

## PENGARUH UKURAN NOZZLE DAN TEKANAN LARUTAN TERHADAP DIAMETER BUTIR KERNEL $UO_2$

Wardaya, R. Sukarsono, Indra Suryawan  
Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PENGARUH UKURAN *NOZZLE* DAN TEKANAN LARUTAN TERHADAP DIAMETER BUTIR KERNEL  $UO_2$ . Telah dilakukan penelitian pengaruh ukuran diameter lubang *nozzle* dan tekanan cairan terhadap ukuran butir kernel  $UO_2$  hasil reduksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari kondisi operasi dan ukuran *nozzle* yang dapat menghasilkan kernel  $UO_2$  dengan diameter sekitar 0,5 mm. Larutan umpan gelas yang dibuat dari larutan uranyl nitrat dengan kadar U 580 g/l, asam nitrat 2,6 N ditambah dengan urea dan heksametilentetramin (HMTA) dengan perbandingan mol urea/U dan HMTA/U masing-masing 2,0 dan 2,1 diteteskan melalui *nozzle* dengan variasi diameter lubang *nozzle* 0,85; 1,15 dan 1,45 mm dan variasi tekanan 10; 20; 30; 40 dan 50 mbar ke dalam kolom minyak parafin panas ( $95^\circ$ ) sehingga diperoleh butir gel. Butir gel direndam dan dicuci dengan larutan amoniak 2,5%, dikeringkan pada suhu  $90^\circ C$  selama 4 jam, dikalsinasi pada suhu  $450^\circ C$  selama 3 jam dan direduksi pada suhu  $800^\circ C$  selama 3 jam sehingga diperoleh kernel  $UO_2$  yang dipeoleh diukur diameternya dan dianalisis densitas dan perbandingan O/U-nya. Dari penelitian ini diperoleh grafik pengaruh ukuran diameter lubang *nozzle* dan tekanan larutan terhadap ukuran butir kernel  $UO_2$ , semakin besar diameter lubang *nozzle* semakin besar ukuran butir yang diperoleh sedangkan semakin besar tekanan larutan semakin kecil diameter butir yang diperoleh. Pada daerah yang diteliti dapat diperoleh kernel yang baik dengan diameter antara 0,45 dan 1 mm dengan densitas 8,1 g/cc dan perbandingan O/U 2,10.

### ABSTRACT

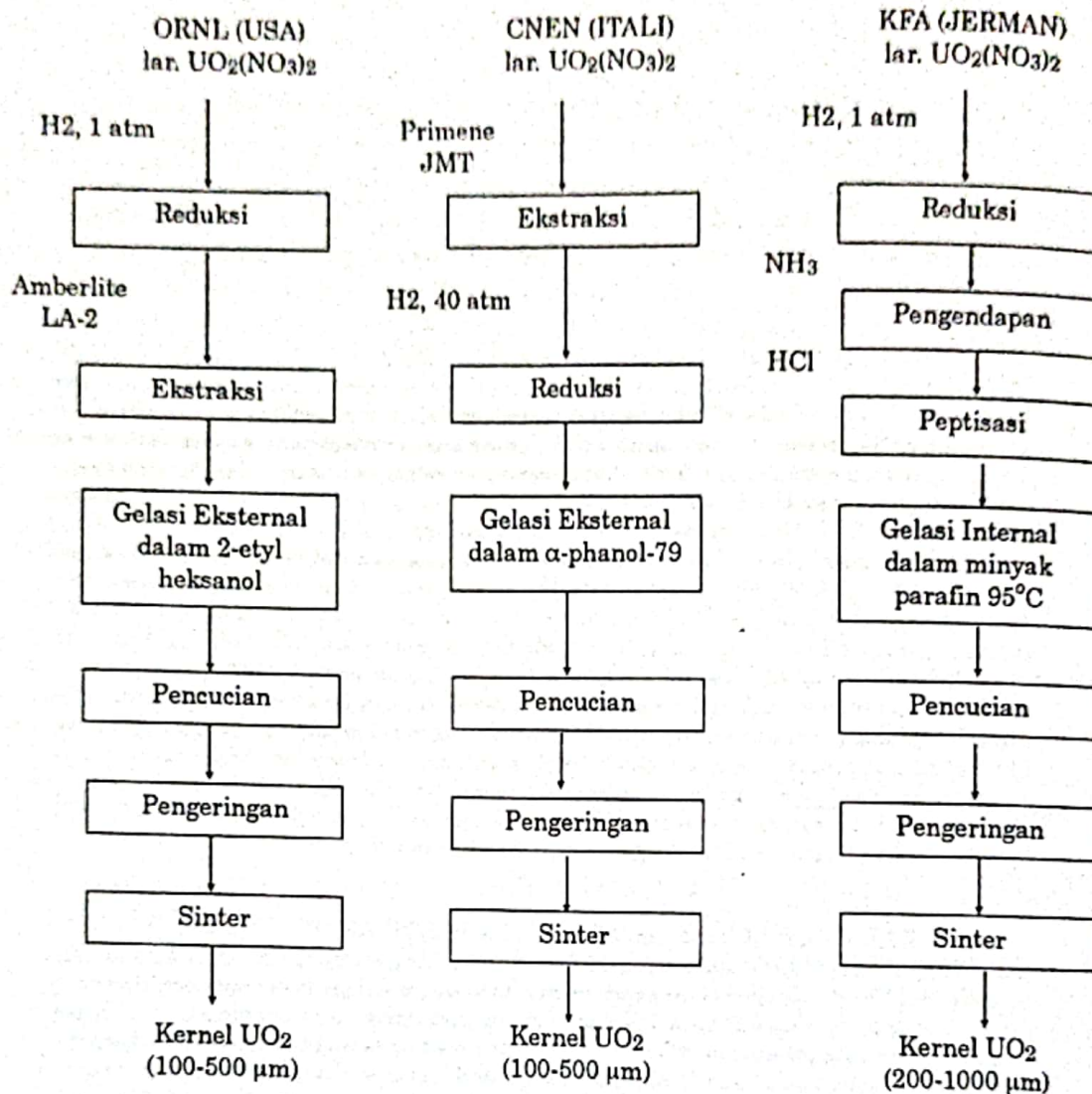
THE EFFECT OF NOZZLE AND SOLUTION PRESSURE ON  $UO_2$  FUEL KERNEL. The effect of nozzle hole diameter and feed solution pressure on  $UO_2$  fuel kernel was investigated. The destination of the experiment is to find an equipment and its operation which can be used to make  $UO_2$  fuel kernel of about 0.5 mm in diameter. A feed solution, it was made from uranyl nitrate solution of 580 g/l U 2.6 N nitric acid, urea and hexamethylentetramine (HMTA) with mole ratio of urea/U and HMTA/U 2.0 and 2.1 respectively, was dropped through nozzles of various hole diameter (0.85; 1.15; 1.45 mm) at various feed pressure (10; 20; 30; 40 and 50 mbar) into a column containing hot liquid paraffin of  $95^\circ C$ . The spherical gel obtained was soaked and washed with 2.5% ammonia solution, dried at  $90^\circ C$  for 4 hours, calcined at  $450^\circ C$  for 3 hours and reduced at  $800^\circ C$  for 3 hours to  $UO_2$  kernel. The kernel was measured its diameter, density and O/U atom ratio. The correlation of the both variables and the kernel diameter are represented in tables and chart. At constant pressure the bigger the diameter of nozzle hole the bigger is the kernel diameter. At constant diameter of the nozzle hole the higher the pressure the smaller is the kernel diameter. In the variables ranges which ranges is investigated it is obtained that the good  $UO_2$  kernels after reductions have diameter of 0.45 - 1.0 mm, density 8.1 g/cc and O/U ratio 2.10.

### PENDAHULUAN

Bahan bakar nuklir yang digunakan dalam Reaktor Suhu Tinggi (RST) berbentuk partikel bola yang biasa disebut Kernel. Dari beberapa reaktor penelitian maupun prototipe yang ada ukuran butir kernel yang berbeda-beda. Reaktor di Fort St - Vrain Amerika menggunakan kernel berdiameter  $200 \pm 75$   $\mu m$ , Reaktor Dragon di Inggris menggunakan kernel berdiameter 800  $\mu m$ , KWSH Jerman 600  $\mu m$ , THTR Jerman 400  $\mu m$  [1] dan reaktor AVR Jerman 0,5 mm [2].

Butir kernel tersebut dibuat melalui proses sol-gel atau modifikasinya, [1,3,5] misalnya pada Gambar 1 dan 2.

Secara garis besar masing-masing proses tersebut dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu tahap penyiapan umpan (pembuatan larutan sol), tahap pembentukan butir (proses gelas) dan tahap selanjutnya (pencucian, pengeringan reduksi dan sinter).



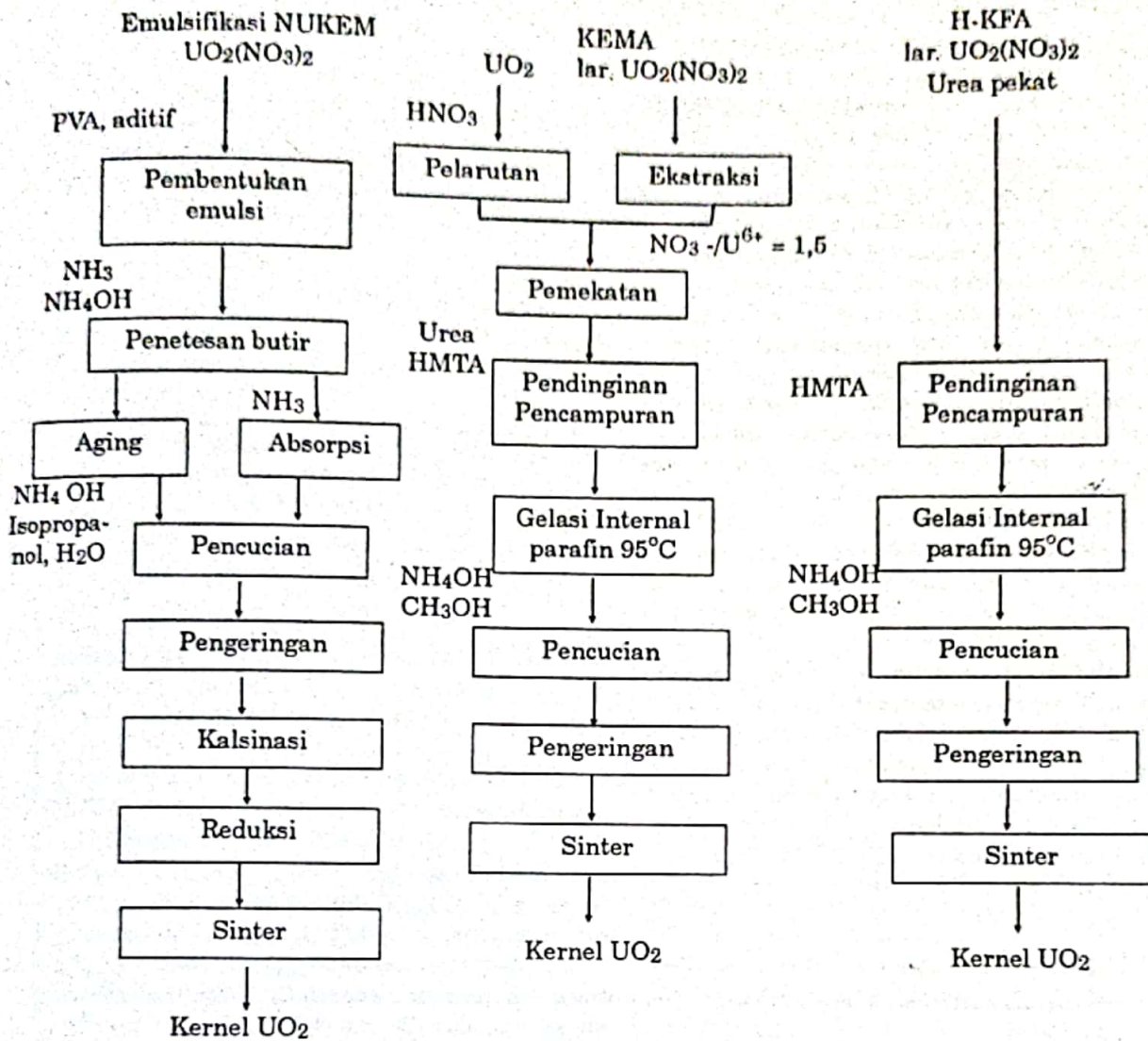
Gambar 1. Diagram alir proses sol-gel

Tahap pembentukan butir sangat menentukan ukuran kernel yang akan diperoleh. Butir terbentuk dari tetes larutan sol yang menjadi gel. Perubahan sol menjadi gel dapat terjadi dengan jalan mengekstraksi air dari larutan sol atau dengan jalan reaksi kimia pengendapan sehingga tetes larutan sol berubah menjadi butir gel yang padat dan stabil bentuknya. Sehubungan dengan ini maka ukuran kernel sangat dipengaruhi oleh ukuran tetes larutan sol yang ditetaskan.

Tetes larutan sol dibentuk dengan mengalirkan larutan sol melalui *nozzle* yang digetarkan dengan frekuensi rendah [3,4].

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk membuat alat penetes yang dapat meng-

hasilkan kernel  $UO_2$  dengan diameter antara 200-1000  $\mu m$ . Untuk mencapai tujuan tersebut maka perlu dibuat alat penetes dan diteliti beberapa variabel yang diperkirakan mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap ukuran tetes larutan. Untuk maksud itu maka dibuat alat penetes dengan rangkaian seperti terlihat pada Gambar 3 dan diteliti pengaruh ukuran diameter lubang *nozzle* dan tekanan larutan terhadap diameter kernel  $UO_2$ . Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh tabel/grafik yang dapat dipakai sebagai acuan untuk pembuatan alat dan pengoperasiannya yang dapat menghasilkan kernel  $UO_2$  dengan diameter yang diinginkan (0,2 - 1,0 mm).



Gambar 2. Diagram alir modifikasi proses sol-gel

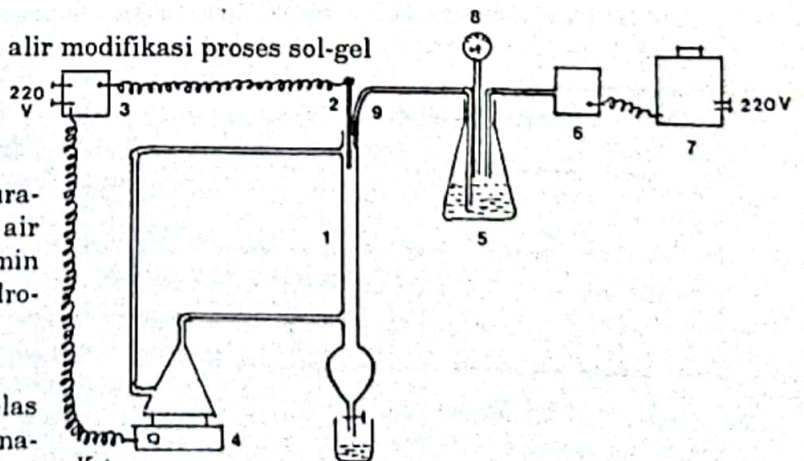
**BAHAN DAN PERALATAN**

**Bahan**

Bahan yang digunakan adalah larutan uranil nitrat murni nuklir, asam nitrat p.a, air bebas mineral, urea p.a, heksametilentetramin (HMTA) p.a, larutan amoniak 2,5%, gas hidrogen dan nitrogen.

**Peralatan**

Alat-alat yang digunakan adalah: gelas kimia, kompor listrik, peralatan yang digunakan untuk pengkondisian dan penyiapan gelasi serta pencucian gel, kolom gelasi (lihat Gambar 3), tungku pengering, tungku kalsinasi, tungku reduksi, jangka sorong.



Keterangan:

- 1. kolom gelasi; 2. kontak termometer; 3. relay; 4. kompor listrik; 5. penampung umpau; 6. pompa udara; 7. regulator; 8. manometer; 9. Nozzle

Gambar 3. Kolom gelasi

**TATAKERJA**

Pengkondisian umpan dilakukan sebagai berikut: larutan uranil nitrat hasil ekstraksi dipisahkan dengan pemanasan dan penambahan air bebas mineral berulang-ulang sampai diperoleh larutan dengan kadar uranium 580 g/l dengan asam bebas 2,6 N. Kemudian minyak parafin dipanaskan di dalam kolom gelas sampai suhu 95°C. Setelah itu dilakukan pembuatan larutan umpan gelas dengan cara sebagai berikut: larutan uranil nitrat yang dihasilkan ditambah dengan urea dengan perbandingan mol urea/U = 2,0 diaduk sampai larut kemudian ditambah dengan HMTA dengan perbandingan mol HMTA/U = 2,1 sambil diaduk. Larutan umpan gelas segera ditetaskan ke dalam kolom minyak parafin panas (95°C) dengan variasi diameter lubang *nozzle* (0,85; 1,15; 1,45 mm) dan variasi tekanan yang diberikan pada larutan 10; 20; 30; 40 dan 50 mbar. Setelah itu pencucian gel:gel diambil dari kolom gelas kemudian direndam 17 jam dan dicuci dengan larutan amoniak 2,5%. Kemudian gel dikeringkan pada suhu 90°C selama 4 jam, dikalinas pada suhu 450°C selama 3 jam. Kernel uranium dioksida kemudian direduksi pada suhu 800°C selama 3 jam. Setelah itu dilakukan penentuan diameter kernel UO<sub>2</sub>, densitas kernel UO<sub>2</sub> dengan piknometer menggunakan larutan CCl<sub>4</sub> dan penentuan perbandingan O/U dengan metode gravimetri.

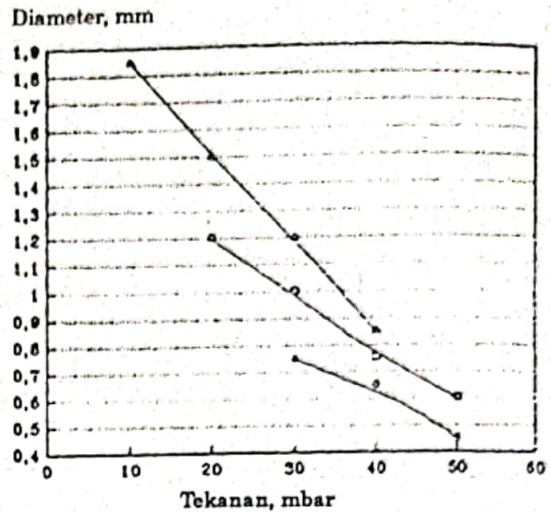
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Pengaruh diameter *nozzle* dan tekanan larutan terhadap ukuran butir kernel.

Diameter Nozzle (mm)	Diameter kernel UO <sub>2</sub> hasil reduksi, (mm)				
	10 mbar	20 mbar	30 mbar	40 mbar	50 mbar
0,85	-	-	0,75	0,65	0,45
1,15	-	1,20	1,00	0,75	0,60
1,45	1,75	1,50	1,20	0,85	-

Pengaruh kedua variabel yang diteliti terhadap diameter butir kernel UO<sub>2</sub> hasil reduksi tampak sangat nyata, dimana untuk diameter lubang *nozzle* tetap semakin besar tekanan yang diberikan kepada larutan semakin semakin kecil diameter yang diperoleh, sedangkan untuk



◆ D. Nozzle 0,85 mm      ■ D. Nozzle 1,15 mm  
▲ D. Nozzle 1,45 mm

Gambar 4. Pengaruh tekanan larutan dan diameter *nozzle* terhadap diameter kernel UO<sub>2</sub> hasil reduksi

tekanan tetap semakin besar diameter lubang *nozzle* semakin besar diameter kernel yang diperoleh.

Pada diameter lubang *nozzle* 0,85 mm tekanan 10 dan 20 mbar tidak ada data yang diperoleh karena pada kondisi tersebut larutan tidak dapat menetes dari *nozzle*. Sedangkan untuk diameter lubang *nozzle* 1,45 mm pada tekanan 10, 20, dan 30 mbar butir yang diperoleh tidak bulat sempurna (agak pipih) dan banyak yang pecah, ini diduga disebabkan oleh karena ukuran tetes relatif besar sehingga reaksinya relatif lambat dan gerak jatuh tetes umpan dalam kolom minyak tidak lurus melainkan terjadi gerak ayunan.

Butir kernel hasil reduksi yang tampak baik setelah dianalisis memiliki densitas sekitar 8,1 g/cc dengan diameter 0,45-1,0 mm dengan perbandingan O/U 2,08.

Diameter UO<sub>2</sub> setelah sinter dapat diperhitungkan. Dengan asumsi bahwa selama proses sinter perubahan berat yang terjadi sangat kecil sehingga dapat dianggap beratnya tetap maka untuk sebelum dan sesudah proses sinter berlaku persamaan

$$\text{berat butir } W = v'' \times \rho'' = v' \times \rho' \quad (1)$$

$$\frac{v''}{v'} = \frac{\rho'}{\rho''}$$

$$\left(\frac{d''}{d'}\right)^3 = \frac{\rho'}{\rho''}$$

$v'$  dan  $v''$  = volum sebelum dan sesudah sinter;  
 $\rho'$  dan  $\rho''$  = densitas sebelum dan sesudah sinter;  
 $d'$  dan  $d''$  = diameter butir sebelum dan sesudah sinter

dengan perkiraan densitas kernel  $UO_2$  sesudah sinter mencapai 98% densitas teoritis (TD = 10,96 g/cc) maka:

$$d'' = \left( \frac{\rho'}{\rho''} \right)^{1/3} d'$$

$$= (8,1/0,98 \cdot 10,96)^{1/3} \cdot d'$$

$$= 0,910 d'$$

Dari Tabel 1 dengan persamaan 2 dapat diturunkan Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan diameter  $UO_2$  sinter hasil perhitungan dengan diameter nozzle dan tekanan larutan.

Dia- meter Nozzle (mm)	Diameter kernel $UO_2$ sesudah sinter, (mm)				
	10 mbar	20 mbar	30 mbar	40 mbar	50 mbar
0,85	-	-	0,70	0,60	0,40
1,15	-	1,10	0,90	0,70	0,55
1,45	1,60	1,35	1,10	0,80	-

Selanjutnya dari Tabel 2 dapat dibuat Gambar 5

Dengan pertolongan Gambar 5 tersebut dapat dipilih kondisi operasi yang dapat menghasilkan diameter sekitar 0,50 mm dengan tekanan 45 mbar.

### KESIMPULAN

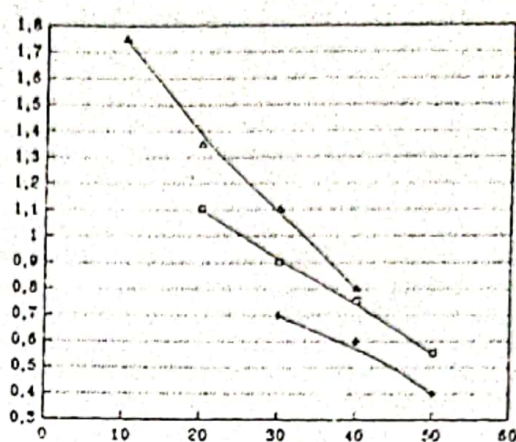
Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Diameter lubang *nozzle* sangat berpengaruh terhadap diameter kernel  $UO_2$ , untuk te-

### DAFTAR PUSTAKA

1. Nickel, H., Entwicklung von besichteten brennstoffteilchen, JUL, 687, RW, August (1970).
2. BBC/HRB, High temperature reactors, Publication No D HRB 1235 85 E.
3. IAEA, Sol-gel process for ceramic nuclear fuels, Proceeding of Panel series IAEA, Viena (1968)
4. Heit, W., et al, Status qualification of high temperature reactor fuel element spheres, Nucl. Technol., 69,44 (1985).
5. Forthman, R., et.al, Untersuchungen zur herstellung kugelformiggen brennstoffteilchen nach einem sol-gel verfahren, JUL, 583, RW Marz (1969).
6. Wardaya, dkk. Pembuatan kernel melalui proses sol-gel, Proceeding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY- BATAN, Yogyakarta (1990).

Diameter, mm



Tekanan, mbar

- △ D. Nozzle 0,85 mm
- D. Nozzle 1,15 mm
- D. Nozzle 1,45 mm

Gambar 5. Pengaruh tekanan larutan dan diameter *nozzle* terhadap diameter kernel  $UO_2$  sinter hasil perhitungan

kanan tetap semakin besar diameter kernel  $UO_2$  yang diperoleh.

2. Tekanan larutan sangat berpengaruh terhadap diameter kernel, untuk diameter lubang *nozzle* tetap semakin besar tekanan larutan akan semakin kecil diameter  $UO_2$  yang diperoleh.
3. Dari penelitian ini diperoleh grafik yang dapat dipakai sebagai acuan untuk pembuatan alat penetes dan kondisi operasinya yang dapat menghasilkan kernel  $UO_2$  berdiameter 0,45-1,0 mm.