

LOGAM NIKEL DARI MINERAL LATERIT MENGGUNAKAN ELEKTROLIT BASA CAIRAN IONIK: ANALISIS KONTEN KUALITATIF

Nisyya Syarifatul Husna ^{1*}, Ahmad Mudzakir ², Hernani ³

Mahasiswa Pendidikan IPA, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi 229 Bandung 40154, Indonesia, nisyyahusna@upi.edu¹

Department Pendidikan Kimia, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi 229 Bandung 40154, Indonesia, mudzakir.kimia@upi.edu²

Department Pendidikan Kimia, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi 229 Bandung 40154, Indonesia, hernani@upi.edu³

*Email : mudzakir.kimia@upi.edu

Abstrak

Nikel laterit adalah mineral yang langka di dunia namun banyak ditemukan di Indonesia dan endapannya berada dipermukaan. Pengolahan nikel laterit harus mempertimbangkan keberlanjutan dari aspek ekonomi, sosial dan lingkungan, dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip dasar molekuler. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh konsepsi ilmuwan tentang ekstraksi nikel dari mineral laterit menggunakan cairan ionik yang disajikan dalam bentuk peta konsekuensi yang dapat diintegrasikan pada proses belajar mengajar. Metode yang digunakan adalah metode kualitatif analisis konten secara deskriptif. Kategori yang diperiksa dan pilihan akan disajikan menurut dua pendapat ahli di bidang analisis isi. Pengaturan telah dibuat dalam bentuk kesesuaian dengan pendapat ahli. Data yang diragukan didiskusikan secara holistik terhadap analisis isi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan nikel laterit untuk proses belajar mengajar dapat dianalisis melalui pendekatan deskriptif. Konsepsi ilmuwan yang diperoleh meliputi definisi, konfigurasi elektron, sifat, kelimpahan, proses produksi, daur ulang, penggunaan cairan ionik pada pengendapan nikel, dan kegunaan nikel. Peta Konsep menggambarkan potensi konsekuensi yang diinginkan dan tidak diinginkan dari logam nikel. Melalui analisis konten kualitatif, terbukti bahwa pengendapan nikel dapat dilakukan dengan laju pengendapan cairan ionik yang dapat mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan dari aspek ekonomi, sosial dan lingkungan. Pengembangan materi dapat disajikan melalui percobaan pada pada topik logam transisi. Pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk memperoleh pelarut alternatif lain yang ramah lingkungan. Peta konsekuensi dapat digunakan dalam mengembangkan bahan ajar.

Kata kunci: ekstraksi nikel, mineral laterit, cairan ionik, analisis konten kualitatif, belajar mengajar

PENDAHULUAN

Nikel digunakan secara industri sebagai logam paduan hampir 2.000 tahun sebelum diisolasi dan dikenali sebagai elemen baru. Nikel adalah logam nonferrous yang penting dan banyak digunakan untuk baja tahan karat dan baja paduan, pelapisan baja, atau katalis dalam proses hidrogenasi industri kimia minyak bumi [1]. Nikel berasal dari bahasa Jerman yang berarti “tembaga Iblis.” Sehingga atas alasan inilah nikel dimaknai logam yang stabil, tidak terpengaruh oleh udara dan air tetapi larut dalam asam. Ciri utama dari nikel akan tahan karat dan lembek sehingga dalam pengolahannya dipadukan dengan logam lain untuk menghasilkan paduan dengan kombinasi sifat yang memberikan kelenturan dan kekuatan pada suhu tinggi. Nikel memiliki sifat keras, mudah dibentuk dan ulet, dan memiliki konduktivitas listrik dan panas yang relatif tinggi untuk logam-logam transisi.

Bijih nikel yang penting secara komersial terdiri dari dua jenis yaitu laterit dan sulfida. laterit merupakan bijih oksida atau silikat seperti garnierit, $(\text{Ni},\text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, dan mengandung nikel limonit, $(\text{Fe},\text{Ni})\text{O}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$, yang terkonsentrasi oleh pelapukan di daerah hujan tropis seperti Kaledonia Baru, Kuba dan Queensland. Sulfida seperti pentlandit, $(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$, berasosiasi dengan tembaga, kobalt dan logam mulia sehingga bijihnya biasanya mengandung sekitar 11% Ni. Ini ditemukan di daerah yang lebih beriklim seperti Kanada, Uni Soviet dan Afrika Selatan [2].

Indonesia sebagai negara produsen nikel terbesar di dunia dengan produksi tembus 1 juta ton pada 2021. Data Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat sumber daya

dan cadangan nikel di Indonesia masih menunjukkan jumlah yang sangat menjanjikan. Cadangan nikel yang tercatat terbagi atas dua jenis yakni bijih dan logam. Hasil rekapitulasi tersebut berasal dari data rincian lokasi sumber daya dan cadangan, keterangan kadar. Jumlah cadangan logam nikel pada tahun 2022 yang terkira adalah sebanyak 40,99 juta ton dengan cadangan terbukti sebanyak 16,11 juta ton. Dengan demikian, total cadangan nikel dalam jenis logam yakni sebanyak 57,11 juta ton. Sementara itu, jumlah cadangan logam nikel yang terkira adalah sebanyak 40,99 juta ton dengan cadangan terbukti sebanyak 16,11 juta ton. Dengan demikian, total cadangan nikel dalam jenis logam yakni sebanyak 57,11 juta ton. Tren produksi olahan nikel di Indonesia mengalami pertumbuhan setiap tahunnya.

Nikel laterit adalah endapan bijih nikel yang berasal dari hasil proses pelapukan batuan ultrabasa. bijih nikel laterit merupakan mineral yang mengandung senyawa oksida besi-nikel. Nikel laterit secara umum dapat diklasifikasikan menjadi jenis bijih limonit dan saprolit. Jumlah oksida besi dalam limonit jauh lebih tinggi daripada saprolit, tetapi kandungan nikel dan magnesium lebih rendah dari saprolit. Ada dua keuntungan pengembangan yang signifikan untuk bijih laterit nikel yaitu cadangan berlimpah dan endapan terjadi di permukaan sehingga dapat ditambang dari permukaan [2]. Oleh karena itu, proses pengolahan yang menguntungkan untuk pemanfaatan bijih nikel laterit yang efisien harus sangat diperhatikan dan diteliti secara mendalam [3].

Secara umum teknologi pengolahan nikel laterit yaitu hidrometalurgi dan pirometalurgi. Hidrometalurgi merupakan metode yang menggunakan pelindian dan larutan seperti asam untuk mengekstraksi nikel laterit. Metode dengan pelindian asam yang bertekanan adalah metode yang paling optimal untuk mendapatkan nikel dengan *grade* dan *recovery* tertinggi. Akan tetapi metode ini memiliki dampak pencemaran lingkungan akibat hasil proses pelindian dan waktu yang lama. Metode yang kedua, yaitu pirometalurgi menggunakan temperatur tinggi sampai 1600°C sehingga membutuhkan banyak energi seperti proses *blast furnace*. Metode dengan rotary kiln-electric furnace merupakan metode optimal dalam pengembangan nikel laterit. Akan tetapi kekurangannya yaitu tanpa pemisahan pengotor, energi yang besar, serta masih ada permasalahan teknis seperti adanya material yang mengalami *melt partial* [4]. Proses pirometalurgi dan hidrometalurgi masih memberikan dampak buruk terhadap lingkungan. Hasil pembelajaran yang diintegrasikan melalui pendidikan kimia di semua tingkatan, harus mempertimbangkan manfaat bahan kimia dan bahaya penggunaannya secara bersama [5]. Keberhasilan dalam mengintegrasikan keberlanjutan ke dalam praktik kimia merupakan peran penting bagi pendidikan kimia untuk membekali mahasiswa dengan lebih baik dalam menangani keberlanjutan bumi dan pertimbangan tentang bagaimana generasi mendatang dapat hidup dalam ambang batas aman [6], sehingga praktek pembelajaran kimia harus dialihkan dari pelarut yang berbahaya ke pelarut yang ramah lingkungan.

Sejarah pelapisan nikel pada elektrodeposisi nikel pertama kali dijelaskan pada tahun 1837. G. Bird pada larutan elektrolisis nikel klorida atau sulfat selama beberapa jam dan diperoleh kerak logam nikel pada elektroda platinum [7]. Dalam upaya umum untuk mengatasi beberapa kelemahan elektroplating dalam larutan air (misalnya efisiensi arus rendah, kontrol proses yang ketat, kompleksitas pengendapan dan aditif) elektrodeposisi logam menggunakan cairan ionik dan pelarut eutektik dalam (DES) adalah topik yang saat ini mendapatkan perhatian yang signifikan karena kemampuan untuk menyimpan logam reaktif dan paduan logam yang tidak dapat dicapai pada larutan dalam air [8]–[10].

Perserikan Bangsa-Bangsa (PBB) secara resmi mengesahkan agenda tujuan pembangunan berkelanjutan. Menurut Anastas (2016) saat kita melihat peran kimia di masa depan dan berkontribusi untuk merancang jalan menuju masa depan yang berkelanjutan, maka ahli kimia harus memahami bagaimana memanipulasi materi [11]. Ahli kimia harus bertanggung jawab untuk memahami secara mendalam dunia material dan bagaimana fungsinya. Lebih penting lagi, mungkin mereka juga memainkan peran penting dalam menciptakan basis material masyarakat dan ekonomi kita [11].

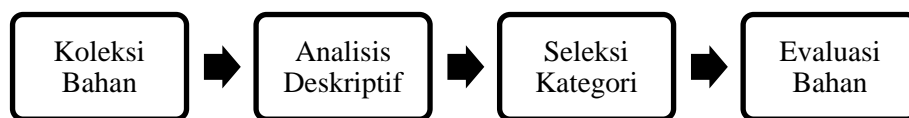
Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, perlu dikembangkan suatu desain pembelajaran kimia logam nikel dari mineral laterit serta proses produksi yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan untuk memperkuat keterampilan berpikir sistem mahasiswa. Sebuah desain pembelajaran yang baik harus mempertimbangkan pengetahuan dengan kesepakatan para ilmuwan. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan konsepsi ilmuwan tentang unsur logam nikel melalui *Qualitative Content Analysis* (QCA). Hasil disajikan dalam bentuk peta konsep yang dapat dikembangkan menjadi bahan ajar

Bijih nikel laterit merupakan mineral yang mengandung senyawa oksida besi-nikel. Teknologi pengolahan nikel laterit secara umum ada 3 metode yaitu hidrometalurgi, pirometalurgi dan reduksi selektif. Hidrometalurgi merupakan metode yang menggunakan pelindian dan larutan seperti asam untuk mengekstraksi nikel laterit. Metode dengan pelindian asam yang bertekanan adalah metode yang paling optimal untuk mendapatkan nikel dengan grade dan recovery tertinggi. Akan tetapi metode ini memiliki dampak pencemaran lingkungan akibat hasil proses pelindian dan waktu yang lama.

Metode yang kedua, yaitu pirometalurgi menggunakan temperatur tinggi sampai 1600°C sehingga membutuhkan banyak energi seperti proses blast furnace. Metode dengan rotary kiln-electric furnace merupakan metode optimal dalam pengembangan nikel laterit. Akan tetapi kekurangannya yaitu tanpa pemisahan pengotor, energi yang besar, serta masih ada permasalahan teknis seperti adanya material yang mengalami melt partial. Metode yang ketiga yaitu reduksi selektif merupakan proses pemisahan dengan menyeleksi terbentuknya besi oksida sehingga mendapatkan kadar nikel yang tinggi tanpa energi yang tinggi. Hal ini disebabkan adanya penambahan aditif untuk menghambat terbentuknya besi dan menurunkan temperatur reduksi. Metode ini sebagai alternatif pengolahan bijih nikel laterit jenis limonit dan saprolit menjadi konsentrat nikel dengan kadar nikel di atas 5 %.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis isi kualitatif. Penelitian ini merupakan pemaparan secara deskriptif dimana peneliti sebagai instrumen penelitian. Pemaparan penelitian berdasarkan sudut pandang subjektif dan objektif peneliti [12]. Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti tahapan analisis isi kualitatif secara umum yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Tahap analisis isi kualitatif umum (Seuring, 2005) [13].

Pada tahap pertama penulis mengumpulkan bahan sesuai dengan tujuan penelitian. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian bahan adalah “*nickel laterite processing and ionic liquid electrolytes*”. Kemudian diidentifikasi bahan dari berbagai literatur dengan memperhatikan jenis bahan dan identitas bahan yang digunakan. Bahan yang sesuai kemudian menjadi fokus yang disajikan kedalam tabel untuk dianalisis sesuai dengan jenis literatur, sehingga yang menjadi sampel penelitian ini adalah artikel internasional dan buku terkait tujuan penelitian. Sampel penelitian di pilih berdasarkan pertimbangan kajian

Tahap kedua dilakukan analisis secara deskriptif. Koleksi bahan yang diperoleh pada tahap pertama dilakukan analisis secara deskriptif dengan mereduksi teks-teks dari berbagai literatur menjadi teks-teks yang lebih singkat dengan tetap mempertahankan kandungan dari esensi materi tersebut, beberapa analisis isi yang memiliki kesamaan digabungkan dan dikonstruksi untuk membentuk teks utama yang menggambarkan konten yang dianalisis. Hasil analisis disajikan kedalam bentuk tabel.

Tahap ketiga adalah pemilihan kategori. Pada tahap ini konsep-konsep terkait unsur nikel atau nikel laterit yang telah diperoleh dari berbagai macam literatur disusun dan diberi kategori. Kategori yang termasuk dalam artikel yang diperiksa dan pilihan kemudian disajikan menurut dua pendapat ahli di bidang analisis isi konten. Penyajian telah dibuat dalam bentuk kesesuaian dengan pendapat ahli. Data yang diragukan didiskusikan secara holistik terhadap analisis isi. Hasil pemilihan kategori disajikan dalam bentuk peta konsep.

Tahap keempat adalah evaluasi materi. Pada tahap ini materi hasil analisis diurutkan berdasarkan kategori secara kualitatif, kemudian data diorganisasikan untuk memperoleh kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koleksi Bahan

Hasil penelusuran diperoleh dua artikel internasional terindeks scopus dan dua buku internasional. Artikel dan buku yang diperoleh berdasarkan pertimbangan relevansi dengan tujuan penelitian ini. Dua buku yang digunakan terkait dengan logam nikel, seperti sejarah, kelimpahan logam nikel dan distribusi di bumi, preparasi dan penggunaan unsur, sifat-sifat unsur, reaktivitas dan tren kimia, serta persenyawaannya. Sedangkan dua artikel yang diperoleh terkait dengan elektrodeposisi mineral laterit menggunakan elektrolit cairan ionik. Keempat bahan disajikan kedalam tabel. Tabel 1 menunjukkan daftar literatur yang digunakan untuk analisis isi yang terkait dengan logam nikel dari mineral laterit menggunakan cairan ionik.

Tabel 1. Literatur yang digunakan untuk analisis isi

Tahun	Jenis	Pengarang	Judul
1998	Buku	N.N. Greenwood dan A. Earnshaw	Chemistry of the Elements
2012	Buku	Glen E. Rodgers	Inorganic Coordination, and solid-state Chemistry
2015	Jurnal	Andrew P. Abbotta, Andrew Ballantyne, Robert C. Harrisa, Jamil A. Jumaa,b , Karl S. Rydera	A Comparative Study of Nickel Electrodeposition Using Deep Eutectic Solvents and Aqueous Solutions
2017	Jurnal	Franziska-Jane Albler, Katharina Bica, Mark R.StJ. Foreman, Stellan Holgerssonb and Mikhail S. Tyumentsev	A comparison of two methods of recovering cobalt from a deep eutectic solvent: Implications for battery recycling.

Sumber: [2], [14]–[16]

Analisis Deskriptif

Masing-masing bahan yang menjadi fokus penelitian ini dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh informasi mengenai konten nikel laterit dan cairan ionik, seperti definisi, konfigurasi elektron, sifat, kelimpahan, proses produksi, daur ulang, penggunaan cairan ionik pada pengendapan nikel, dan kegunaan nikel. Keilmuwan yang sama yang diperoleh dari literatur disajikan dalam tabel yang sama. Tabel 2 merupakan hasil analisis isi untuk nikel dan elektrolit basa cairan ionik sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil analisis nikel dan cairan ionik dari berbagai literatur

Isi	Hasil Analisis
Definisi	Nikel laterit merupakan biji oksida/silikat dan mengandung nikel limonit yang terkonsentrasi oleh proses pelapukan di daerah tropis [2].
Konfigurasi Elektron	Konfigurasi elektron mempengaruhi sifat-sifat fisika dan kimia nikel [16].
Sifat	Sifat Fisika: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kesulitan dalam mencapai kemurnian tinggi juga sering menyebabkan nilai yang berbeda untuk beberapa sifat fisik, sementara sejarah mekanik memiliki pengaruh yang cukup besar pada sifat seperti kekerasan. ▪ Logamnya berwarna putih keperakan dan berkilau, dan dapat ditempa dan ulet sehingga mudah dikerjakan.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nikel bersifat feromagnetik <p>Sifat Kimia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sangat tahan terhadap korosi atmosfer pada suhu normal ▪ Piroforik (karena itu katalis Ni yang terbagi halus harus ditangani dengan hati-hati) ▪ Jika di bakar reaksi berlangsung cepat ▪ Larut dalam HNO₃ dan aquaragia 9 [2].
Kelimpahan	Nikel adalah logam transisi ketujuh yang paling melimpah dan unsur kedua puluh dua yang paling melimpah di kerak bumi (99ppm) [2].
Proses Produksi	Pirometalurgi dan Hidrometalurgi [15].
Daur Ulang	Kemajuan menuju proses industri yang berkelanjutan untuk daur ulang baterai yang tidak diinginkan dapat menggunakan pelarut DES [15].
Elektrodeposisi Nikel	Pada kondisi konsentrasi dan suhu yang sama nikel dapat dielektrodeposisi pada tingkat yang sebanding dari DES dan dua larutan dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa viskositas dan konduktivitas bukan merupakan faktor pembatas laju pengendapan logam. Spesiasi sangat berbeda dalam dua cairan dan ini mengarah pada morfologi endapan yang berbeda. Cairan pelapisan nikel ionik menghasilkan morfologi nano-kristal sedangkan dua larutan dalam air menghasilkan endapan mikro-kristal. lapisan nikel yang diendapkan dari Ethaline padat, datar dan permukaan yang seragam. Sedangkan dalam larutan air deionisasi juga memberikan endapan padat tetapi permukaan lebih kasar dan kusam. Deposit nikel dari DES memiliki nilai kekerasan yang lebih dari 100 HV lebih keras dari larutan dalam air [14]. Keuntungan dari pelarut eutektik dalam bahwa banyak cairan ionik memungkinkan untuk membuat pelarut eutektik dalam dari senyawa yang murah dan relatif tidak berbahaya seperti kolin klorida dan asam laktat [15].
Kegunaan Nikel	Sebagian besar ini digunakan dalam produksi paduan baik besi dan non-besi, penggunaan baja "Alnico" untuk magnet permanen, sebagai bahan campuran dalam pembuatan stainless steel, digunakan untuk pembuatan mata uang, sebagai katalis dalam hidrogenasi minyak nabati tak jenuh, dan merupakan komponen dalam baterai [2].

Ketersediaan mineral laterit dalam jumlah yang besar dan keberadaannya yang berada dipermukaan tanah, serta kegunaannya di berbagai bidang menjadi daya tarik, khususnya dibidang industri. Tetapi masih terdapat masalah terhadap pengolahan teknologi yang tidak ramah lingkungan, proses produksi dapat mencemari udara dan air, selain itu, disebutkan juga bahwa kerusakan lingkungan terjadi karena penggunaan asam beracun. Hal ini tidak sesuai dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) dimana bahan kimia yang digunakan sebagai pelarut yang berpotensi mencemari lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, pemahaman prinsip dasar molekuler keberlanjutan perlu diintegrasikan kedalam pembelajaran kimia agar mahasiswa dapat memahami bahwa masalah berasal dari dimensi molekuler, yaitu penggunaan pelarut berbahaya. Mahasiswa bisa mencari solusi dari dimensi molekuler, seperti mencari pelarut alternatif yang ramah lingkungan. Dari analisis isi diperoleh bahwa cairan ionik merupakan pelarut alternatif, yang menghasilkan morfologi nano-kristal, lapisan nikel yang diendapkan padat, datar dan permukaan yang seragam serta kekerasan lebih dari 100 HV, keuntungan lainnya selain tidak berbahaya bagi lingkungan, pelarut di buat dari senyawa yang relatif murah.

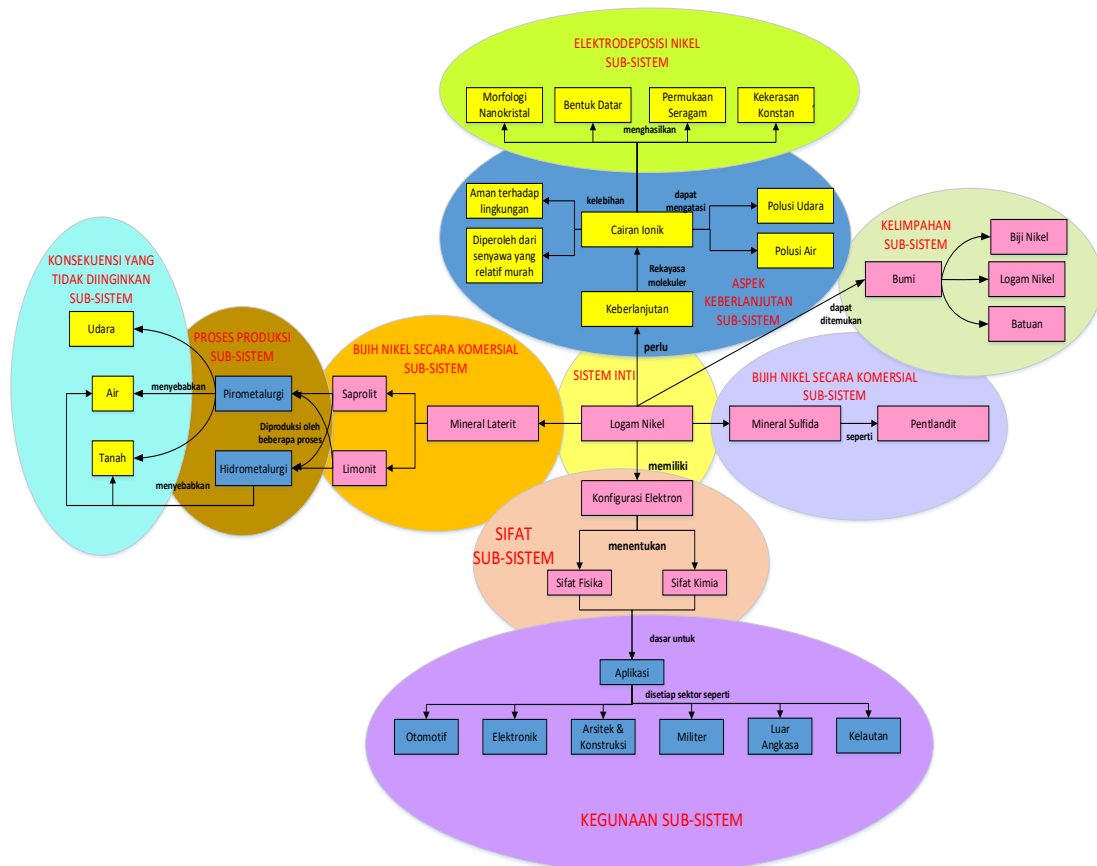
Seleksi Kategori

Dari analisis isi dari berbagai literatur diperoleh konsep yang berkaitan dengan nikel laterit, proses produksi nikel dan cairan ionik. Agar konsep disajikan saling berhubungan maka perlu menyusun keterkaitan masing-masing konsep, tujuannya adalah untuk melihat pola hubungan dan interaksi dari setiap komponen yang terlibat. Konsep-konsep yang memiliki kesamaan dapat dikategorisasikan.

Konsep nikel laterit mengintegrasikan menjadi tiga kategori berbeda yaitu sains, teknologi, dan rekayasa. Kategori sains merupakan aspek konten sains berpusat pada materi pelajaran sains yang berfokus pada (fakta, konsep, hukum, teori) yang dikembangkan oleh komunitas ilmiah, menciptakan interpretasinya tentang dunia alami. Kategori teknologi memuat proses dan produk yang dibutuhkan

masyarakat. Kategori rekayasa adalah profesi di mana pengetahuan dan ilmu alam yang diperoleh melalui studi, pengalaman, dan praktik yang diterapkan dengan pertimbangan untuk mengembangkan cara-cara kebermanfaatannya secara ekonomis, bahan dan kekuatan alam untuk kepentingan umat manusia [17]. Ketiga kategori disajikan dalam warna yang berbeda. Untuk kategori sains menggunakan warna merah muda, kategori teknologi menggunakan warna biru dan kategori rekayasa menggunakan warna kuning.

Setelah diperoleh kategorisasi dari sains, teknologi dan rekayasa, selanjutnya dikelompokkan kedalam sistem dengan mengadaptasi dari *System Oriented Concept Map Extension (SOCME)* yang dikembangkan oleh Mahaffy dkk (2019), yaitu kategorisasi menggunakan alat visualisasi untuk menggambarkan bagaimana pendidik dapat membantu mahasiswa untuk bergerak melampaui pemikiran reduksionis dan melihat sistem konsep dan topik yang saling terkait. Dengan bantuan dari SOCME, yang terkait dengan beberapa subsistem mengundang pemeriksaan tentang bagaimana zat dan proses saling mempengaruhi, bagaimana perilaku sistem dapat berubah dari waktu ke waktu, dan bagaimana hasil yang diinginkan dapat diperoleh dengan mengubah nilai elemen yang saling terkait dari sistem tersebut. Peta konsekuensi ini membantu untuk memperjelas perbedaan antara pendekatan keterampilan berpikir sistem dan praktik pembelajaran berbasis konteks, dimungkinkan untuk melibatkan mahasiswa dengan kegiatan yang mempromosikan pendekatan sistem [6]. Hasil diperoleh pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Bentuk SOCME logam nikel

Evaluasi Bahan

Pada gambar 2 disajikan visualisasi beberapa koneksi antara logam nikel, proses produksi dan cairan ionik dan subsistem lain yang berpotensi menarik. Hasil SOCME dapat membantu untuk mengembangkan keterampilan berpikir siswa dan praktik pembelajaran berbasis konteks, memahami bagaimana teori pembelajaran dan konteks sosial dan lingkungan berlaku untuk pengajaran dan

pembelajaran kimia akan diperlukan dalam reorientasi pendidikan kimia untuk lebih memahami keberlanjutan pada level molekuler. Hasil dari peta konsekuensi juga dapat dikembangkan sebagai dasar penyusunan bahan ajar pada mata kuliah kimia anorganik maupun pengembangan program perkuliahan kimia metalurgi unsur transisi pada mata kuliah pilihan.

KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa sebanyak empat literatur dapat menganalisis logam nikel dari mineral laterit menggunakan elektrolit basa cairan ionik sebagai proses produksi yang ramah lingkungan dan dapat diintegrasikan ke dalam proses belajar mengajar. Dari konten yang disajikan secara terisolasi pada materi nikel, kimia metalurgi dan cairan ionik diperoleh konsepsi ilmuwan meliputi definisi, konfigurasi elektronik, sifat, kelimpahan, proses produksi, daur ulang, penggunaan cairan ionik pada pengendapan nikel, dan kegunaan nikel. Hasil SOCME menunjukkan unsur nikel sebagai sistem yang kompleks dapat diintegrasikan kedalam kategori sains, teknologi dan rekayasa dan masing-masing dapat dikelompokkan kedalam sistem yang saling terkait. Topik logam nikel dapat disajikan dari materi konkrit ke materi abstrak dan pembelajaran dapat dimulai dengan mengenalkan masalah sosial, ekonomi, politik dan lingkungan. Dari analisis isi diperoleh bahwa cairan ionik merupakan pelarut alternatif, yang menghasilkan morfologi nano-kristal, lapisan nikel yang diendapkan padat, datar dan permukaan yang seragam serta kekerasan konstan. Keuntungan lainnya selain tidak berbahaya bagi lingkungan, pelarut di buat dari senyawa yang relatif murah. Pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini diharapkan dapat membuat pelarut alternatif lainnya yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] X. Ma, Z. Cui, and B. Zhao, "Efficient Utilization of Nickel Laterite to Produce Master Alloy," *JOM*, vol. 68, no. 12, pp. 3006–3014, Dec. 2016, doi: 10.1007/s11837-016-2028-5.
- [2] N. Greenwood and A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*. Pergamon Press, 1997.
- [3] R. Elliott, F. Rodrigues, C. A. Pickles, and J. Peacey, "A two-stage thermal upgrading process for nickeliferous limonitic laterite ores," *Can. Metall. Q.*, vol. 54, no. 4, pp. 395–405, Oct. 2015, doi: 10.1179/1879139515Y.0000000009.
- [4] F. Bahfie, A. Manaf, W. Astuti, F. Nurjaman, and U. Herlina, "Tinjauan teknologi proses ekstraksi bijih nikel laterit," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 17, no. 3, pp. 135–152, Sep. 2021, doi: 10.30556/jtmb.Vol17.No3.2021.1156.
- [5] T. A. Holme and J. E. Hutchison, "A central learning outcome for the central science," *J. Chem. Educ.*, pp. 499–501, 2018.
- [6] P. G. Mahaffy, S. A. Matlin, T. A. Holme, and J. MacKellar, "Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability," *Nat. Sustain.*, vol. 2, no. 5, pp. 362–370, May 2019, doi: 10.1038/s41893-019-0285-3.
- [7] J. K. Dennis and T. E. Such, *Nickel and Chromium Plating*. Elsevier, 1993.
- [8] G. Ali and Q. Zia, "Working with Water in Cotton; Developing Water Scouting Strategies at Farm Level," *Univers. J. Agric. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 127–130, Apr. 2014, doi: 10.13189/ujar.2014.020401.
- [9] C. Gu and J. Tu, "One-Step Fabrication of Nanostructured Ni Film with Lotus Effect from Deep Eutectic Solvent," *Langmuir*, vol. 27, no. 16, pp. 10132–10140, Aug. 2011, doi: 10.1021/la200778a.
- [10] S. Fashu, C. D. Gu, X. L. Wang, and J. P. Tu, "Influence of electrodeposition conditions on the microstructure and corrosion resistance of Zn–Ni alloy coatings from a deep eutectic solvent," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 242, pp. 34–41, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.014.
- [11] P. T. Anastas and J. B. Zimmerman, "The Molecular Basis of Sustainability," *Chem*, vol. 1, no. 1, pp. 10–12, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.chempr.2016.06.016.
- [12] Borg and Gall, *Educational Research an Introduction*. New York: Loggman, 1983.
- [13] S. M, S. Muller, M. Westhaus, and M. R, *Conducting a Literature Review — The Example of Sustainability in Supply Chains*. Heidelberg: Physica-Verlag.

- [14] A. P. Abbott, A. Ballantyne, R. C. Harris, J. A. Juma, K. S. Ryder, and G. Forrest, “A Comparative Study of Nickel Electrodeposition Using Deep Eutectic Solvents and Aqueous Solutions,” *Electrochim. Acta*, vol. 176, pp. 718–726, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.electacta.2015.07.051.
- [15] F.-J. Albler, K. Bica, M. R. S. Foreman, S. Holgersson, and M. S. Tyumentsev, “A comparison of two methods of recovering cobalt from a deep eutectic solvent: Implications for battery recycling,” *J. Clean. Prod.*, vol. 167, pp. 806–814, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.135.
- [16] G. . Rodgers, *Inorganinic Coordination, and solid-state Chemistry*. Brooks/Cole Cengage Learning, 2012.
- [17] D. W. E, “The relationship between technology, science, engineering and mathematics,” *Annu. Conf. Am. Vocat. Assoc.*, p. 18, 1993.