



Implementasi *Forward Chaining Method* untuk Analisis Klasifikasi Mineralogi Batuan Beku

Rizqia Lestika Atimi^{#1}, Sartika^{*2}

[#]Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Ketapang
Jalan Rangge Sentap, Dalong, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat

¹rizqia.lestika@gmail.com

^{*}Jurusan Teknik Pertambangan, Politeknik Negeri Ketapang
Jalan Rangge Sentap, Dalong, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat

²sartika@politap.ac.id

Abstrak—Kabupaten Ketapang dikaruniai potensi besar sumber daya alam di sektor tambang, terutama biji bauksit yang kaya akan kandungan mineral felspar dan alumina. Potensi besar pada sektor pertambangan di Kabupaten Ketapang perlu diimbangi dengan potensinya sumber daya manusia dalam ilmu petrologi untuk menjaga keberlanjutan sumber tambang baru. Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem pendukung pembelajaran yang dapat membantu proses identifikasi jenis batuan beku melalui implementasi *forward chaining method* untuk klasifikasi mineralogi batuan. *Forward chaining method* adalah algoritma sistem pakar yang menggunakan dan menyajikan data berbasis pengetahuan. *Forward chaining method* bekerja menggunakan aturan inferensi untuk menemukan *antecedent* (klausa IF-THEN) yang benar sehingga mesin pengambil keputusan dapat membuat kesimpulan. Dari hasil pengujian *blackbox testing* diketahui bahwa implementasi *forward chaining method* pada sistem berhasil mengidentifikasi 13 jenis batuan beku sesuai dengan basis pengetahuan yang dikembangkan. Sistem dievaluasi dengan menggunakan evaluasi *usability* untuk menilai ketergunaan dan kepuasan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan dengan lima indikator penilaian yaitu *learnability*, *memorability*, *errors*, *efficiency*, dan *satisfaction*. Hasil evaluasi *usability* dengan skor rata-rata sebesar 4,3 menunjukkan bahwa sistem berguna sebagai sarana pendukung pembelajaran bagi peserta didik dalam mempelajari dan mengidentifikasi jenis batuan beku. Sistem yang dikembangkan memberikan manfaat, minim kegagalan, dan memberikan kepuasan bagi pengguna.

Kata kunci— Kecerdasan Buatan, Sistem Pakar, *Forward Chaining Method*, Mineralogi Batuan, Batuan Beku

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Ketapang berdasarkan letak geografis berada pada bagian paling selatan Provinsi Kalimantan Barat, dikaruniai potensi sumber daya alam yang melimpah pada sektor pertambangan. Berdasarkan hasil riset terakhir yang dilakukan pada tahun 2013 oleh Swandiri Institute, Kabupaten Ketapang adalah kabupaten di Provinsi Kalimantan Barat yang memiliki jumlah unit

tambang terbesar dengan total mencapai 156 unit dan luasan 1.331.231,50 hektare [1]. Kabupaten Ketapang adalah salah satu daerah dengan potensi cebakan bauksit terbesar dari total 4.376.304.014,00 ton se-Provinsi Kalimantan Barat [2].

Potensialnya Kabupaten Ketapang akan sumber daya pertambangan bauksit berdampak pada signifikannya perkembangan investasi kawasan industri pertambangan pengolah biji bauksit di Kabupaten Ketapang, baik skala nasional maupun internasional. Salah satu industri tambang terbesar adalah PT. Well Harvest Winning Alumina Refinery, pabrik pegolah biji bauksit menjadi alumina di Kendawangan Kabupaten Ketapang, memiliki kapasitas produksi 2 juta ton alumina untuk diekspor per tahunnya [2].

Secara ilmu geologi, terbentuknya endapan bauksit dikarenakan adanya proses pelapukan batuan yang memiliki kandungan mineral felspar dan alumina yang tinggi. Adapun batuan yang mengandung mineral tersebut diantaranya Granodiorit, Granit, Andesit, Riolit Dasit, Trakhit, Monzonit, Syenit, dan “Tuff” Riodasit [2]. Berdasarkan kandungan mineralnya, jenis batuan tersebut termasuk dalam klasifikasi jenis batuan beku.

Batuan merupakan kumpulan atau agregasi ilmiah dari beberapa mineral yang terdapat pada kerak bumi. Terdapat tiga jenis batuan utama berdasarkan proses dan lingkungan pembentukannya yaitu batuan beku (*igneous*), sedimen (*sedimentary*) dan metamorf (*metamorphic*) [3]. Beragamnya jenis batuan yang terbentuk dari proses alamiah memiliki ciri khas tertentu dari ciri tekstur, warna dan kandungan mineral sehingga perlu dilakukan proses identifikasi secara cermat oleh ahli petrologi. Batuan beku adalah jenis batuan yang paling mudah diamati secara langsung. Pengamatan langsung ini masih dilakukan dengan cara konvensional melalui pengamatan menggunakan indra penglihatan secara langsung atau dengan bantuan kaca pembesar [4] sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya kesalahan identifikasi jenis batuan.

Fakta adanya potensi besar sumber daya alam di sektor pertambangan yang dimiliki oleh Kabupaten Ketapang perlu diimbangi juga dengan potensinya sumber daya manusia untuk menjaga keberlangsungan sumber tambang kedepannya. Munculnya ahli petrologi yang handal dari putra-putri daerah yang dimiliki oleh Kabupaten Ketapang akan sangat bermanfaat dalam memunculkan potensi galian tambang baru untuk kontribusi daerah yang lebih besar nantinya.

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan identifikasi jenis batuan beku sudah pernah dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi ciri dengan pengolahan citra digital, dengan metode *Grey Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) [4] dan dengan metode *Gabor Wavelet* dan *Linier Discriminant Analysis* (LDA) [5]. Sedangkan untuk implementasi algoritma klasifikasi secara khusus untuk identifikasi jenis batuan baru dilakukan dengan menggunakan metode *decision tree* secara umum [4]. Implementasi algoritma C4.5 digunakan untuk klasifikasi lahan kritis [6] dan klasifikasi nasabah bank [7], terbukti memiliki akurasi yang baik dalam melakukan proses klasifikasi. Algoritma C4.5 adalah algoritma yang membantu proses klasifikasi dengan membentuk model pohon keputusan [5]. Untuk identifikasi jenis batuan beku dengan menggunakan sistem pakar metode *forward chaining*, berdasarkan hasil penelusuran literatur, sampai saat ini belum dilakukan. Pendekatan sistem pakar dengan metode *forward chaining* banyak dilakukan untuk diagnosa penyakit, baik pada manusia [8], hewan [9], atau tumbuhan [10].

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem identifikasi batuan beku dengan mengimplementasikan *forward chaining method*. *Forward chaining method* adalah algoritma sistem pakar yang menggunakan dan menyajikan data berbasis pengetahuan. *Forward chaining method* bekerja menggunakan aturan inferensi untuk menemukan *antecedent* (klausa IF-THEN) yang benar sehingga mesin pengambil keputusan dapat membuat kesimpulan [11]. Sistem ini nantinya ditargetkan untuk dapat digunakan oleh siswa atau mahasiswa jurusan pertambangan sebagai calon ahli petrologi masa depan. Dengan dikembangkannya sistem ini diharapkan dapat menjadi sarana pendukung pembelajaran dalam mempelajari jenis batuan beku sehingga diperoleh *experience* awal sebelum observasi lapangan nantinya benar dilakukan.

II. LANDASAN TEORI

A. Batuan Beku (*Igneous Rock*)

Batuan beku adalah batuan yang terbentuk dari hasil pendinginan dan kristalisasi magma baik di dalam maupun permukaan bumi. Batuan beku merupakan kumpulan mineral hasil pendinginan dan solidifikasi magma yang berasal dari bagian bawah kerak bumi atau dikenal dengan mantel bumi. Proses pembentukan kerak magma dikontrol oleh *gradient* geothermal sebagai sumber panas yang diperlukan untuk proses peleburan

batuan dimana temperatur akan bertambah 3°C setiap kedalaman 100 meter [3].

Magma merupakan bahan lebur berasal dari dalam bumi berupa cairan silikat kental, memiliki pijar, mudah bergerak (*mobile*) dan bertemperatur tinggi. Magma yang mengintrusi hingga ke permukaan bumi dimakan lava. Ketika lava tersebut mendingin dan mengkristal maka terbentuklah batuan beku ekstrusif atau sering disebut batuan vulkanik. Sedangkan apabila magma hanya mengintrusi dan membeku di dalam kerak bumi dinamakan batuan beku intrusif [3].

Komposisi magma tergantung dari mana magma tersebut berasal dan komposisi mineral yang terkandung pada batuan yang melebur saat pembentukannya. Sedangkan batuan beku yang akan terbentuk dipengaruhi oleh komposisi magma, reaksi yang berlangsung dan laju perubahan suhu pada saat kristalisasi magma. Ketika proses tersebut terjadi maka akan terbentuk berbagai macam mineral dengan susunan kristal yang berbeda-beda. Kristalisasi dari mineral-mineral utama tersebut akan mengikuti suatu urutan proses yang dikenal dengan Seri Reaksi Bowen. Seri reaksi ini menjelaskan pembentukan batuan beku beserta mineral penyusunnya [3].

Klasifikasi batuan beku secara umum didasarkan pada komposisi mineral dan sifat teksturnya yang berguna untuk penamaan batuan dan menjelaskan asal kejadiannya [3]. Kehadiran berbagai macam mineral pada batuan menggambarkan magma asal pembentuk batuan tersebut serta bagaimana struktur geologi dari kerak dan mantel bumi tempat pembentukannya. Sedangkan tekstur pada batuan beku menggambarkan mengenai proses yang terjadi saat pendinginan magma dimana tekstur dapat dikenali melalui variasi ukuran dan bentuk butiran mineral.

B. Pengenalan Batuan Beku

1. Komposisi Mineral

Batuan beku diklasifikasikan berdasarkan kandungan silika pada batuan. Silika memberikan warna terang pada batuan, sehingga klasifikasi warna pada batuan beku didasarkan pada kandungan silika pada batuan tersebut. Silika terbentuk berdasarkan faktor konsentrasi silika pada lelehan magma, konsentrasi unsur (aluminium, besi, kalsium, magnesium, sodium dan potassium) pada lelehan magma, serta pengaruh suhu dan tekanan pada saat kristalisasi magma [12]. Komposisi unsur pada lelehan magma tersebut membentuk beberapa mineral yang menjadi kriteria mineralogi batuan beku diantaranya yaitu kehadiran Kuarsa, komposisi Felspar, dan proporsi mineral Feromagnesia (Fe-Mg) [3].

Kuarsa merupakan mineral yang tersusun atas silika sehingga batuan dengan komposisi mineral utamanya silika cenderung memiliki warna terang. Sedangkan batuan yang mengandung mineral olivine komponen utamanya terdiri atas besi, kalsium dan magnesium cenderung memiliki warna gelap. Batuan berwarna intermediet hingga mafik dicirikan dengan kehadiran piroksen dan amfibol [3].

2. Tekstur

Tekstur merupakan kenampakan variasi bentuk dan ukuran butir mineral (kristal), serta hubungan antar butir pada mineral dalam batuan. Pada deskripsi batuan secara makroskopik dikenal beberapa tekstur utama pada batuan beku, yaitu [3]:

a. Fenerik (*Phaneritic*)

Tekstur fenerik ditemukan pada batuan yang memiliki tekstur kasar, dicirikan dengan ukuran kristal (butir) lebih besar dari 1 mm hingga lebih besar dari 5 mm. Laju kristalisasi magma yang lambat menyebabkan kristal terbentuk dengan ukuran kasar [13]. Bentuk kristal pada tekstur fenerik dapat dilihat jelas menggunakan mikroskop, sehingga kenampakan kristal dibedakan menjadi tiga macam yaitu *euهدral*, *subهدral* dan *anhedral*.

b. Afanitik (*Aphanitic*)

Tekstur afanitik ditemukan pada batuan yang memiliki tekstur halus atau berukuran mikroskopik dengan ukuran kurang dari 1 mm, sehingga sulit diamati tanpa bantuan mikroskop. Tekstur afanitik pada umumnya terdapat pada batuan dengan proses pendinginan yang cepat sehingga terbentuk kristal berukuran halus.

c. Porfiritik (*Porphyritic*)

Tekstur porfiritik ditemukan pada batuan yang memiliki tekstur tidak seragam dimana ukuran butirnya berupa campuran antara ukuran butir yang besar (*phenocryst*) dan ukuran butir yang lebih kecil (*groundmass/matrix*).

d. Vesikuler (*Vesicular*)

Tekstur vesikuler ditemukan pada batuan yang memiliki rongga atau pori (*vesicle*). Rongga tersebut terbentuk akibat terperangkap gelembung udara/gas pada saat batuan beku mengkristal. Apabila rongga tersebut telah terisi oleh mineral maka disebut *amygdaloidal*.

e. Gelas (*Glassy*)

Tekstur gelas ditemukan pada batuan yang tampak seperti gelas serta tidak memiliki bentuk kristal (*amorph*). Lava yang mendingin dalam waktu yang cepat menyebabkan unsur penyusunnya tidak dapat membentuk susunan kristal sehingga meringas menjadi seperti gelas/kaca [12].

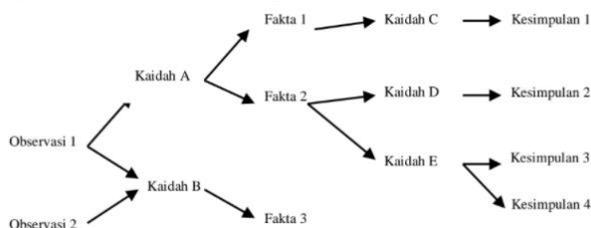
3. Warna

Warna batuan beku dapat diklasifikasikan ke dalam 4 jenis sebagai berikut [13]:

- a. Felsik (terang), batuan beku yang mengandung silika lebih dari 65%.
- b. Intermediet, batuan beku yang mengandung silika 55% - 65%.
- c. Mafik (gelap), batuan beku yang mengandung silika 45% - 55%. Batuan ini juga memiliki 10% kuarsa dan kaya akan mineral besi-magnesium.
- d. Ultramafik, batuan beku yang mengandung silika kurang dari 45%.

C. Metode Forward Chaining

Forward chaining adalah salah satu metode inferensi yang dapat digunakan dalam proses sistem berbasis pengetahuan untuk menghasilkan informasi baru dari informasi yang sudah diketahui (Lihat Gambar 1). Pendekatan *forward chaining* adalah proses pelacakan yang dimulai dengan pengumpulan data atau fakta yang meyakinkan menuju kesimpulan akhir [5].



Gambar 1. Diagram pelacakan ke depan (Forward Chaining) [5]

Forward chaining adalah teknik pencarian yang dimulai dengan fakta yang diketahui dan mencocokkan fakta-fakta tersebut dengan bagian IF dari aturan (*rule*) IF_THEN. Jika ada fakta yang cocok dengan bagian IF maka aturan tersebut akan dieksekusi. Jika sebuah aturan dieksekusi maka sebuah fakta baru (bagian THEN) akan ditambahkan ke dalam *database* [5].

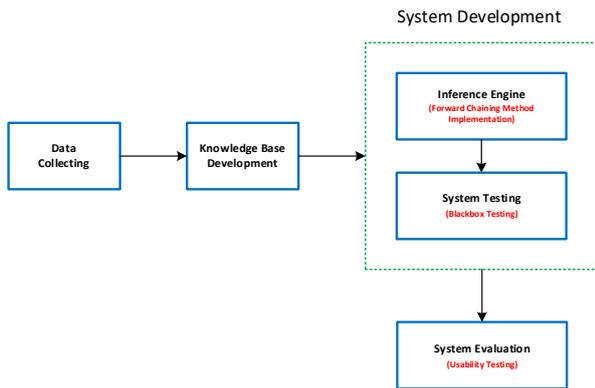
D. Usability Testing

Evaluasi *usability* adalah evaluasi untuk menilai ketergunaan dari sebuah produk. Sebuah produk dikatakan memiliki *usability* yang baik apabila dengan penggunaannya pengguna mendapatkan manfaat, produk berjalan/berfungsi dengan baik atau minim kegagalan, serta pengguna merasa puas [15]. *Usability* atau kegunaan adalah atribut kualitas yang menilai seberapa mudah antar muka digunakan oleh pengguna. *Usability* ditentukan oleh lima indikator kualitas [16], yaitu:

- a. *Learnability*, seberapa mudah pengguna menggunakan sebuah produk dalam menyelesaikan tugas-tugasnya ketika pertama kali masuk ke antar muka.
- b. *Efficiency*, seberapa cepat pengguna menyelesaikan tugas-tugas setelah pengguna mempelajari antar muka.
- c. *Memorability*, seberapa mudah pengguna dalam menggunakan antar muka setelah beberapa lama tidak menggunakannya.
- d. *Errors*, berapa banyak pengguna melakukan kesalahan, seberapa fatal kesalahannya, dan seberapa mudah pengguna untuk memperbaiki kesalahannya.
- e. *Satisfaction*, seberapa menyenangkannya pengguna Ketika menggunakan antar muka.

III. METODE PENELITIAN

Untuk dapat melakukan klasifikasi mineralogi berdasarkan hasil identifikasi jenis batuan beku, berikut metode yang dikembangkan untuk membangun sistem identifikasi batuan beku seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode Penelitian

A. Pengumpulan Data (Data Collecting)

Pengumpulan data adalah tahap inisiasi data batuan beku berdasarkan warna, tekstur, dan kandungan mineral. Data batuan beku yang diidentifikasi untuk penelitian ini diperoleh dari hasil studi literatur buku batuan dan mineral [12] [13] [14] oleh Dosen Teknik Pertambangan sebagai pakar (*expert*). Dasar paling utama untuk klasifikasi batuan beku adalah kriteria komposisi mineral dan tekstur. Hasil dari tahap ini nantinya akan digunakan sebagai *requirement* untuk membangun basis pengetahuan (*knowledge base*) yang akan disimpan pada sistem untuk menghasilkan informasi baru dari informasi yang sudah diketahui sesuai dengan metode *forward chaining*.

| | | WARNA BATUAN | | | |
|-------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------|
| | | WARNA TERANG | MENENGAH | WARNA GELAP | |
| MINERALOGI | KANDUNGAN MINERAL UTAMA | QUARTZ | | | |
| | | K-FELSPAR | | | |
| | | PLAGIOKLAS FELSPAR | Ca ²⁺ | | |
| | | MUSCOVIT | | | |
| | | BIOTIT | | | |
| | | AMFIBOL | | OLIVIN | |
| PIROKSEN | | | | | |
| TEKSTUR | | NAMA BATUAN | | | |
| KLASIFIKASI | FANERIK | GRANIT | DIORIT ("GRANITIK") | GABRO | PERIDOTIT |
| | FANERIK + FENOKRIS | GRANIT PORFIRI | DIORIT PORFIRI | GABRO PORFIRI | |
| | AFANITIK | RYOLIT | ANDESIT (FELSIT) | BASAL | |
| | AFANITIK + FENOKRIS | RYOLIT PORFIRI | ANDESIT PORFIRI (FELSIT PORFIRI) | BASAL PORFIRI | |
| | VESIKULER | PUMICE | | SCORIA | |
| | GELAS | | OBSIDIAN | | |
| | PIROKLASTIK | TUFA, BREKSI VOLKANIK, AGLOMERAT | | | |

Gambar 3. Cara Pengenalan batuan secara umum berdasarkan komposisi mineral [3]

B. Pembangunan Basis Pengetahuan (Knowledge Base)

Basis pengetahuan adalah tahap representasi pengetahuan (*rule*) dari hasil pengumpulan data warna tekstur, dan jenis batuan beku yang disimpan pada sistem. Basis pengetahuan ini menjadi dasar bagi sistem untuk menyimpulkan suatu permasalahan berdasarkan informasi yang diketahui, dalam kasus ini adalah identifikasi jenis batuan beku.

C. Pengembangan Mesin Inferensi (Inference Engine)

Tahap ini adalah tahap pengembangan mesin inferensi untuk menyimpulkan suatu permasalahan berdasarkan basis pengetahuan yang dimiliki. Pengembangan mesin inferensi mengimplementasikan metode *forward chaining*. Tahap ini merupakan bagian dari pengembangan sistem identifikasi batuan beku secara keseluruhan yang dikembangkan berbasis web. Sistem dikembangkan sesuai dengan proses SDLC (*software development life cycle*) yang dimulai dari tahap identifikasi kebutuhan, analisis, perancangan, pemrograman, dan pengujian [17]. Setelah sistem selesai dikembangkan sistem diuji terlebih dahulu oleh internal tim pengembang dengan metode pengujian *blackbox* untuk menguji fungsionalitas sistem [17]. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua fitur sistem dapat berfungsi dengan baik sebelum digunakan oleh pengguna.

D. Evaluasi Sistem (System Evaluation)

Evaluasi sistem dilakukan dengan evaluasi *usability* untuk menilai ketergunaan sistem dan tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Evaluasi *usability* menggunakan lima indikator penilaian yaitu *learnability*, *memorability*, *errors*, *efficiency*, dan *satisfaction* yang diturunkan ke dalam pertanyaan-pertanyaan kuesioner. Skala pengukuran jawaban kuesioner mengacu pada Skala Likert (*Likert Scale*) dengan skala 1-5 untuk masing-masing kategori jawaban sebagai berikut:

- Sangat Setuju (SS), memiliki skala 5.
- Setuju (S), memiliki skala 4.
- Ragu-ragu (RR), memiliki skala 3.
- Tidak Setuju (TS), memiliki skala 2.
- Sangat Tidak Setuju (STS), memiliki skala 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data (Data Collecting)

Data batuan beku (kelompok batuan, warna, dan tekstur) dan kandungan mineral utama dikumpulkan dengan metode studi literatur dan diidentifikasi oleh pakar. Pada penelitian ini data batuan beku yang berhasil diidentifikasi berjumlah 13 jenis batuan (Lihat Tabel 1). Data ini digunakan sebagai basis pengetahuan (*knowledge base*) yang disimpan pada sistem.

TABEL I
HASIL IDENTIFIKASI KELOMPOK BATUAN, WARNA, DAN TEKSTUR

| Kelompok Batuan | Warna | Tekstur | Mineral Utama |
|------------------|--------|--------------------|--|
| Granit | Felsik | Fenerik | Kuarsa, Potassium Feldspar, Plagioklas, Biotit |
| Granit + Porfiri | Felsik | Fenerik + Fenokris | Potassium Feldsapar, Kuarsa |
| Riolit | Felsik | Afanitik | Kuarsa, Feldspar Alkali |
| Riolit + Porfiri | Felsik | Afanitik + | Gelas |

| Kelompok Batuan | Warna | Tekstur | Mineral Utama |
|------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| | | Fenokris | |
| Pumice | Felsik/Intermediet | Fesikular | Gelas |
| Obsidian | Felsik/Intermediet/Mafik | Gelas | Felspar, kuarsa |
| Diorit | Intermediet | Fenerik | Plagioklas, Hornblende |
| Diorit + Porfiri | Intermediet | Fenerik + Fenokris | Potassium Feldsapar, Kuarsa |
| Andesit | Intermediet | Afanitik | Plagioklas, Biotit |
| Scoria | Intermediet /Mafik | Fesikular | Plagioklas, Piroksen dan olivin |
| Peridotit | Ultramafik | Fenerik | Olivin, Klinopiroksen, Ortopiroksen |
| Basal | Mafik | Afanitik | Plagioklas, Olivin |
| Gabro | Mafik | Fenerik | Plagioklas, Olivin |

| Kode | Kelompok Batuan |
|------|-----------------|
| B12 | Basal |
| B13 | Gabro |

TABEL V
TABEL RULE

| RULE | IF | THEN |
|------|--------------|------|
| 1 | IF w1 AND t3 | B1 |
| 2 | IF w1 AND t4 | B2 |
| 3 | IF w1 AND t1 | B3 |
| 4 | IF w1 AND t2 | B4 |
| 5 | IF w1 AND t5 | B5 |
| 6 | IF w1 AND t6 | B6 |
| 7 | IF w2 AND t3 | B7 |
| 8 | IF w2 AND t4 | B8 |
| 9 | IF w2 AND t1 | B9 |
| 10 | IF w2 AND t5 | B10 |
| 11 | IF w2 AND t6 | B6 |
| 12 | IF w3 AND t3 | B12 |
| 13 | IF w3 AND t1 | B13 |
| 14 | IF w3 AND t5 | B10 |
| 15 | IF w3 AND t6 | B6 |
| 16 | IF w4 AND t3 | B11 |

B. Pengembangan Basis Pengetahuan (Knowledge Base)

Basis pengetahuan dibangun pada sistem untuk menyimpan data warna, tekstur, dan kelompok batuan yang direpresentasikan ke dalam *rule*, yang nantinya digunakan oleh mesin inferensi untuk menyimpulkan suatu permasalahan. Basis pengetahuan dan *rule* dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan Tabel 4.

TABEL II
TABEL KODE WARNA

| Kode | Warna |
|------|-------------|
| W1 | Felsik |
| W2 | Intermediet |
| W3 | Mafik |
| W4 | Ultramafik |

TABEL III
TABEL KODE TEKSTUR

| Kode | Tekstur |
|------|-------------------|
| T1 | Afanitik |
| T2 | Afanitik+fenokris |
| T3 | Fenerik |
| T4 | Fenerik+fenokris |
| T5 | Vesikuler |
| T6 | Gelas |

TABEL IV
TABEL KODE KELOMPOK BATUAN

| Kode | Kelompok Batuan |
|------|-----------------|
| B1 | Granit |
| B2 | Granit Porfiri |
| B3 | Riolit |
| B4 | Riolit Porfiri |
| B5 | Pumice |
| B6 | Obsidian |
| B7 | Diorit |
| B8 | Diorit Porfiri |
| B9 | Andesit |
| B10 | Scoria |
| B11 | Peridotit |

C. Pengembangan Mesin Inferensi (Inference Engine)

Pengembangan mesin inferensi bertujuan agar sistem dapat mengidentifikasi jenis batuan beku untuk klasifikasi mineralogi batuan. Metode *forward chaining* diimplementasikan pada mesin ini dikembangkan dengan bahasa pemrograman PHP. Pengembangan mesin inferensi merupakan salah satu bagian dari pengembangan sistem secara keseluruhan yang dikembangkan berbasis web.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan sistem, sistem dikembangkan memiliki dua fitur utama yaitu, fitur materi batuan beku dan identifikasi batuan beku. Fitur materi batuan beku berisi informasi mengenai teori pengantar batuan beku yang dapat membantu peserta didik dalam mempelajari dan mengenal batuan beku. Fitur identifikasi batuan beku adalah fitur yang berfungsi untuk membantu peserta didik mengidentifikasi jenis batuan beku berdasarkan pengamatan warna dan tekstur batuan.

Untuk memastikan semua fitur pada sistem dapat berfungsi dengan baik sebelum digunakan oleh pengguna (peserta didik), dilakukan pengujian dengan metode *blackbox*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL VI
TABEL HASIL PENGUJIAN SISTEM DENGAN METODE BLACKBOX TESTING

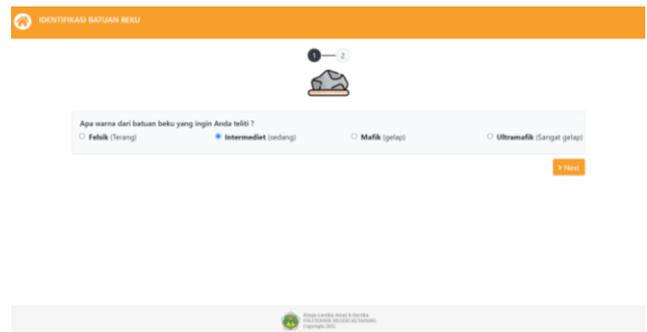
| No. | Variabel Uji | Ekspektasi Hasil Uji | Hasil Pengujian | Berhasil/Gagal |
|-----|--------------------------------|---|---|----------------|
| 1 | Fitur Materi Batuan Beku | Sistem dapat menampilkan materi batuan beku | Sistem menampilkan materi batuan beku | Berhasil |
| 2 | Fitur Identifikasi Batuan Beku | Sistem dapat mengidentifikasi jenis batuan granit | Sistem mengidentifikasi jenis batuan granit | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi jenis batuan granit profiri | Sistem mengidentifikasi jenis batuan granit profiri | |

| No. | Variabel Uji | Ekspektasi Hasil Uji | Hasil Pengujian | Berhasil/Gagal |
|-----|--------------|--|---|----------------|
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan riolit | Sistem mengidentifikasi jenis batuan riolit | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan riolit profiri | Sistem mengidentifikasi jenis batuan riolit profiri | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan pumice | Sistem mengidentifikasi jenis batuan pumice | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan obsidian | Sistem mengidentifikasi jenis batuan obsidian | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan diorit | Sistem mengidentifikasi jenis batuan diorit | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan diorit profiri | Sistem mengidentifikasi jenis batuan diorit profiri | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan andesit | Sistem mengidentifikasi jenis batuan andesit | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan scoria | Sistem mengidentifikasi jenis batuan scoria | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan peridotit | Sistem mengidentifikasi jenis batuan peridotit | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan basal | Sistem mengidentifikasi jenis batuan basal | Berhasil |
| | | Sistem dapat mengidentifikasi kasi jenis batuan gabro | Sistem mengidentifikasi jenis batuan gabro | Berhasil |

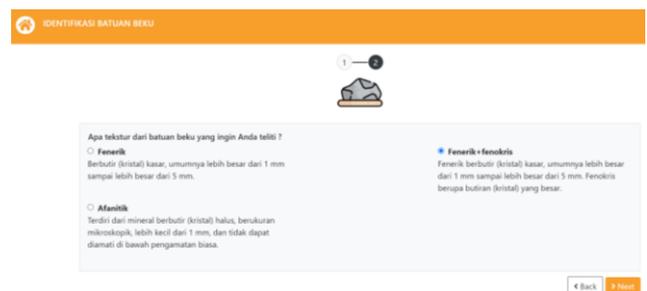
Berdasarkan hasil pengujian dengan metode *blackbox testing*, sistem dapat berfungsi dengan baik tanpa terjadi kesalahan identifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi metode *forward chaining* pada sistem dapat mengidentifikasi jenis batuan beku sesuai dengan basis pengetahuan (*knowledge base*) yang disimpan di sistem. Tampilan antar muka sistem dapat dilihat pada Gambar 4-7.



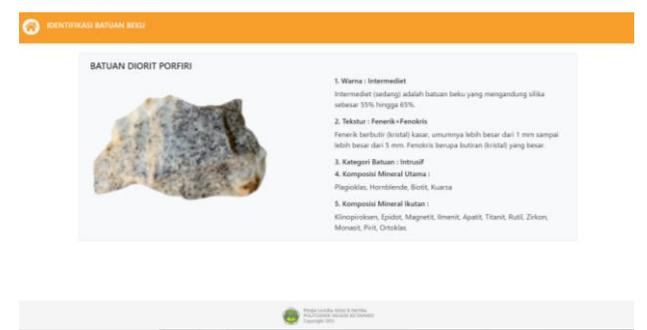
Gambar 4. Tampilan antar muka halaman utama sistem



Gambar 5. Tampilan antar muka halaman identifikasi batuan beku



Gambar 6. Tampilan antar muka halaman identifikasi batuan beku



Gambar 7. Tampilan antar muka hasil identifikasi batuan beku

D. Evaluasi Sistem

Evaluasi *usability* dilakukan dengan menyusun kuesioner yang berjumlah 19 pertanyaan, mewakili indikator penilaian *learnability*, *memorability*, *errors*, *efficiency*, dan *satisfaction*.

TABEL VII
RELEVANSI PERTANYAAN KUESIONER DENGAN INDIKATOR EVALUASI
USABILITY

| Indikator | Pertanyaan Kuesioner (Q) |
|--------------|------------------------------|
| Learnability | Q1, Q2, Q3 |
| Memorability | Q4, Q5, Q6 |
| Errors | Q7, Q8, Q9, Q10, Q11 |
| Efficiency | Q12, Q13 |
| Satisfaction | Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19 |

Jumlah partisipan kuesioner evaluasi *usability* sebanyak 47 orang mahasiswa Prodi D3 Teknik Pertambangan Politeknik Negeri Ketapang. Kuesioner disebar secara *online* menggunakan aplikasi Google Form pada alamat <https://bit.ly/surveyaplikasibatuanbeku>.

TABEL VIII
HASIL TABULASI KUESIONER EVALUASI USABILITY

| Indikator | Rata-rata Skor Jawaban |
|------------------------|------------------------|
| Learnability | 4,4 |
| Memorability | 4,2 |
| Errors | 4,4 |
| Efficiency | 4,3 |
| Satisfaction | 4,4 |
| Total Rata-rata | 4,3 |

Dari total rata-rata seluruh indikator diperoleh skor rata-rata sebesar 4,3. Dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berguna, minim terjadi kegagalan, dan memberikan kepuasan bagi pengguna.

V. KESIMPULAN

Implementasi metode *forward chaining* pada sistem yang dikembangkan berhasil mengidentifikasi jenis batuan beku berdasarkan basis pengetahuan (*knowledge base*) yang disimpan pada sistem (data kelompok batuan, warna, dan tekstur). Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian *blackbox* dimana sistem mampu mengidentifikasi 13 jenis batuan beku dengan benar. Berdasarkan hasil kuesioner evaluasi *usability* sistem diperoleh rata-rata skor jawaban untuk indikator *learnability* adalah 4,4, 4,2 untuk *memorability*, 4,4 untuk *errors*, 4,3 *efficiency*, dan 4,4 untuk *satisfaction*. Dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berguna bagi pengguna sebagai sarana pendukung pembelajaran dalam mempelajari dan mengidentifikasi jenis batuan beku untuk analisis klasifikasi mineralogi, dengan skor rata-rata evaluasi *usability* sistem adalah 4,3. Sistem yang

dikembangkan memberikan manfaat, minim kegagalan, dan memberikan kepuasan bagi pengguna.

REFERENSI

- [1] A. Nugroho, "Areal tambang di Ketapang terbesar di Kalbar", 14 November 2013, [Online]. Tersedia <https://pwypindonesia.org/id/areal-tambang-di-ketapang-terbesar-di-kalbar/> [Diakses: 5 April 2021]
- [2] Admin, "Bahan galian bauksit di Kalimantan Barat", 30 Oktober 2014, [Online]. Tersedia <https://esdm.kalbarprov.go.id/ppid/keberadaan-bauksit-di-kalimantan-barat/> [Diakses: 5 April 2021]
- [3] M. D. Balfas, *Geologi Untuk Pertambangan Umum*. Graha Ilmu: Yogyakarta, 2015.
- [4] A.N.A. Santosa, "Identifikasi struktur dan warna mineral pada batuan menggunakan ekstraksi ciri grey level co-occurrence matrix (GLCM) dan decision tree," *E-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 2064-2073, 2018.
- [5] Rosa, C. R., B. Hidayat, and A. S. Subandrio. "Identifikasi mineralogi untuk klasifikasi batuan beku menggunakan ekstraksi ciri gabor wavelet dan linier discriminant analysis (lda) pada citra digital," *E-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp.2074-2081. 2018.
- [6] H. W. Nursafa'ah, *Perbandingan Metode Split Atribut menggunakan Information Gain dan Gain Ratio pada Algoritma C4.5 untuk Klasifikasi Lahan Kritis Di Kabupaten Grobogan*. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Semarang, 2019.
- [7] Rusito, M. T. Firmansyah, "Implementasi metode decision tree dan algoritma c4.5 untuk klasifikasi data nasabah bank," *INFOKAM*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12. 2016.
- [8] S. R. Rizky, M. Ridwan, and Z. Hakim, "implementasi metode forward chaining untuk diagnosa penyakit covid 19 di RSUD Berkah Pandeglang Banten," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, pp. 69-72, 2020.
- [9] S. Nurajizah, and M. Saputra, "Sistem pakar berbasis android untuk diagnosa penyakit kulit kucing dengan metode forward chaining," *Jurnal PILAR Nusa Mandiri*, vol. 14, no. 1, pp. 7-13, 2018.
- [10] Z. Hakim, et al., "Implementasi metode forward chaining untuk sistem pakar diagnosis hama tanaman kacang kedelai pada Dinas Pertanian Pandeglang Provinsi Banten," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 1, pp. 68-78, 2020.
- [11] B. I. Hayadi, *Sistem Pakar Penyelesaian Kasus Menentukan Minat Baca, Kecenderungan, dan Karakter Siswa dengan Metode Forward Chaining*, Deepublish: Yogyakarta, 2018.
- [12] R. L. Bonewitz, *Nature Guide Rocks and Minerals*, DK Publishing, 2012.
- [13] T. Freeman, *Enviromental Geology Laboratory*, John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [14] Mottana, A, Rodolfo Crespti, dan Giuseppe Liborio. *Guide to Rocks and Minerals*. Simon& SchusterInc. 1978.
- [15] J. Rubin, and D. Chisnell, *Handbook of Usability Testing, How to Plan, Design, and Conduct Effective Test*, Wiley Publishing: Indianapolis, 2008.
- [16] J. Nielsen, "Usability 101: Introduction to usability", 3 Januari 2012, [Online]. Tersedia <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/> [Diakses: 7 Oktober 2021]
- [17] I. Sommerville, *Software Engineering 7th Edition*, Addison Weasley, 2004.
- [18] K.E. Kendall, *System Analyst and Design 8th Edition*, Pearson Education, 2013.