

## PENGGUNAAN DESAIN *PLACKETT BURMAN* UNTUK SELEKSI PARAMETER PEMISAHAN LOGAM TANAH JARANG KELOMPOK SEDANG DARI LOGAM TANAH JARANG KELOMPOK LAINNYA DENGAN METODE PENGENDAPAN

SYULASTRI EFFENDI<sup>1\*</sup>, ABDUL MUTALIB<sup>1</sup>, ANNI ANGGRAENI<sup>1</sup>, DAN HUSEIN H. BAHTI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran  
Jalan Raya Bandung-Sumedang, km. 19, Jatinangor, Sumedang

\*alamat email korespondensi: syulastri17001@mail.unpad.id

---

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Riwayat Naskah: Diterima pada 23 November 2019 Diterima setelah direvisi pada 22 Juni 2020 Diterbitkan pada 30 Juni 2020	Indonesia merupakan salah satu negara penghasil timah terbesar di dunia dengan hasil sampingnya berupa mineral ikutan, salah satunya adalah monasit yang mengandung lebih dari 50% logam tanah jarang (LTJ). LTJ memiliki kegunaan penting dalam berbagai teknologi dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Banyaknya mineral monasit yang ditemukan di Indonesia, akibatnya Indonesia berpeluang dalam memproduksi dan memanfaatkan LTJ untuk menunjang kemajuan negara. Oleh karena itu diperlukan metode pemisahan yang tepat dan efisien untuk mendapatkan LTJ individu maupun campuran dalam bentuk murni, salah satunya yaitu metode pengendapan. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh parameter pemisahan pada metode pengendapan yang berpengaruh terhadap respon yang berupa efisiensi pemisahan LTJ kelompok sedang dari kelompok LTJ lainnya berdasarkan desain eksperimen dari sampel LTJ hidroksida hasil olah monasit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengendapan selektif LTJ kelompok berat, sedang, dan ringan berdasarkan desain eksperimen model <i>Plackett Burman</i> untuk menseleksi parameter-parameter yang memiliki relevansi terhadap respon LTJ kelompok sedang. Parameter yang digunakan yaitu konsentrasi pereaksi, suhu, kecepatan pengadukan dan pH. Parameter yang terseleksi kemudian dapat digunakan untuk pemisahan secara selektif kelompok LTJ dengan metode pengendapan skala besar. Parameter yang memiliki relevansi dengan respon berupa efisiensi pemisahan LTJ kelompok sedang dari kelompok LTJ lainnya yaitu konsentrasi asam oksalat (1,0N), suhu pengendapan dengan asam oksalat (25°C), pH pengendapan LTJ berat (4,00), pH pengendapan LTJ sedang (7,30) dan suhu pengendapan LTJ sedang (90°C). Efisiensi pemisahan sampel LTJ kelompok sedang dari sampel LTJ hidroksida yaitu 72,88%.
Kata Kunci: Logam tanah jarang; monasit; desain eksperimen; <i>Plackett Burman</i> ; pengendapan.	
<i>Keywords: rare earth element; monazite; experiment design; Plackett Burman; precipitation.</i>	<i>Indonesia is one of the largest tin producer in the world with their byproducts one of which is monazite, which contains more than 50% of rare earth metals (REEs). REEs has important uses in various technologies and has high economic value. The amount of monazite minerals found in Indonesia, as a result, Indonesia has the opportunity to produce and utilize REEs to support the country's progress. Therefore we need an appropriate and efficient separation method to obtain individual and mixed REEs in pure form, one of which is the precipitation method. The purpose of this study was to obtain the separation parameters in the precipitation method that affect the response in the form of efficiency of the separation of medium group REEs from other groups of REEs based on the experimental design of the REEs hydroxide samples produced by monasite. The method used in this study is selective deposition of heavy, medium and light REE groups based on the experimental design of the Plackett Burman model to select parameters that have relevance to the medium group REEs response. The parameters used are the reactant concentration, temperature, stirring speed and pH. The selected parameters can then be used for selective separation of REEs groups by scale up process. The parameters that have relevance to the response in the form of efficiency of separating the REEs medium group from the other REEs groups are oxalic acid concentration (1.0N), precipitation temperature with oxalic acid (25 °C), pH of heavy REEs precipitation (4.00), pH of medium group REEs precipitation (7.30) and precipitation temperature (90 °C). The efficiency of separating the REEs sample from the medium group from the REE hydroxide sample is 72.88%.</i>

---

## PENDAHULUAN

Logam tanah jarang (LTJ) memegang peranan yang penting dalam kebutuhan material produksi modern seperti dalam dunia superkonduktor, laser, optik elektronik, aplikasi LED dan iPad, glass dan keramik, bahan feromagnetik dan bahan laser, sehingga kini logam tanah jarang telah dipandang sebagai bahan penting abad 21 [1]. Harga oksida logam tanah jarang dalam bentuk murni jauh lebih tinggi dibandingkan harga mineral monasit.

LTJ adalah kelompok unsur dengan sifat fisikokimia yang mirip, yang terdiri atas 15 unsur lantanida, scandium (Sc), dan itrium (Y) [2]. LTJ meskipun dinamakan logam tanah jarang akan tetapi kelimpahannya tidaklah jarang atau sedikit melainkan cukup berlimpah. Semua unsur yang termasuk kelompok LTJ memiliki sifat dan karakteristik yang hampir sama, sehingga pemisahan setiap unsurnya sangat sulit [2].

Di Indonesia, LTJ diperoleh dari mineral-mineral hasil samping kegiatan penambangan emas dan timah di kepulauan Bangka dan Singkep [3]. Mineral yang dimaksud salah satunya adalah mineral monasit yang merupakan mineral fosfat, mengandung campuran Ce, La, Pr, dan Nd serta unsur radioaktif seperti torium (Th) dan uranium (U) [4] [5]. Mineral-mineral tersebut belum diolah lebih lanjut untuk memperoleh logam-logam tanah jarang murni ataupun dalam bentuk oksidanya, dikarenakan keterbatasan penguasaan kita tentang teknologi pemisahan dan pengolahannya, sehingga masih perlu ditingkatkan dan dikembangkan.

LTJ berdasarkan beratnya dapat dipisahkan menjadi tiga kelompok utama yaitu: kelompok berat, sedang dan ringan. Pemisahan dan pemurnian LTJ memiliki potensi yang besar dalam jangka panjang. Teknologi terus berkembang pesat sehingga kebutuhan akan ketersediaan LTJ akan terus meningkat. Proses pemisahan LTJ untuk memperoleh logam yang murni tidaklah mudah, karena sifat-sifatnya yang mirip antara LTJ yang satu dengan LTJ lainnya. Hingga saat ini proses pemisahan dengan metode pengendapan masih dipilih dan dilakukan karena mudah, cepat dan murah [6]. Metode pengendapan untuk memisahkan kelompok LTJ dilakukan berdasarkan nilai pH pengendapan LTJ hidroksida, karena setiap LTJ memiliki nilai pH yang berbeda-beda meskipun perbedaannya tidak terlalu jauh antara LTJ satu dan lainnya. Nilai setiap pH LTJ ditentukan berdasarkan komposisi LTJ dalam sampel LTJ hidroksida dan besarnya Ksp LTJ masing-masing [7].

Penelitian ini lebih terfokus pada pemisahan logam tanah jarang kelompok sedang, yakni mencakup unsur europium, gadolinium, samarium dan terbium. Tujuan akhir dari serangkaian penelitian adalah untuk mendapatkan gadolinium (Gd) murni. Selain itu, pada perkembangan ilmu dan teknologi saat ini LTJ kelompok sedang dikembangkan sebagai dasar pembuatan *contrast agent* yaitu senyawa pengontras *magnetic resonance imaging* (MRI).

Pemisahan kelompok LTJ dengan metode pengendapan pada penelitian ini akan dikembangkan agar diperoleh rancangan prosedur pemisahan LTJ yang nantinya dapat digunakan untuk pemisahan LTJ dengan skala besar dan komersial. Pengembangan rancangan prosedur pengendapan ini menggunakan desain eksperimen, yang merupakan suatu rancangan yang dapat memprediksikan hasil dari suatu percobaan berdasarkan statistika kimia. Desain eksperimen merencanakan keseluruhan percobaan yang memungkinkan dari tahap awal sampai tahap akhir dan menentukan parameter apa yang benar-benar dibutuhkan untuk menilai apakah variabel input memberi respon dengan sendirinya, saat dikombinasikan, atau tidak sama sekali [8].

Rancangan desain eksperimen pada metode pemisahan kelompok LTJ dengan pengendapan yaitu desain *Plackett Burman*, yang merupakan desain orde pertama berfungsi untuk menyeleksi faktor-faktor berpengaruh pada respon [9] [10]. Desain ini memilih semua parameter yang berperan dalam proses pengendapan dari tahap awal hingga tahap akhir baik itu level rendah hingga level tinggi. Hasil seleksi yaitu parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon (rendemen LTJ kelompok sedang), dan dapat digunakan sebagai dasar optimasi proses skala yang lebih besar.

## EKSPERIMEN

Metode yang digunakan merupakan pengembangan dari prosedur pemisahan lanthanum dari sampel monasit yang telah dilakukan oleh Soe *et al.*, (2008) [11].

### Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain samarium nitrat ( $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ ), europium nitrat ( $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ ), gadolinium nitrat ( $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ ), terbium nitrat ( $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3$ ), dan disprosium nitrat ( $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$ ), semua bahan 99,9% (p.a) – Sigma Aldrich, larutan ammonia 25% *Merck* (p.a), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 65% *Merck* (p.a), asam oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Merck (p.a) dan sampel LTJ hidroksida (LTJ(OH)<sub>3</sub>) (hasil pengolahan -PTBGN BATAN)

**Instrumentasi**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: neraca analitis digital AL204 (Mettler Toledo), alat ICP – OES Agilent Technologies 700 Series, pH meter Jenway 3505, magnetic stirrer Thermo, Furnace Thermocline F47950, serta software kemometri yang digunakan untuk pengolahan data yaitu Design Expert DX.10.0.

**Prosedur**

*Pembuatan Pereaksi Asam Oksalat dan Ammonia*

Larutan asam oksalat 1N dan 3N, dengan melarutkan masing – masing 15,755 g dan 47,25 g ke dalam labu ukur 250 mL. Larutan ammonia dengan konsentrasi 10% dan 0,1% yang berasal dari pengenceran larutan stok ammonia 25%.

*Pembuatan Larutan Sampel Awal dan Ph Ltj Hidroksida*

Sebanyak 0,0500 g sampel LTJ hidroksida dilarutkan dengan asam nitrat pekat, kemudian diencerkan ke dalam labu ukur 50 mL sampai tanda batas. Kadar LTJ dan non LTJ dalam sampel tersebut diukur menggunakan alat ICP – OES.

Setiap kelompok LTJ dihitung nilai pH-nya berdasarkan hasil kali konsentrasi LTJ dengan konsentrasi hidroksida, dimana hasil kali ini harus melebihi nilai Ksp LTJ hidroksida. Nilai Ksp LTJ hidroksida dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Nilai Ksp unsur logam tanah jarang (CRC Handbook 86<sup>th</sup> edition).

Unsur	Ksp LTj(OH) <sub>3</sub>
Dy	1,40 x 10 <sup>-22</sup>
Eu	9,38 x 10 <sup>-27</sup>
Gd	1,80 x 10 <sup>-23</sup>
Sm	8,30 x 10 <sup>-23</sup>
Tb	2,0 x 10 <sup>-22</sup>
Ce	1,6 x 10 <sup>-20</sup>
La	2,0 x 10 <sup>-19</sup>
Nd	1,9 x 10 <sup>-20</sup>
Pr	6,8 x 10 <sup>-22</sup>

*Pembuatan Desain Eksperimen*

Desain eksperimen yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan *Plackett Burman* (orde pertama) yang terdiri dari sembilan parameter metode pengendapan yaitu konsentrasi oksalat (C), suhu pengendapan dengan oksalat (T<sub>1</sub>), kecepatan

pengadukan saat pengendapan dengan oksalat (v<sub>1</sub>), pH pengendapan LTJ berat, suhu pengendapan LTJ berat (T<sub>2</sub>), kecepatan pengadukan saat pengendapan LTJ berat (v<sub>2</sub>), pH pengendapan LTJ sedang, suhu pengendapan LTJ sedang (T<sub>3</sub>), dan kecepatan pengadukan saat pengendapan LTJ sedang (v<sub>3</sub>) seperti dijelaskan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Kode dan level desain *Plackett Burman*

Parameter	Level kode	
	-1	1
C ( N)	1	3
T <sub>1</sub> (°C)	25	90
v <sub>1</sub> (rpm)	100	300
pH LTJ berat	3,00	4,00
T <sub>2</sub> (°C)	25	90
v <sub>2</sub> (rpm)	100	300
pH LTJ sedang	5,90	7,30
T <sub>3</sub> (°C)	25	90
v <sub>3</sub> (rpm)	100	300

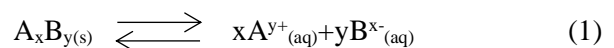
*Pemisahan Kelompok LTJ dengan Metode Pengendapan*

Pada tahap ini ± 1,500 g sampel LTJ hidroksida dilarutkan dengan asam nitrat dan diendapkan menjadi LTJ oksalat. Endapan yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu 900-1000°C. Endapan hasil kalsinasi dilarutkan dengan asam nitrat 1:1 dan diendapkan sesuai dengan pH hasil perhitungan pengendapan LTJ kelompok berat. Endapan dipisahkan dari filtrat yang kemudian dikalsinasi sebagai endapan LTJ oksida kelompok berat. Filtrat yang diperoleh diendapkan dengan ammonia sampai rentang pH LTJ kelompok sedang. Endapan yang diperoleh dikalsinasi sebagai LTJ oksida kelompok sedang dan filtrat sebagai LTJ kelompok ringan serta non LTJ. Semua endapan dan filtrat diukur konsentrasi baik LTJ maupun non LTJ menggunakan ICP-OES. Semua kondisi pemisahan kelompok LTJ ini dilakukan berdasarkan kondisi yang ditentukan desain *Plackett Burman*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

*Penentuan nilai pH pengendapan*

Hasil pengukuran konsentrasi LTJ dalam LTJ hidroksida dengan ICP kemudian dihitung pH pengendapan setiap kelompok LTJ berdasarkan hasil kali kelarutan [12].



$$K_{sp} = [A^{y+}]^x [B^{x-}]^y \tag{2}$$

Nilai Ksp LTJ hidroksida berlaku:

$$K_{sp} = [LTJ^{3+}] [OH^-]^3 \quad (3)$$

$$[OH^-] = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}}{[LTJ^{3+}]}} \quad (4)$$

$$pOH = -\log [OH^-] \quad (5)$$

$$pH = 14 - pOH \quad (6)$$

pengendapan terjadi apabila :

$$K_{sp} < [LTJ^{3+}] [OH^-]^3 \quad (7)$$

Berikut pH pengendapan setiap kelompok LTJ berdasarkan konversi perhitungan dengan hasil kali kelarutan, seperti tercantum pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** pH pengendapan kelompok LTJ berdasarkan perhitungan.

	Ksp LTJ(OH) <sub>3</sub>	Molaritas LTJ(OH) <sub>3</sub>	pH
Dy	1,40 x 10 <sup>-22</sup>	0,0449	7,17
Tb	2,00 x 10 <sup>-22</sup>	0,0293	7,27
Gd	1,80 x 10 <sup>-23</sup>	0,1052	6,64
Eu	9,38 x 10 <sup>-27</sup>	0,0247	5,88
Sm	8,30 x 10 <sup>-23</sup>	0,127	6,91
Nd	1,90 x 10 <sup>-20</sup>	0,1450	7,71
Pr	6,80 x 10 <sup>-22</sup>	0,1716	7,21
Ce	1,60 x 10 <sup>-20</sup>	2,10	7,38
La	2,00 x 10 <sup>-19</sup>	0,760	7,85

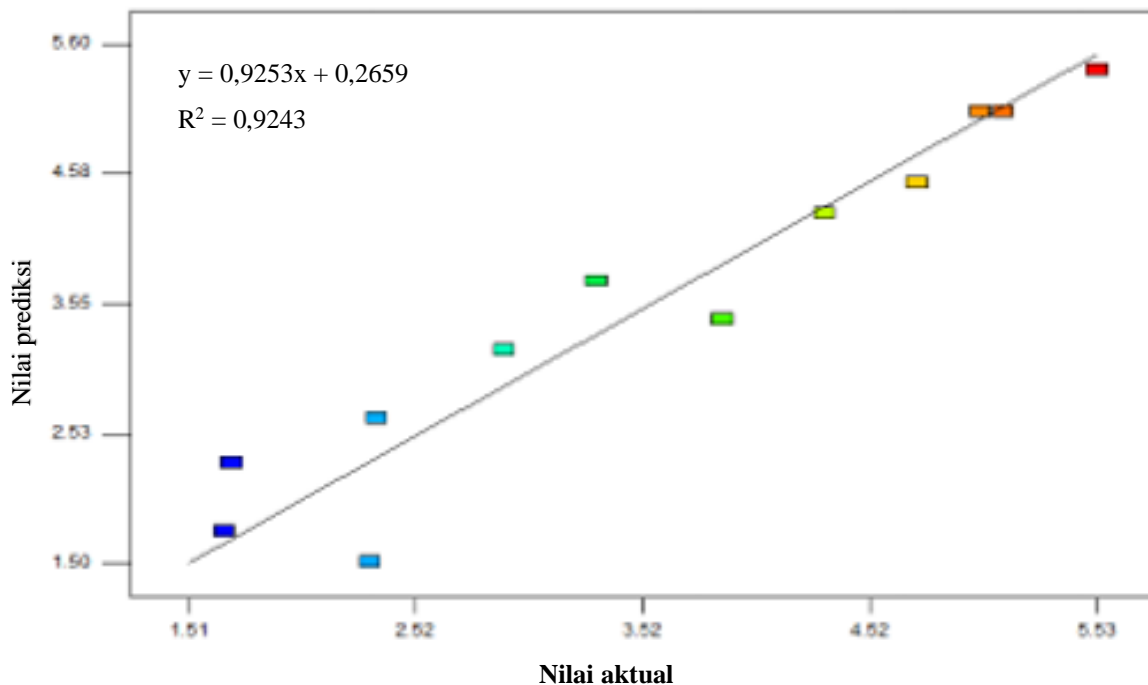
Nilai pH yang diperoleh dari perhitungan, kemudian digunakan dalam desain *Plackett Burman* dengan 9 parameter. Hasil analisis dengan desain ini menghasilkan parameter yang terseleksi dan memberikan pengaruh yang signifikan

terhadap respon, yaitu rendemen LTJ kelompok sedang yang maksimal. Hasil analisis dengan desain *Plackett Burman* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Data hasil percobaan desain *Plackett Burman* dengan respon LTJ kelompok sedang

Exp.	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>	x <sub>11</sub>	Y(%) LTJ sedang)
1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	3,111
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2,315
3	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	2,908
4	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1,675
5	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1,705
6	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	3,316
7	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	3,732
8	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	3,011
9	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	4,321
10	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	2,345
11	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	5,525
12	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	3,872

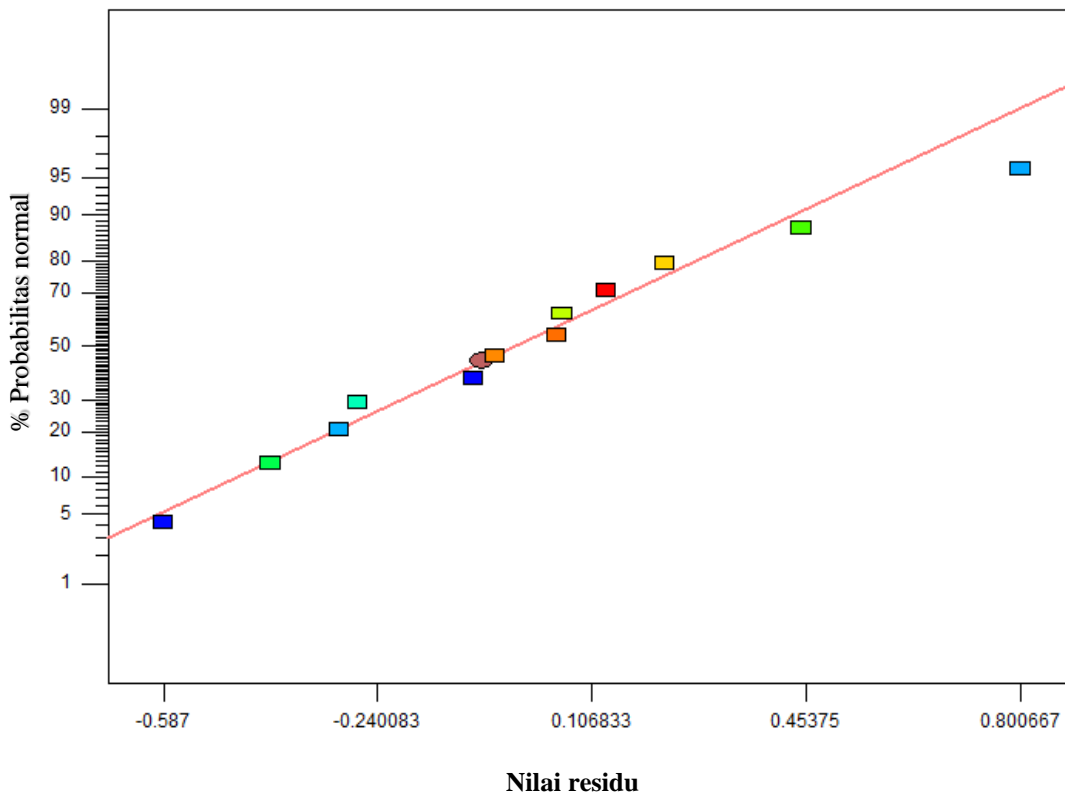
Desain *Plackett Burman* dalam program dianalisis secara ANOVA dan diperoleh nilai R<sup>2</sup> (koefisien determinasi) sebesar 0,9243, hal ini mengindikasikan ada kecocokan nilai prediksi dan nilai sebenarnya, seperti terlihat pada **Gambar 1**. Semakin mendekati angka satu maka semakin tinggi kesesuaian suatu model dengan data percobaan yang memperlihatkan perbedaan kecil antara nilai terukur dan nilai hitung [13]. Desain *Plackett Burman* selain menunjukkan nilai R<sup>2</sup> diperoleh juga nilai simpangan baku sebesar 0,52 dan nilai koefisien variasi sebesar 14,49%.



**Gambar 1.** Kurva regresi linier antara nilai respon sebenarnya dan nilai respon prediksi program *Plackett Burman*

Tingkat kepercayaan suatu model dapat diterima bila nilai  $P < 0,05$  (signifikan), sedangkan tingkat kepercayaan desain *placket burman* ini  $P = 0,0027$  oleh karena itu hasil desain ini bisa diterima. Desain ini juga menghasilkan *Adeq precision* yaitu mengukur *signal to ratio* (S/N) yang diharapkan harus lebih besar dari 4, dan penelitian ini S/N yang dihasilkan adalah 10,614, hal ini menunjukkan sinyal yang dihasilkan memadai [14].

Desain *Plackett Burman* dapat menunjukan *normal plot of residual* yang mengindikasikan apakah nilai *residual* mengikuti garis normal. Semakin mendekati garis normal maka hasil respon aktual akan mendekati respon yang diprediksikan oleh program [9] [15], seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2**. Kurva pada Gambar 1 dan 2 ditampilkan plot titik yang berwarna, dimana setiap warna mewakili setiap percobaan yang dilakukan dengan variasi parameter sesuai desain.



**Gambar 2.** Plot kenormalan residual respon ULTJ sedang

Berdasarkan pengolahan data desain *Plackett Burman*, kondisi optimum dengan parameter yang terpilih diperoleh 5 parameter yaitu: konsentrasi asam oksalat (1N), suhu pengendapan dengan oksalat (25°C), pH pengendapan LTJ berat (4,00), pH pengendapan LTJ sedang (7,30) dan suhu pengendapan LTJ sedang (90°C), dengan nilai desirability (D)= 0,968 dan nilai prediksi respon (% LTJ kelompok sedang) = 2,94%.

Kadar LTJ kelompok sedang dalam sampel LTJ hidroksida PTBGN BATAN yang telah bebas radioaktif berdasarkan hasil pengukuran dengan ICP-OES yaitu: gadolinium (1,03%), samarium (1,75%), europium (0,004%), terbium (0,08%), dan dysprosium (0,76%) sehingga secara keseluruhan kadar total LTJ kelompok sedang yaitu = 3,62%. Dengan demikian efisiensi (%E) pemisahan LTJ kelompok sedang dari campuran LTJ kelompok lainnya menggunakan metode pengendapan yaitu:

$$\%E = \frac{\%LTJ \text{ kel. sedang hasil pemisahan}}{\%LTJ \text{ kel. sedang awal}} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{2,94\%}{3,62\%} \times 100\%$$

$$\%E = 81,22\%$$

**Persamaan Matematika Hasil Desain Eksperimen**

Berdasarkan **Tabel 4**, diperoleh persamaan:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_4 + \beta_5X_5 + \beta_6X_6 + \beta_7X_7 + \beta_8X_8 + \beta_9X_9 + \beta_{10}X_{10} + \beta_{11}X_{11}$$

$$Y = 3,5697 + 0,422X_1 + 0,253X_2 + 1,10X_3 - 0,107X_4 + 0,029X_5 - 0,3598X_6 + 0,175X_7$$

## SIMPULAN

Berdasarkan metode desain eksperimen *Plackket Burman* parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon (rendemen LTJ kelompok sedang yang maksimum) hasil pemisahan dari kelompok LTJ lainnya, yaitu: konsentrasi asam oksalat (1,0N), suhu pengendapan dengan asam oksalat (25°C), pH pengendapan LTJ kelompok berat (4,00), pH pengendapan LTJ kelompok sedang (7,30) dan suhu pengendapan LTJ kelompok sedang (90°C) dengan efisiensi pemisahan dari sampel LTJ hidroksida sebesar 81,22%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Laboratorium Kimia Analitik dan Pemisahan Departemen Kimia Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran, Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran serta Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN)-BATAN yang telah membantu hingga penelitian ini selesai.

## REFERENSI

- [1] C.A. Morais and V.S. Ciminelli, "Selection of solvent extraction reagent for the separation of europium(III) and gadolinium(III)", *Minerals Engineering*, vol. 20, no. 8, pp. 747-752, 2007.
- [2] S. Wu, L. Wang, L. Zhao, P. Zhang, H. El-Shall, B. Moudgil, X. Huang, and L. Zhang, "Recovery of rare earth elements from phosphate rock by hydrometallurgical processes – A critical review", *Chemical Engineering Journal*, vol. 335, pp. 774-800, 2018.
- [3] S. Endang, B. Pardiarto, and T. Ishlah, "Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia", *Buletin Sumberdaya Geologi*, 2010.
- [4] N.N. Hidayah and S.Z. Abidin, "The evolution of mineral processing in extraction of rare earth elements using liquid-liquid extraction: A review", *Minerals Engineering*, vol. 112, pp. 103-113, 2017.
- [5] K. Yasuo and K. Masaharu, "Rare earth minerals and resources in the world", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 408-412, pp. 1339-1343, 2006.
- [6] S. Prakash, "Advance Chemistry of Rare Earth Elements. New Delhi: S. Chand. Co (PVT)", *Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*, 1975.
- [7] A. Amin, "Pemisahan Unsur Samarium dan Yttrium dari Mineral Tanah Jarang dengan Teknik Membran Cair Berpendukung (Supported Liquid Membrane)", *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 15-23, 2009.
- [8] S.I. Inc., "JMP® 8 Design of Experiment Guide", *Analytic Methods for Design Practice*, 2009.
- [9] S. Herlinda, M. I. Said, N. Gofar, F. Pratama, S. Sulastri, R. Inderawati, R. Ilma and N. Nurhayati, "Penggunaan Statistik Non-Parametrik dalam Penelitian", 2010.
- [10] A. Jiju, "Screening Designs", dalam *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, 2014, pp. 51-62.
- [11] N.N. Soe, L.T. Shwe, and T. L. Kay, "Study-on-Extraction-of-Lanthanum-Oxide-from-Monazite-Concentrate", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 2, no. 10, 2008.
- [12] Suyanti, M.V. Purwani, and A.W. Muhadi, "Peningkatan Kadar Neodinium Secara Proses Pengendapan Bertingkat Memakai Ammonia", *Jurnal SDM Teknologi Nuklir*, vol. 1, pp. 429-439, 2008.
- [13] S.J. Feng, L.C. Quan, L.D. Jing, and J.B. Quan, "Optimization of cordycepin extraction from cultured *Cordyceps militaris* by HPLC-DAD coupled with uniform design", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 82, no. 12, pp. 1122-1126, 2007.
- [14] M. Mourabet, A. El Rhilassi, H. El Boujaady, M. Bennani-Ziatni, R. El Hamri, and A. Taitai, "Removal of fluoride from aqueous solution by adsorption on hydroxyapatite (HAp) using response surface methodology", *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 19, no. 6, pp. 603-615, 2015.
- [15] K.S. Kumari, I.S. Babu, and G.H. Rao, "Process optimization for citric acid production from raw glycerol using response surface methodology", *Indian Journal of Biotechnology*, vpl. 7, no. 4, pp. 496-501, 2008.