

PENGARUH MINERAL LEMPUNG TERHADAP KERUSAKAN JALAN RAYA DI DAERAH KLABEN, DISTRIK MARIAT, KABUPATEN SORONG, PAPUA BARAT DAYA

Salomina Opur¹⁾, Eric Arung Patandianan¹⁾, Restu Tandirerung^{1*)}, Rana Wiratama¹⁾
Meriana G.M. Harahap¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat.

(*) Penulis Korespondensi: r.tandirerung@unipa.ac.id

Received: Januari 2024; Accepted: Mei 2024; Published: Mei 2024

Abstract

The proportion of clay minerals in the mudstone that supports road construction also influences damage to the road body. This research aims to determine the content and role of clay minerals in damage to highway construction in the research area. The clay minerals studied came from the claystone of the Klasaman Formation. The clay mineral content in rocks is determined by carrying out X-ray Diffraction (XRD) analysis and petrographic analysis. Of the two (2) samples analyzed, it is known that the illite mineral presentation is very dominant. The dominant proportion of the mineral illite causes road damage, including cracked crocodile skin, holes and sinking.

Keywords: Klasaman Formation, Claystone, Clay Minerals, XRD

Abstrak

Proporsi mineral lempung pada batu lempung yang menopang konstruksi jalan turut mempengaruhi kerusakan pada badan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan dan peran mineral lempung terhadap kerusakan konstruksi jalan raya di daerah penelitian. Mineral lempung yang diteliti berasal dari batu lempung Formasi Klasaman. Kandungan mineral lempung pada batuan diketahui dengan melakukan analisis X-ray Diffraction (XRD) dan analisis petrografi. Dari dua (2) sampel yang dianalisis diketahui presentasi mineral *illite* sangat dominan. Proporsi mineral *illite* yang dominan tersebut mengakibatkan kerusakan jalan antara lain retak kulit buaya, lubang, dan amblas.

Kata kunci: Formasi Klasaman, Batu lempung, Mineral Lempung, XRD

PENDAHULUAN

Batu lempung merupakan material yang terbentuk secara alami dan tersusun oleh mineral yang berukuran halus, jika berada pada kondisi dengan kandungan air yang cukup akan bersifat plastis dan akan mengeras jika dikeringkan atau dipanaskan. Korelasi antara batu lempung telah dipengaruhi oleh jenis mineral lempung terhadap sifat mekanik. Namun, perubahan sifat fisik batuan sedimen klastik dapat pengaruh yang mendalam pada sifat mekaniknya. Oleh karena itu mineral lempung menimbulkan kendala yang kuat pada kekuatan mekanik batuan sedimen klastik tersebut. (Pettijohn, 1975)

Geologi daerah penelitian tersusun atas Formasi Klasaman (TQK) yang didominasi oleh batu lempung. Berdasarkan statigrafi regional daerah penelitian hanya termasuk pada Formasi Klasaman (TQk). Formasi Klasaman memiliki umur Miosen

Akhir-Plistosen dengan ketebalan 200-4500 m. Litologi yang terdapat pada Formasi Klasaman yaitu berupa batulumpur, serpih, batu lempung, batupasir, konglomerat; dan jarang batugamping terumbu koral, serta memiliki hubungan yang tak selaras dengan Formasi Konglomerat Sele (Qps). Daerah ini dipilih menjadi daerah penelitian karena daerah tersebut rawan kecelakan yang di sebabkan oleh badan jalan yang sering mengalami kerusakan, dilihat dari kondisi geologi daerah tersebut dominan tersusun oleh batu lempung yang cenderung tidak begitu kompak/lapuk. (Amri dkk, 1990)

Penentuan karakteristik batu lempung ini dengan menggunakan pengamatan lapangan secara megaskopis dan mikroskopis dengan metode analisis laboratorium petrografi dan difraksi sinar-X (XRD). Identifikasi batu lempung dilakukan untuk mengetahui pengaruh lempung terhadap sifat fisik dan mekanik batuan. Oleh karena itu, perubahan sifat

mekanik batuan hanya dipengaruhi oleh komposisi mineral lempung dan sifat fisik mineral fisik batuan.

GEOLOGI REGIONAL

Fisiografi dan Ketektonikan Regional

Mengacu pada Peta Fisiografi Lembar Sorong (Sanyoto CH. Amry P *et al.*, 1990) fisiografi di daerah penelitian termasuk ke dalam 2 (dua) jenis bentang alam yaitu Daerah Perbukitan Rendah dan Dataran Litoral Alluvium dan Rataan. Daerah Perbukitan Rendah yang meliputi Pulau Salawati di sebelah barat, bagian Tengah Papua Barat, hingga pada bagian di sekitar daerah Klasaman dan Klamogun. Pulau Salawati merupakan puncak tertinggi yang berada hingga 200 mdpl. Sedangkan pada Dataran Litoral Alluvium dan Rataan memiliki titik tertinggi 0-50 mdpl yang meluas di bagian selatan daratan Papua Barat hingga Pulau Salawati

Struktur dan Ketektonikan Regional

Berdasarkan tatanan tektonik dan struktur regional lembar Sorong menurut Amry *et al* (1990) daerah penelitian masuk kedalam Mandala Bongkah Kemum. Menurut Amry *et al* (1990) batuan dasar penyusun dari Bongkah Kemum ini merupakan endapan yang termalihkan dari Devon-Karbon yang terdapat pada Formasi Kemum (SDk). Bongkah Kemum terbagi atas tiga kawasan yaitu Tinggian Ayamaru tersebar dari Teminabuan sampai bagian paling timur Sorong, Lipatan Morait yang menekup dari timurlaut Tinggian Ayamaru,

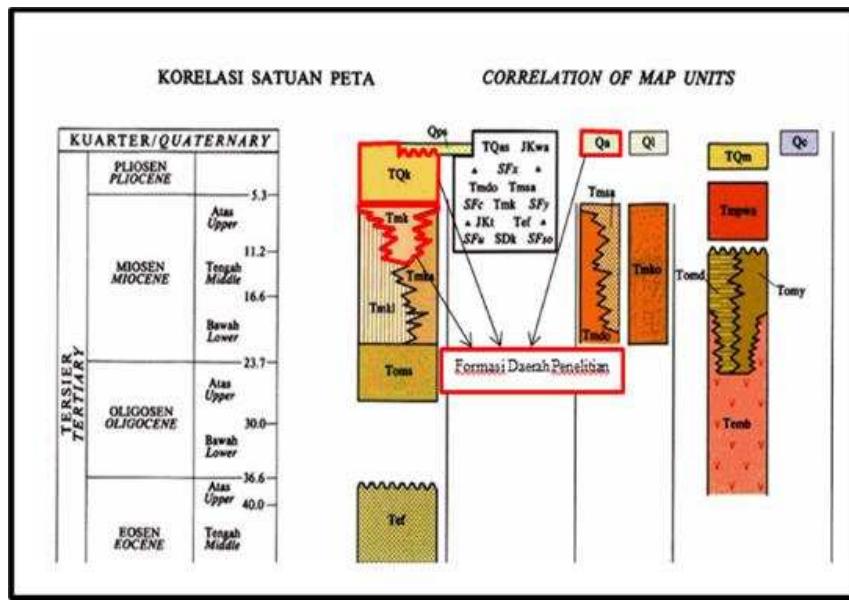
Cekungan Salawati yang meliputi Pulau Salawati bagian selatan dan tengah hingga Papua Barat bagian baratdaya.

Menurut Amry *et al* (1990), daerah penelitian berada pada kawasan Cekungan Salawati. Di bagian Utara dataran Papua Cekungan Salawati dibatasi oleh Sistem Sesar Sorong. Pada perkembangan utama cekungan ini baru mulai pada Miosen Awal-Plistosen kemudian terjadi pengangkatan yang diakibat dari tekanan di sepanjang Sistem Sesar Sorong. Pada Formasi Klasaman dan Konglomerat Sele merupakan hasil dari proses pengangkatan yang terjadi sehingga menghasilkan rombakan klastika, silika, dan aneka bahan.

Stratigrafi Regional

Menurut Amry *et al* (1990), stratigrafi regional terbagi atas empat mandala geologi, tetapi daerah penelitian hanya termasuk pada Mandala Bongkah Kemum. Bongkah Kemum berdasarkan Amri *et al*, (1990) tersusun atas batuan yang berumur Silur Devon sampai Holosen, yang terdiri atas formasi batuan sedimen klastik, batuan metamorf, batuan intrusi, batuan karbonat dan satuan endapan.. (Gambar 1)

Daerah penelitian tersusun atas satu jenis Formasi Klasaman (TQk), memiliki umur Miosen Akhir-Plistosen dengan ketebalan 200-4500 m. Litologi yang terdapat pada Formasi Klasaman yaitu berupa batulumpur, serpih, batulempung, batupasir, konglomerat; dan jarang batugamping terumbu koral, serta memiliki hubungan yang tak selaras dengan Formasi Konglomerat Sele (Qps).



Gambar 1. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (dimodifikasi dari Amri *et al*, 1990)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Secara administrasi daerah penelitian berada di kampung Klaben, Distrik Mariat, Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat. Daerah penelitian berbatasan dengan Distrik Aimas di sebelah utara, Distrik Klamono di sebelah Timur, dan Distrik Mayamuk di sebelah selatan. Secara astronomis daerah penelitian

berada pada $131^{\circ}20'0''$ - $131^{\circ}25'0''$ BT dan $0^{\circ}57'0''$ - $01^{\circ}1'0''$ LS. (Lampiran 1)

Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian geologi diperlukan perencanaan yang dilakukan secara sistematis agar semua sistem yang dilakukan dapat tertata dengan baik. Prosedur penelitian geologi ini terdiri dari 4 tahapan yaitu

pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data, penyajian data dan penarikan kesimpulan.

Pengumpulan Data

Pada tahap ini, penulis mengamati data sekunder melalui peta geologi regional dan peneliti terdahulu yang menjelaskan tentang daerah penelitian. Sedangkan pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di lapangan dengan cara mengambil sampel batuan yang kemudian akan dideskripsi secara megaskopis dan dilanjutkan dengan analisis petrografi dan Difraksi sinar-X (XRD).

Pengolahan Data

Data primer yang telah dikumpulkan berupa sampel batuan kemudian diolah menjadi sebuah preparat atau sayatan tipis. Proses pembuatan preparat atau sayatan tipis berbeda tergantung dari analisis yang dilakukan. Pengolahan data litologi dilakukan dengan pengamatan dan pendeskripsi sampel batuan di lapangan secara megaskopis dan mikroskopis untuk penamaan batuan.

Analisis Data

Setelah dipreparasi dan dibentuk sayatan tipis, selanjutnya dilakukan analisis di laboratorium menggunakan mikroskop sesuai kebutuhan. Analisis yang dilakukan meliputi analisis petrografi dan analisis difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui nama dan jenis batuan, serta mengidentifikasi jenis kandungan mineral yang terdapat dalam batuan tersebut.

Berdasarkan hasil analisis XRD dilakukan interpretasi berdasarkan proporsi luas bidang puncak atau *peak* histogram masing-masing mineral lempung menggunakan perangkat lunak *Match* untuk melihat persentase dari mineral lempung Formasi Klasaman pada daerah penelitian.

Penyajian Data

Data dari hasil penelitian disajikan dalam bentuk peta lintasan dan dalam bentuk tulisan ilmiah yang memuat kenampakan hasil petrografi dan XRD.

Variabel Penelitian

Variabel pengamatan pada penelitian ini berpusat pada data-data primer maupun sekunder yang kemudian dilakukan pengolahan dan analisis data. Adapun data-data yang akan diamati dalam penelitian ini, yang akan dipaparkan pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Pengamatan Penelitian

No	Variabel	Aspek–Aspek Yang Diamati
1	Kemiringan Lereng	Besar sudut lereng, dalam persen atau derajat, dan luasan
2	Curah Hujan	Intesitas, penyebaran, dan luasan.

No	Variabel	Aspek–Aspek Yang Diamati
3	Jenis Litologi	Sifat Fisik, sifat kimia, dan petrografi

Pengolahan dan Analisis data

Dalam metode analisis data ada 2 analisis yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

a. Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada batuan. Analisis petrografi dilakukan pada contoh batuan yang cukup keras agar sampel tidak hancur saat dilakukan preparasi. Pemerian atau penamaan batuan hasil analisis petrografi menggunakan klasifikasi Pettijohn (1975) dan Dunham (1962) untuk mengetahui komposisi mineral penyusun beserta presentasenya. Sampel diamati dengan perbesaran lensa okuler 10x dan lensa objektif 10x dan perbesaran 20x.

b. Analisis XRD (*X-ray Diffraction*)

Prinsip dari alat XRD adalah sinar X yang dihasilkan suatu zat memiliki panjang gelombang tertentu. Analisis XRD dilakukan dengan tahapan yang dimulai dari pemisahan fraksi lempung yang diperoleh dari agregat tanah lempung. Pemisahan dilakukan dengan metode sentrifugasi dengan meletakkan fraksi lempung pada kaca preparat dan mengangin-anginkannya di udara terbuka (air-dried) sebelum ditembak dengan XRD. Sampel ditembak kembali setelah diperlakukan dengan etilen glikol (ethylene glycolated). Terakhir, sampel ditembak kembali setelah dipanaskan hingga suhu 550°C (heated 550°C). Perlakuan tambahan tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi spesies mineral lempung tertentu yang tidak muncul pada perlakuan *air-dried*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral primer dan sekunder ataupun mendeteksi jenis mineral lempung pada suatu sampel batuan yang tidak kompak. Adapun mineral-mineral lempung pada formasi klasafet yang diidentifikasi dapat dijadikan sebagai indikator untuk mengetahui peran mineral lempung sebagai alas konstruksi jalan terhadap kerusakan jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAAN

Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi 2 satuan stratigrafi dari tua ke muda yaitu: satuan batulempung karbonat dan satuan batulempung pasiran. Berdasarkan data lintasan pengamatan dilapangan terdapat batulempung karbonat pada LP 1 hingga LP 5, dengan ukuran ketebalan singkapan yang berbeda (lampiran 2).

Kemiringan Lereng

Berdasarkan pengamatan di lapangan kemiringan lereng pada daerah penelitian penulis menginterpretasikan termasuk kedalam kelas lereng

datar–hampir datar, Saat curah hujan tinggi kemiringan lereng hampir datar di daerah penelitian dapat menyebabkan genangan air. Situasi tersebut dapat mempengaruhi daya dukung material batuan dasar maupun material penyusun aspal, terutama dari mineral lempung akibat naiknya persentase kandungan air. Karena perubahan kohesi batuempung tidak mempengaruhi kandungan *illite* saja, tetapi juga mempengaruhi kadar air, yang bilamana dilalui oleh kendaraan terus menerus dapat memicu terjadinya perubahan struktur tanah pada batuempung yang dipengaruhi oleh mineral *illite*

dengan nilai persentase yang lebih dari >10,8 %. Perubahan ini secara tidak langsung mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisik dengan cepat karena kemampuan menyerap air, sehingga proses penyerapan air menghambat sifat mekanik mineral lempung.

Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya kerusakan jalan, pada curah hujan yang tinggi, intensitas dan lamanya hujan berpengaruh pada batuan penyusun daerah penelitian.

Tabel 2. Jumlah Data Curah Hujan Pertahun (BMKG, 2013 – 2022)

Tahun	Stasiun Pengamatan Iklim			
	Klamalu (mm/thn)	Klasmelek (mm/thn)	Majener (mm/thn)	Walal (mm/thn)
2013	2407	683	3223	1399
2014	2694	2087	2580	1199
2015	1768	1517	1818	915
2016	2589	595	1846	1577
2017	2266	229	2144	2208
2018	1090	0	2486	1380
2019	1391	2358	2092	1720
2020	1736.5	2299	2497.5	2235
2021	1980	2669	2059	1351
2022	1873	1766	2130	1549

Pengaruh curah hujan terhadap naiknya persentase kandungan air dalam batuan atau penyusun jalan, persentase air dapat menurunkan kemampuan daya dukung material batuan terutama kohesi antar butir akibat naiknya tekanan pori di dalam material. (Supandi, 2019)

Penentuan tinggi rendahnya curah hujan di daerah penelitian berdasarkan data yang telah diperoleh dari empat stasiun pengamatan curah hujan, yang terdiri dari Stasiun Klamalu, Stasiun Klasmelek, Stasiun Majener, dan Stasiun Walal selama jangka waktu 10 tahun yang dimulai dari tahun 2013 – 2022. Kondisi curah hujan yang diperoleh dari 4 stasiun tersebut ditandai dengan besarnya curah hujan yang terjadi tiap harinya, tetapi berdasarkan banyaknya data yang diperoleh maka data curah hujan per hari tersebut dijadikan data curah hujan pertahun

berdasarkan jumlah yang diperoleh dari data curah hujan per hari.

Dengan curah hujan tersebut (Tabel 2) dapat membuat genangan pada alas jalan, salah satu faktor terjadinya genangan adalah adanya curah hujan yang sedang/lembab genangan yang terbentuk pada badan jalan, sehingga perubahan sifat fisik mineral memiliki pengaruh yang kuat pada sifat mekanik, karena itu mineral lempung menimbulkan kendala pada kekuatan batuan tersebut.

Petrologi dan Petrografi

Sampel S1

Secara umum melalui analisis petrologi batuempung Formasi Klasaman (TQK) pada daerah penelitian terdiri dari 1 (satu) jenis litologi, berdasarkan pendeskripsi megaskopis Secara megaskopis batuan ini memiliki ketebalan 2 m,

dengan ciri berwarna abu-abu gelap, dan memiliki komposisi karbonatan, batuan ini merupakan batuan sedimen dengan nama batulempung karbonatan (Wentwort dan Folk, 1965)

Melalui analisis laboratorium petrografi pada sampel batulempung terdapat 1 (satu) jenis batulempung berdasarkan komposisi jenis semen dan mineral penyusun batuan yang didasarkan pada klasifikasi Pettijhon, 1984. Berdasarkan hasil analisis *grand size clay* < 0.05 mm, bentuk butir *subrounded* hingga *angulate*, kemas terbuka dan berongga, sortasi baik, porositas sedang. Massa dasar/matriks < 0.05 mm terdiri dari pecahan mineral felsik dan mafik. Kehadiran mineral mafik biotit telah terubah menjadi klorit. Sedangkan mineral felsik tersusun atas kuarsa serta plagioklas yang telah terubah menjadi kaolin dan zeolit.

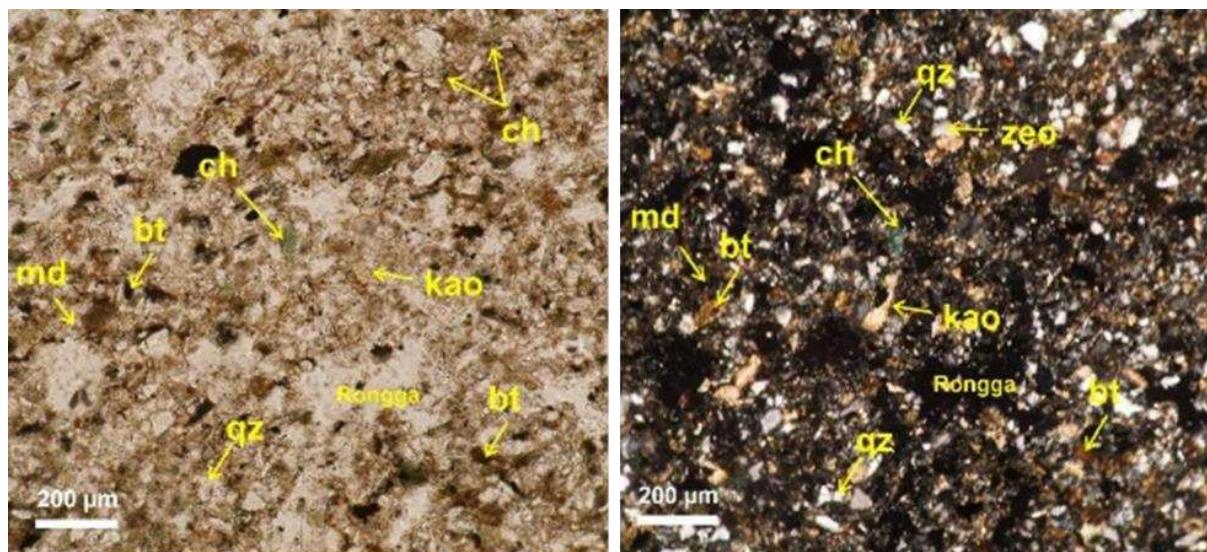
Sampel S2

Secara megaskopis batuan ini memiliki ketebalan 1 m, dengan ciri berwarna abu-abu gelap, dan memiliki komposisi karbonatan, batuan ini merupakan batuan sedimen dengan nama batulempung karbonatan (Wentwort dan Folk, 1965).

Berdasarkan hasil analisis petrografi *grand size clay* < 0.05 mm, bentuk butir *subrounded* hingga *angulate*, kemas terbuka dan berongga, sortasi baik, porositas sedang. Massa dasar < 0.05 mm terdiri dari pecahan mineral felsik dan mafik. Kehadiran mineral mafik biotit telah terubah dan mengalami oksidasi dengan intensitas Mg-Fe yang tinggi, serta terdapat mineral klorit. Sedangkan mineral felsik tersusun atas kuarsa serta plagioklas yang telah terubah menjadi *illite*. Hadir secara minor skeletal fosil yang telah mengalami diagenesi



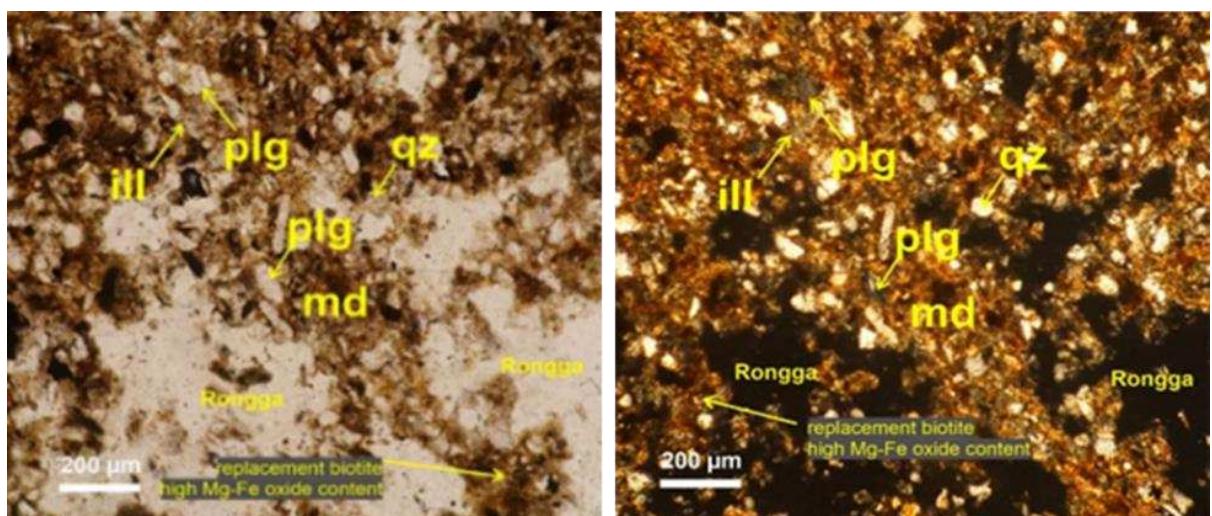
Gambar 2. Litologi Batulempung Karbonat LP 1 Arah Foto N 260°



Gambar 3. Hasil Petrografi Batulempung. Kiri PPL, kanan XPL



Gambar 4. Litologi Batulempung Pasiran LP 3 Arah Foto N 20°



Gambar 5. Hasil Petrografi Batulempung. Kiri PPL, kanan XPL

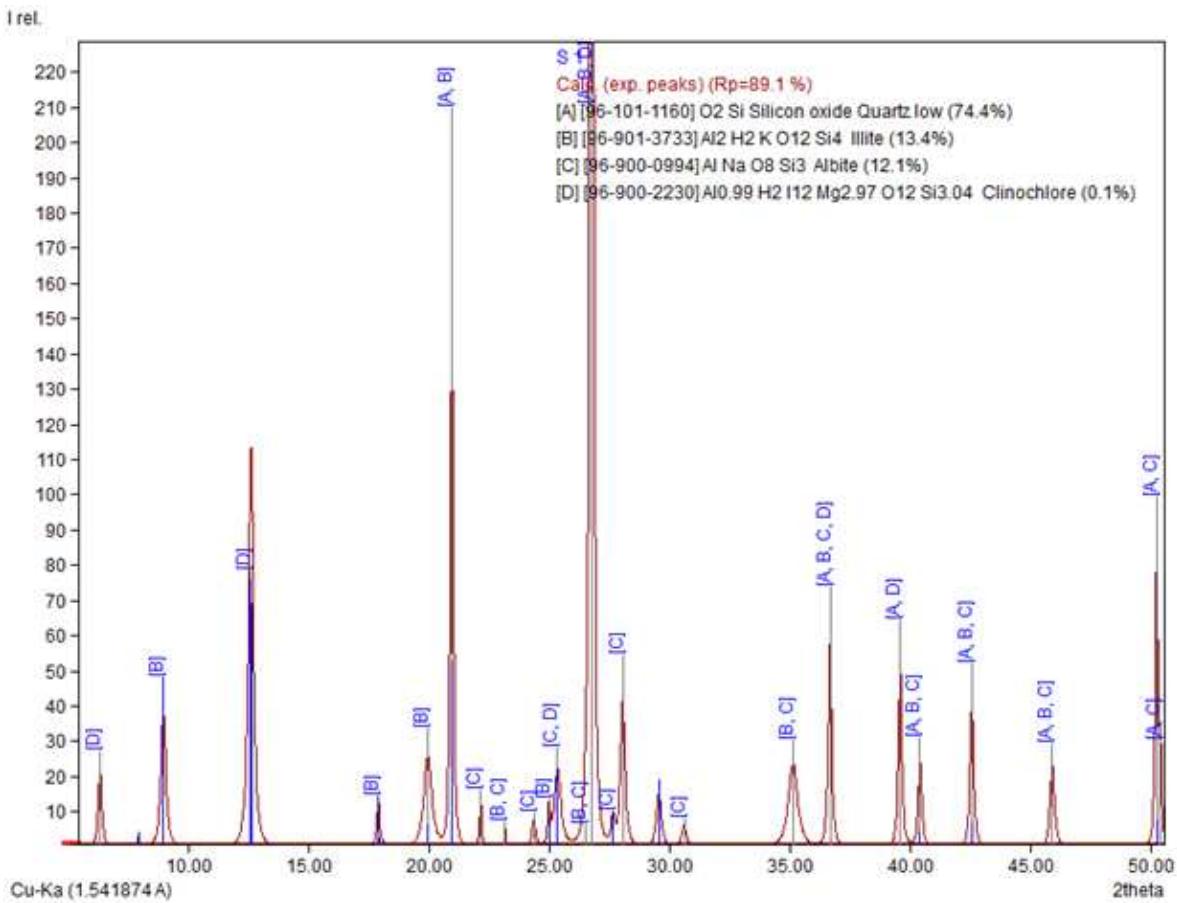
Difraksi Sinar-X

Sampel S1

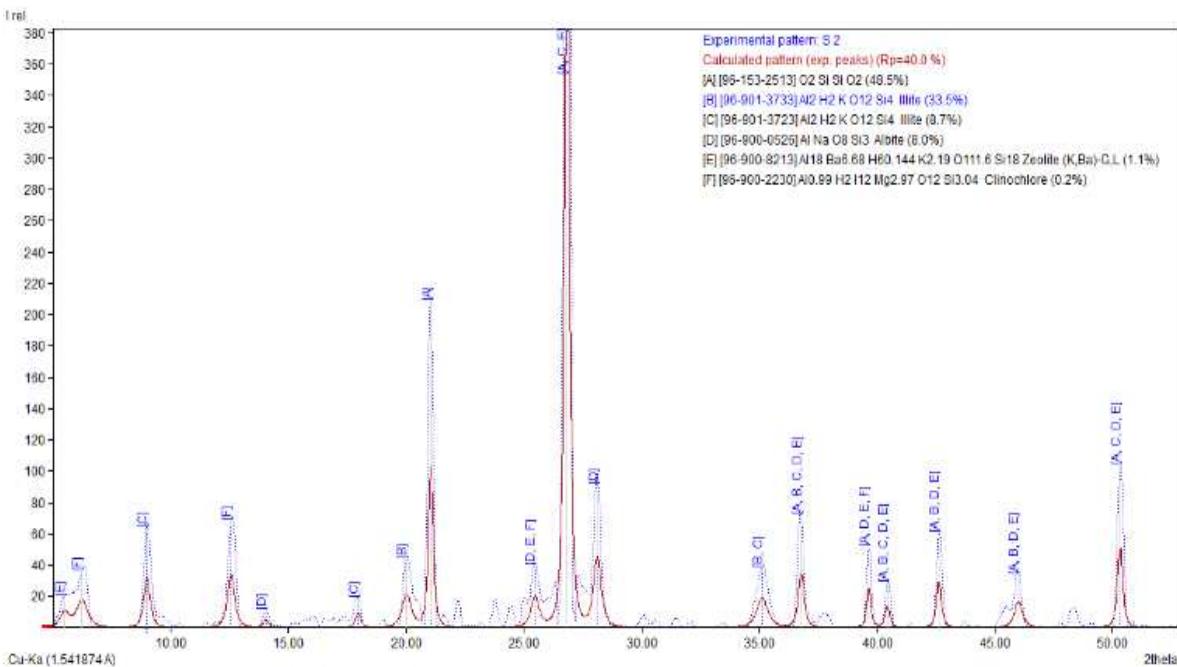
Berdasarkan hasil analisis XRD pada sampel S1, didapatkan 4 (empat) jenis mineral lempung dengan persentase kehadiran yang berbeda *Silicon Oxide Quartz* 74,4% (O₂, Si), *Illite* 13,4% (Al₄KO₁₂Si₂), *Albite* 8,0% (AlNaO₈Si₃), dan *Clinochlore* 0,1% (Al_{0,99}H₂I₁₂Mg_{2,97}O₁₂Si_{3,04}). Melalui hasil pengujian pada sampel S1 Melalui hasil pengujian pada sampel S1, didapatkan mineral penyusun batulempung pada daerah penelitian yang dominan adalah *Illite* dengan persentase sebesar 13,4%.

Sampel S2

Hasil analisis XRD pada sampel S2, didapatkan 5 (Lima) jenis mineral lempung dengan kehadiran persentase yang berbeda, *Silicon Oxide Quartz Low* 57,2% (O₂, Si), *Illite* 33,5% (Al₄KO₁₂Si₂), *Albite* 8,0% (AlNaO₈Si₃), *zeolite* 1,1% (Al₁₈Ba₆H_{60,144}K_{2,190}O_{111,6}Si₁₈), *Clinochlore* 0,2% (Al_{0,99}H₂I₁₂Mg_{2,97}O₁₂ -Si_{3,04}). Berdasarkan hasil pengamatan pada sampel S2, mineral penyusun batulempung pada daerah penelitian yang dominan adalah *Illite* dengan persentase sebesar 42,2 %.



Gambar 6. Diffraction Pattern Graphic Sampel 1



Gambar 7. Diffraction Pattern Graphic Sampel 2

Peran Illite Terhadap Konstruksi Jalan

Analisis keteknikan juga dilakukan untuk konstruksi jalan, dan pengangkutan material dasar dasar didominasi oleh material batuempung, diamati

bahwa penurunan mineral *illite* mengakibatkan peningkatan sifat mekanik sebagai aspek yang sangat penting dalam analisis teknik. Dalam analisis teknik ditunjukkan bahwa penurunan persen kandungan

illite berkorelasi dengan nilai hasil analisis yang didapatkan. Selain itu, terdapat korelasi positif yang sangat kuat antara kandungan *illite* dan nilai komposisi mineral yang didapatkan. Jika nilai komposisi mineral lebih rendah akan menghasilkan jalan yang berkualitas baik, karena sifat mekaniknya mengalami peningkatan. Jika kandungan mineral *illite* lebih tinggi maka akan berpotensi berpengaruh buruk terhadap kualitas jalan. Pada konstruksi jalan dan operasi pengangkutan, kandungan *illite* harus dikontrol. Perlu diamati pula bahwa jalan yang dibangun jika tidak mempertimbangkan kandungan *illite* akan menghasilkan kualitas jalan yang buruk ketika kandungan *illite* memiliki jumlah mineral lebih besar dari 10,8% (Supandi et al, 2019).

KESIMPULAN

1. Mineral penyusun batu lempung pada daerah penelitian sebagai berikut; sampel S1 terkandung mineral *quartz*, *biotit*, *chlorit*, *kaolin*, serta *zeolite*, dan pada sampel S2 terdapat *massa dasar*, *rongga*, *plagioklas*, *feldspar*, *oxide*, *illite*, *klorit*, dan *skeletal grain*.
2. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa mineral yang terdapat dalam batu lempung yaitu mineral lempung *Illite*, dengan nilai komposisi terbesar pada sampel S1 sebesar 13,4% dan pada sampel S2 sebesar 42,2% mineral lempung pada litologi batu lempung, yang termasuk dalam kelompok mineral *illite*. Teramatih bahwa jalan yang dibangun tanpa mempertimbangkan kandungan *illite* menghasilkan kualitas jalan yang buruk. Karena itu data persentase mineral yang dihasilkan oleh analisis XRD, menunjukkan bahwa persentase mineral *illite* lebih >10,8% sehingga mineral *illite* dapat berpengaruh terhadap kerusakan jalan di daerah penelitian.
3. Ada 3 jenis kerusakan jalan yang terjadi di daerah penelitian yaitu; retak kulit buaya, lubang, dan amblas,

SARAN

Saran kepada peneliti selanjutnya agar pengambilan data mencakup pengujian sifat fisik batu lempung pada Formasi Klasaman. Penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dan pengambilan kebijakan bagi pemerintah dan masyarakat sekitar untuk melakukan antisipasi dalam melakukan pembangunan jalan di daerah penelitian.

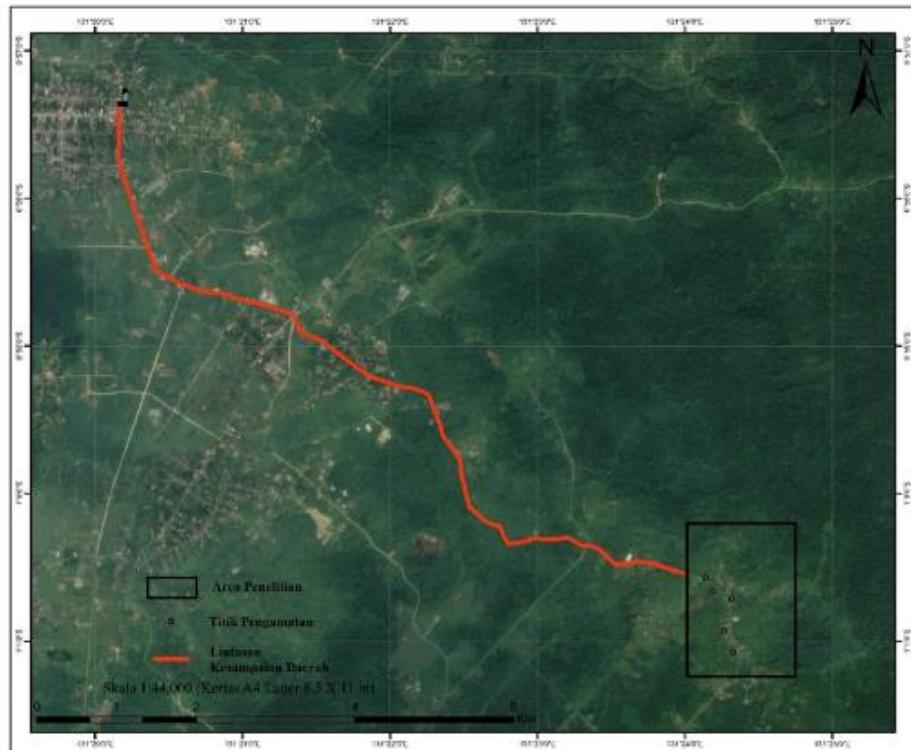
DAFTAR PUSTAKA

- Adelina M.F. (2016) Pengaruh Kadar air dan perensate stabilitas 10% kapur terhadap kekuatan tanah. Naskah pulikasi teknik Sipil universitas Brawijaya.
- Aribudiman, I Nyoman. dkk (2014), Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Sebagai Subgrabe Jalan. Vol. 18 (2). 113 – 121.

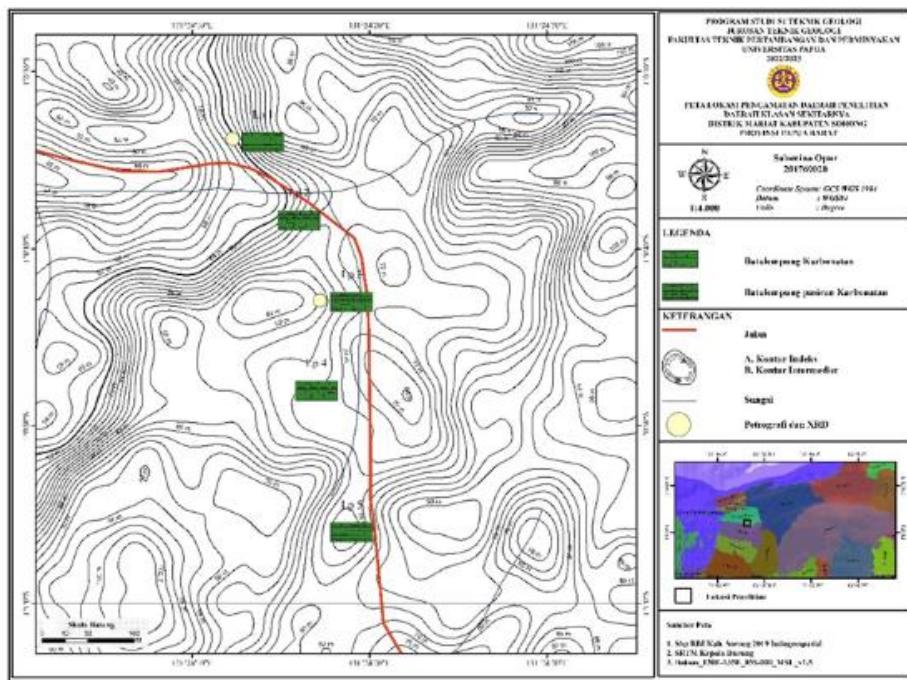
- Arbianto, R. (2020). Prediksi Potensi Mengembang Tanah Dengan Parameter Kadar Lempung. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, 25(2), 23-33.
- Ariesnaswa Adi Rizka. (2015). Karakteristik Mekanik Dan Dinamika Clay Shale Kabupaten Tuban Terhadap Perubahan Kadar Air. Thesis RC-2399
- Budi (2003), Pengaruh Fly Ash Terhadap sifat Pengembangan Ekspansif, journal Of Civil Engneerngi Dominasi Volume 5, NO 1. 20 – 24 ISSN 140 – 9334 March 2003
- Djamaludin A. R dan Hijraimi Nur (2015) Potensi pengembangan Dan Aktivitas Tanah Susut. Jurnal penelitian Teknik Sipil Universitas Hasanudian.
- D. Setiady, A. Sianipar (2009). Jenis Dan Kandungan Mineral Dalam Sedimen Lepas Pantai Diperairan Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam. Jurnal geologi Kelautan, Vol. 7, No. 3, 3 Desember 2009.
- Gonggo Siang Tandi, Fina Edyanti, Suherman, (2013). Karakteristik Fisiokimia Mineral Lempung Sebagai Bahan Dasar Industri Keramik Di Desa Lembah Bomban, Kecamatan Bolanu Lambunu, Kabupaten Parigi Mounting. Jurnal Akademika Kimia, Vol. 2, No. 2, 2013, 105-113.
- Gianjar Robby, Imam Achmad Sadisun (2019). Karakteristik Geoteknik Mineral Lempung Pada Terowongan Tambang Bawah Tanah Ciurug Level 600, Pongkor, Jawa Barat. Bulletin Of Geology, Vol. 3, No. 1, 2019
- Hasyim Ibnu, Heru Hedrayana, Arifudin Idrus (2005), Pengaruh Mineralogi Batuan Terhadap Tingkatan Kontaminasi Airtanah Antara Dua Formasi Pada Tambang Batubara Daerah Kutai Lama, Kecamatan Anggana. Jurnal Geologi Pertambangan, Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Lubis, Ricy Satya Pratama (2020), Geologi dan studi karakteristik Batu lembung sebagai bahan baku semen Daerah Perumpung dan sekitarnya Desa Hamblang, kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat Skripsi. Universitas Jendral Sudirman.
- Marselinus Untung Dwiatmoko. (2018). Identifikasi Karakteristik Dan Jenis Mineral Lempung Dalam Pemanfaatan Bidang Industry, Di Kecamatan Mataram, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan. Jurnal Geosapta, Vol. 4, No. 2, Juli 2018
- Merlyn D, Casa, 2022," Analisis Lingkungan Pengedapan Formasi Klasafet Daerah Klamono Kabupaten Sorong, Provinsi

- Papua Barat”, Teknik Pertambangan Dan Perminyakan, Universitas Papua, Manokwari Papua Barat.
- Munggarani, Nikelah Arifah, Andrea Wibowo, (2017), Kajian faktor-faktor penyebab kerusakan dini perkerasan jalan lentur dan pengaruh biaya penanganan.vol 3. (1).1-9
- Putra Sasana, I Wayan Diana, (2016), Identifikasi Kerusakan Jalan. Pada Perkerasan Kaku. Vol 20. (2).
- Simanjuntak Joshua Aditya, Irvan Sumantri Pakpahan, Jihan Almira Fauzia, Era Rio Sinuraya, Sekar Indah Tri Kusuma, (2018), Analisis Petrografi Dan Xrd Batuan Alterasi Gunungapi Ungaran, Pringapus, Kabupaten Semarang, Kelimpahan Mineral Alterasi Gunungapi Sebagai Potensi Mineral Industri. Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl Prof. Soedarto.
- Supandi et al, (2019), The Influence of Kaolinite Illite toward mechanical properties of Claystone, *The Cruyter*, 11:440–446.
- Titisari, Anastasia Dewi, Aris Sutikno, (2019), Studi Pendahuluan Karakteristik Lempung Terhadap kerusakan jalan Raya Kemusu – Juwangi. Kabupaten Boyolali jawa Tengah. Fo. 19. 976 – 993.
- Wesley I. D. (1977), Mekanika Tanah. Cetakan VI badan penerbit Pekerjaan Umum.
- Widada Sugeng, Hanna Afifah, Salatun Said, Hendaryono. (2019). Jenis Mineral Lempung Endapan Kuarter Pantai Semarang Jawa Tengah Dan Potensinya Sebagai Lumpur Pemboran. Jurnal off-shore, vol. 3, no. 1, juni 2019; 1-10.
- Yudaningrum, Farida. Ikhwanudin (2017), Identifikasi Jenis Kerusakan Jalan.Vol XII. (2). 1 – 54.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Peta lokasi penelitian



Lampiran 2. Peta lintasan daerah penelitian