1400	18,8154
R3	1	12	1600	20,6950
R4	1	10	1600	19,0091
R5	3	12	1600	20,1067
R6	3	10	1600	21,9702
R7	3	12	1400	21,4038
R8	1	12	1400	20,9150

Hasil tersebut dianalisis untuk menentukan variabel percobaan yang berpengaruh, dengan ketentuan bahwa nilai kemungkinan (*p value*) yang ada di ANOVA mendekati nilai 0,05 atau 5/100 dan model harus signifikan. Jika nilai *p-value* lebih kecil dari 0,05 maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa model yang diestimasi oleh prosedur regresi memberikan hasil yang signifikan (Susanto, Adianto dan Rikardo, 2018). Nilai *P* bernilai kurang dari 5% (0,05) menunjukkan bahwa model tersebut dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon (Qodim dkk., 2023).

Berdasarkan hasil uji yang diperoleh, seperti yang terlihat dalam Gambar 3, maka variabel yang berpengaruh adalah B (beban kompaksi), BC (beban kompaksi + suhu) dan ABC (hubungan antara ketiga variabel).

Tabel 5 merupakan hasil pembacaan grafik pada Gambar 3. Grafik ini digunakan untuk optimasi lebih lanjut pada percobaan pembuatan batu bata tinggi alumina. Meskipun hasil pembacaan di ANOVA tidak signifikan, tetap dilakukan optimasi pembuatan batu bata tinggi alumina supaya didapatkan *output* yang berupa rekomendasi kondisi proses percobaan pembuatan batu bata tinggi alumina baru yang optimal dengan *desirability* mendekati angka 1,0. Optimasi ini dilakukan dengan cara memilih nilai *F value* yang paling kecil, sehingga diperoleh nilai *p value* seminimal mungkin.

Berdasarkan optimasi yang telah dilakukan, seperti tampak pada Tabel 6, maka dipilih variabel percobaan dengan nilai level yang paling tinggi yaitu % binder sebesar 3%, beban kompaksi sebesar 10 ton, dan suhu *sintering* sebesar 1600°C. Hasil ini digunakan sebagai data untuk menentukan variabel percobaan selanjutnya menggunakan RSM, dengan nilai *desirability* adalah 0,909. Adapun tujuan dari optimasi ini adalah untuk meminimalkan usaha (jumlah percobaan), biaya operasional yang diperlukan dan memaksimalkan hasil yang diinginkan.



Gambar 3. Grafik analisis pengaruh variabel terhadap kuat uji tekan

Tabel 5. Hasil ANOVA desain faktorial

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F Value	p-Value (Prob > F)	
Model	6.71	3	2.24	4.06	0.1046	<i>not significant</i>
B-Beban Kompaksi	1.72	1	1.72	3.12	0.1519	
BC	2.07	1	2.07	3.75	0.1248	
ABC	2.93	1	2.93	5.31	0.0826	
Residual	2.20	4	0.55			
Cor Total	8.92	7				

Tabel 6. Hasil prediksi desain faktorial

Kode	% Binder (%)	Beban Kompaksi (Ton)	Suhu <i>Sintering</i> (°C)	Kuat Uji Tekan (MPa)	<i>Desirability</i>	
R1	3,00	10,00	1600,00	20,9653	0,909	<u>Selected</u>
R2	3,00	10,01	1600,00	20,9565	0,906	
R3	2,97	10,00	1599,72	20,9414	0,902	
R4	3,00	10,03	1599,56	20,9398	0,902	
R5	3,00	10,00	1600,00	20,9292	0,901	
R6	2,95	10,00	1595,82	20,9363	0,900	
R7	3,00	10,00	1600,00	20,9188	0,899	
R8	2,92	10,00	1599,83	20,9175	0,894	
R9	3,00	10,09	1600,00	20,9078	0,892	
R10	3,00	10,08	1599,88	20,8993	0,891	
R11	2,86	10,00	1598,60	20,8833	0,884	
R12	2,67	10,00	1600,00	20,7634	0,847	
R13	3,00	10,39	1600,00	20,7126	0,834	
R14	3,00	10,40	1589,79	20,6385	0,814	

Hasil optimasi menggunakan metode ANOVA ditunjukkan dalam Tabel 7. Dapat dilihat bahwa masing-masing faktor yaitu % binder, beban kompaksi, dan suhu *sintering* tidak begitu berpengaruh (tidak signifikan) terhadap respon kuat uji tekan. *Lack of Fit F-Value* dari respon kuat uji tekan dengan nilai p lebih besar dari 0,05 adalah 0,2980. Nilai *Lack of Fit* yang tidak signifikan merupakan syarat untuk model yang baik, yaitu menunjukkan kesesuaian antara data respon persen ekstraksi dengan model (Faadhilah, 2019).

Berdasarkan Tabel 8, formulasi yang terpilih (*selected*) direkomendasikan sebagai solusi formula yang optimum, karena kondisi proses ini memiliki nilai *desirability* yang tinggi yaitu 0,788. Nilai *desirability* yang mendekati satu memberikan nilai ketepatan optimasi yang semakin tinggi, sehingga bisa disimpulkan bahwa kondisi proses dengan 3% binder, beban kompaksi 10 ton, dan suhu *sintering* 1600°C

akan menghasilkan produk yang memiliki karakteristik sesuai dengan target optimasi.

Tahapan selanjutnya adalah verifikasi yang dilakukan dengan tiga kali ulangan. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai variabel respon yang diprediksi oleh RSM yang telah dilengkapi dengan prediksi nilai setiap respon sehingga dapat dilihat kesesuaiannya pada tahapan verifikasi (Anihouvi dkk., 2011).

Pada hasil verifikasi kondisi optimum yang direkomendasikan Program *Design Expert* (DX) 7.0<sup>®</sup> dengan RSM *Box-Behnken*, diperoleh kuat uji tekan 8,2229 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai yang diprediksikan (Tabel 9), maka nilai hasil verifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai prediksi. Hal ini berarti kondisi proses percobaan untuk memperoleh kuat uji tekan batu bata tinggi alumina yang optimum, cukup konsisten.

Tabel 7. Hasil ANOVA dengan metode RSM

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F Value	p-Value (Prob > F)	
Model	54.14	6	9.02	1.02	0.4649	<i>not significant</i>
A-% Binder	21.56	1	21.56	2.44	0.1496	
B-Beban Kompaksi	0.34	1	0.34	0.039	0.8474	
C-Suhu	2.32	1	2.32	0.26	0.6199	
AB	19.52	1	19.52	2.21	0.1683	
AC	5.11	1	5.11	0.58	0.4650	
BC	4.07	1	4.07	0.46	0.5129	
Residual	88.47	10	8.85			
<i>Lack of Fit</i>	64.67	6	10.75	1.79	0.2980	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	24.00	4	6.00			
Cor Total	142.61	16				

Tabel 8. Hasil formulasi tahapan optimasi menggunakan metode RSM

Kode	Persen Binder	Beban Kompaksi	Suhu	Kuat Uji Tekan	Desirability	
R1	<u>3,00</u>	<u>10,00</u>	<u>1600,00</u>	<u>5,91565</u>	<u>0,788</u>	<u>Selected</u>
R2	3,00	10,01	1599,97	5,91018	0,787	
R3	3,00	10,00	1599,29	5,90019	0,787	
R4	3,00	10,02	1600,00	5,90531	0,786	
R5	2,97	10,00	1600,00	5,90650	0,785	
R6	2,96	10,00	1600,00	5,90275	0,783	
R7	2,95	10,00	1600,00	5,89994	0,782	
R8	3,00	10,11	1600,00	5,86287	0,775	
R9	3,00	10,00	1593,06	5,76413	0,774	
R10	2,84	10,00	1600,00	5,86987	0,770	
R11	2,80	10,00	1600,00	5,85657	0,765	
R12	2,76	10,00	1600,00	5,84626	0,761	
R13	3,00	10,29	1600,00	5,77011	0,751	
R14	3,00	10,10	1580,34	5,47718	0,737	
R15	2,53	10,00	1600,00	5,77657	0,731	
R16	3,00	10,35	1591,34	5,61384	0,729	
R17	2,46	10,00	1600,00	5,75755	0,722	
R18	3,00	10,54	1600,00	5,64969	0,717	
R19	3,00	10,64	1548,76	5,14240	0,632	
R20	2,93	11,16	1600,00	5,14946	0,597	
R21	3,00	11,12	1563,98	5,38885	0,590	

Tabel 9. Prediksi dan hasil verifikasi nilai respon solusi formula optimum hasil optimasi dengan program *Design Expert (DX) 7.0*<sup>®</sup>

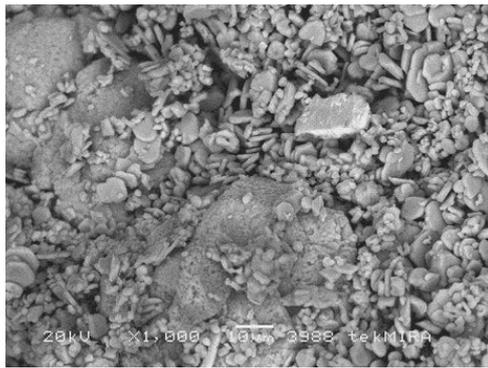
Respon	Prediksi	Verifikasi
Kuat Uji Tekan (MPa)	5,91565	8,2229

### Hasil Pengujian SEM Batu Bata Tinggi Alumina

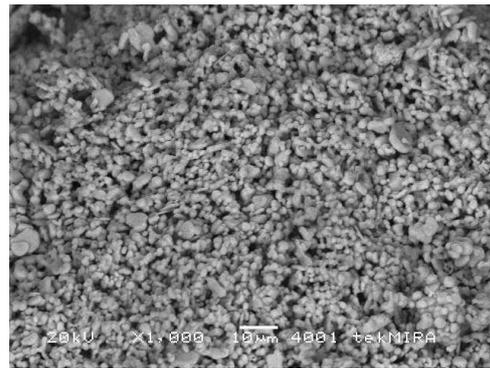
Pengujian SEM ini bertujuan untuk melihat kondisi *sintering* antar partikel pengaruh beban kompaksi, serta melihat distribusi partikel, dan distribusi porositas secara umum. Uji SEM dilakukan di Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara *tekMIRA*, Bandung. Observasi struktur mikro dilakukan pada serbuk bahan baku alumina setelah *sintering* menggunakan SEM. Foto SEM produk batu bata tinggi alumina disajikan pada Gambar 4. Gambar 4a merupakan hasil SEM batu bata tinggi alumina dengan beban kompaksi yang lebih rendah. Gambar tersebut menunjukkan pada struktur produk batu bata tinggi alumina masih banyak terdapat rongga atau pori.

Berbeda dengan Gambar 4b, beban kompaksi yang lebih besar membuat struktur produk batu bata tinggi alumina tampak lebih rapat. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam struktur produk telah terjadi pertumbuhan kristal alumina bahkan beberapa partikel sudah mulai bersatu membentuk partikel berukuran besar. Penurunan porositas dapat disebabkan oleh semakin padat spesimen yang diakibatkan kompaksi yang lebih besar, sehingga partikel-partikel keramik akan saling berdekatan dan bentuk pori menjadi lebih rapat. Pada saat dilakukan *sintering*, kristal akan semakin tumbuh, sehingga porositas menurun.

Proses pemadatan butiran akibat proses difusi atom-atom terjadi ketika bahan dilakukan *sinter* pada suhu tinggi (Raharjo, Rahayu dan Mustika, 2015). Tingginya suhu *sintering* yang membuat partikel serbuk menjadi terikat lebih baik dan penambahan fraksi berat alumina yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan *fire brick* (Sari dan Rusiyanto, 2019).



(a) Beban kompaksi 9 Ton



(b) Beban kompaksi 11 Ton

Gambar 4. SEM 1000x produk batu bata tinggi alumina setelah *sintering* (4% binder; suhu *sintering* 1600°C)

## KESIMPULAN

Terjadi interaksi antara komponen-komponen yang berpengaruh dalam proses pengolahan antara lain persen *binder*, beban kompaksi dan suhu *sintering*. Perbedaan kondisi proses pengolahan berpengaruh terhadap kuat uji tekan. Optimasi kondisi proses menggunakan Program DX 7.0.0 dengan RSM *Box-Behnken* menghasilkan formula pembuatan batu bata tinggi alumina yang optimal dengan 3% binder, beban kompaksi 10 ton, dan suhu *sintering* 1600°C. Pada kondisi ini dihasilkan kuat uji tekan 8,2229 MPa.

Penggunaan kondisi proses yang telah dioptimalkan tersebut menghasilkan batu bata tinggi alumina dengan kekuatan uji tekan yang memenuhi kebutuhan yang diharapkan sesuai dengan prediksi dari Program *Design Expert* (DX) 7.0<sup>®</sup> dengan RSM *Box-Behnken*. Formula ini dapat diaplikasikan sebagai acuan dalam pembuatan batu bata tinggi alumina.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, H.B. dan Theofany, H.C. (2021) "Formulasi dan analisa desain eksperimen sebagai studi pendahuluan dalam optimisasi produksi bioetanol dari biji durian," *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2), hal. 45–53. Tersedia pada: <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v2i2.24>.
- Agustian, J., Hermida, L. dan Rustamaji, H. (2021) "Penguasaan perangkat design expert dalam R&D produksi untuk keterampilan mengoptimasi operator proses PT. Tunas

Baru Lampung (TBK) Bandar Lampung," *Abdimas Singkerru*, 1(2), hal. 124–133.

- Anggono, J., Wibisono, G., Tjitro, S. dan Wiyono, D.E. (2008) *Penyusutan dan densifikasi keramik alumina: Perbandingan antara hasil proses slip casting dengan reaction bonding*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Anihouvi, V.B., Saalia, F., Sakyi-Dawson, E. dan Ayernor, G.S. (2011) "Response surface methodology for optimizing the fermentation conditions during the processing of cassava fish (*Pseudolithus* sp) into Lanhouin," *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(9), hal. 7085–7095.
- Aydar, A.Y. (2018) "Utilization of Response Surface Methodology in Optimization of Extraction of Plant Materials," in V. Silva (ed.) *Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. InTech, hal. 180. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73690>.
- Braimah, M.N., Anozie, A.N. dan Odejobi, O.J. (2016) "Utilization of response surface methodology (RSM) in the optimization of crude oil refinery process, New Port-Hardcourt Refinery, Nigeria," *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 3(3), hal. 4361–4369.
- Faadhilah, A. (2019) *Optimasi microwave assisted extraction terhadap senyawa bioaktif antioksidan dari sarang semut Papua (Myrmecodia pendans) dengan variasi konsentrasi etanol, suhu dan lama ekstraksi*. Universitas Brawijaya.
- Iriawan, N. dan Astuti, S.P. (2006) *Mengolah data statistik dengan mudah menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

- Jha, A.K. dan Sit, N. (2021) "Comparison of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) modelling for supercritical fluid extraction of phytochemicals from Terminalia chebula pulp and optimization using RSM coupled with desirability function (DF) and genetic," *Industrial Crops and Products*, 170, hal. 113769. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113769>.
- Mauritio, P. (2023) *Optimasi proses torefaksi menggunakan response surface methodology (RSM) untuk meningkatkan karakteristik pelet kaliandra*. Universitas Lampung.
- Mawardani, P. (2014) *Pengaruh kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatur sintering dan karakteristik keramik alumina*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Montgomery, D.C. (2001) *Design and analysis of experimental*. New York: John Wiley and Sons.
- Prabudi, M., Nurtama, B. dan Purnomo, E.H. (2018) "Aplikasi response surface methodology (RSM) dengan historical data pada optimasi proses produksi burger," *Jurnal Mutu Pangan*, 5(2), hal. 109–115.
- Pradana, N.D., Saraswati, R. dan Deviyanti, I.G.. S. (2022) "Optimasi output produksi kakao bubuk pada bagian mixing dengan menggunakan response surface methodology – Box Behnken design di PT. X," *Jurnal Riset Teknik*, 1(3), hal. 1–12. Tersedia pada: <https://doi.org/10.54980/jer.v1i3.177>.
- Qodim, A., Setyorini, D., Panjaitan, R., Variana, Y. dan Ansori (2023) "Optimasi ekstraksi minyak biji alpukat dengan pelarut n-hexana," *JURNAL TEKNOLOGI KIMIA MINERAL*, 2(1), hal. 53–59. Tersedia pada: <https://doi.org/10.61844/jtkm.v2i1.452>.
- Raharjo, J., Rahayu, S. dan Mustika, T. (2015) "Pengaruh tingkat kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatur sintering dan karakteristik keramik alumina," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan "Veteran" Yogyakarta, hal. B14(1-7).
- Sadik, C., Amrani, I.-E. El dan Albizane, A. (2014) "Processing and characterization of alumina–mullite ceramics," *Journal of Asian Ceramic Societies*, 2(4), hal. 310–316. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jascer.2014.07.006>.
- Sari, A.L. dan Rusiyanto, R. (2019) "Pengaruh thermal shock resistance dan komposisi bahan refraktori terhadap kekuatan impact dan struktur makro," *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2), hal. 105–110. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21831/dinamika.v4i2.27392>.
- Susanto, V.C., Adiarto, H. dan Rikardo, C. (2018) "Penentuan faktor dan level faktor proses keramik tableware untuk mengurangi cacat pinhole menggunakan response surface methodology," in M.K. Herliansyah, N.A. Masruroh, S.R. Sulistyono, dan T. Wijayanto (ed.) *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*. Yogyakarta: Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM, hal. M–17.