

PEMBUATAN SISTEM UKUR KADAR AIR CUPLIKAN PADAT DENGAN METODA REFLEKSI NEUTRON

Soeleman*, Darsono*, Marsudi*, Ruswa **

*Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta

**Mahasiswa Teknik Nuklir Universitas Gajah Mada.

ABSTRAK

PEMBUATAN SISTEM UKUR KADAR AIR CUPLIKAN PADAT DENGAN METODA REFLEKSI NEUTRON. Telah dibuat alat ukur kadar air cuplikan padat yang memanfaatkan refleksi cacah neutron termal. Konstruksi sistem alat ini terdiri dari pengungkung sumber neutron yang juga berfungsi sebagai tempat cuplikan, sumber neutron dan sistem cacah yang menggunakan detektor BF_3 . Penggunaan wadah cuplikan yang menutupi seluruh daerah aktif detektor menghasilkan data ukur yang lebih baik daripada penggunaan wadah yang menutupi sebagian daerah aktif detektor. Dengan menggunakan sumber neutron Am Be yang mempunyai aktifitas 2.2×10^3 n/dt, diperoleh hasil kalibrasi jumlah hasil cacah yang linear terhadap kadar air yang ada dalam cuplikan (pasir).

ABSTRACT

FABRICATION OF WATER CONCENTRATION MEASUREMENT SYSTEM IN SOLID SAMPLE BY NEUTRON REFLECTION METHOD. Measurement system for water concentration in solid sample by neutron reflection counting method has been fabricated. The construction system of this apparatus consist of neutron source container for containing sample, neutron source and detector BF_3 . Using container wich cover entire active detector is better than separate by using AmBe neutron source with 2.2×10^3 n/s, calibration counting is proportion with concentration of water in the rigid sample.

PENDAHULUAN

Telah banyak digunakan alat dan metode pengukuran kadar air, sementara untuk memenuhi kebutuhan tertentu masih ada beberapa kendala. Untuk kepentingan rekayasa dan tuntutan akan kecepatan pengukuran yang akurat, bahkan pemilihan yang on line dalam rangka pencapaian kendali yang optimum, dilakukan pencarian alternatif alat baru yang memenuhi karakteristik tersebut. Menggabungkan kepentingan rekayasa dan sifat-sifat hidrogen terhadap perlambatan neutron cepat dengan hidrogen yang merupakan bagian terbesar dari air, pembuatan alat ukur kadar air dengan metode pencacahan neutron lambat sangat prospektif. Hidrogen merupakan unsur yang sangat dominan dalam proses perlambatan neutron karena mempunyai tampang lintang perlambatan yang cukup besar. Pada proses tumbukan neutron cepat dengan hidrogen akan terjadi perlambatan neutron yang jumlahnya linear terhadap jumlah hidrogen dalam bahan, atau sebanding dengan jumlah kandungan air dalam bahan. Hidrogen mempunyai kemampuan memperlambat neutron lebih besar dari pada unsur lain yang memiliki massa lebih besar dengan perbedaan yang cukup menyolok. Alat yang dibuat akan menunjukkan cacah neutron yang mengalami perlambatan oleh bahan yang menggambarkan jumlah air dalam bahan.

Konstruksi alat terdiri dari pengungkung sumber neutron untuk meletakkan cuplikan, sumber neutron, sistem cacah dengan detektor BF_3 . Dari dua sumber neutron yaitu Am Be dengan aktivitas 2.2×10^3 n/dt dalam Pu Be dengan aktivitas 5.16×10^6 n/dt adalah sumber neutron yang layak digunakan untuk pengukuran. Pada pengukuran dengan wadah cuplikan yang menutup seluruh daerah aktif detektor, menunjukkan hasil yang lebih baik daripada penggunaan wadah yang hanya menutup sebagian daerah aktif detektor. Pengambilan data ukurnya dengan cara pencacahan terhadap refleksi neutron oleh bahan. Sistem alat ukur yang dibuat diarahkan untuk cuplikan padat yang berbentuk "granula".

TEORI

Neutron adalah partikel (*zarah*) yang tak bermuatan apabila berinteraksi dengan materi akan menjalani peristiwa serapan dan hamburan (*lenting dan tak lenting*). Sehubungan dengan sifatnya, umur neutron digolongkan kedalam 4 fase, yaitu cepat, perlambatan (*slowing down*), difusi dan penangkapan (*capture*). Jika bahan tertentu berinteraksi dengan neutron, akan terjadi laju reaksi inti yang bergantung pada jumlah dan kecepatan neutron, serta jumlah dan jenis inti dalam bahan tersebut. Jumlah rata-rata keboleh jadian terjadinya reaksi didefinisikan sebagai tampang lintang (∇) yang diformulasikan dalam bentuk :

$$\nabla = \frac{C}{Na.I}$$

dengan ∇ = tampang lintang inti, C = banyaknya reaksi inti tiap cm^2 , Na = banyaknya atom per cm^2 , I = banyaknya neutron datang yang menimbulkan bahan tiap cm^2 ,

Didefinisikan $N.\nabla$ = tampang lintang makroskopik dilambangkan sebagai Σ (tampang lintang total inti dalam suatu bahan). N = jumlah inti per cm^3 .

Dalam perlambatan neutron, penurunan energi logaritmis rata-rata pertumbuhan yaitu harga rata-rata untuk seluruh tumbuan dari energi sebelum tumbuan E_1 dan sesudah tumbuan E_2 adalah $\ln E_1 - \ln E_2$.

Jika kwantitas besarnya dilambangkan sebagai ξ , maka

$$\xi = \ln \frac{E_1}{E_2} = \frac{E_1 \int_{E_1}^{\alpha E_1} \ln \frac{E_1}{E_2} P(E_2) d(E_2)}{E_1 \int_{E_1}^{\alpha E_1} P(E_2) d(E_2)}$$

$$P(E_2) d(E_2) = - \frac{d(E_2)}{E_1(1-\alpha)}$$

dan $\alpha = \left[\frac{A-1}{A+1} \right]^2$ dimana A = nomor atom

Bila diintegrasikan dari E_1 (sebelum tumbuan) ke αE_1 (sesudah tumbuan) sama dengan 1, sehingga

$$\xi = \int_{E_1}^{\alpha E_1} \ln \frac{E_1 d(E_2)}{E_2 E_1 (1-\alpha)}$$

misal:

$$\frac{E_2}{E_1} = x \rightarrow \xi = \frac{1}{1-\alpha} \int_1^\alpha \int \ln x dx = 1 + \frac{\alpha}{1+\alpha} \ln \alpha$$

Bila dikembalikan ke harga $\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2$, maka: $\xi = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1}$

Nilai ξ untuk sejumlah unsur, khususnya yang bernomor massa rendah, ditunjukkan dalam Tabel. 1

Tabel 1. Harga moderasi (ξ) untuk unsur nomor massa rendah

UNSUR	NO MASSA	α	ξ	Jumlah tumbuan ke ternal
H	1	0	1	18
D	2	0,111	0,725	25
He	4	0,225	0,425	43
Be	9	0,640	0,206	56
C	12	0,716	0,151	114
U	238	0,983	0,00838	2172

Dari data di atas terlihat bahwa unsur hidrogen mempunyai sifat melambatkan neutron cukup besar dibandingkan unsur-unsur lain. Hubungan secara kwantitas jumlah hidrogen dalam bahan dengan neutron yang diperlambat oleh bahan dapat diperoleh secara matematis. Secara empiris telah terbukti bahwa jumlah air dalam suatu bahan yang dipapari neutron mempunyai hubungan linear dengan cacah neutron yang terlambatkan.

Secara matematis kadar air yang ada dalam bahan adalah :

$$K = a + bn$$

dengan K = kadar air, a, b = tetapan, n = cacah neutron yang terlambatkan.

TATA KERJA

Sistem deteksi alat ini terutama diperuntukkan pada neutron termal. Penggunaan detektor untuk neutron termal adalah detektor BF₃ atau He³, yang dalam penelitian ini digunakan detektor BF₃ karena pengadaan sistem cacahnya lebih mudah dan harganya lebih murah. Prinsip pokok dari sistem deteksi adalah penyusunan alat yang dapat mendeteksi neutron yang terefleksi oleh bahan atau cuplikan. Dalam kerangka desain susunan yang paling mungkin dapat dipilih adalah dua konstruksi sebagai berikut:

1. Sumber - detektor - bahan (Gb .1-a)
2. Sumber sejajar detektor - bahan (Gb 1.b)

Sebagai pertimbangan terhadap keselamatan radiasi akan lebih tepat bila susunan (sumber, detektor, bahan) dikungkung di dalam perisai neutron. Perisai neutron yang digunakan adalah parafin karena telah tersedia, harganya murah dan mempunyai karakteristik yang cukup baik sebagai perisai neutron. Sumber neutron, detektor dan sistem cacah telah tersedia sehingga konstruksi alat tinggal menyesuaikan. Ukuran sumber neutron Am Be berdiameter 1 cm, tinggi 1,5 cm dan sumber neutron Pu Be berdiameter 3,5 cm dan tinggi 4,2 cm. Kungkungan sumber neutron dan detektor dalam parafin diberi penguat/chasis dari pipa PVC dengan diameter 30 cm tinggi 60 cm. Penutup atas terbuat dari plat Al dengan diameter 33 cm dan tebal 1 cm. Pada bagian alas dipasang roda untuk mempermudah pemindahan bila diperlukan.

Penyiapan Alat dan Bahan dan Uji Kelayakan

Penggunaan detektor isian gas BF₃ pada sistem cacah dimaksudkan untuk cacah neutron termal. Detektor BF₃ berbentuk silinder dimana dinding detektor berfungsi sebagai katode sedangkan kawat yang memanjang sebagai anode. Pulsa listrik yang terjadi adalah linier terhadap energi radasi yang datang ke dalam ruang peka detektor dan dalam orde millivolt. Untuk memperkuat arus keluaran detektor diperlukan penguat awal (*Pre Amp*) dan keluaran amplitudo diperkuat dengan amplifier. Untuk menghindari cacah derau (*noise*) yang masuk, pada keluaran akhir dimasukkan ke sistem alat cacah yang dilengkapi dengan diskriminator. Untuk menghitung jumlah cacah per satuan waktu digunakan penghitung jumlah pulsa (*scaler*) yang dilengkapi dengan timer. Gas isian BF₃ yang bereaksi dengan neutron akan mempunyai spektrometri cacah yang karakteristik khusus. Dari karakteristik BF₃ digunakan untuk membatasi pulsa yang masuk detektor, sehingga hasil cacahnya benar-benar hanya neutron. Untuk mencari batas diskriminator dilakukan kalibrasi dengan sumber neutron. Penyiapan bahan adalah untuk uji kualitas kelayakan dibuatnya alat. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dikonstruksi dapat membedakan keberadaan air dalam bahan. Untuk pengujian digunakan cuplikan yang berupa pasir dengan kandungan air berawal dari 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, dan 20% berat massa.

Konstruksi dan Uji Sistem Cacah

Penggunaan sistem cacah dengan detektor BF₃ sangat sering mengalami ketidakstabilan karena adanya gangguan pulsa atau gelombang elektronik sebagai derau. Adanya gangguan sehingga memerlukan perbaikan terutama pada koneksi/sambungan antara kabel dan detektor. Setelah dilakukan perbaikan, ternyata hanya satu detektor menunjukkan kinerja yang stabil dengan derau yang sangat rendah. Konstruksi pada sistem cacah dengan satu detektor lebih akurat karena tidak terganggu oleh detektor lain yang hasil cacahnya tidak stabil. Ditinjau dari literatur (acuan) hasil cacah untuk satu detektor sudah cukup baik. Cuplikan yang diukur kadar airnya ditutupi dengan parafin untuk menjaga keamanan radiasi.

Tabel. 2. Hasil cacah tanpa perisai dan dengan perisai

SUMBER	TANPA PERISAI	DENGAN PERISAI
Am Be	212,193,171	369,308,261
Am Be+perc	273,262,261	274,284,230
Pu Be	26624,26909,26914	59348,59134,58934
Pu Be+perc	46877,46769,47356	52534,52571,52662

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil cacah neutron dari obyek ukur pasir yang menggunakan sumber neutron Am Be dengan aktivitas $2,2 \times 10^3$ n/dt, menunjukkan harga yang linear terhadap jumlah kandungan air. Pemilihan pasir sebagai cuplikan mewakili obyek ukur dalam keadaan kering yang tidak

mengandung unsur H. Keadaan ini sangat memudahkan pengamatan pada perubahan cacah akibat penambahan air.

Sumber neutron Am Be mempunyai aktivitas kecil sehingga mempunyai faktor keamanan radiasi tinggi dan harganya rendah. Aktivitas sumber yang rendah sehingga kadangkala jumlah cacah yang dipaparkan kecil dan kemungkinan akan tertutup cacah derau yang lebih besar. Pada penelitian ini jumlah cacah derau yang tinggi diakibatkan oleh sambungan pada konektor detektor yang kurang tepat pemasangannya. Untuk menghindari gangguan dari derau, sehingga hanya digunakan satu detektor.

Konstruksi alatnya berupa sistem cacah neutron lambat yang terdiri dari sumber neutron Am Be, detektor BF₃, penguat awal (*pre Amp*), penguat (*Amp*) counter, timer, penyedia daya tegangan tinggi (HV). Secara skematis seperti pada Gambar - 4

Pada mulanya sistem cacah menggunakan dua detektor yang sejajar dengan sumber agar jumlah cacah yang diperoleh besar dan mengurangi ralat statistik. Pada pengukuran untuk sumber yang diletakkan dibawah plat cadmium (cd) dan ditengah-tengah antara dua detektor memperoleh cacah sangat kecil. Sedangkan pada sumber yang diletakkan diatas cd menunjukkan hasil cacah yang sangat besar. Konstruksi yang kedua kemudian dapat digunakan sebagai alat pengukuran kadar air. Hasil pengujian seperti pada Tabel 3 dan Gambar-5. Terlihat bahwa cacah naik dengan naiknya jumlah air dalam cuplikan.

Untuk menjaga keselamatan pekerja dan lingkungan terhadap bahaya radiasi, sumber neutron dilindungi dalam perisai radiasi berupa blok parafin dengan ukuran diameter 30 cm, tinggi 60 cm yang dibagi untuk bagian bawah 30 cm dan bagian atas 30 cm, dimana detektor dan cuplikan berada diantara dua bagian tersebut. Perisai ini diperkuat oleh selubung pipa PVC yang tertutup oleh plat aluminium 1 cm pada bagian atas dan bawah.

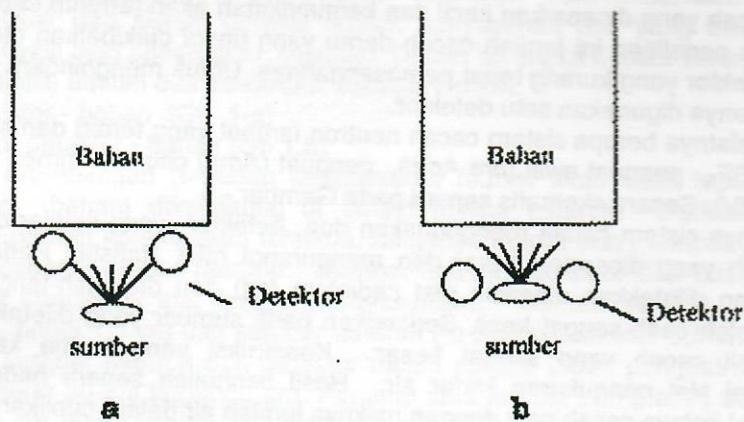
KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan kalibrasi menunjukkan jumlah cacah adalah linear terhadap jumlah kandungan air dalam bahan (pasir). Untuk meningkatkan sensitivitas alat mungkin perlu digunakan sumber neutron yang aktivitasnya lebih besar. Ada kemungkinan untuk dioptimalkan dengan merubah bentuk dan susunan tata letak cuplikan dan sumbu neutron. Hal ini bertujuan agar dengan sumber neutron yang aktivitasnya rendah dapat diperoleh jumlah cacah refleksi neutron yang besar.

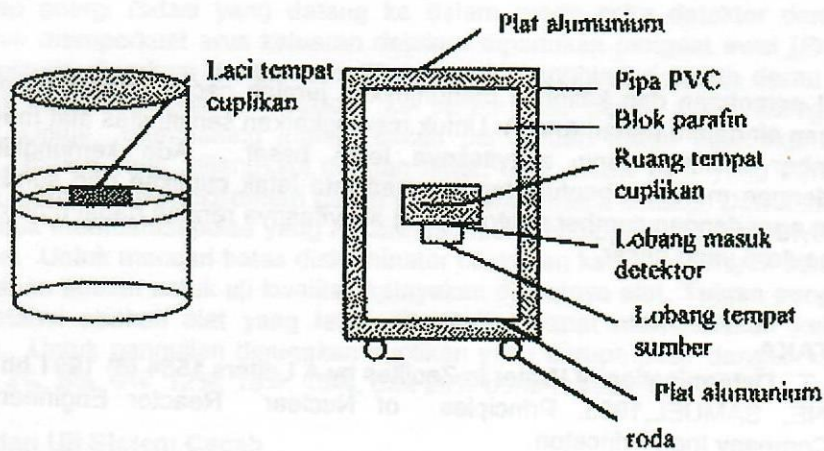
DAFTAR PUSTAKA

1. CHIMOYE, T., Determination of Water in Zeolites by A Letters 1554 (6) 1991 hh. 393-4011.
2. GLASSTONE, SAMUEL, 1955. Principles of Nuclear Reactor Engineering, D.van Nostrand Company Inc., Princeton.
3. BECKURTS, K.H., AND WIRTZ, K., Neutron Physics, Springer Verlaag, Berlin, (1964)

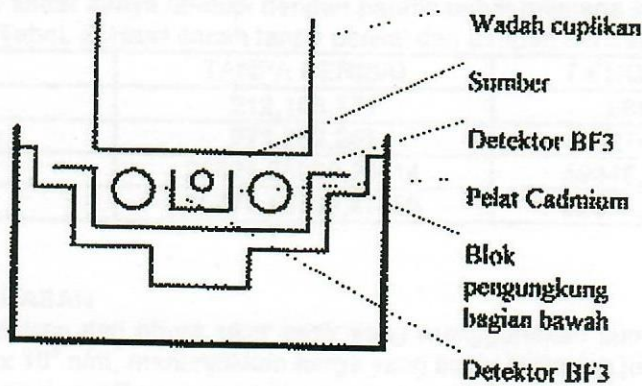
LAMPIRAN



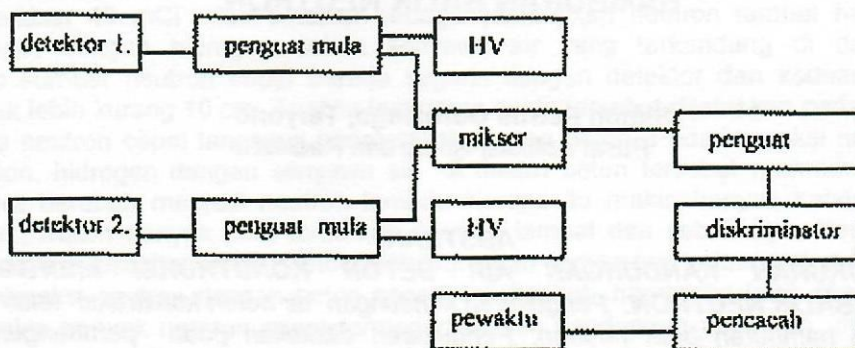
Gambar 1. Posisi sumber detektor dan cuplikan



Gambar 2. Pengungku radiasi



Gambar 3. Susunan percontoh-detektor-sumber dalam pengungku

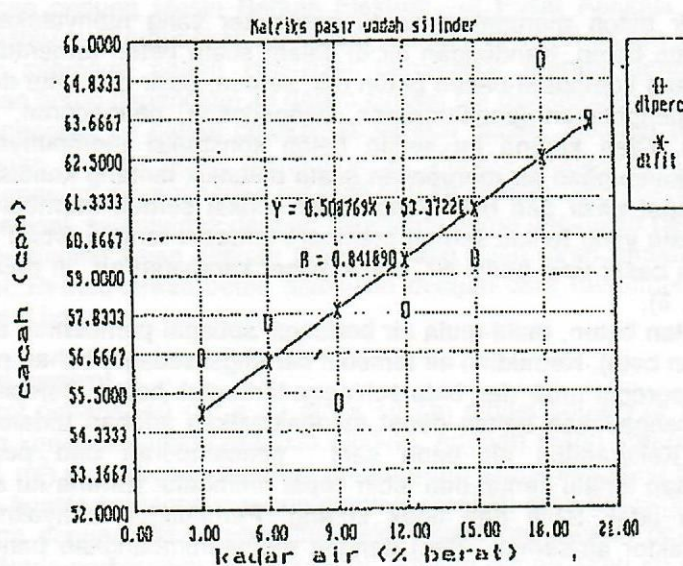


Gambar 4. Skema susunan sistem cacah

Tabel 3. Data pencacahan cuplikan pada uji kelayakan sistem ukur

No.	% Air	cch 1	cch 2	cch 3	rrt cch	lj cch	
1.	Bg	164	143	104	137	34,25	
2.	3	210	245	224	226,33	56,58	
3.	6	230	226	235	230,33	57,58	
4.	9	217	231	214	220,67	55,17	
5.	12	223	233	239	231,67	57,92	
6.	15	245	237	233	238	59,5	
7.	18	283	255	247	261,67	65,42	
8.	20	251	255	259	254,67	63,67	
9.	23	belum seluruhnya dituangkan sudah penuh					

Dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 5. Dari Grafik tersebut terlihat bahwa hasil pencacahan berkecenderungan naik dengan naiknya kadar air. Dari sini dapat disimpulkan bahwa percobaan dilanjutkan ke tahap berikutnya.



Gambar 5. Grafik hubungan kadar air dengan cacah