

PENGARUH PERUBAHAN BESAR LAJU ALIR GAS HIDROGEN  
PADA KARAKTERISTIK PELET SINTER

Gardana

Pusat Penelitian Teknik Nuklir

ABSTRAK

PENGARUH PERUBAHAN BESAR LAJU ALIR GAS HIDROGEN PADA KARAKTERISTIK PELET SINTER. Maksud utama penggunaan gas hidrogen dalam penyinteran pelet  $UO_2$  adalah untuk mereduksi uranium dioksida hyperstoichiometri pada pelet mentah menjadi uranium dioksida stoichiometri pada pelet sinter. Semula diduga penurunan besar laju alir gas hidrogen akan menyebabkan reduksi tidak sempurna, dan ini akan berpengaruh pada sifat-sifat pelet sinter lainnya. Penelitian dilakukan dengan tungku sinter LPA tipe CRISTAL 2100 WS Gaz, dengan besar laju alir gas hidrogen minimum yang dapat diukur 0,5 liter/menit. Ternyata peranan besar laju alir gas hidrogen sampai dengan 0,5 liter/menit tidak berpengaruh pada sifat-sifat pelet sinter yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan besar laju alir gas hidrogen 0,5 liter/menit, jumlah gas hidrogen yang lewat tungku sinter pada periode reduksi masih jauh lebih besar dari jumlah gas hidrogen yang dibutuhkan untuk melakukan reduksi, sehingga reduksi berlangsung sempurna, dan ini menyebabkan sifat-sifat pelet sinter lainnya tidak berubah. Dengan demikian penyinaran untuk melakukan penelitian atau pembuatan pelet  $UO_2$  selanjutnya cukup dilakukan dengan besar laju alir gas hidrogen 0,5 liter menit saja, dan ini berarti menghemat penggunaan gas hidrogen sebesar 80%, suatu penghematan yang cukup besar.

ABSTRACT

EFFECTS OF HYDROGEN GAS FLOWRATE ON SINTERED PELLET CHARACTERISTICS. The purpose of using hydrogen gas in  $UO_2$  pellet. Sintering is to reduce hyperstoichiometric dioxide uranium in green pellet to stoichiometric dioxide uranium in sintered pellet. It was thought that decreasing hydrogen gas flowrate might cause incomplete reduction, which might effect other sintered pellet characteristics. Work was done using LPA type CRISTAL 2100 WS Gaz sintering furnace with hydrogen gas of minimum measurable flowrate 0.5 liter /minutes. Apparently hydrogen gas flowrate until 0,5 liter/minute has no effect on the sintered pellet characteristics. This is because at the flowrate of 0,5 liter/ minute the amount of hydrogen gas passing through the furnace at the period of reduction is still enough for the process, so that complete reduction is obtained, and no other pellet characteristics change. Therefore in sintering  $UO_2$  pellet will be done using hydrogen gas flowrate of 0.5 liter/minute in the future, and it may save 80% spending of hydrogen gas.

PENDAHULUAN

Pada umumnya pembuatan pelet  $UO_2$  untuk elemen bakar nuklir dibuat dengan pengompakan dingin yang diikuti dengan penyinteran (1,2,4). Pengompakan dingin adalah pengompakan serbuk  $UO_2$  pada suhu kamar dalam cetakan pada mesin pres dengan tekanan tertentu untuk mendapatkan pelet mentah dengan bentuk yang dikehendaki dengan

rapat massa antara 50-60% rapat massa teoritis, dan penyinteran adalah pemanasan pelet mentah itu pada suhu tinggi tapi masih di bawah titik lelehnya di dalam di dalam aliran gas produksi, yaitu gas hidrogen atau campurannya dengan gas lain yang bersifat inert (1,2,3,4). Pemanasan menyebabkan densifikasi, karena aliran

gas hidrogen menyebabkan reduksi uranium dioksida hyperstoikiometri ( $UO_2 + x$  dengan  $x > 0,05$ ) direduksi menjadi uranium dioksida stoikiometri atau mendekati stoikiometri ( $UO_2,00-UO_2,02$ ) (3,4,5).

Penelitian peletisasi di PPTN menggunakan tungku sinter LPA Cristal 2100 WS Gaz dengan gas hidrogen sebagai gas pereduksi, dengan total waktu penyinteran meliputi penaikan suhu, pemanasan pada suhu sinter dan penurunan suhu lebih kurang 24 jam (7, 8).

Karena tidak ada petunjuk yang jelas mengenai besar laju alir gas hidrogen yang sebaiknya digunakan dalam penyinteran, dinilai perlu melakukan penelitian pengaruh besarnya laju alir gas hidrogen terhadap sifat-sifat pelet biasa yang dihasilkan; andaikata terbukti laju alir yang rendah tidak memberikan pengaruh negatif pada sifat-sifat pelet, selanjutnya penggunaan gas hidrogen dapat dihemat.

Diduga laju alir gas hidrogen yang rendah hanya akan berpengaruh pada kesempurnaan reduksi uranium dioksida hyperstoikiometri, dan ini akan berpengaruh pada sifat-sifat lainnya, misalnya rapat massa, ukuran butir dan ukuran porositas.

#### BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Bahan-bahan :

1. Serbuk  $UO_2$  depleted asal CEA Perancis
2. Serbuk Zinkstearat.

Alat-alat utama :

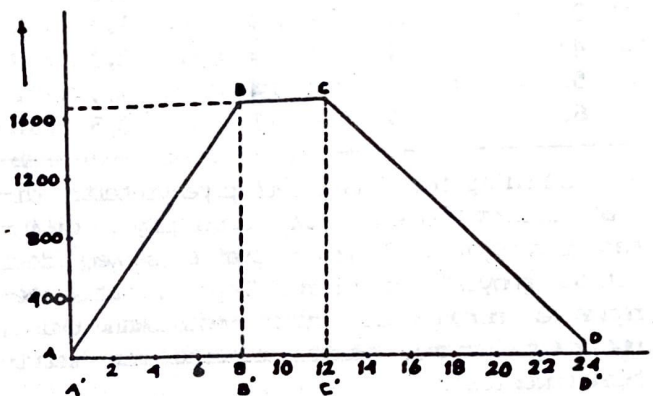
1. Mesin pencampur :  
Merk : Turbula  
tipe : T2C No.770835  
buatan : Swiss.
2. Mesin press  
Merk : Slacmi  
tipe : Hydraulic No. 7807 E 07  
buatan : Perancis
3. Tungku Sinter  
Merk : LPA  
tipe : Cristal 2100 WS Gaz  
buatan : Perancis

Tata Kerja :

Serbuk  $UO_2$  dicampur dengan 0,3% berat Serbuk Seng stearat dalam mesin pencampur selama 1

jam, untuk mendapatkan campuran yang homogen. Campuran serbuk tersebut dicetak dalam mesin pres dengan sistem penekanan ganda dengan tekanan 35 ton/cm<sup>2</sup>. Tiap kali penekanan cetakan diisi penuh, sehingga massa campur yang dipakai, atau lain massa pelet mentah yang dihasilkan, kira-kira selalu sama. Semua pelet mentah yang dihasilkan diamati secara visual untuk melihat cacat, diukur dimensinya untuk menghitung volume, ditimbang beratnya dan dihitung rapat massanya.

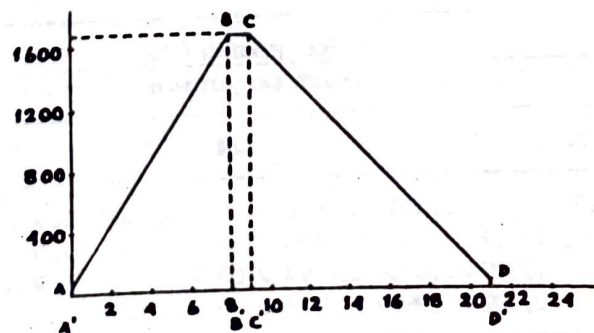
Dilakukan penyinteran dengan pola seperti pada gambar 1.



Gambar 1 : Pola Penyinteran 1

AB - Penaikan suhu CD - Penurunan suhu  
BC - Penyinteran Suhu Sinter 1650°C.

Dengan pola yang sama dilakukan 5 kali penyinteran, dengan laju alir gas hidrogen divariasikan : 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 liter/menit. Untuk laju alir gas hidrogen 0,5 liter/menit dilakukan juga penyinteran dengan pola seperti pada gambar 2. Pola penyinteran 2 hampir sama dengan pola penyinteran 1, perbedaannya pada waktu sinter, hanya 1 jam.



Gambar 2 : Pola Penyinteran 2.

Pola penyinteran 1 adalah pola penyinteran yang banyak digunakan dalam " test penyinteran "

Serbuk UO<sub>2</sub> untuk bahan bakar nuklir, sedang pola penyinteran 2 diambil untuk mengetahui pengaruh pengurangan waktu sinter yang relatif cukup besar (75%) pada kesempurnaan reduksi.

Tiap kali disinter 10 buah pelet mentah. Program penyinteran dalam penelitian ini, digambarkan dalam tabel 1.

Tabel 1 : Program Penyinteran

Penyinteran No	Pola Penyinteran	Waktu Sinter (Jam)	Laju Alir Gas Hidrogen (l/menit)
1.	1	4	0,5
2.	1	4	1,0
3.	1	4	1,5
4.	1	4	2,0
5.	1	4	2,5
6.	2	1	0,5

Semua pelet hasil setiap penyinteran diamati secara visual, diukur dimensinya, ditimbang beratnya dan dihitung rapat massanya, dari setiap penyinteran diambil 2 pelet untuk pengamatan ceramografi untuk menentukan ukuran butir (grainsize), ukuran porositas dan distribusi porositas.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pelet mentah yang digunakan adalah :

tekanan pembuat = 3,5 ton/cm<sup>2</sup>  
 pengamatan visual = 100 % baik  
 rapat massa = 6,3094 ± 0,0036 g/cm<sup>3</sup>  
 = 6,31 g/cm<sup>3</sup>  
 = 57,58% rapat massa teoritis

Hasil analisis angka banding O/U untuk serbuk UO<sub>2</sub> bahan dan pelet sinter dapat dilihat di tabel 2. Analisis ini dilakukan dengan metoda gravimetri (12, 13).

Tabel 2 : Angka banding O/U untuk serbuk UO<sub>2</sub> bahan dan pelet sinter.

Serbuk UO-2 bahan	Angka banding O/U Pelet penyinteran					
	1	2	3	4	5	6
2,3185	1,9992	2,0013	2,0006	2,0039	2,0000	1,9914
2,3116	2,0029	1,9960	1,9984	2,0042	2,0008	2,0021
	1,9997	2,0004	2,0024	2,0063	1,9982	1,9996
	2,0017	1,9982	2,0034	2,0000	2,0008	
2,3166	2,0009	1,9990	2,0012	2,0009	1,9999	1,9977*)
2,32	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00**)

\*) O/U rata-rata

\*\*\*) O/U pembulatan sampai dengan dua angka di belakang koma.

Hasil penyinteran dengan laju alir 2,5 liter/menit (penyinteran 5) diambil sebagai kontrol (pembanding), karena besar laju alir ini biasanya dilakukan sebelum penelitian ini (7,8). Hasil perhitungan "uji t" untuk angka banding O/U dibanding dengan t dari tabel dengan p = 0,05 dapat dilihat di tabel 3.

Tabel 3. Nilai t hasil perhitungan dan t dari tabel untuk angka banding O/U pelet sinter

t	Penyinteran					
	1	2	3	4	5	6
t hitung	0,87	0,73	0,99	2,41	-	1,35
t tabel	2,45	2,45	2,45	2,45	-	2,45

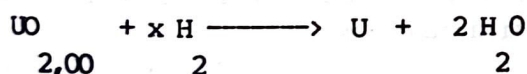
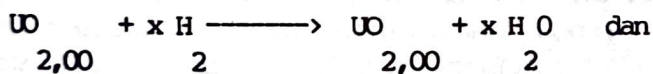
Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil pembulatan sampai 2 angka di belakang koma dari angka banding U/O pelet sinter semuanya sama dengan 2,00, dan tabel 3 menunjukkan bahwa semua t hitung lebih kecil dari t tabel. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa penurunan besar laju alir gas hidrogen sampai dengan 0,5 liter/menit untuk waktu sinter 4 jam, bahkan untuk waktu sinter yang relatif jauh lebih pendek yaitu 1 jam, tidak berpengaruh pada kesempurnaan reduksi uranium dioksida hyperstoikiometri menjadi uranium dioksida stoikiometri.

Reaksi reduksi yang terjadi :



Kalau disinter pelet sebanyak kapasitas maksimum tungku sinter yaitu 25 pelet yang berarti lebih kurang 600 g uranium dioksida, dan kalau uranium dioksidanya dianggap UO<sub>2,32</sub> yang berarti hyperstoikiometrinya jauh lebih tinggi dari hyperstoikiometri serbuk UO<sub>2</sub> yang terdapat dipasaran yang sesuai dengan spesifikasi serbuk UO<sub>2</sub> untuk elemen bakar nuklir (UO<sub>2,05</sub> - UO<sub>2,18</sub>) (6,10), dan dengan anggapan reaksi reduksi terjadi di atas suhu 450°C (1, 2, 4) dengan laju alir 0,5 liter/menit, gas hidrogen yang melewati tungku selama periode reduksi sebanyak 32 kali banyak gas hidrogen yang dibutuhkan untuk melakukan reduksi tersebut.

Kalau disinter pelet dengan uranium dioksida yang mempunyai angka banding O/U antara 2,05 - 2,18 (UO<sub>2,05</sub> - UO<sub>2,18</sub>), banyak gas hidrogen yang dibutuhkan untuk melakukan reduksi tersebut lebih rendah lagi sehingga angka banding (ratio) banyak gas hidrogen yang melewati tungku sinter selama periode reduksi dengan banyak gas hidrogen yang dibutuhkan untuk reduksi lebih besar yaitu kira-kira sama dengan 60. Dengan demikian jelas bahwa reduksi uranium dioksida hyperstoikiometri menjadi uranium dioksida stoikiometri pada penyinteran tersebut sempurna dengan besar laju alir 0,5 liter/ menit, bahkan dengan besar laju alir yang lebih rendah lagi, hanya saja dengan besar laju alir lebih rendah dari 0,5 liter/ menit dengan alat yang ada sekarang ini sukar dilakukan. Dengan laju alir yang besar misalnya 2,5 liter/menit, banyak gas hidrogen yang melewati tungku pada periode reduksi dibanding dengan banyak gas hidrogen yang dibutuhkan untuk reduksi uranium dioksida hyperstoikiometri menjadi uranium dioksida stoikiometri, jauh lebih besar lagi; walaupun demikian tidak akan terjadi reduksi uranium dioksida Stoikiometri menjadi uranium dioksida hyperstoikiometri atau logam uranium, karena reaksi-reaksi :



secara termodinamika tidak mungkin terjadi (2).

Hasil pengamatan/perhitungan rapat massa pelet sinter dapat dilihat di tabel 4.

Tabel 4 : Rapat massa dan massa rata-rata pelet sinter

Penyinteran	Rapat massa (gram/cm <sup>3</sup> )
1	10,602 ± 0,012
2	10,630 ± 0,019
3	10,630 ± 0,010
4	10,628 ± 0,040
5	10,619 ± 0,016
6	10,503 ± 0,001

Hasil penyinteran dengan laju alir 2,5 liter/menit (penyinteran 5) diambil sebagai kontrol (pembanding). "Uji t" untuk rapat massa dibanding dengan t dari tabel dengan P = 0,05 dapat dilihat di tabel 5.

Tabel 5 : t hasil perhitungan dan t dari tabel untuk rapat massa pelet sinter

t	Penyinteran					
	1	2	3	4	5	6
t hitung	0,87	0,45	0,61	0,37	-	6,89
t tabel	2,10	2,10	2,10	2,10	-	2,18

Dari "uji t" disimpulkan bahwa dengan waktu sinter yang sama, penurunan laju alir gas hidrogen sampai dengan 0,5 liter/menit tidak mempengaruhi rapat massa pelet sinter. Kalau penurunan laju alir gas hidrogen di bawah 0,5 liter/menit dapat dilakukan, diduga inipun tidak akan mempengaruhi rapat massa pelet sinter, asal dalam ruang sinter tersedia gas hidrogen yang cukup untuk mereduksi uranium dioksida hipertoikiometri.

Pada tabel 4 dan 5 dapat dilihat bahwa rapat massa pelet hasil sinter 1 jam lebih kecil dari pada rapat massa pelet hasil sinter 4 jam, Ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu, bahwa untuk suhu sinter yang sama, waktu sinter makin lama rapat massa pelet sinter makin tinggi (3). Akan tetapi makin dekat rapat massa pelet sinter pada rapat masa teoritis makin sukar kenaikannya, karena tidak mungkin menghilangkan seluruh porositas tertutup pada pelet sinter (15).

Hasil penentuan ukuran butir pelet sinter dapat dilihat di Tabel 6. Penentuan ini dilakukan dengan metode Jefferies (11), hanya dari satu pelet untuk tiap penyinteran. Tabel 6 menunjukkan bahwa ukuran butir pelet sinter dari penyinteran 1 sampai dengan 6 lebih kurang sama, sedang ukuran butir pelet sinter dari penyinteran 6 lebih kecil. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa penurunan besar laju alir gas hidrogen sampai dengan 0,5 liter/menit untuk waktu sinter yang sama tidak mempengaruhi besar butir dan ukuran butir adalah fungsi positif dari waktu sinter, dengan kata

Tabel 6 : Ukuran butir dari pelet sinter

Penyinteran	Ukuran butir ( m )
1	10,14
2	9,94
3	10,09
4	10,29
5	10,25
6	9,14

lain makin lama waktu sinter, makin besar ukuran butir, sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (8) dan dengan pustaka (1,2) yang menyatakan hubungan antara ukuran butir dan waktu sinter sebagai berikut :

$$D = K t^n$$

dengan  $D$  = ukuran butir rata-rata  
 $K$  = konstanta, tergantung suhu  
 $t$  = waktu  
 $n$  = eksponen, karakteristik bahan

Ukuran porositas kebanyakan (modus) dan ukuran porositas maksimum pelet sinter dapat dilihat di tabel 7.

Tabel 7 : Ukuran porositas kebanyakan dan ukuran porositas maksimum.

Penyinteran	Ukuran porositas (m)	
	Kebanyakan	maksimum
1	1 - 2	2
2	1 - 2	2
3	1 - 2	2
4	1 - 2	4 x 1 *)
5	1 - 2	5 x 1 *)
6	2 - 3	6 x 6 **)

\*) bentuk porositas memanjang hanya ada 1

\*\*\*) bentuk porositas agak bulat hanya ada 1

Tabel 7 menunjukkan bahwa untuk penyinteran 1 sampai dengan 5, ukuran "porositas kebanyakan" lebih kurang sama, sedang untuk penyinteran 6, ukuran "porositas kebanyakan" lebih besar. Dapat diambil kesimpulan bahwa penurunan besar laju alir gas hidrogen tidak mempengaruhi ukuran porositas dan ukuran porositas juga merupakan fungsi negatif dari waktu, dengan kata lain waktu sinter makin lama, ukuran porositas makin kecil. Penyinteran ini ada batasnya, karena ukuran porositas tidak dapat terus mengecil dan pada beberapa kondisi tertentu ukuran porositas dapat dipertahankan (2, 12).

Banyak dan besarnya porositas dapat diatur oleh penambahan zat-zat tertentu pembentuk porositas (1, 2, 4).

Distribusi porositas pelet sinter yang ditentukan secara visual (secara kualitatif), dapat dilihat di tabel 8.

Tabel 8 : Distribusi Porositas Pelet Sinter

Penyinteran	Distribusi porositas
1	homogen
2	homogen
3	homogen
4	homogen
5	homogen
6	homogen

Tabel 8 menunjukkan bahwa untuk semua penyinteran distribusi porositas pada pelet sinter adalah sama, semua homogen. Distribusi porositas tidak tergantung pada besar laju alir gas hidrogen dan lama waktu sinter, tetapi tergantung pada homogenitas pencampuran serbuk UO<sub>2</sub> sebelum pembuatan pelet mentah, sedang pada penelitian ini pencampuran dilakukan pada kondisi yang sama.

#### KESIMPULAN

1. Laju alir minimum gas yang dapat dilakukan dalam penelitian ini 0,5 liter/menit.
2. Perubahan besar laju alir gas hidrogen di atas 0,5 liter/menit tidak berpengaruh pada karakteristik pelet sinter yang dihasilkan.
3. Menurut perhitungan, laju alir di bawah minimum tersebut pada 1, umpamanya 0,25 liter/menit, andaikata dapat dilakukan, tidak akan berpengaruh pada karakteristik pelet yang dihasilkan.
4. Laju alir gas hidrogen yang besar sampai dengan maksimum yang dapat dilakukan, tidak akan berpengaruh pada karakteristik pelet yang dihasilkan.
5. Untuk penelitian/ pembuatan pelet selanjutnya dengan tungku sinter ini dapat digunakan laju alir minimum yaitu 0,5 liter /menit yang berarti menghemat penggunaan gas hidrogen sebesar kira-kira 80% .

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Belle, J., Uranium Dioxide : properties nuclear application, United States Atomic Energy Comision, Washington 25, D.C. 1961.
2. Fizzoti, C., Principles of nuclear fuel production, volume, 1, Fuel Cicle Departement, ENEA, Roma, 1984.
3. Matz, G., Fabricatoin of fuel elements, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1962.
4. Stehle, H., et al., Uranium Dioxide properties for LWR fuel rods, Nuclear Engineering and Design, 33 (1975).
5. Butler, G.M. Jr., Data Book on Uranium Dioxide, Cladding, Mc Beam and Co, Los Angeles 39, Calif. 1960.
6. Bauman, R. S., Spesifikasi of UO<sub>2</sub> dengan Metode , kolokium Teknologi Elemen Bakar Nuklir Teknologi Reaktor dan Penggunaan Reaktor, Bandung, 1981.
7. Suryana, R.A., et al., Pembuatan pelet UO<sub>2</sub> dengan metode DCI, Kolokium Teknologi Elemen Bakar Nuklir Teknologi Reaktor dan Penggunaan Reaktor, Bandung, 1981.

8. Suryana, R.A., et al., Pengaruh periode penyinteran terhadap karakteristik pelet UO<sub>2</sub>, Jilokium Teknologi Elemen Bakar Nuklir Teknologi Reaktor dan Penggunaan Reaktor, Bandung, 1982.
9. Soedigdo, S., Soedigdo, P., Pengantar Cara Statistik Kimia, Penerbit ITB, Bandung, 1977.
10. Belluz, R.V., Uranium dioxide powder specification, ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED, Ontario, 1973
11. Kehl, G.L., Metallographic Laboratory Practice, 3rd ed., Mc Graw Hall Book Co., New York, 1949.
12. Zaidi, S.H.H., Diskusi di PPTN, Bandung, 1983.
13. Muehling, G., Diskusi di PPTN, Bandung, 1983.
14. Francois, B., et al., Effect of gaseous impurity Content during sintering of uranium dioxide, International Powder Metallurgy Conference, Stary Smokovec, 1966.
15. Budworth, D.W., An introduction to Ceramic Science, Pergamon Press, Oxford 1970

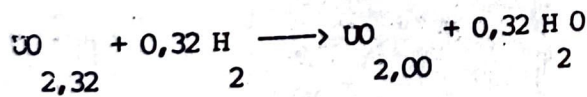
L A M P I R A N

1. Perhitungan perbandingan banyak gas hidrogen yang lewat tungku sinter pada periode reduksi dengan gas hidrogen yang dibutuhkan untuk reduksi (P).

1.1. banyak gas hidrogen yang dibutuhkan untuk reduksi.

- banyak pelet mentah maksimum yang dapat disinter 25 buah, kira-kira 600 gram.
- serbuk uranium dioksida yang digunakan UO<sub>2</sub>, 32(hyperstoikiometri sangat tinggi)

Reaksi



$$600 \text{ gram U} = \frac{600}{2,32} \longrightarrow \text{mol UO} = \frac{600}{2,32} = 275,12$$

$$2,1809 \text{ mol UO} : 0,32 (2,1809) \text{ mol H}_2 = 6,6979 \text{ mol H}$$

1.2. Lama periode reduksi

- reduksi terjadi diatas 450 oC
- penyinteran menggunakan pola penyinteran 1

Lama periode reduksi :

$$(8 - \frac{450}{1650} \times 8) + 4 + (12 - \frac{450}{1650} \times 12) \text{ jam} = 18,55 \text{ jam} = 1113 \text{ menit}$$

1.3. Perhitungan volume 1 mol gas hidrogen pada suhu kamar (25oC)  
1 mol gas hidrogen (0oC, 1 atm) = 22,4 lt.

$$1 \text{ mol gas hidrogen (27 C 1 atm)} = \frac{300}{273} \times 22,4 \text{ lt} = 24,6 \text{ liter}$$

1.4. Gas hidrogen yang lewat tungku sinter pada periode reduksi

1.4.1 besar laju alir = 0,5 liter/menit

$$\text{gas hidrogen yang lewat} = 1113 \times 0,5 \text{ liter} = 556,5 \text{ liter} = 22,62 \text{ mol}$$

1.4.2 besar laju alir = 0,25 liter/menit

$$\text{gas hidrogen yang lewat} = 1113 \times 0,25 \text{ liter} = 278,25 \text{ liter} = 11,31 \text{ mol.}$$

1.5 Perbandingan banyak banyak gas hidrogen yang lewat dengan banyak gas hidrogen yang dibutuhkan.

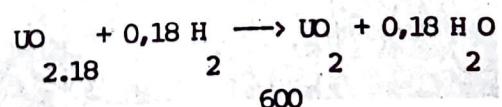
$$1.5.1 \text{ besar laju alir} = 0,5 \text{ liter/menit} \\ \text{perbandingan (P)} = \frac{22,62}{0,6979} = 32,4$$

1.5.2 besar laju alir = 0,25 liter/menit

$$\text{perbandingan (P)} = \frac{11,31}{0,6979} = 16,2$$

1.6 serbuk uranium dioksida yang digunakan UO

2,18  
1.6.1 Reaksi



$$600 \text{ gram UO} = \frac{600}{2,18} \longrightarrow \text{mol UO} = \frac{600}{2,18} = 272,88$$

$$2,1988 \text{ mol UO} : 0,18 (2,1988) \text{ mol H}_2 = 0,3958 \text{ mol H}_2.$$

1.6.2 besar laju alir = 0,5 liter/menit

$$1.6.3 \text{ perbandingan } (P) = \frac{22,62}{0,3958} = 57,15$$

2. Contoh perhitungan ukuran butir.

Pada foto ke 1 dengan pembesaran 1310 X  
 dibuat 3 lingkaran dengan D = 5 cm  
 50000

$$\text{Dalam ukuran sebenarnya : } D = \frac{D}{2 \cdot 1310} \text{ um}$$

$$\text{Luas lingkaran : } L = \frac{D^2}{4} = 1144,16 \text{ um}^2$$

Perhitungan banyak butir dalam lingkaran

lingkaran no.	banyak butir		
	terpotong T	utuh U	total *)
1	14	7	14
2	15	7	14,5
3	16	6	14
banyak butir rata-rata T			14,17

$$*) \text{ Total} = \frac{T}{2} + U$$

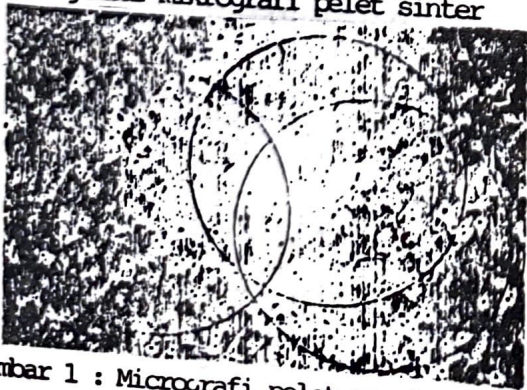
$$\text{luas butir rata-rata : } L = \frac{1144,16}{14,17} \cdot 2 \text{ um}$$

$$\text{diameter butir rata-rata } D = \left( \frac{4 L b}{\pi} \right)^{1/2} \text{ um}$$

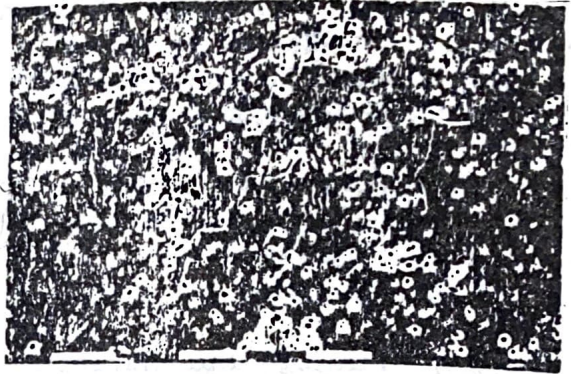
$$= 10,1394 \text{ um}$$

$$= 10,14 \text{ um (pembulatan)}$$

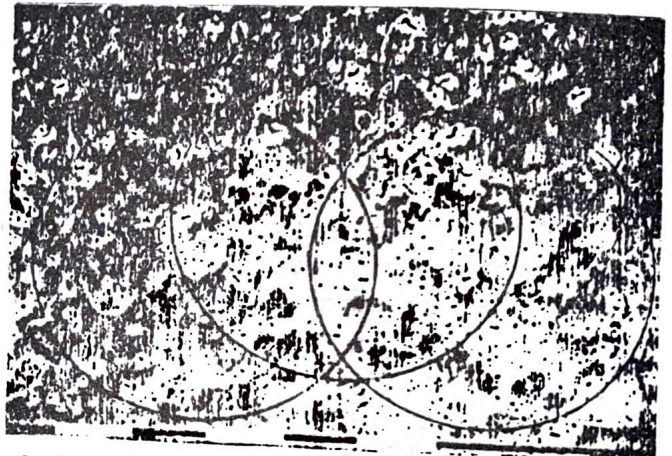
3. Gambar-gambar mikrofografi pelet sinter



Gambar 1 : Mikrofografi pelet penyinaran 1. Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1310 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H2 = 0,5 liter/menit.



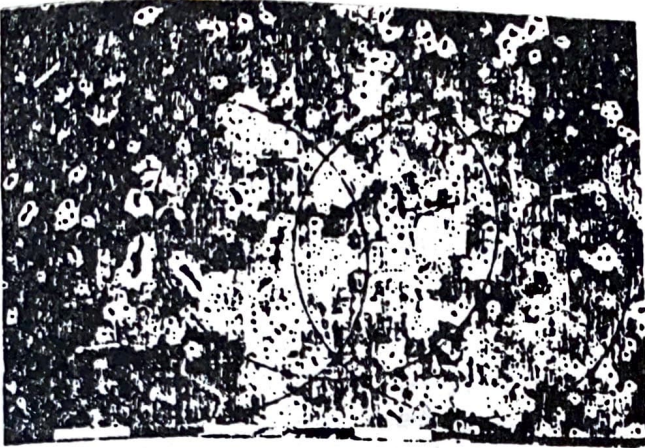
Gambar 2 : Mikrofografi pelet penyinaran 2. Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1250 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H2 = 1,0 liter/menit.



Gambar 3 : Mikrofografi pelet penyinaran 3. Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1250 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H2 = 1,5 liter/menit.

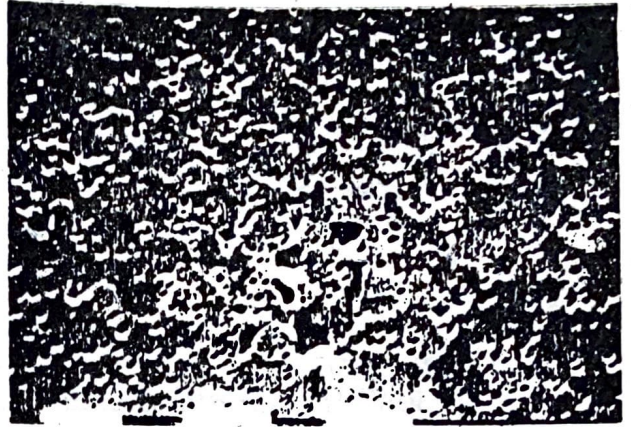


Gambar 4 : Mikrofografi pelet penyinaran 4. Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1310 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H2 = 2,0 liter/menit.



Gambar 5 : Micrografi pelet penyinaran 5.

Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1250 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H<sub>2</sub> = 2,5 liter/menit.



Gambar 6 : Micrografi pelet penyinaran 6.

Pengambilan gambar dengan SEM, pembesaran 1250 X, waktu sinter 4 jam, besar laju alir H<sub>2</sub> = 0,5 liter/menit.