

---

## PENENTUAN LEVEL FAKTOR UNTUK MEMPRODUKSI BATA KLINKER DENGAN PENERAPAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

---

**Y.M. Kinley Aritonang<sup>1)</sup>, Fanny Fransisca<sup>2)</sup>, Hari  
Adianto<sup>3)</sup>**

*kinley@home.unpar.ac.id*

---

**Y.M. Kinley Aritonang**, adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan. Menerima gelar Doktor pada tahun 1996 dari New Mexico State University, USA. Bidang peminatan: *Statistics, Operations Research*.

---

*Nowadays, people begin to observe materials which have the aesthetics value for their houses. One of the most demanded materials is the "Klinker Stone" which has more values compared to the traditional "Red Stone" in texture, color, and high pressure ability. Most of the customers prefer the imported "Klinker Stone" rather than the local one. In order to survive in competition, the producers of "Klinker Stone" have to improve the quality of their product. This research was held in Balai Besar Keramik to determine which significant factors influence the pressure ability of "Klinker Stone" and define the level of combinations from each factor which give maximum pressure ability. The data were analyzed using Response Surface Methodology as an approach to Taguchi Method to determine the level for each factor which gives significant influence. This research found that composition of materials, pressure, heating temperature, and interactions of those factors have given significant impact to the pressure ability of the "Klinker Stone".*

---

*Klinker Stone, Taguchi Method, Response Surface Methodology*

## PENDAHULUAN

Pembangunan rumah maupun bangunan lainnya tidak hanya membutuhkan bahan bangunan yang biasa digunakan, masyarakat mulai mencari bahan bangunan yang dapat menambah keindahan bangunan mereka. Salah satu bahan bangunan yang sedang diminati oleh masyarakat adalah bata klinker. Bata klinker menawarkan nilai estetika yang berbeda daripada bahan bangunan pada umumnya karena tidak menggunakan plester sebagai pelapis luarnya dan juga tersedia dalam warna yang beragam. Kebanyakan konsumen memilih bata klinker impor karena kualitas bata klinker lokal masih berada di bawah bata klinker impor. Untuk tetap dapat bertahan dari persaingan dengan produsen luar negeri, produsen bata klinker harus dapat menemukan cara untuk meningkatkan kualitas produknya.

Di Indonesia banyak sekali lempung untuk bahan baku bata klinker ini, namun kualitas bata klinker lokal banyak yang belum memenuhi standar yang telah ditetapkan. Bata klinker memiliki dua karakteristik yang perlu diperhatikan. Karakteristik tersebut adalah **penyerapan air** dan **kekuatan tekan**. Namun yang harus lebih diperhatikan adalah kekuatan tekannya karena dengan semakin tinggi kekuatan tekan bata klinker maka bata tersebut akan semakin dapat menahan beban. Standar kekuatan tekan bata klinker dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Standard Kekuatan Tekan Bata Klinker

| Kelas | Kuat Tekan Rata-rata |
|-------|----------------------|
| I     | 400                  |
| II    | 300                  |
| III   | 200                  |

Rendahnya kualitas bata klinker lokal ini umumnya disebabkan oleh produsen yang kurang menguasai teknologi pembuatan bata klinker. Industri keramik menengah ke atas di Indonesia sebenarnya sudah memiliki kemampuan untuk memproduksi bata klinker, hanya saja industri tersebut membutuhkan informasi mengenai komposisi bahan dan perlakuan yang tepat sehingga dapat menghasilkan bata klinker yang lebih berkualitas. Pengendalian kualitas dapat dilakukan dengan cara *off-line quality control* yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan juga mendukung proses *on-line quality control*. *Response Surface Methodology* digunakan karena metode ini dapat menentukan kombinasi level-level faktor produksi sehingga diperoleh respon kekuatan tekan bata klinker yang optimum.

## RUMUSAN MASALAH

Dari penjabaran di atas dapat dirumuskan permasalahannya dan juga sebagai tujuan penelitian ini :

- Faktor-faktor apa saja yang diprediksi dapat mempengaruhi kekuatan tekan bata klinker.
- Faktor-faktor apa dan bagaimana interaksi yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tekan bata klinker.
- Bagaimana kombinasi level dari faktor-faktor yang berpengaruh sehingga dihasilkan bata klinker dengan kekuatan tekan yang optimal.

## BATASAN MASALAH

Penelitian dilakukan dengan beberapa pembatasan masalah agar penelitian ini lebih fokus dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Pembatasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

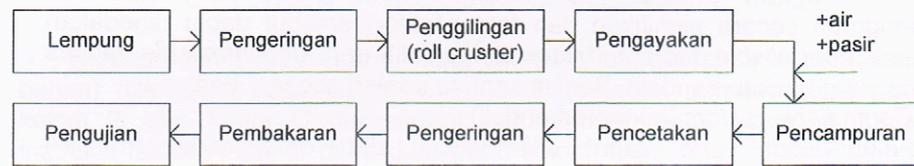
- Karakteristik kualitas yang diamati pada produk adalah kekuatan tekan ( $\text{kg/cm}^2$ ).
- Interaksi antar faktor yang diamati dalam penelitian hanya interaksi dua faktor saja.

- Kadar zat-zat lain yang terkandung pada lempung yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bata klinker (selain kandungan zat organik) tidak dipertimbangkan.
- Kadar air yang ditambahkan pada proses pencampuran tidak dipertimbangkan.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemilihan level untuk setiap faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan bata klinker ditentukan berdasarkan rekomendasi dari pihak Balai Besar Keramik.

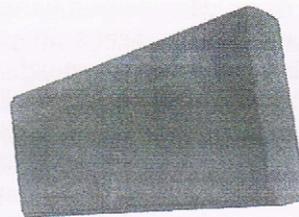
### BATA KLINKER

Bata klinker adalah bata yang dibuat dari lempung atau serpih, dibentuk, dikeringkan, dibakar pada suhu tinggi dan digunakan untuk konstruksi bangunan tanpa plester. Bata klinker yang dijadikan penelitian menggunakan lempung yang berasal dari desa Tanjung Sari, Kecamatan Karang Pawitan, Kabupaten Garut. Pasir yang digunakan untuk bahan pencampur adalah pasir kali (lolos ayakan 2 milimeter). Secara singkat, urutan proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

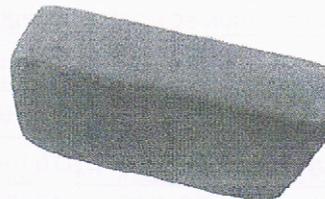


Gambar 1. Urutan proses pembuatan bata klinker

Berikut ini adalah contoh gambar bata klinker yang dibandingkan dengan bata merah biasa:



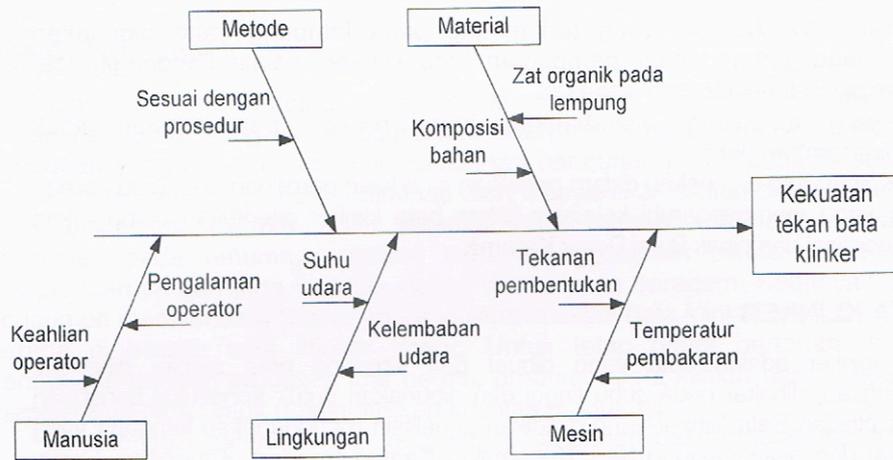
Gambar 2. Bata klinker



Gambar 3. Bata merah biasa

### METODE PENELITIAN

Pengolahan data diawali dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan bata klinker. Pengidentifikasi faktor-faktor ini dilakukan berdasarkan konsultasi dengan pihak Balai Besar Keramik, sehingga diperoleh diagram sebab akibat sebagai berikut :



Gambar 4. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pembuatan bata klinker

Dari diagram di atas, teridentifikasi faktor-faktor yang diprediksi berpengaruh secara signifikan dan faktor-faktor tersebut dapat dibedakan menjadi *controllable factors* (faktor terkendali) dan *uncontrollable factors* (faktor yang tidak terkendali). Penjelasan adalah sebagai berikut :

1. *Controllable factors* (faktor terkendali)

Faktor-faktor yang dapat dikendalikan dan diperkirakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan bata klinker adalah :

- a. Komposisi bahan (perbandingan antara lempung dan pasir yang membentuk bahan baku bata klinker)
- b. Tekanan pembentukan
- c. Temperatur pembakaran

2. *Uncontrollable factors* (faktor yang tidak terkendali)

Faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan karena faktor ini berasal dari alam namun diperkirakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan bata klinker. Faktor ini adalah kandungan zat organik pada lempung pembentuk bahan baku bata klinker. Penentuan level yang digunakan dalam penelitian ini juga dipilih berdasarkan rekomendasi dari pihak Balai Besar Keramik. Level untuk setiap faktor dipilih karena penggunaan level di luar level yang direkomendasikan akan menghasilkan kekuatan tekan untuk bata klinker yang lebih rendah. Level atau tingkat perlakuan dari tiap faktor tersebut adalah :

Tabel 2. Level untuk setiap faktor terkendali

| Faktor terkendali        | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| A. komposisi bahan       | 95:5    | 90:10   | 85:15   |
| B. Tekanan pembentukan   | 10 ton  | 15 ton  | 20 ton  |
| C. temperatur pembakaran | 1200 °C | 1250 °C | 1300 °C |

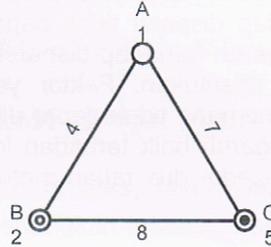
Sedangkan faktor tidak terkendali terdiri dari 2 level, yaitu kandungan zat organik yang kurang atau sama dengan 5% dan lebih dari 5%.

**EKSPERIMEN**

*Response Surface Methodology* dimulai dari fase 0, yaitu dengan melakukan *screening design*. *Screening design* dilakukan untuk menentukan faktor apa saja yang memberikan efek secara signifikan. Fase 0 ini dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi ini dipilih karena penelitian ini dipengaruhi oleh adanya faktor tidak terkendali (kandungan zat organik).

## Metoda Taguchi

Metode Taguchi diawali dengan pemilihan *Orthogonal Array*. Berdasarkan perhitungan derajat kebebasan, diketahui bahwa *Orthogonal Array* yang digunakan adalah  $L_{27}$ . Penempatan faktor-faktor dan interaksinya pada *Orthogonal Array* dilakukan dengan menggunakan *Linear Graph*. *Linear Graph* yang digunakan disesuaikan dengan jumlah faktor yang terlihat dan interaksi antar faktor-faktor tersebut. *Linear Graph* yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Linear graph yang digunakan

Berdasarkan *Linear Graph* maka diketahui bahwa faktor A (komposisi bahan) diletakkan pada kolom 1, faktor B (tekanan pembentukan) pada kolom 2, dan faktor C (temperatur pembakaran) pada kolom 5. Untuk interaksi faktor A dan B diletakkan pada kolom 4, interaksi faktor A dan C pada kolom 7, dan interaksi faktor B dan C pada kolom 8. Kolom-kolom yang tidak digunakan dianggap sebagai *error* karena penelitian ini hanya melibatkan 3 faktor terkendali dengan 3 macam interaksi antar faktor-faktor tersebut.

Dalam pengambilan data eksperimen digunakan replikasi sebanyak tiga kali. Dari hasil pengolahan terhadap data maka diperoleh tabel ANOVA yang menghasilkan kesimpulan bahwa faktor-faktor dan interaksinya yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai rata-rata respon kekuatan tekan adalah sebagai berikut :

1. Faktor A (komposisi bahan)
2. Faktor B (tekanan pembentukan)
3. Faktor C (temperatur pembakaran)
4. Interaksi faktor A dan faktor B
5. Interaksi faktor A dan faktor C
6. Faktor X (*noise*)
7. Interaksi faktor B dan faktor X
8. Interaksi faktor AB dan faktor X
9. Interaksi faktor AC dan faktor X

Pada penelitian ini hanya dibatasi pada interaksi 2 faktor saja sehingga interaksi AB-X dan AC-X tidak diikutsertakan dalam pengolahan data selanjutnya.

Sedangkan faktor-faktor dan interaksinya yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai variansi respon kekuatan tekan adalah sebagai berikut :

1. Faktor A (komposisi bahan)
2. Faktor B (tekanan pembentukan)
3. Faktor C (temperatur pembakaran)
4. Interaksi faktor A dan faktor B

## Penentuan Faktor Lokasi dan Dispersi

Hasil ANOVA untuk penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa ketiga faktor A (komposisi bahan), B (tekanan pembentukan), dan C (temperatur pembakaran) memberikan pengaruh yang signifikan baik terhadap lokasi (rata-rata) maupun dispersi (variansi). Jika ditempatkan maka diperoleh tabel berikut ini:

Tabel 3. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap lokasi dan dispersi

|   |       | Faktor yang berpengaruh terhadap lokasi (rata-rata) |       |
|---|-------|---|-------|
|   |       | Ada   | Tidak |
| Faktor yang berpengaruh terhadap dispersi(variansi) | Ada   | A, B, C   | -     |
|   | Tidak | -   | -     |

Dari tabel di atas terlihat bahwa faktor yang berpengaruh terhadap lokasi dan tidak berpengaruh terhadap dispersi tidak dapat ditentukan, demikian pula faktor yang memiliki pengaruh terhadap dispersi dan tidak berpengaruh terhadap lokasi tidak dapat ditentukan. Faktor yang tidak berpengaruh terhadap lokasi dan dispersi memang tidak dapat ditentukan. Namun faktor A, B, dan C memberikan pengaruh baik terhadap lokasi maupun terhadap dispersi. Dengan demikian prosedur dua tahap metode Taguchi tidak dapat dilakukan.

### Response Surface Methodology

Langkah selanjutnya dalam *Response Surface Methodology* adalah membuat *first-order model* dimana koefisien dari persamaan *multiple linear regression model* diperoleh dengan menggunakan metode *least square*. Perhitungan ini hanya melibatkan faktor-faktor dan interaksi antar faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan saja. Pada perhitungan ini level 1 diubah menjadi level -1, level 2 diubah menjadi level 0, dan level 3 diubah menjadi level 1. Sedangkan pada faktor tidak terkendali level 1 diubah menjadi -1 dan level 2 menjadi 1. Sehingga akan diperoleh persamaan *first-order* sebagai berikut :

$$\hat{y} = 195675 - 9.624x_1 - 13.093x_2 - 9.385x_3 - 12.274x_4 - 13.680x_1x_2 - 5.324x_1x_3 - 12.446x_2x_4 \dots\dots(1)$$

Setelah memperoleh persamaan regresi, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien determinasi. Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi tersebut menggambarkan permukaan respon yang sesungguhnya. Dari hasil perhitungan koefisien determinasi ( $r^2$ ) diperoleh nilai sebesar 0.336 yang berarti model *first-order* hanya dapat menggambarkan respon sebesar 33.6%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model *first-order* kurang dapat menggambarkan permukaan respon sehingga diperlukan model lain yang memiliki derajat lebih tinggi, yaitu model *second-order*.

Perhitungan *second-order model* ini selain melibatkan faktor-faktor dan interaksi antar faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan, model ini juga melibatkan nilai kuadrat dari faktor-faktor utamanya. Pada perhitungan ini level 1 diubah menjadi level -1, level 2 diubah menjadi level 0, dan level 3 diubah menjadi level 1. Sedangkan pada faktor tidak terkendali level 1 diubah menjadi -1 dan level 2 menjadi 1. Sehingga akan diperoleh persamaan *second-order* sebagai berikut :

$$\hat{y} = 271.846 - 9.624x_1 - 16.230x_2 - 9.385x_3 - 12.274x_4 - 55.287x_1^2 - 47.048x_2^2 - 11.920x_3^2 - 13.680x_1x_2 - 5.324x_1x_3 + 0.100x_2x_4 \dots\dots\dots(2)$$

Setelah memperoleh persamaan regresi, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien determinasi. Dari hasil perhitungan koefisien determinasi ( $r^2$ ) diperoleh nilai sebesar 0.876 yang berarti model *second-order* sudah dapat menggambarkan respon sebesar 87.6%. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa model *second-order* ini sudah dapat menggambarkan permukaan respon yang sesungguhnya.

### Penggambaran Contour Plot dan Surface Plot

Untuk kasus dimana terdapat interaksi antara faktor terkendali dan faktor tidak terkendali (*noise*), maka diselesaikan dengan cara memisahkan persamaan yang telah diperoleh sebelumnya menjadi 2 bagian. Bagian

pertama hanya berisi faktor-faktor yang tidak berkaitan dengan *noise* saja yang disebut model rata-rata proses, sedangkan bagian kedua berisi faktor-faktor yang berinteraksi dengan *noise* yang disebut model variansi proses. Jika faktor *noise* diasumsikan sebagai  $z$  dan *noise* tersebut dianggap sebagai variabel acak dengan nilai rata-rata 0 dan variansi sebesar  $\sigma_z^2$ .  $\sigma^2 = MS_{Error} = 272.0$ .

Model dari rata-rata proses :

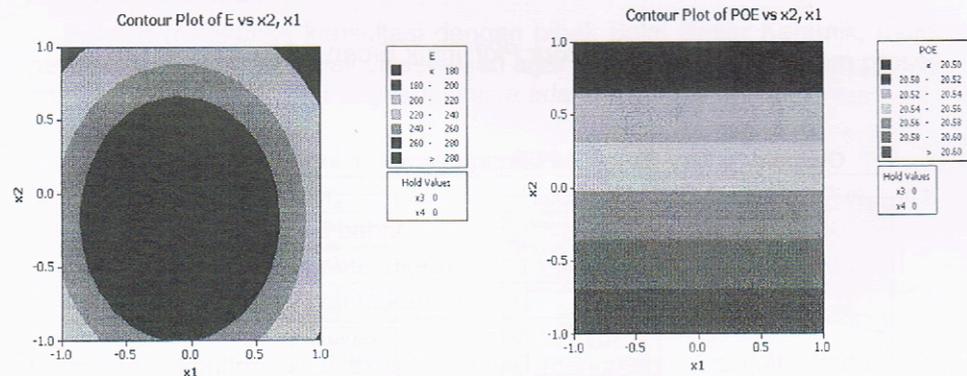
$$E_z[y(x, z_1)] = 271.846 - 9.624x_1 - 16.230x_2 - 9.385x_3 - 55.287x_1^2 - 47.048x_2^2 - 11.920x_3^2 - 13.680x_1x_2 - 5.324x_1x_3 \quad \dots\dots(3)$$

Model dari variansi proses :

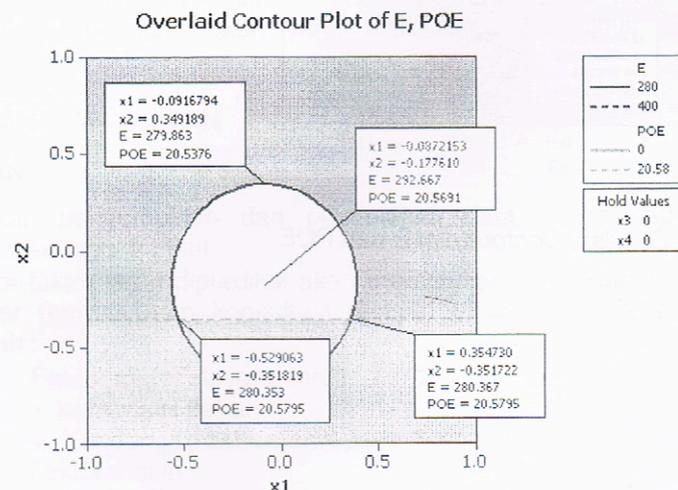
$$Var_z[y(x, z_1)] = 422.651 - 2.455x_2 + 0.01x_2^2 \quad \dots\dots(4)$$

Dari kedua persamaan di atas, faktor yang mempengaruhi variansi proses adalah faktor  $x_2$ , sedangkan faktor  $x_1$  dan  $x_3$  merupakan faktor yang mempengaruhi rata-rata proses. Faktor *noise* ( $x_4$ ) diasumsikan konstan berada pada level 0. Penggambaran *contour plot* ini dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 14.0. *Contour plot* untuk nilai rata-rata diperoleh dari persamaan yang pertama (model dari rata-rata proses) sedangkan *contour plot* untuk nilai variansi proses diperoleh dengan menghitung akar dari persamaan kedua (model dari variansi proses) yang disebut dengan *Propagation of Error* atau POE. Dari semua kombinasi level faktor, diperoleh dua kombinasi yang menghasilkan nilai respon terbesar. Kedua kombinasi tersebut adalah :

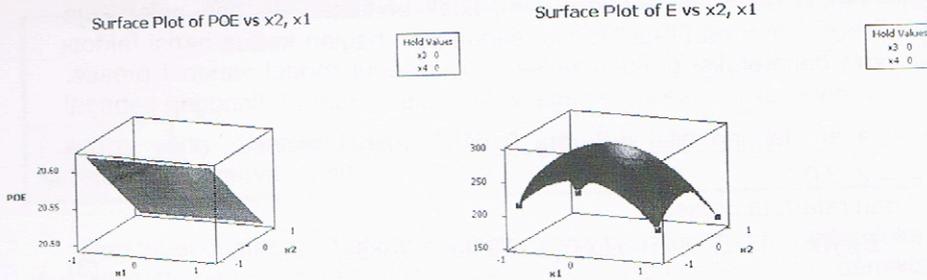
1. Set pertama (dengan menetapkan  $x_3 = 0$  dan  $x_4 = 0$ )



Gambar 6. Contour Plot untuk E dan POE

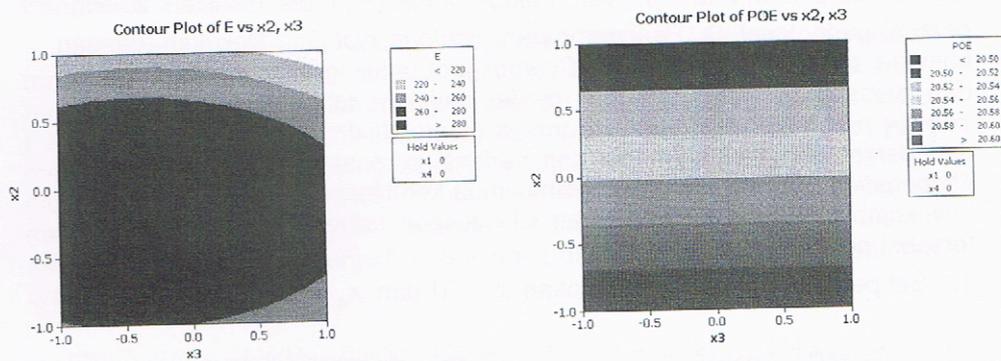


Gambar 7. Overlaid Contour plot E dan POE

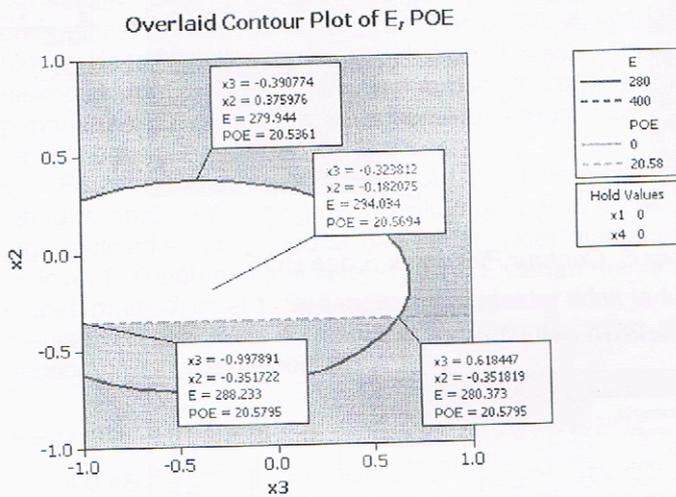


Gambar 8. Gambar permukaan untuk E dan POE terhadap  $X_2$  dan  $X_1$

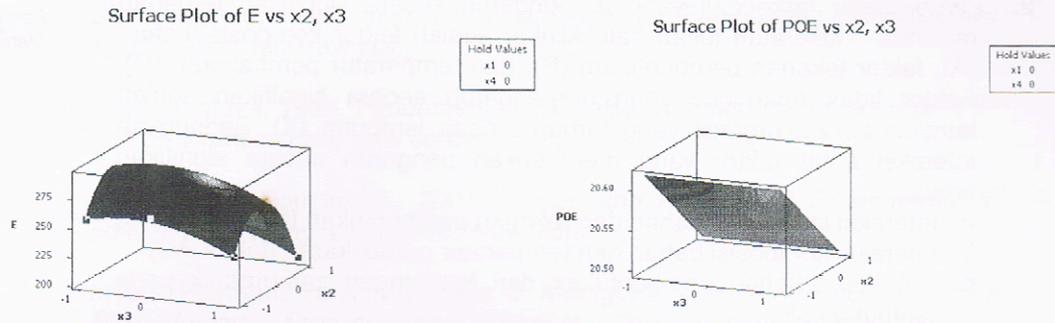
2. Set kedua (dengan menetapkan  $x_1 = 0$  dan  $x_4 = 0$ )



Gambar 9. Contour Plot untuk E dan POE



Gambar 10. Overlaid Contour plot E dan POE



Gambar 11. Gambar permukaan untuk E dan POE terhadap  $X_2$  dan  $X_1$

Dengan demikian diperoleh dua set kombinasi level yang menghasilkan nilai respon kekuatan tekan terbesar, yaitu :  
 Nilai E mencapai 292.667 kg/cm<sup>2</sup> dengan POE sebesar 20.5691 yang dicapai dengan mengatur level faktor terkendali sebagai berikut :

Faktor  $x_1 = -0.08722$

Faktor  $x_2 = -0.1776$

Faktor  $x_3 = 0$

Nilai E mencapai 294.034 kg/cm<sup>2</sup> dengan POE sebesar 20.5694 yang dicapai dengan mengatur level faktor terkendali sebagai berikut :

Faktor  $x_1 = 0$

Faktor  $x_2 = -0.1821$

Faktor  $x_3 = -0.3238$

Setelah melakukan konsultasi dengan pihak Balai Besar Keramik, maka penugasan faktor terkendali disesuaikan agar dapat diterapkan dalam proses produksi sesungguhnya. Penyesuaiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Level optimal setiap faktor

| Faktor                        | Set pertama | Set kedua |
|-------------------------------|-------------|-----------|
| $x_1$ (komposisi bahan)       | 90.4 : 9.6  | 90 : 10   |
| $x_2$ (tekanan pembentukan)   | 14,1 ton    | 14,1 ton  |
| $x_3$ (temperatur pembakaran) | 1250 °C     | 1234 °C   |

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk mengetahui apakah kedua set kombinasi level yang diusulkan memberikan hasil sesuai dengan yang diharapkan jika diterapkan dalam dunia nyata. Dari hasil pengujian secara statistik, diketahui bahwa kedua set kombinasi level yang diusulkan menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi sekaligus meminimasi variansinya.

## SIMPULAN DAN SARAN

### SIMPULAN

Berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang diprediksi akan mempengaruhi kekuatan tekan bata klinker (berdasarkan konsultasi dengan pihak Balai Besar Keramik) adalah :
  - a. Faktor material, yang terdiri dari :
    - i. Komposisi bahan
    - ii. Kandungan zat organik pada lempung
  - b. Faktor mesin
    - i. Tekanan pembentukan
    - ii. Temperatur pembakaran

2. Faktor-faktor terkendali yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata kekuatan tekan bata klinker adalah faktor komposisi bahan (A), faktor tekanan pembentukan (B), dan temperatur pembakaran (C). Faktor tidak terkendali yang berpengaruh secara signifikan adalah kandungan zat organik yang terdapat pada lempung (X). Sedangkan interaksi antar faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan adalah :
  - a. Interaksi komposisi bahan dan tekanan pembentukan (faktor AB)
  - b. Interaksi komposisi bahan dan temperatur pembakaran (faktor AC)
  - c. Interaksi tekanan pembentukan dan kandungan zat organik pada lempung (BX)
3. Faktor-faktor dan interaksinya yang berpengaruh terhadap nilai variansi kekuatan tekan bata klinker adalah faktor komposisi bahan (A), faktor tekanan pembentukan (B), temperatur pembakaran (C), dan interaksi faktor komposisi bahan dan tekanan pembentukan (AB).
4. Dua usulan kombinasi level faktor yang dapat digunakan untuk menghasilkan bata klinker dengan kekuatan tekan maksimum sesuai dengan SNI 15-4760-1998 dan variansi yang minimum adalah :
  - a. Set pertama
    - 1) Faktor  $x_1$  (komposisi bahan) pada level 90.4 : 9.6
    - 2) Faktor  $x_2$  (tekanan pembentukan) pada level 14.1 ton
    - 3) Faktor  $x_3$  (temperatur pembakaran) pada level 1250°C
  - b. Set kedua
    - 1) Faktor  $x_1$  (komposisi bahan) pada level 90 : 10
    - 2) Faktor  $x_2$  (tekanan pembentukan) pada level 14.1 ton
    - 3) Faktor  $x_3$  (temperatur pembakaran) pada level 1234 °C

## SARAN

Saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi level faktor pembuatan bata klinker yang diusulkan menunjukkan adanya perbaikan terhadap nilai rata-rata kekuatan tekan dan variansi kekuatan tekan, oleh karena itu sebaiknya perusahaan menerapkan kombinasi level faktor ini untuk menghasilkan bata klinker dengan kekuatan tekan yang masuk ke dalam kelas II.
2. Perusahaan dapat melakukan penelitian dengan menggunakan lempung dari daerah lain, yang diharapkan dapat menghasilkan bata klinker dengan kekuatan tekan yang lebih tinggi.

Saran-saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan faktor lainnya seperti kelembaban udara atau suhu udara sebagai faktor terkendali.
2. Penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan interaksi antara tiga faktor atau lebih.

## DAFTAR RUJUKAN

Bagchi, Tapan P., 1993, *Taguchi Methods Explained, Practical Steps to Robust Design*. Prentice Hall International. New Delhi.

Berger, P.D and Maurer, R.E, 2002, *Experimental Design with Applications in Management, Engineering, and The Sciences*, Thomson Learning, Belmont.

Besterfield, Dale H., 1994, *Quality Control* 4<sup>th</sup> edition, Prentice-Hall, New Jersey.

Box, GEP., Hunter, W.G and Hunter, J.S, 1978, *Statistic for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*, John Wiley & Sons Inc., New York.

Blank, Leland, 1982, *Statistical Procedures for Engineering, Management, and Science*, McGraw-Hill.

Mitra, Amitava, 1998, *Fundamental of Quality Controls and Improvement* 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey.

Montgomery, Douglas C., 2001, *Design and Analysis of Experiments*, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

Myers, Raymond H. And Douglas C. Montgomery, 2002, *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

Park, Sung H., 1996, *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, 1<sup>st</sup> edition, Chapman & Hall, UK.

Ross, Phillip J., 1996, *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design* 2<sup>nd</sup> edition, McGraw Hill, New York.