

Analisis Mekanisme Interaksi antara Asam Klorida dengan Senyawa Rb_2O , K_2O , CaO dan P_2O_5 dalam Abu Kerak Boiler Berdasarkan Tinjauan Beda Energi Potensial Orbital

Linda Lestari^a, Mariana B. Malino^{a*}, Boni P. Lapanporo^a

^aProdi Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura,
Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia

*Email : malinomariana@gmail.com

Abstrak

Penelitian tentang analisis mekanisme interaksi antara asam klorida dengan senyawa Rb_2O , K_2O , CaO dan P_2O_5 dalam abu kerak boiler telah dilakukan. Mekanisme pelindian dan karakteristik pengikatan senyawa dalam abu kerak boiler dijelaskan dengan mengacu pada teori orbit molekular. Hasil leaching untuk logam-logam alkali menunjukkan bahwa jumlah K_2O yang terlarut lebih banyak dibandingkan Rb_2O . Meskipun ikatan antara HCl dan Rb_2O lebih kuat dibandingkan ikatan antara HCl dan K_2O namun jejari atom Rb (2,48 nm) lebih besar dibandingkan dengan jejari atom kalium (2,35 nm) yang berarti bahwa atom kalium akan lebih mudah larut dalam asam. Pelarutan kalsium (Ca) yang merupakan unsur yang berada di golongan IIA oleh HCl dan membentuk garam $CaCl_2$ disebabkan oleh interaksi antara orbital 3p klor dan 4s kalsium dengan perbedaan energi potensial orbital sebesar 7,56 eV. Pelarutan Fosfor yang merupakan unsur yang berada dalam golongan VA disebabkan oleh interaksi antara orbital 3p klor dan 3p Fosfor yang memiliki perbedaan energi sebesar 4,02 eV.

Kata Kunci : teori orbit molekular, abu kerak boiler

1. LatarBelakang

Proses pelindian merupakan proses ekstraksi padat-cair yang bertujuan untuk memisahkan suatu senyawa kimia yang diinginkan dari senyawa kimia lain atau pengotor dari padatan ke dalam cairan [1]. Proses pelindian biasanya menggunakan asam kuat seperti asam klorida. Penggunaan asam klorida berfungsi untuk melarutkan oksida logam. Abu kerak boiler memiliki kandungan berupa silika sebesar 31,45% serta logam-logam lain seperti Kalium dan Natrium [2]. Asam klorida akan bereaksi dengan oksida logam menghasilkan garam dan air [3].

Pemisahan silika dari berbagai macam bahan anorganik telah banyak dilakukan dengan menggunakan metode pelindian. Penelitian mengenai konversi silika dari abu sekam padi dengan metode ekstraksi menggunakan asam klorida memperoleh kandungan silika sebesar 98,74 % [4]. Penelitian mengenai pemisahan logam-logam dengan menggunakan asam juga telah dilakukan. Dari penelitian tersebut didapatkan jumlah peningkatan kadar logam setelah dilindi menggunakan HCl 4,8 M yaitu Ca sebesar 34,9%, Cu sebesar 49,3%, Fe sebesar 50,1%, Mg sebesar 14,4 % dan Zn sebesar 49,2 % [5].

Metode pelindian juga pernah dilakukan pada mineral saponite dengan menggunakan HCl 0,17 M didapatkan jumlah oksida logam yang larut pada proses pelindian yaitu CaO sebesar 75,31%, Fe_2O_3 sebesar 3,93% dan MgO sebesar 31,67%. Sedangkan untuk penggunaan HCl 0,34 M didapatkan jumlah oksida logam yang larut pada proses pelindian yaitu CaO sebesar 77,83%, Fe_2O_3 sebesar 8,36% dan MgO sebesar 41,37% [6]. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa pada proses pelindian, asam memberikan pengaruh yang berbeda untuk masing-masing logam.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian dilakukan untuk menganalisis mekanisme interaksi antara asam klorida dengan senyawa Rb_2O , K_2O , CaO dan P_2O_5 dalam abu kerak boiler dengan mengacu pada hasil uji X-RF (X-ray Fluorescence). Reaksi yang terjadi antara asam dan oksida logam pada proses pelindian dapat dijelaskan menggunakan teori orbit molekular. Teori orbit molekular menggambarkan proses pembentukan ikatan yang terjadi akibat tumpang tindih orbital pada kulit terluar dari atom-atom yang berinteraksi [7]. Proses pembentukan ikatan dalam teori orbit molekular digambarkan dengan meninjau energi relatif dari orbit atomik. Setiap

atom memiliki nilai energi potensial orbital yang berbeda Sehingga energi potensial orbital dapat digunakan untuk memperkirakan energi orbital atomik yang berinteraksi. Energi Potensial orbital secara umum bernilai negatif yang menunjukkan bahwa setiap nilai mewakili tarikan antara elektron valensi dan atom pusat [8].

2. Metodologi

a. Tahapan eksperimental

Alat yang digunakan pada penelitian yaitu, gelas beker, Erlenmeyer, batang pengaduk, hotplate, gelas ukur, timbangan digital, masker, sarung tangan, kertas saring, termometer, palu dan saringan. Bahan yang digunakan pada penelitian yaitu, akuades, HCl 37% p.a, HF p.a dan abu kerak boiler limbah dari industri kelapa sawit.

Langkah awal penelitian adalah persiapan bahan berupa abu kerak boiler. Abu kerak boiler yang digunakan, diperoleh dari PT Bumi Pratama Khatulistiwa. Abu kerak boiler terlebih dahulu dihaluskan dengan palu dan diayak menggunakan saringan. Abu kerak boiler yang sudah halus kemudian ditimbang sebanyak 5 gram dan diuji menggunakan XRF. Kemudian konsentrasi asam untuk proses pelindian ditentukan berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji XRF. Penentuan konsentrasi dilakukan dengan menghitung jumlah HCl yang dibutuhkan untuk melarutkan masing-masing unsur yang terdapat di dalam sampel kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan massa sampel.

Tahap selanjutnya adalah tahap pelindian. Pertama-tama sampel ditimbang sebanyak 30 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beker kemudian dibasahi dengan akuades panas 80°C. Pada proses pelindian pertama, HCl 8M dengan konsentrasi 0,01 g/mL ditambahkan ke dalam gelas beker yang berisi sampel sambil dipanasi dengan suhu 80°C selama 1 jam diatas *hotplate*. Penambahan HCl pada pelindian pertama diulangi sebanyak 3 kali. Kemudian pada pelindian kedua, HCl 0,1 M dengan konsentrasi 4 g/mL tambahkan ke dalam gelas beker yang berisi sampel dan dipanasi dengan suhu 80°C di atas *hotplate* selama 45 menit. Pada pelindian ketiga, HCl 0,1 M dengan konsentrasi 4 g/mL dimasukkan ke dalam gelas beker kemudian ditambahkan HF 18 M dengan perbandingan HCl dan HF adalah 1:3. Pada tahap pelindian ketiga, sampel di panaskan diatas *hotplate* dengan suhu 60°C selama 30 menit. Sampel kemudian dinetralkan dengan cara di cuci menggunakan akuades beberapa kali hingga indikator pH menunjukkan angka 7. Setelah sampel netral, sampel dikeringkan di atas *hotplate*

dan kemudian disimpan di desikator. Proses pelindian pertama hingga pelindian ketiga dilakukan lagi dengan variasi konsentrasi pada pelindian pertama yaitu 0,2 g/mL, 0,39 g/mL, 0,58 g/mL, 0,77 g/mL. Selanjutnya silika yang dihasilkan dari proses pelindian diuji menggunakan XRF, kemudian hasil tersebut dianalisis.

b. Tahapan Analisis

Proses analisis dimulai dengan mengelompokkan unsur-unsur yang terkandung dalam abu kerak boiler berdasarkan golongan dan dibuat konfigurasi elektron masing-masing unsur untuk mengetahui elektron valensi unsur tersebut sehingga dapat diketahui jumlah elektron yang dibutuhkan untuk memenuhi konfigurasi stabil.

Energi potensial orbital elektron dari kulit terluar unsur kemudian dibandingkan dengan energi potensial orbital elektron dari kulit terluar HCl. Mekanisme ikatan yang terjadi antara unsur-unsur dalam sampel dan HCl selanjutnya dianalisis berdasarkan teori orbit molekular dengan membandingkan energi potensial orbital elektron unsur-unsur yang bereaksi.

3. Hasil dan pembahasan

a. Pengaruh proses pelindian asam terhadap logam-logam Golongan IA

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan XRF diketahui jumlah kadar K₂O dan Rb₂O di dalam abu kerak boiler seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1 maka dapat dihitung persentase unsur yang terlarut pada saat proses pelindian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Kadar K₂O dan Rb₂O di dalam sampel

Konsentrasi(%)	Golongan IA	
	K ₂ O	Rb ₂ O
Awal	18,5	0,24
0,01 mL/g	8,18	0,14
0,2 mL/g	9,06	0,13
0,39 mL/g	6,07	0,088
0,58 mL/g	6,46	0,11
0,77mL/g	4,40	-

Hasil penelitian yang ditunjukkan dalam Tabel 1, didapatkan persentase K₂O yang terlarut seiring dengan peningkatan konsentrasi HCl pada proses pelindian mulai dari konsentrasi 0,01 mL/g, 0,2 mL/g, 0,39 mL/g, 0,58 mL/g dan 0,77 mL/g yaitu, 55,78%, 51,02%, 67,18%, 65,08% dan

76,21%, sedangkan untuk Rb₂O yaitu 41,67%, 45,83%, 63,33%, 54,16% dan 100%. Dari persentase tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kadar Rb₂O dan K₂O dalam sampel seiring dengan penambahan konsentrasi HCl dibandingkan dengan sebelum dilindi bahkan Rb₂O tidak ditemukan lagi di dalam sampel setelah dilindi pada konsentrasi HCl 0,77 mL. Hal tersebut terjadi dikarenakan semakin meningkat konsentrasi HCl yang digunakan maka ketersediaan jumlah anion dari Cl untuk mengoksidasi kation dari K maupun Rb semakin banyak pula.

Ketika K₂O maupun Rb₂O direaksikan dengan HCl, kedua senyawa akan saling mendekati satu sama lain dan atom orbital dari masing-masing atom akan saling berinteraksi membentuk orbit molekular.

Tabel 2. Persentase K₂O dan Rb₂O yang terlarut

Konsentrasi (mL/g)	Persentase unsur yang terlarut (%)	
	K ₂ O	Rb ₂ O
0,01	55,78	41,67
0,2	51,02	45,83
0,39	67,18	63,33
0,58	65,08	54,16
0,77	76,21	100

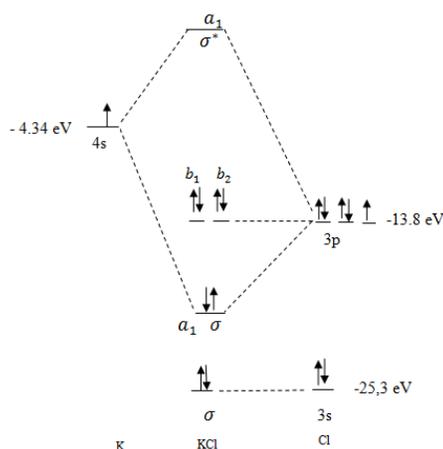
Pembentukan senyawa yang terjadi ketika atom kalium (K) bereaksi dengan atom klor (Cl) disebabkan oleh tumpang tindih orbital 3p dan 4s. Satu orbital 3p dan satu orbital 4s membentuk satu orbital ikatan (σ) dan satu orbital anti ikatan (σ*) yang memiliki simetri a₁, sedangkan orbital 3p dari Cl yang sudah berpasangan tidak terlibat dalam pembentukan ikatan. Dua pasang orbital 3p dari Cl membentuk 2 ikatan phi (π) yang memiliki simetri b₁ dan b₂. Orbital 3p dari Cl dan 4s dari K memiliki perbedaan energi potensial orbital sebesar 9,33 eV.

Pembentukan senyawa yang terjadi ketika atom rubidium bereaksi dengan atom klor disebabkan oleh tumpang tindih orbital 3p dan 5s. Satu orbital 3p dan satu orbital 5s membentuk satu orbital ikatan sigma (σ) dan satu orbital anti ikatan (σ*) yang memiliki simetri a₁. Sedangkan orbital 3p dari klor yang berpasangan tidak terlibat dalam pembentukan ikatan. Dua pasang orbital 3p dari klor membentuk 2 ikatan phi (π) yang memiliki simetri b₁ dan b₂. Orbital 3p dari Cl dan 5s dari Rb memiliki perbedaan energi potensial orbital sebesar 4,2 eV.

Tabel 3. Nilai Potensial energi orbital

Atom	Cl	K	Rb
1s			
2s			
2p			
3s	25,3		
3p	13,8		
3p			
4s		4.34	
4p			
5s			9.46

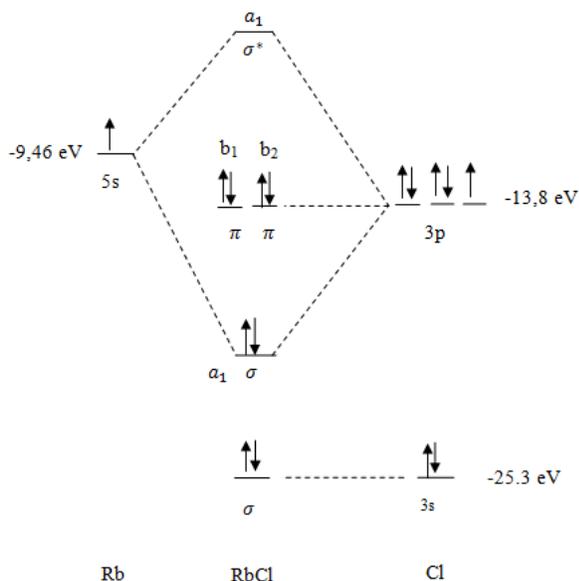
Orbit atomik K₂O memiliki energi yang berbeda dengan orbit atomik Rb₂O sehingga saat berinteraksi dengan HCl, baik K₂O maupun Rb₂O akan memberikan kontribusi yang berbeda dalam membentuk orbit molekular. Berdasarkan perbedaan energi potensial orbital, ikatan yang terjadi antara HCl dan Rb₂O lebih kuat dibandingkan dengan reaksi yang terjadi antara HCl dan K₂O dikarenakan perbedaan energi potensial orbital yang kecil antara 5s pada Rb (-9,46 eV) dan energi potensial orbital 3p pada Cl (-13,67 eV) yaitu sebesar 4,2 eV, sedangkan perbedaan energi dari orbital 4s pada K₂O terhadap energi orbital 3p pada Cl sebesar 9,33 eV, karena semakin kecil perbedaan energi orbital berarti semakin kuat interaksi yang terjadi. Berdasarkan perbedaan energi tersebut maka Rb lebih banyak larut dalam HCl dibandingkan K. Diagram pembentukan orbit molekular KCl dan RbCl dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Diagram MO untuk KCl

Namun berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa setelah proses pelindian,

jumlah penurunan kadar K_2O lebih banyak dibandingkan Rb_2O seperti terlihat pada konsentrasi HCl 0,01 mL/g, logam K_2O yang hilang setelah proses pelindian sebesar 55,78% sedangkan logam Rb_2O yang hilang sebesar 41,6%. Hal tersebut dikarenakan jari-jari atom dari Rb (2,48) lebih besar dibandingkan dengan jari-jari atom K (2,35) yang berarti bahwa atom K akan lebih mudah larut dalam asam.



Gambar 2. Diagram MO untuk RbCl

b. Pengaruh proses pelindian asam terhadap logam-logam golongan IIA

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan XRF diketahui jumlah kadar CaO di dalam abu kerak boiler seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan data pada Tabel 4 maka dapat dihitung persentase unsur yang terlarut pada saat proses *leaching* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4 Kadar CaO di dalam sampel

Konsentrasi(%)	Golongan IIA
	CaO
Awal	26,9
0,01 mL/g	4,06
0,2 mL/g	4,18
0,39 mL/g	2,88
0,58 mL/g	3,27
0,77mL/g	2,48

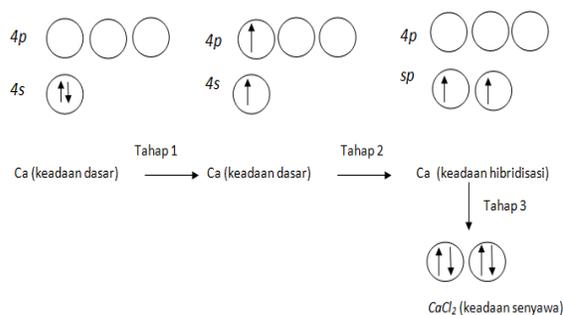
Berdasarkan aturan konfigurasi elektron menyatakan bahwa semua elektron pada kalsium (Ca) saling berpasangan dalam spin sehingga tidak memungkinkan untuk bisa membentuk ikatan dengan atom lain. Namun, fakta membuktikan bahwa kalsium dapat membentuk senyawa $CaCl_2$ ketika bereaksi dengan HCl sehingga dibutuhkan suatu gambaran untuk menjelaskan proses terbentuknya $CaCl_2$.

Pembentukan $CaCl_2$ dapat dijelaskan dengan membuat suatu gambaran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Pembentukan $CaCl_2$ terjadi melalui beberapa tahapan yaitu tahap pertama berisi pembentukan orbital yang setengah terisi yang sama dengan jumlah ikatan yang dibentuk oleh atom pusat.

Tabel 5 Persentase CaO yang terlarut

Konsentrasi (mL/g)	Persentase CaO yang terlarut (%)
0,01	84,9
0,2	84,46
0,39	89,29
0,58	87,84
0,77	90,78

Tahap kedua mencakup hibridisasi orbital-orbital setengah terisi (dari) atom pusat. Pada $CaCl_2$, kalsium membentuk dua ikatan ke Klor, satu orbital dari $4s$ dihibridisasikan dengan orbital $4p$ untuk membentuk 2 ikatan hibrid sp . Tahap ketiga melibatkan tumpang tindih orbital hibrid sp dengan orbital $3p$ yang setengah terisi dari atom klor, untuk membentuk 2 ikatan $sigma$.



Gambar.3 Pemaparan skema pembentukan molekul $CaCl_2$

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan dalam Tabel 5, didapatkan persentase CaO yang terlarut seiring dengan peningkatan konsentrasi HCl pada proses pelindian mulai dari konsentrasi 0,01 mL/g, 0,2 mL/g, 0,39 mL/g, 0,58

mL/g dan 0,77 mL/g yaitu, 84,9%, 84,46%, 89,29%, 87,84% dan 90,78%. Ketika CaO direaksikan dengan HCl, kedua senyawa akan saling mendekati satu sama lain dan orbit atomik dari masing-masing atom akan saling berinteraksi membentuk orbit molekular.

Mekanisme yang terjadi saat HCl bereaksi dengan CaO dapat dijelaskan dengan membandingkan energi orbital atomik kedua senyawa tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Perbedaan energi orbital 3s dari Cl lebih rendah 19,12 eV daripada orbital 4s dari Ca sehingga interaksi yang terjadi sangat kecil. Namun perbedaan energi orbital 3p dari Cl dan 4s dari Ca hanya sebesar 7,56 eV sehingga menyebabkan terjadi ikatan antara Cl dan Ca.

Tabel 6 Nilai Potensial Energi Orbital

Atom	Ca	Cl
1s		
2s		
2p		
3s		25,3
3p		13,8
3p		
4s	6,07	
4p		
5s		

c. Pengaruh proses pelindian asam terhadap logam-logam golongan VA

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan XRF diketahui jumlah kadar P₂O₅ di dalam abu kerak boiler seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan data pada Tabel 7 maka dapat dihitung persentase unsur yang terlarut pada proses *leaching* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8

Tabel 7 Kadar P₂O₅ di dalam sampel

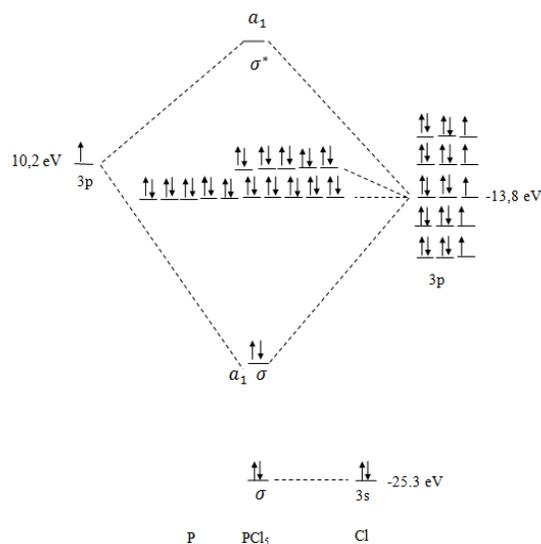
Konsentrasi	Golongan IVA	
	P ₂ O ₅	
Awal	6,28	
0,01 mL/g	8,72	
0,2 mL/g	2,3	
0,39 mL/g	-	
0,58 mL/g	1,7	
0,77mL/g	-	

Tabel 8 Persentase P₂O₅ yang terlarut

Konsentrasi (mL/g)	Persentase P ₂ O ₅ yang terlarut (%)
0,01	-27,8
0,2	63,37
0,39	100
0,58	72,92
0,77	100

Dari Tabel 8 terlihat bahwa pada konsentrasi HCl 0,01 mL/g terjadi peningkatan kadar P₂O₅ sebesar 27,98%, hal tersebut mungkin saja terjadi pada analisis pengujian secara kuantitatif. Jika kadar suatu senyawa di dalam sampel mengalami penurunan maka mungkin saja akan diiringi dengan peningkatan senyawa lain karena penentuan jumlah kadar senyawa dilakukan dengan membandingkan keseluruhan senyawa yang ada di dalam sampel. Namun pada variasi konsentrasi yang lain terjadi penurunan kadar P₂O₅ dalam sampel dibandingkan pada saat sebelum dileaching, bahkan pada konsentrasi 0,39 mL/g dan 0,77 mL/g tidak ditemukan lagi P₂O₅ di dalam sampel karena P₂O₅ terlarut seluruhnya dalam pelarut.

Perbedaan energi orbital 3s dari Cl lebih rendah 15,58 eV daripada orbital 3p dari P sehingga interaksi yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan interaksi antara 3p dari Cl dan 3p dari P yang memiliki perbedaan energi sebesar 4,02 eV.



Gambar. 4 Diagram MO untuk PCl₅

Ketika P_2O_5 direaksikan dengan HCl, kedua senyawa akan saling mendekati satu sama lain dan atomik orbital dari masing-masing atom akan saling berinteraksi membentuk molekular orbital. Mekanisme yang terjadi saat HCl bereaksi dengan P_2O_5 dapat dijelaskan dengan membandingkan energi orbital atomik kedua senyawa tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 9 Nilai Potensial Energi Orbital

Atom	P	Cl
1s		
2s		
2p		
3s	18,7	25,3
3p	10,2	13,8
3p		
4s		
4p		
5s		

Kesimpulan

Hasil dari proses pelindian untuk logam-logam alkali menunjukkan bahwa jumlah penurunan kadar K_2O lebih banyak dibandingkan Rb_2O karena atom kalium cenderung lebih mudah larut dalam asam. Pelarutan kalsium (Ca) oleh HCl dalam bentuk garam KCl disebabkan oleh interaksi antara orbital 3p Klor dan 4s Kalsium dengan perbedaan energi potensial orbital sebesar 7,56 eV. Pelarutan fosfor disebabkan oleh interaksi antara orbital 3p klor dan 3p fosfor yang memiliki perbedaan energi sebesar 4,02 eV.

Daftar Pustaka

- Wayuningsih S, Hidayatullah H, Pramono E, Sentot RB, Ramelan AH, Firdiyono F, et al. Optimasi Pemisahan TiO_2 Dari Ilmenite Bangka Dengan Proses Leaching Menggunakan HCl. *Alchemy jurnal penelitian kimia*. 2014; 10: p. 54-68.
- Ginting EM, Bukit N. Thermal Analysis And Structure Of Nano Composite Palm Oil Boiler Ash. In *The First International Seminar on Trends in Science and Science Education*; 2014; medan.
- Pratomo I, Wardhani S, Purwonugroho D. Pengaruh Teknik Ekstraksi Dan Konsentrasi Hcl Dalam Ekstraksi Silika Dari Sekam Padi Untuk Sintesis Silika Xerogel. *Kimia Student Journal*.

2013; 2: p. 358-364.

- Subakti A, Malino MB, Nurhasanah. Optimasi Kandungan Silikon Dalam Produk Reaksi Metalotermis Silika Dari Abu Sekam Padi Dan Aluminium Berdasarkan Lama Waktu Reaksi. *Prisma Fisika*. 2013; 1: p. 1-3.
- Barrera PB, Naveiro OM, Pineiro AM, Barrera AB. Experimental Designs In The Optimisation Of Ultrasonic Bath-Acid-Leaching Procedures For Determination Of Trace Elements In Human Hair Samples By Atomic Absorption Spectrometry. *Forensic Science International*. 2000; 107: p. 105-120.
- Vicente MA, Suarez M, Lopez Gonzales JdD, Banares Munoz MA. Characterization, Surface Area, And Porosity Analyses Of The Solids Obtained By Acid Leaching Of A Saponite. *langmuir*. 1996; 12, 566-572.
- Keenan CW, Kleinfelter DC, Wood JH. *Ilmu Kimia untuk Universitas Jakarta*: Erlangga; 1992.
- Miessler GL, Tarr DA. *Inorganic Chemistry*. third edition ed. St. Olaf College, Minnesota: Pearson Education International; 1996.