

METODE PEMISAHAN UNSUR URANIUM DAN MOLIBDENUM DALAM PEB U7Mo-Al PRA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE EKSTRAKSI

Yanlinastuti, Noviarty, S. Fatimah, Iis Haryati, Sutri Indaryati,
Boybul, Sayydatun Nisa, Arif Nugroho
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-PTBBN

ABSTRAK

METODE PEMISAHAN UNSUR URANIUM DAN MOLIBDENUM DALAM PEB U7Mo-Al PRA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE EKSTRAKSI. Telah dilakukan pemisahan unsur uranium dan molibdenum dalam peb U7Mo-Al pra iradiasi menggunakan metode ekstraksi. Percobaan ekstraksi dan analisis diawali menggunakan standar, setelah mendapatkan parameter yang optimum digunakan untuk ekstraksi sampel PEB UMo/Al. Tujuan percobaan untuk mengetahui kemampuan metode ekstraksi-*stripping* dapat memisahkan molybdenum dan pengotor dalam larutan PEB U7Mo-Al. Tahapan awal melarutkan serbuk standar U_3O_8 20% dilarutkan menggunakan HNO_3 6M. Kemudian melarutkan PEB U7Mo-Al pra iradiasi dalam HCl 6M dan HNO_3 6M sehingga diperoleh larutan campuran $UO_2(NO_3)_2$ dan $MoO_2(NO_3)_2$ berimpuritas. Salah satu metode yang digunakan dalam pemurnian uranium adalah ekstraksi-*stripping*. Sebagai pengekstrak yang digunakan *Tri Butil Phospat* (TBP) dengan pengencer Hexan. Uranium dalam fasa organik dilakukan proses *stripping* dengan air panas, sehingga diperoleh larutan campuran $UO_2(NO_3)_2$ murni. Uranium dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sedangkan molybdenum dianalisis menggunakan ICP-AES Plasma. Parameter yang dipelajari pada proses ekstraksi adalah larutan pengekstrak TBP/Hexan, keasaman umpan menggunakan asam nitrat dan waktu ekstraksi. Dari hasil analisis diperoleh kondisi optimum proses ekstraksi-*stripping* untuk uranium standar dengan pengekstrak TBP/Hexan 30:70 (%) dengan efisiensi total yaitu 28,98%, keasaman umpan 3M sebesar 24,63% dan waktu 5 menit diperoleh 26,59%, untuk molybdenum diperoleh efisiensi 105,04%, sedangkan proses ekstraksi-*stripping* untuk larutan PEB U7Mo-Al/1 diperoleh efisiensi total uranium sebesar 53,37% dan molybdenum sebesar 26,69% serta larutan PEB UMo-Al/2 diperoleh efisiensi total uranium sebesar 63,60% dan molybdenum sebesar 27,56%.

Kata kunci: ekstraksi, *stripping*, PEB UMo-Al, TBP/Hexan

PENDAHULUAN

Bahan bakar UMo/Al merupakan kandidat untuk jenis reaktor riset, diharapkan dapat menggantikan bahan bakar U_3Si_2/Al . Bahan bakar U_3Si_2/Al hingga saat ini digunakan oleh Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) Serpong dan reaktor riset di dunia. Penelitian pengembangan bahan bakar terus dilakukan oleh Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN untuk mendapatkan bahan bakar alternatif. Bahan bakar UMo/Al mempunyai beberapa keunggulan dan kekurangan dibandingkan dengan bahan bakar U_3Si_2/Al . Ditinjau dari sisi densitas bahan bakar UMo yaitu $16,8 \text{ g/cm}^3$, tingkat muat uranium dan konduktivitas tinggi serta umur bahan bakar dalam reaktor lebih lama dan ekonomis apabila dibandingkan dengan bahan bakar U_3Si_2/Al ^[1]. Untuk dapat

digunakan sebagai bahan bakar di reaktor, PEB UMo/Al harus melalui beberapa tahapan pengujian baik sebelum diiradiasi maupun sesudah diiradiasi (pasca iradiasi) sehingga kualitas yang digunakan dapat diketahui. Pengujian PEB UMo/Al yang dilaksanakan oleh Bidang Uji Radiometalurgi (BUR) terkait dengan kualitas bahan bakar pasca iradiasi dapat melalui Burn-up. Sehubungan dengan hal tersebut perlu dilakukan analisis uranium yang terkandung dalam bahan bakar tersebut. Adanya molybdenum dalam bahan bakar dimungkinkan akan mempengaruhi analisis uranium, sehingga perlu dipisahkan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pemisahan uranium dan molybdenum adalah ekstraksi-*stripping*^[2]. Dalam metode ini PEB U7Mo-Al dilarutkan dilakukan proses pemisahan dan *stripping*. Parameter yang dipelajari pada proses ekstraksi adalah pengekstrak, waktu, dan keasaman umpan. Untuk mengetahui kadar uranium dan molybdenum dianalisis. Analisis unsur U menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis sedangkan unsur molybdenum menggunakan ICP-AES. Percobaan ini bertujuan untuk mempelajari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kemurnian hasil pemisahan menggunakan bahan standar antara lain: larutan pengekstrak, keasaman larutan umpan dan waktu ekstraksi menggunakan standar. Keberhasilan proses pemisahan ini dapat dilihat dari efisiensi, setelah diperoleh parameter diatas akan dilakukan untuk analisis uranium dalam larutan PEB UMo-Al.

Teori

Ekstraksi adalah proses pemisahan satu atau lebih komponen dari suatu campuran homogen menggunakan pelarut cair (solven) berdasarkan prinsip beda kelarutan. Ekstraksi dapat dipakai untuk memisahkan dari kadar rendah sampai dengan kadar tinggi^[3]. Pemisahan U dan Mo pada proses ekstraksi dapat mengubah logam tersebut menjadi senyawa kompleks yang dapat larut dalam fase organik. Fase organik ini mempunyai gugus ligan yang dapat bereaksi selektif terhadap salah satu atau beberapa unsur logam yang ada dalam fase air. Terpisahnya unsur-unsur logam ini karena perbedaan reaktifitas dan difusifitas. Pada proses ekstraksi cair-cair pemilihan solven karena solven berperan dalam kecepatan pemisahan, peningkatan efisiensi, dan faktor pemisahan^[4]. Ada beberapa solven yang dapat digunakan pada proses ekstraksi antara lain: TBP, D2EHPA, metil isobutil ketone (MIBK), 3-fenil-4-alkil-5-isoxazolone, dancianex. Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan diperlukan hidrokarbon alifatik seperti kerosen, dodekan, n heptan, toluen, dan atau *xylene* dengan tujuan agar ekstraksi lebih mudah dikontrol, mengurangi berat jenis, menurunkan viskositas, mengurangi massa jenis, dan memperbaiki sifat hidrofiliknya, sehingga memperbesar kemampuan ekstrak untuk membentuk kompleks dengan uranium. Menurut hukum Nerst^[5-6], bila kedalam dua pelarut

yang tidak saling bercampur dimasukkan solut yang dapat larut dalam kedua pelarut tersebut maka akan terjadi pembagian kelarutan. Kedua pelarut umumnya pelarut organik dan pelarut air. Solut akan terdistribusi kedalam dua pelarut tersebut setelah diaduk dan dibiarkan terpisah. Pada keadaan setimbang perbandingan konsentrasi solut di dalam kedua pelarut tersebut tetap dan merupakan suatu tetapan pada suhu tetap. Kemampuan *solvent* untuk memungut kembali dengan menentukan harga efisiensi. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi^[7-8] adalah:

$$\text{a). Efisiensi ekstraksi} = \frac{U \text{ fasa organik}}{U \text{ fasa umpan}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{b). Efisiensi stripping} = \frac{U \text{ fasa air internal}}{U \text{ fasa organik}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{c). Efisiensi total uranium} = \frac{U \text{ fasa stripping}}{U \text{ fasa umpan}} \times 100\% \quad (3)$$

Proses ekstraksi-*stripping* $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{MoO}_2(\text{NO}_3)_2$ berhasil apabila uranium dan molybdenum dapat diumpankan kembali sebagai bahan bakar. Proses ekstraksi bertujuan untuk memurnikan campuran bahan nuklir $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{MoO}_2(\text{NO}_3)_2$ dengan harapan kadar impuritasnya dapat berkurang.

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan: PEB UMo-AI pra iradiasi, HCl 6M, HNO₃6M, serbuk standar U₃O₈, air bebas mineral, TBP, Hexan, dan Arsenazo III.

Alat

Spektrofotometer UV-Vis gelas beker, corong pemisah, lemari asam, timbangan *Sartorius hotplate*, pipet *effendorf*, alat-alat gelas kimia

Cara kerja

a. Pelarutan PEB UMo-AI pra iradiasi

Ditimbang PEB UMo-AI/1 seberat 0,1728 g dan UMo-AI/2 sebanyak 0.1921 g, tambahkan HCl 6M hingga aluminium larut, setelah aluminium larut lalu tambahkan HNO₃ 6M hingga larut sempurna. Hasil pelarutan UMo-AI adalah campuran larutan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{MoO}_2(\text{NO}_3)_2$ berimpuritas dilakukan proses ekstraksi dengan 3 parameter, yaitu pengekstrak TBP/Hexan, keasaman umpan, dan waktu proses ekstraksi.

b. Pembuatan larutan induk standar

Dibuat larutan standar uranium dari serbuk U_3O_8 dengan cara menimbang 0,1183 g kemudian dilarutkan dengan asam nitrat 6M 5 mL dan diencerkan dengan air bebas mineral hingga volume 100 mL. Larutan standar molybdenum 1000 ppm, aluminium dengan cara melarutkan PEB U7Mo/Al tanpa uranium dan molibdenum 0,3801 g dengan asam klorida 6M sebanyak 15 mL dan diencerkan dengan asam nitrat 3M hingga volume 25 mL.

c. Variasi konsentrasi ekstrak

Larutan umpan dibuat dengan cara dipipet 3,738 mL uranil nitrat standar berkadar 1003,16 ppm. Kemudian larutan molybdenum sebanyak 0,625 ml berkadar 1000 ppm, lalu tambahkan aluminium sebanyak 0,411 mL dan diencerkan dengan asam nitrat 3M hingga volume 25 mL. Larutan umpan ditambahkan TBP/hexan dengan perbandingan TBP 30% Hexan 70% sebanyak 25 mL kedalam corong pemisah dan dikocok selama 5 menit, kemudian fasa organik dan fasa air dipisahkan. Fasa organik dilakukan *stripping* menggunakan air bebas mineral pada suhu 65-70°C sebanyak 25 mL kemudian dikocok selama 5 menit dan dipisahkan. Lakukan lagi *stripping* dengan cara yang sama. Kandungan uranium dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis sedangkan kandungan molybdenum dan aluminium dilakukan pengukuran menggunakan ICP-AES Plasma. Lakukan dengan cara percobaan diatas untuk ekstrak TBP/Hexan dengan perbandingan 50:50 dan 70:30%. Konsentrasi ekstrak yang memberikan nilai efisiensi tertinggi digunakan untuk proses selanjutnya.

d. Variasi keasaman

Pembuatan larutan umpan dibuat dengan cara dipipet 3,738 mL uranil nitrat standar berkadar 1003,16 ppm, kemudian larutan molybdenum sebanyak 0,625 ml berkadar 1000 ppm, lalu tambahkan aluminium sebanyak 0,411 mL dan diencerkan dengan asam nitrat 2M. Larutan umpan dicampur dengan TBP/hexan dengan perbandingan TBP/Hexan 30:70 sebanyak 25 mL kedalam corong pemisah dan dikocok selama 5 menit kemudian fasa organik dan fasa air pisahkan. Fasa organik dilakukan *stripping* menggunakan air bebas mineral pada suhu 65-70°C sebanyak 25 mL kemudian dikocok selama 5 menit dan dipisahkan, lakukan lagi *stripping* dengan cara yang sama. Kandungan uranium dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis sedangkan kandungan molybdenum dan aluminium dilakukan pengukuran menggunakan

ICP-AES Plasma. Lakukan seperti percobaan diatas untuk keasaman 3 dan 4M. Keasaman yang memberikan nilai efisiensi tertinggi digunakan untuk proses selanjutnya.

e. Variasi waktu ekstraksi

Pembuatan larutan umpan dibuat dengan cara dipipet 3,738 mL uranil nitrat standar berkadar 1003,16 ppm, kemudian larutan molybdenum 0,625 ml berkadar 1000 ppm, lalu tambahkan larutan aluminium sebanyak 0,411 mL dan diencerkan dengan asam nitrat 3M. Larutan umpan ditambahkan dengan TBP/hexan dengan perbandingan TBP/Hexan 30:70 sebanyak 25 mL kedalam corong pemisah dan dikocok selama 5 menit fasa organik dan fasa air dipisahkan. Fasa organik dilakukan *stripping* lagi menggunakan air bebas mineral pada suhu 65-70°C sebanyak 25 mL kemudian dikocok 5 menit dan dipisahkan, lakukan kembali *stripping* dengan cara yang sama. Kandungan uranium dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis sedangkan kandungan molybdenum dan aluminium dilakukan pengukuran menggunakan ICP-AES Plasma. Lakukan dengan percobaan diatas untuk waktu pengocokan 10 dan 15 menit. Waktu pengocokan yang memberikan nilai efisiensi tertinggi digunakan untuk proses selanjutnya. Setelah mendapatkan parameter yang optimum, parameter tersebut akan digunakan untuk melakukan pemisahan U dan Mo dalam bahan PEB UMo-Al pra iradiasi.

f. Analisis dengan spektrofotometer UV-Vis

Analisis uranium dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Unsur uranium dapat dianalisis oleh spektrofotometer UV-Vis harus membentuk senyawa kompleks yang berwarna. Untuk membentuk senyawa kompleks, cuplikan yang mengandung uranium ditambah dengan zat pengompleks arsenazo III akan terbentuk senyawa uranium-arsenazo III yang berwarna merah muda. Absorban maksimum ditentukan dengan melakukan *scanning* dari salah satu deret uranium standar (2 ppm) dengan memipet 500 µl larutan uranium 100 ppm dimasukkan kedalam labu 25 mL, kemudian ditambahkan 2 mL larutan arsenazo III 0,05% dan diukur pH sampai 2,5 dan tepatkan dengan air bebas mineral. Kemudian pada panjang gelombang dengan nilai absorbansi maksimum dilakukan pengamatan absorbansi sampel uranium. Disiapkan fasa air hasil *stripping* sebanyak 2 mL kemudian ditambahkan 2 mL larutan arsenazo III 0,05% dan diukur pH sampai 2,5 dan tepatkan dengan air bebas mineral kemudian ukur absorbansinya.

g. Pengukuran unsur molybdenum ICP-AES

ICP-AES larutan deret standar dari unsur-unsur yang dianalisis dan larutan sampel dialirkan kedalam nyala plasma pada ICP-AES, maka akan didapatkan nilai absorbansi dari unsur yang dianalisis. Dari data konsentrasi larutan standar dan absorbansi kemudian

dibuat kurva kalibrasi atau persamaan regresi linier. Dengan memplotkan absorbansi dan larutan sampel kedalam kurva kalibrasi maka konsentrasi unsur tersebut dalam larutan contoh dapat diketahui.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengaruh konsentrasi ekstraktan

Hasil percobaan variabel konsentrasi ekstraktan dinyatakan dalam satuan % TBP dalam pengencer hexan. Ekstraksi umpan campuran uranium, molybdenum dan pengotor aluminium dalam fasa air dan organik pada kondisi optimum diperoleh hasil seperti pada Tabel 1-3.

Tabel 1. Hasil pengaruh konsentrasi ekstraktan terhadap uranium pada ekstraksi dan *stripping*

TBP (%)	Ekstraksi Uranium			Stripping Uranium		Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	FO (ppm)	Efisiensi (%)	FA (ppm)	Efisiensi (%)	
30	24,525	125,475	83,650	43,464	52,997	28,976
50	21,425	128,575	85,717	29,330	29,552	19,553
70	24,637	125,363	83,575	21,983	21,265	14,655

Tabel 1. Terlihat bahwa konsentrasi pengeksrak optimum terjadi pada TBP/hexan 30:70, hal ini terlihat dari nilai efisiensi total yang terbesar, apabila konsentrasi pengeksrak proses ekstraksi ditingkatkan lebih dari 30:70 efisiensi ekstraksi-*stripping* semakin menurun, hal ini tidak berpengaruh terhadap hasil karena tidak mempengaruhi hasil efisiensi.

Tabel 2. Pengaruh ekstraktan konsentrasi terhadap molibdenum pada ekstraksi

TBP (%)	Ekstraksi Molibdenum			Stripping Molibdenum	Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	Umpan (ppm)	Efisiensi (%) Total	FA (ppm)	
30	26,26	25,00	105,04	3,35	13,393
50	25,86	25,00	103,43	1,80	7,182
70	26,01	25,00	104,03	1,81	7,233

b. Pengaruh keasaman umpan

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi keasaman terhadap uranium pada ekstraksi dan *stripping*

HNO ₃ (M)	Ekstraksi Uranium			Stripping Uranium		Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	FO (ppm)	Efisiensi (%)	FA (ppm)	Efisiensi (%)	
2	26,543	123,457	82,305	12,140	10,906	8,093
3	18,541	131,459	87,639	36,946	39,090	24,630
4	14,998	135,002	90,002	26,543	24,473	17,695

Pada Tabel 3 dan 4. Pengaruh konsentrasi keasaman terhadap efisiensi *stripping* dengan keasaman 3M, tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi asam akan mengakibatkan efisiensi total mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi berakibat jumlah uranium, dan molybdenum yang terambil dari umpan ekstraksi semakin besar karena semakin tinggi keasaman semakin baik reaksi berjalan, namun ketika konsentrasi dinaikkan terus efisiensi menjadi turun atau tidak berarti lagi, hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 3M sudah mencapai pada daerah optimum.

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi keasaman terhadap molibdenum pada ekstraksi

HNO ₃ (M)	Ekstraksi Molibdenum			Stripping Molibdenum	Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	Umpan (ppm)	Efisiensi (%) Total	FA (ppm)	
2	20,23	25,00	80,91	1,62	6,476
3	26,26	25,00	105,04	3,35	13,393
4	21,93	25,00	87,72	1,81	7,233

c. Pengaruh waktu ekstraksi

Tabel 5. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap uranium pada ekstraksi dan *stripping*

Waktu (menit)	Ekstraksi Uranium			Stripping Uranium		Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	FO (ppm)	Efisiensi (%)	FA (ppm)	Efisiensi (%)	
5	25,702	124,298	82,865	39,888	47,255	26,592
10	9,831	140,169	93,446	7,753	5,855	5,169
15	10,674	139,326	92,884	7,697	5,847	5,131

Tabel 5. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap uranium selama 5 menit terlihat bahwa waktu pengocokan mempunyai nilai efisiensi yang tinggi, namun setelah dinaikkan waktu pengocokan efisiensi menurun. Ini menunjukkan bahwa waktu pengocokan 5 menit sudah mencapai daerah yang optimum karena kenaikan waktu pengocokan sudah tidak mempengaruhi efisiensinya, sedangkan dengan penambahan waktu di atas 5 menit efisiensi justru menurun. Penurunan efisiensi ekstraksi tersebut dimungkinkan TBP/hexan sebagai pengikat uranium telah mengalami kejenuhan dan sudah tidak mampu untuk mengikat uranium lagi.

Tabel 6. Pengaruh waktu terhadap molibdenum pada ekstraksi

Waktu (menit)	Ekstraksi Molibdenum			Stripping Molibdenum	Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	Umpan (ppm)	Efisiensi (%) Total	FA (ppm)	
5	26,26	25,00	105,04	3,35	13,393
10	24,05	25,00	96,21	1,52	6,072
15	24,62	25,00	98,48	2,99	11,980

Tabel 7. Hasil pengukuran sampel PEB UMo-AI terhadap uranium pada ekstraksi dan *stripping*

Sampel	Ekstraksi Uranium			Stripping Uranium		Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	FO (ppm)	Efisiensi (%)	FA (ppm)	Efisiensi (%)	
PEB UMo/AI-1	0,953	2,137	69,152	1,649	77,178	53,370
PEB UMo/AI-2	0,415	3,022	87,920	2,186	72,340	63,601

Tabel 8. Hasil pengukuran sampel PEB UMo-AI Molibdenum terhadap ekstraksi

Sampel	Ekstraksi Molibdenum			Stripping Molibdenum		Efisiensi Total (%)
	FA (ppm)	Umpan (ppm)	Efisiensi (%) Total	FA (ppm)	Efisiensi (%)	
PEB UMo/AI-1	3,10	11,60	26,69	22,60	16,57	5,02
PEB UMo/AI-2	3,20	12,92	27,56	32,03	23,21	5,89

Percobaan ekstraksi-*stripping* menggunakan parameter optimum yaitu pengeksrak 30:70, waktu ekstraksi 5 menit dan keasaman 3 M dilakukan percobaan untuk PEB UMo-AI/1 dan UMo-AI/2. Dapat dilihat bahwa hasil analisis diperoleh untuk efisiensi uranium sebesar 53,370% dan untuk PEB UMo-AI/2 dengan efisiensi sebesar 63,601%, kemungkinan disebabkan oleh perlakuan pada saat ekstraksi hanya dilakukan sebanyak satu kali sehingga uranium masih banyak tersisa dalam fasa air, sedangkan pada saat melakukan *stripping* dilakukan hanya dua kali sehingga uranium masih berada dalam fasa organik, dengan demikian dapat mempengaruhi terhadap hasil analisis.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan ekstraksi-*stripping* larutan PEB UMo-AI yang berupa campuran larutan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{MoO}_2(\text{NO}_3)_2$ diperoleh kondisi operasi proses ekstraksi yang baik berturut-turut kondisi optimum proses ekstraksi-*stripping* untuk standar dengan pengeksrak TBP/Hexan 30:70 (%) dengan efisiensi total berturut turut untuk uranium 28,98%, keasaman umpan 3M efisiensi total 24,63% dan waktu 5 menit efisiensi total sebesar 26,59%, dan molybdenum diperoleh efisiensi 105,04% sedangkan proses ekstraksi-*stripping* untuk larutan PEB UMo-AI/1 diperoleh efisiensi total uranium sebesar 53,37% dan efisiensi molybdenum sebesar 26,69% demikian juga untuk larutan PEB UMo-AI/2 diperoleh efisiensi total uranium sebesar 63,60% dan efisiensi molybdenum sebesar 27,56%.

SARAN

Untuk mendapatkan uranium hasil ekstraksi-*stripping* dalam larutan PEB UMo-Al yang maksimal, sebaiknya dilakukan dengan cara ekstraksi-*stripping* bertingkat agar hasil analisis diperoleh lebih optimal. Untuk itu percobaan berikutnya akan dilakukan menggunakan metode pemisahan cara kromatografi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Bidang Uji Metalurgi, dan Bp. Ir. Supardjo, MT, teman-teman gedung 65 yang telah memberikan bahan dan teman-teman BUR yang telah membantu pemotongan untuk melakukan percobaan ini, khususnya teman-teman Fisiko Kimia, sehingga hasil percobaan ini dapat terwujud dalam bentuk makalah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ghaib Widodo¹, Sigit¹, Kris Tri Basuki², Kasmudin³, Antony S⁴, Urania Vol. 19 No. 3, Pengaruh Keasaman Umpan, Pengadukan, Waktu, dan Suhu Terhadap Efisiensi Proses Ekstraksi-Stripping Uranium-Molibdenum/Aluminium.: 119 – 174 ISSN 0852-4777, Oktober 2013.
2. Ghaib Widodo, Ekstraksi dan Stripping Hasil Pelarutan Bahan Bakar Uranium Molibdenum, Prosiding Seminar Nasional XIX Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Hotel Santika Premier Yogyakarta, ISSN 0854-4778, 11 November 2010.
3. Moch. Setyadji, Endang Susiantini, Kristanti Nurwidyaningrum, Pemisahan Molibdenum dari Uranium Menggunakan Kolom Fixed Bed Kromatografi, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2012, Pusat Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta, ISSN 0216-3128, 4 Juli 2012.
4. Dwi Biyantoro, M.V. Purwani, Optimasi Pemisahan Zr-Hf Dengan Cara Ekstraksi Memakai Solven TOPO, J.Tek. Bhn. Nuklir Vol.No.1 Januari 2013:1-54. ISSN 1907-2635. 416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012.
5. Dwi Biyantoro, R. Subagiono, Kris Tri Basuki, Rosyidin, Pemisahan U dari Unsur-unsur Pengotor Zr dan Ru Dengan Cara Membran Emulsi Memakai D2EHPA, Prosiding Presentasi ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V, P2TBDU dan P2BGN-BATAN Jakarta. ISSN 1410-199822, Februari 2000.
6. R. Didiek Herhady, Busron Masduki, Sigit. Pemisahan Uranium dari Hasil Belah Zr dan Ru Dengan Menggunakan TBP 30%-Dodekan Dalam Medium Asam Nitrat

Sebagai Bahan Ekstraktor, Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi 2000.

7. Endang Susiantini, Pemisahan Molibdenum dari Uranium dengan Cara Ekstraksi Kromatografi Menggunakan Kolom Silika TBP, 82/Akred-LIPI/P2MBI/5/2007 Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN, Serpong ISSN 1907–2635.
8. Kris Tri Basuki, Dwi Biyantoro, Kinetika Reaksi Pemisahan Zr-HF pada Ekstraksi Cair-cair dalam Media Asam Nitrat, J. Tek. Bhn. Nukl. Vol. 7 No. 1 Januari 2011: 1 – 73 ISSN 1907 – 2635 261/AU1/P2MBI/05/2010 Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN, Yogyakarta, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.