



## PENGARUH KOMPOSISI SERBUK HALUS $UO_2$ TERHADAP KERAPATAN KOMPAKAN PELET $UO_2$

Widjaksana, Ety Mutiara  
Pusat Elemen Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**PENGARUH KOMPOSISI SERBUK HALUS  $UO_2$  TERHADAP KERAPATAN KOMPAKAN PELET  $UO_2$ .** Telah dilakukan penelitian pengaruh serbuk halus tersebut terhadap kerapatan pelet  $UO_2$  mentah. Penelitian dilakukan melalui perubahan komposisi serbuk halus ke dalam serbuk  $UO_2$  standar sebanyak 6 kali perubahan yaitu 0%, 10 %, 20 %, 30%, 40%, dan 50%. Masing masing komposisi dikompakan dengan perubahan tekanan pengompakan sebanyak 5 kali yaitu 1 MP (*Measured Pressured*  $\approx$  ton/mm<sup>2</sup>), 2 MP, 3 MP, 4 MP dan 5 MP, dan masing masing diulang sebanyak 8 kali pengulangan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa, rata rata kerapatan (kerapatan estimasi) berada diantara selang kepercayaan untuk rata rata kerapatan populasi dalam batas kepercayaan 95%. Berdasarkan hasil ANOVA ditunjukkan bahwa kedua perubahan berpengaruh terhadap kerapatan kompakan melalui besaran distribusi F. Pengaruh tersebut ditunjukkan dengan korelasi-korelasi baik terhadap komposisi maupun terhadap tekanan. Kerapatan maksimum tercapai pada komposisi antara selang 20% dan 30%. Bila digunakan korelasi Heckel ternyata komposisi serbuk halus tidak banyak berpengaruh terhadap kekuatan mekanik serbuk, sedangkan bila digunakan korelasi Smith terlihat bahwa komposisi serbuk halus berpengaruh terhadap kompresibilitas serbuk. Kompresibilitas serbuk dicapai pada komposisi antara selang 20% dan 30%.

### ABSTRACT

**THE EFFECT OF FINE  $UO_2$  POWDER COMPOSITION ON DENSITY OF  $UO_2$  PELLET COMPACTION.** This research has been done to solve it. The work was done through making variation on the fine powder composition from 0% up to 50% and variation on compacting pressure from 1 MP up to 5 MP. Each variation combination was replicated eight times. The result showed that the data were within confidence interval of the density and the ANOVA showed that the parameters affected the density. The affect of them was showed in the various correlation. The maximum density was reached at the range of fine powder composition between 20% and 30%. When Heckel theory was applied to the data, the conclusion showed that the fine powder composition did not affect the mechanical strength of material, but when Smith theory was applied, the conclusion showed that the fine powder composition affect the compressibility of powder. The maximum compressibility of powder was reached at the range of fine powder composition between 20 % and 30%.

### PENDAHULUAN

Pada umumnya prosedur pengompakan serbuk  $UO_2$  dalam proses peletisasi mempersyaratkan serbuk  $UO_2$  dengan distribusi ukuran butir antara 150  $\mu$ m sampai dengan 800  $\mu$ m. Akan tetapi dalam kenyataannya sering dijumpai selang distribusi ukuran butir yang lebih besar dari itu atau dengan kata lain ada distribusi ukuran dari ukuran di bawah 150  $\mu$ m sampai dengan ukuran di atas 800  $\mu$ m. Kondisi ini sudah tentu di luar persyaratan yang telah ditentukan, sehingga perlu pemisahan terlebih dulu sebelum digunakan.

Pemisahan akan memberikan tiga kelompok serbuk yaitu serbuk dengan ukuran di bawah 150  $\mu$ m yang disebut serbuk halus,

serbuk di antara 150  $\mu$ m dan 800  $\mu$ m yang disebut serbuk standar dan serbuk dengan ukuran di atas 800  $\mu$ m yang disebut serbuk kasar. Serbuk kasar selanjutnya dihaluskan kembali sehingga diperoleh serbuk dengan ukuran di bawah 800  $\mu$ m. Penghalusan ini dapat menghasilkan pula serbuk halus, sehingga secara keseluruhan jumlah serbuk halus akan meningkat. Berdasar beberapa pertimbangan teknis, maka serbuk halus ini tidak diinginkan karena membuat bahan yang terbuang akan banyak dan tidak menguntungkan secara ekonomis. Oleh karena itu perlu upaya untuk memanfaatkan serbuk halus itu.

Upaya yang telah dilakukan untuk maksud tersebut adalah melalui proses aglomerasi kering yang membutuhkan

kecermatan yang tinggi dan waktu yang cukup lama. Sering pula serbuk halus itu dikembalikan ke proses pembuatan serbuk melalui proses basah. Upaya itu lebih tidak menguntungkan dalam industri, sehingga perlu upaya lain untuk memperoleh kondisi yang lebih menguntungkan.

Beberapa pustaka menjelaskan bahwa keberadaan serbuk halus akan memperbesar luas permukaan spesifik serbuk tersebut<sup>[5]</sup> yang menimbulkan adsorpsi gas dari lingkungannya sehingga pada permukaan serbuk akan terbentuk lapisan molekuler gas. Keadaan ini memberikan dampak kurang baik, baik pada saat pengompakan bahan tersebut maupun proses selanjutnya. Luas permukaan spesifik serbuk yang besar secara umum juga akan meningkatkan luas kontak antar butir. Kondisi ini akan meningkatkan gesekan antar butir sehingga tingkat kemampuan alir serbuk menurun<sup>[5]</sup> yang akan menyulitkan pada proses pengompakan. Serbuk halus sampai komposisi tertentu dapat pula memperbaiki kerapatan karena serbuk tersebut berpeluang besar memasuki rongga antar butir besar. Sudah tentu hal itu akan terjadi bila serbuk itu mendapat dorongan untuk memasuki rongga tersebut melebihi tahanan gesek antar butir. Pengisian rongga antar butir besar oleh serbuk halus akan mampu meningkatkan bilangan koordinasi antar butir sehingga memudahkan terbentuknya ikatan antar butir pada saat dikompakan<sup>[2,8]</sup>.

Serbuk halus yang memberikan dampak pada luas permukaan spesifik dapat meningkatkan laju sintering pada kondisi sintering yang sama dengan proses standar. Sudah tentu hal ini dapat menguntungkan dalam proses sintering bila kondisi sintering diatur lagi. Di sisi lain, adsorpsi udara pada permukaan serbuk  $UO_2$  dapat menimbulkan perubahan stoikiometri sehingga rasio O - U akan bertambah. Sudah tentu secara mikro kondisi ini akan mengubah karakteristik bahan yang pada gilirannya mempengaruhi proses pengompakan dan proses lanjutannya. Selanjutnya perubahan rasio O - U dapat berguna dalam proses sintering. Kelebihan oksigen dalam  $UO_2$  pada dasarnya akan meningkatkan laju sintering melalui efek difusi oksigen. Hal ini dapat menurunkan energi yang diperlukan untuk proses itu, sehingga temperatur sintering pun dapat diturunkan<sup>[7]</sup>.

Dari uraian tersebut nampak bahwa, keberadaan serbuk halus dapat memberikan dampak yang merugikan dari satu sisi, namun dapat pula memberikan dampak yang menguntungkan di sisi lainnya terutama apabila komposisinya dapat diatur tertentu. Atas dasar ini maka seyogyanya serbuk halus hasil pemisahan itu dapat digunakan kembali dengan mengatur komposisinya dalam serbuk standar. Agar serbuk halus tersebut dapat digunakan langsung dan mengingat kedua dampak yang ditimbulkannya, maka perlu suatu pemahaman yang nyata sampai sejauh mana besar dampak yang merugikan dan menguntungkan yang ditimbulkannya. Dengan perkataan lain keberadaan serbuk halus dalam serbuk standar pada komposisi tertentu dapat mempengaruhi baik secara positif maupun negatif terhadap proses pengompakan. Inilah yang menjadi hipotesis dan dasar pemikiran penelitian ini.

#### TATA KERJA

Atas dasar hipotesis yang dikemukakan dalam paragraf di atas, percobaan ini dirancang. Perlakuan yang dilakukan berdasarkan hipotesis tersebut adalah variasi komposisi fraksi serbuk halus yang divariasikan 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, kedalam serbuk standar. Akan tetapi untuk mengetahui parameter yang sesuai dengan variasi tersebut, tekanan pengompakan pun divariasikan dari 1 MP, 2 MP, 3 MP, 4 MP dan 5 MP. Selanjutnya untuk mendapatkan data yang dapat dipercaya, maka masing masing kombinasi variasi diulang sebanyak 8 kali.

Atas dasar rancangan tersebut, maka percobaan dilakukan melalui pemisahan serbuk halus dari serbuk yang tersedia dengan pengayakan. Kemudian serbuk halus dicampurkan kembali ke dalam serbuk standar dengan variasi komposisi seperti tersebut di atas dalam mesin pencampur, sehingga diperoleh 6 kelompok serbuk. Masing-masing kelompok dikompakan dengan variasi tekanan pengompakan seperti tersebut di atas. Pengompakan setiap kelompok serbuk pada setiap variasi tekanan diulang sebanyak 8 kali, sehingga untuk setiap kelompok serbuk diperoleh 40 pelet mentah dan jumlah pelet keseluruhan yang dihasilkan sebanyak 240 pelet. Secara visual keutuhan setiap pelet diperiksa serta dimensi dan beratnya diukur. Dari ukuran

berat dan dimensi tersebut, kerapatan geometris pelet dihitung. Selanjutnya hasil yang diperoleh diolah untuk pengujian data dan hipotesis.

## HASIL DAN BAHASAN

Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada lampiran Tabel 1. Data tersebut selanjutnya diolah secara statistik untuk mengetahui keberadaan rerata populasi dan interval penerimaannya pada batas kepercayaan 95% dua sisi, kemudian ANOVA untuk pengujian keberadaan pengaruh perlakuan terhadap hasil dan pembentukan korelasi atas pengaruh tersebut. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada lampiran Tabel 2 dan Tabel 3.

Selanjutnya dengan menggunakan regresi linier diperoleh korelasi baik pengaruh fraksi serbuk halus pada berbagai tekanan pengompakan terhadap kerapatan pelet mentah maupun pengaruh tekanan pengompakan pada berbagai komposisi terhadap kerapatan pelet mentah, seperti yang ditunjukkan pada lampiran Gambar 1 sampai dengan 12.

Kecenderungan pengaruh perubahan tersebut ditunjukkan dengan korelasi seperti persamaan berikut ini

$$\rho = \alpha\chi^4 + \beta\chi^3 + \gamma\chi^2 + \delta\chi + \varepsilon$$

dimana:

- $\rho$  = kerapatan pelet mentah (% td = *theoretical density*)  
 $\chi$  = komposisi fraksi serbuk halus dalam serbuk standar (%)  
 $\alpha, \beta, \gamma$  dan  $\delta$  = koefisien suku suku korelasi,  
 $\varepsilon$  = konstanta yang sama dengan kerapatan pelet pada komposisi fraksi serbuk halus 0 %.

Harga-harga konstanta dan koefisien tersebut ditunjukkan pada lampiran Tabel 4. Korelasi tersebut bila diplot pada grafik akan diperoleh kurva kurva seperti ditunjukkan pada lampiran Gambar 1 sampai dengan 6.

Korelasi yang menunjukkan pengaruh tekanan dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$\rho = \lambda \ln ( p ) + \phi$$

dimana

$\rho$  = kerapatan pelet mentah dalam % td,

$\lambda$  = koefisien arah korelasi

$\phi$  = konstanta.

Harga koefisien dan konstanta tersebut ditunjukkan pada lampiran Tabel 5. Korelasi tersebut bila diplot pada grafik akan diperoleh kurva-kurva seperti ditunjukkan pada lampiran Gambar 7 sampai dengan 12.

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa harga kerapatan rerata pelet mentah yang diperoleh dari sejumlah cuplikan serbuk berada di dalam interval harga kerapatan rerata yang diharapkan dari populasi serbuk yang ada dengan batas kepercayaan 95 %. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian yang memberikan harga kerapatan rerata pelet mentah dengan perlakuan yang sama mempunyai peluang 95% berada di dalam interval itu. Selanjutnya hasil analisis varian menunjukkan bahwa ada pengaruh yang cukup kuat dari perubahan baik komposisi fraksi serbuk halus maupun tekanan pengompakan.

Dari Gambar 7 sampai dengan Gambar 12 terlihat bahwa pada umumnya harga kerapatan pelet mentah pada berbagai tekanan dengan penambahan fraksi serbuk halus sampai fraksi yang ditinjau akan meningkat bila dibandingkan dengan harga kerapatan pelet mentah dari serbuk standar. Peningkatan tersebut mencapai harga kerapatan yang besar pada komposisi fraksi serbuk halus antara 20 % sampai dengan 30 % seperti terlihat pada Gambar 8 dan 9, dan lebih besar dari komposisi itu harga kerapatan cenderung menurun, seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11. Keadaan ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Funas<sup>[2,3]</sup> bahwa pencampuran serbuk halus dan serbuk kasar akan mencapai kerapatan maksimum pada komposisi tertentu tergantung pada kemampuan serbuk halus untuk mengisi rongga antar serbuk kasar.

Pengaruh komposisi fraksi serbuk halus tersebut terlihat pula pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 6 untuk masing-masing tekanan. Gambar-gambar tersebut memperlihatkan bentuk kurva yang sama, tetapi seolah-olah terjadi pergeseran posisi atau penyempurnaan bentuk kurva. Pada Gambar 1 nampak ada ekor lengkungan pada ujung kiri kurva yang hilang pada gambar-gambar selanjutnya. Selanjutnya mulai Gambar 2 terbentuk ekor lengkungan

pada ujung kanan kurva dan tumbuh semakin besar pada Gambar 5. Meskipun demikian puncak kurva yang terjadi tetap berada pada kisaran komposisi antara 20 % dan 30 %. Kondisi ini lebih banyak menggambarkan fenomena pergerakan serbuk halus dan pemampatan serbuk karena peningkatan gaya yang dikenainya disertai dengan pengikatan antar butir yang kontak sehingga pelet mempunyai kekuatan. Pada tekanan pengompakan 1 MP, gaya yang bekerja pada serbuk relatif rendah sehingga pada komposisi fraksi halus rendah ( kurang dari 5% ) yang cenderung mempunyai rongga antar butir yang banyak, belum mampu memampatkan serbuk secara menyeluruh. Di sisi lain keberadaan serbuk halus justru menghambat gerakan butir. Hal itu mengakibatkan kerapatan pelet yang dihasilkan cenderung lebih rendah daripada tanpa campuran. Komposisi fraksi serbuk halus di antara 5% sampai dengan 30% memungkinkan rongga antar butir kasar terisi oleh serbuk halus yang bila dikenai gaya yang sama dengan komposisi di bawah 5 %, gaya tersebut cenderung bekerja merata, sehingga pemampatan akan lebih mudah terjadi. Kondisi ini menimbulkan kerapatan pelet meningkat. Pada komposisi serbuk halus yang lebih besar dari 30 % cenderung menghambat pemampatan terutama yang berada di luar rongga antar butir kasar. Oleh karena itu, pada komposisi fraksi serbuk di atas 30 % kerapatan pelet cenderung menurun. Pada tekanan yang lebih besar, hambatan terhadap pemampatan itu sedikit demi sedikit dapat diatasi. Ekor bagian kanan kurva yang terbentuk pada tekanan relatif besar, mungkin terjadi karena pelet atau bagian pelet yang terbentuk mengalami fragmentasi yang diikuti dengan penyusunan ulang butir (*repacking*) sehingga kerapatan meningkat.

Apabila data tersebut dicocokkan dengan model korelasi yang dikemukakan oleh Heckel<sup>[4]</sup>, maka diperoleh persamaan korelasi antara kerapatan pelet kompak dengan tekanan pengompakan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 6. Dari korelasi ini terlihat bahwa, koefisien arah korelasi tidak banyak berbeda yang berarti karakteristik mekanik serbuk tidak banyak mengalami perubahan. Selanjutnya apabila data dicocokkan dengan korelasi yang diajukan oleh Smith<sup>[5]</sup>, maka akan diperoleh korelasi

antara kerapatan pelet kompak dengan tekanan pengompakan seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasar persamaan korelasi tersebut terlihat bahwa, koefisien arah persamaan mencapai harga maksimum pada rentang komposisi 10% - 20%, yang berarti nilai kompresibilitas serbuk mencapai kondisi optimum pada rentang komposisi tersebut. Selanjutnya dari persamaan korelasi itu terlihat pula bahwa harga konstanta yang maksimum dicapai pada komposisi sekitar 30% yang berarti densitas nyata serbuk sebelum dikompakan mencapai nilai maksimum pada komposisi itu. Sudah tentu kedua hal itu mendukung argumentasi yang dikemukakan di atas.

## SIMPULAN

Dari hasil dan bahasan di atas dapat disimpulkan bahwa

1. Keberadaan serbuk halus dalam serbuk standar dapat mempengaruhi kerapatan pelet mentah. Kerapatan pelet mentah dapat mencapai harga maksimum pada kisaran komposisi serbuk halus antara 20% dan 30%.
2. Kerapatan pelet mentah tersebut bagaimana pun akan dipengaruhi oleh besar tekanan pengompakan. Pada umumnya peningkatan tekanan pengompakan akan memperbesar kerapatan pelet mentah.
3. Perubahan komposisi serbuk halus tidak banyak mempengaruhi karakteristik mekanik (kekuatan) bahan, akan tetapi dapat mempengaruhi kompresibilitas serbuk.

## SARAN

Beberapa hal yang kiranya perlu dilakukan dalam penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlu analisis serbuk standar untuk mengetahui distribusinya yang tepat, karena bagaimana pun distribusi tersebut akan berpengaruh terhadap fenomena yang terjadi.
2. Perlu dilakukan proses lanjutan yaitu penyinteran untuk membuktikan baik fenomena yang terjadi dalam pengompakan maupun pengaruh serbuk halus terhadap fenomena penyinteran.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Pada kesempatan ini penulis berterima kasih kepada kelompok peletisasi sub bidang teknologi fabrikasi BEBE yang telah memberikan data dan melaksanakan peletisasi untuk percobaan ini. Ucapan terima kasih ini pun penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam percobaan ini.

**PUSTAKA**

- [1]. NIRA/ANSALDO, *CIRENE Fuel Fabrication Manual*, BATAN-ANSALDO Contract Doc., Jakarta, 1985.
- [2]. JONES, W. D., *Fundamental Principles of Powder Metallurgy*, Ed. I, Edward Arnold (Publisher) LTD, London, 1960.
- [3]. FRITZ, L. V., *Powder Metallurgy, Principles and Application*, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1980.
- [4]. HECKEL, R. W., *An Analysis of Powder Compaction Phenomena*, Transaction of The Metallurgy Society of AIME, Vol 22 (1), 1961.
- [5]. GOETZEL C. G., *Treatise on Powder Metallurgy*, ed 1, Interscience Publisher Ltd., 1949.
- [6]. WIDJAKSANA, *Pengaruh Tekanan Pengompakan Terhadap Kerapatan Kompakan dalam Proses Peletisasi UO<sub>2</sub>*, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Jakarta, 1996.
- [7]. ASSMANN H, DOERR W, PEEHS M., *Control of UO<sub>2</sub> Microstructure by Oxidative Sintering*, Journal of Nuclear Material, North Holland, Amsterdam, (1986).
- [8]. REED, JANS S., *Introduction to the Principles of Ceramic Processing*, Powder Metallurgy, p. 188.

**TANYA JAWAB**

Tatang Mulyana

- Mohon dijelaskan kriteria serbuk UO<sub>2</sub> termasuk serbuk halus atau standar ? Apa dasar kriteria tersebut ? Bagaimana cara menentukan ukuran tersebut ?

Widjaksana

- Serbuk halus mempunyai ukuran kurang dari 150  $\mu\text{m}$ , serbuk standar mempunyai ukuran antara 150 sampai dengan 800  $\mu\text{m}$  dan serbuk kasar mempunyai ukuran lebih besar dari 800  $\mu\text{m}$ .

Sigit

- Mengapa kerapatan dinyatakan dalam persen ?
- Persentase komposisi serbuk terhadap apa ?
- Mengapa korelasi lebih ditonjolkan ?

Widjaksana

- Kerapatan dinyatakan dalam prosentase terhadap kerapatan teoritis.
- Persentase komposisi adalah jumlah serbuk halus dibagi dengan jumlah serbuk halus dan serbuk standar.
- Korelasi lebih ditonjolkan karena merupakan bukti atas hipotesis.

Sugondo

- Bagaimana korelasi dalam artian fisis ?

Widjaksana

- Pada dasarnya korelasi statistik mencirikan pada korelasi fisis. Pada awal kurva ( 0 - 20% ) terjadi penyusunan serbuk dan kontak antar butir, (20-30%) terjadi pemampatan dan pada komposisi lebih besar dari 30% terjadi fragmentasi dan *repacking*.

**LAMPIRAN**

**Tabel 1. Data Pengamatan Kerapatan Pelet Mentah**

Tekanan (MP) Komposisi (%)	1	2	3	4	5
	Densitas (%td)	Densitas (%td)	Densitas (%td)	Densitas (%td)	Densitas (%td)
0%	40.47%	43.02%	44.22%	48.78%	50.49%
	40.48%	42.16%	43.71%	48.65%	50.98%
	40.72%	41.98%	45.29%	48.97%	50.82%
	40.56%	41.70%	44.01%	48.95%	50.93%
	40.69%	42.00%	45.24%	48.82%	51.28%
	40.68%	41.82%	45.48%	48.76%	50.81%
	40.70%	42.01%	45.25%	48.88%	50.97%
10%	40.64%	42.15%	45.32%	49.14%	51.05%
	40.82%	42.63%	45.56%	49.27%	51.36%
	40.96%	42.62%	45.88%	49.41%	51.14%
	40.82%	42.27%	45.74%	49.44%	51.55%
	41.00%	42.44%	45.69%	49.34%	51.55%
	40.63%	42.46%	45.72%	49.38%	51.56%
	40.88%	42.13%	45.83%	49.46%	51.48%
20%	40.96%	42.33%	45.62%	49.11%	54.33%
	40.87%	42.63%	45.78%	49.26%	51.58%
	41.13%	42.45%	46.08%	49.80%	50.78%
	41.11%	42.83%	46.18%	49.65%	51.80%
	41.00%	42.91%	46.21%	49.56%	51.33%
	41.05%	42.39%	46.06%	49.51%	51.75%
	40.84%	42.46%	46.22%	49.71%	51.78%
30%	41.26%	42.90%	46.00%	49.84%	51.64%
	41.26%	42.88%	46.15%	49.50%	51.29%
	41.16%	42.74%	45.99%	49.32%	51.50%
	41.28%	42.68%	45.82%	49.48%	51.64%
	41.57%	41.49%	46.02%	49.46%	51.75%
	41.38%	42.69%	46.05%	49.45%	51.67%
	41.27%	42.25%	46.04%	49.50%	51.80%
40%	41.40%	42.92%	46.06%	49.47%	51.62%
	41.16%	42.78%	46.04%	49.64%	51.79%
	41.29%	42.94%	45.73%	49.17%	51.82%
	41.51%	42.71%	46.00%	49.79%	51.33%
	41.04%	42.20%	45.84%	49.06%	51.19%
	43.74%	42.18%	45.76%	48.98%	51.18%
	41.29%	42.36%	45.65%	48.93%	50.43%
50%	41.07%	42.49%	45.64%	48.83%	50.29%
	40.85%	42.25%	45.61%	49.03%	50.92%
	41.09%	42.62%	45.48%	49.19%	51.17%
	40.57%	42.12%	45.18%	48.95%	51.03%
	40.62%	42.26%	45.26%	48.97%	51.43%
	40.15%	42.12%	45.63%	49.06%	50.59%
	40.40%	42.00%	45.58%	48.90%	51.10%
	40.51%	42.10%	45.73%	48.81%	51.54%
	40.30%	42.25%	45.96%	48.67%	51.33%
	40.22%	42.25%	45.18%	48.79%	51.33%
	40.62%	42.03%	45.30%	49.23%	51.50%
	39.93%	42.29%	45.82%	49.14%	51.09%
	40.36%	42.05%	45.44%	48.82%	51.13%

Tabel 2. Rerata Kerapatan dan Batas Interval Penerimaan

Kombinasi Eks. %Halus	MP	Rerata % TD	Interval Penerimaan		Deviasi Standar	Kesalahan Standar	Batas Kepercayaan
			Min	Max			
0%	1	40.62%	40.53%	40.71%	0.10%	0.04%	95%
	2	42.11%	41.75%	42.46%	0.40%	0.15%	95%
	3	44.82%	44.18%	45.45%	0.71%	0.27%	95%
	4	48.87%	48.73%	49.00%	0.15%	0.06%	95%
	5	50.92%	50.72%	51.12%	0.23%	0.09%	95%
10%	1	40.87%	40.76%	40.97%	0.12%	0.04%	95%
	2	42.44%	42.27%	42.61%	0.19%	0.07%	95%
	3	45.73%	45.63%	45.82%	0.11%	0.04%	95%
	4	49.33%	49.23%	49.44%	0.12%	0.04%	95%
	5	51.82%	50.90%	52.74%	1.03%	0.39%	95%
20%	1	41.10%	40.98%	41.23%	0.14%	0.05%	95%
	2	42.70%	42.50%	42.90%	0.22%	0.08%	95%
	3	46.11%	46.03%	46.19%	0.09%	0.03%	95%
	4	49.61%	49.46%	49.77%	0.17%	0.07%	95%
	5	51.48%	51.17%	51.79%	0.35%	0.13%	95%
30%	1	41.36%	41.24%	41.48%	0.13%	0.05%	95%
	2	42.56%	42.13%	42.99%	0.48%	0.18%	95%
	3	45.97%	45.86%	46.08%	0.12%	0.05%	95%
	4	49.49%	49.34%	49.65%	0.18%	0.07%	95%
	5	51.68%	51.53%	51.82%	0.16%	0.06%	95%
40%	1	41.28%	40.37%	42.20%	1.02%	0.39%	95%
	2	42.31%	42.16%	42.46%	0.17%	0.06%	95%
	3	45.55%	45.35%	45.76%	0.23%	0.09%	95%
	4	48.99%	48.90%	49.09%	0.10%	0.04%	95%
	5	50.96%	50.60%	51.31%	0.40%	0.15%	95%
50%	1	40.31%	40.12%	40.50%	0.22%	0.08%	95%
	2	42.13%	42.03%	42.23%	0.11%	0.04%	95%
	3	45.58%	45.34%	45.82%	0.26%	0.10%	95%
	4	48.93%	48.75%	49.10%	0.19%	0.07%	95%
	5	51.20%	50.93%	51.47%	0.30%	0.11%	95%

Tabel 3. Hasil ANOVA untuk Uji Pengaruh Tekanan, Komposisi dan Kombinasinya pada batas kepercayaan 99%

Source	df	SS	Mss	Fc	Ft	Concl
mean	1	50.55010	50.55010			
x	5	0.001894	3.78837E	28.60046	3.02	+
p	4	0.373541	0.093385	7050.169	3.32	+
x-p	20	7.70305E	3.85152E	2.907727	1.88	+
err	210	0.002781	1.32458E			

Tabel 4. Korelasi Kerapatan Pelet Mentah dengan Tekanan pada berbagai komposisi

$$\rho = \alpha\pi_4 + \beta\pi_3 + \gamma\pi_2 + \delta\pi + \epsilon$$

	R2	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$
0%	1	-0.0014	0.0146	-0.0454	0.0705	0.368
10%	1	-0.0001	-0.0012	0.0185	-0.0299	0.4213
20%	1	-7.00E-05	-0.0022	0.0239	-0.0395	0.4289
30%	1	0.0003	-0.0067	0.0432	-0.0758	0.4524
40%	1	0.0001	-0.0046	0.0357	-0.0664	0.448
50%	1	0.0004	-0.0065	0.038	-0.0558	0.427

Tabel 5. Korelasi Kerapatan Pelet Mentah dengan Komposisi Fraksi Halus pada berbagai tekanan pengompakan

$$\rho = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f$$

P	R <sup>2</sup>	a	b	c	d	e	f
1	1	2.00E-05	-0.0004	0.003	-0.0095	0.0155	0.3976
2	0.9999	6.00E-05	0.0011	-0.0081	0.025	-0.0302	0.4333
3	1	2.00E-05	-0.0002	0.0006	-0.0034	0.0172	0.4339
4	1	5.00E-05	-0.0006	0.0028	-0.0064	0.0121	0.4808
5	1	0.0007	-0.0125	0.0807	-0.2417	0.3318	0.3501

Tabel 6. Persamaan Korelasi Menurut Heckel

Komp (%)	Persamaan Korelasi	R <sup>2</sup>
0%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0510 p + 0.4576$	0.9773
10%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0523 p + 0.4628$	0.9839
20%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0521 p + 0.4676$	0.9856
30%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0514 p + 0.4697$	0.9794
40%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0499 p + 0.4647$	0.9826
50%	$\text{Ln}(1/(1-\rho)) = 0.0529 p + 0.4544$	0.9888

Tabel 7. Persamaan Korelasi Menurut Smith

Komp (%)	Persamaan Korelasi	R <sup>2</sup>
0%	$\rho = 0.0276 p^{0.33} + 0.3728$	0.98
10%	$\rho = 0.0281 p^{0.33} + 0.3760$	0.9859
20%	$\rho = 0.0278 p^{0.33} + 0.3790$	0.9868
30%	$\rho = 0.0274 p^{0.33} + 0.3803$	0.9816
40%	$\rho = 0.0269 p^{0.33} + 0.3768$	0.984
50%	$\rho = 0.0266 p^{0.33} + 0.3710$	0.9906







