

Analisis Geokimia Unsur Penyusun Batugamping di Daerah Iluta dan Sekitarnya, Kecamatan Batudaa, Provinsi Gorontalo

Moh. Febrianto Hamimu¹, Ahmad Zainuri¹, Muh. Kasim¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo
*e-mail: hamimufebri@gmail.com

Abstract

This study was conducted in Iluta Village, Batudaa District, Gorontalo Regency, to determine the petrographic characteristics, geochemical composition, and potential utilization of limestone. The research methods included geological mapping, rock sampling, petrographic analysis using thin sections, and geochemical analysis through X-Ray Fluorescence (XRF). The stratigraphy of the study area consists of limestone units with packstone, wackstone, and mudstone facies, as well as alluvial deposits. Petrographic observations show that packstone is dominated by micrite (73%), vuggy pores (16%), and foraminifera (11%); wackstone by vuggy pores (42%), micrite (34%), foraminifera (13%), and calcite (11%); while mudstone contains calcite (52%), micrite (40%), and foraminifera (8%). Geochemical results indicate that samples FH4 and FH18 have high CaO ($\pm 49-50\%$) and low $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, suggesting high-quality limestone suitable for cement and quicklime production. Conversely, sample FH22, with high $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ and low CaO ($\pm 8.31\%$), represents silicate-rich mudstone unsuitable for industrial limestone use.

Keywords: Limestone; Geochemistry; Packstone; Wackstone; Mudstone Iluta Batudaa

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di Desa Iluta, Kecamatan Batudaa, Kabupaten Gorontalo, dengan tujuan mengetahui karakteristik petrografi, komposisi geokimia, dan potensi pemanfaatan batugamping. Metode penelitian meliputi pemetaan geologi, pengambilan sampel batuan, analisis petrografi dengan sayatan tipis, serta analisis geokimia menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Stratigrafi daerah penelitian terdiri atas satuan batugamping dengan fasies packstone, wackstone, dan mudstone, serta endapan aluvial. Hasil pengamatan menunjukkan fasies packstone didominasi mikrit (73%), pori vuggy (16%), dan foraminifera (11%); fasies wackstone mengandung pori vuggy (42%), mikrit (34%), foraminifera (13%), dan kalsit (11%); sedangkan fasies mudstone terdiri atas kalsit (52%), mikrit (40%), dan foraminifera (8%). Analisis geokimia menunjukkan sampel FH4 dan FH18 memiliki kadar CaO tinggi ($\pm 49-50\%$) dengan $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ rendah, menandakan kualitas batugamping baik untuk industri semen dan kapur tohor. Sebaliknya, sampel FH22 dengan $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ tinggi dan CaO rendah ($\pm 8,31\%$) merupakan mudstone silikat yang tidak sesuai sebagai bahan baku industri.

Kata kunci: Batugamping; Geokimia; Packstone; Wackstone; Mudstone; Iluta Batudaa

1. PENDAHULUAN

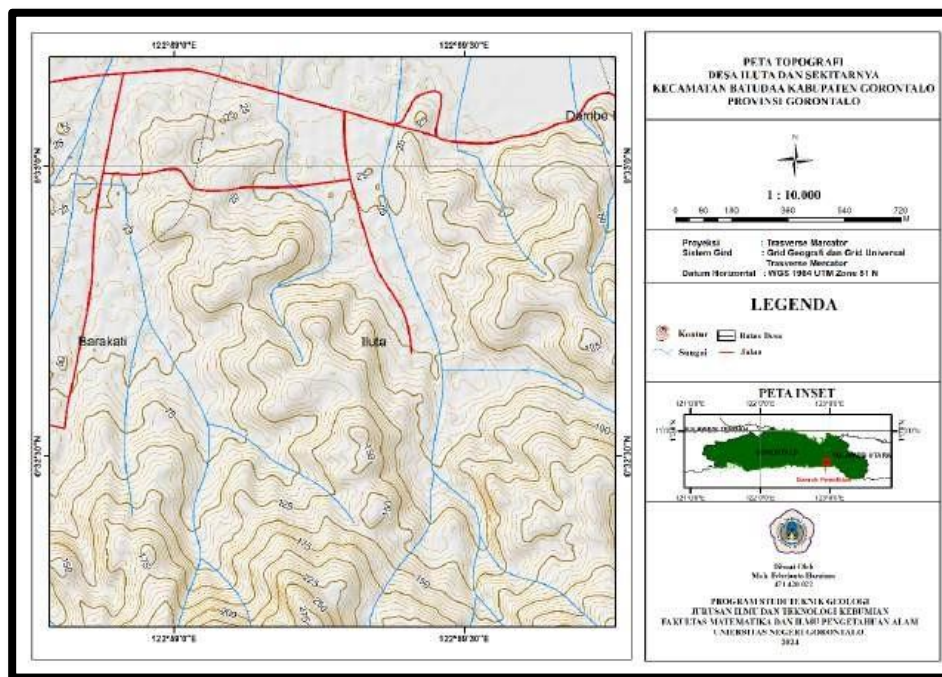
Geologi di wilayah Gorontalo adalah bagian dari jalur volcano-plutonik di Sulawesi utara yang memiliki pengaruh utama oleh batuan vulkanik dan sedimen (Gan, C., dkk 2022; Nurahmah, S.C.C., dkk 2024); Cottam., dkk 2011). Proses geologis di wilayah studi terjadi secara berkesinambungan cukup sejak periode Eosen-Miosen Awal hingga Kuartar, dengan perubahan alam sekitar dari perairan dalam hingga daratan, menunjukkan urutan regresif. (Bergman., dkk 1996; salama., dkk 2021; permana., dkk 2019; Pholbud., 2011; permana., 2019). Di dalam batuan vulkanik, sering ditemukan interbedded dengan lapisan batuan vulkanik lainnya, mengindikasikan keterkaitan penumpukan yang jelas antara keduanya. Karakteristik gunung api dari Formasi Tinombo diperkirakan sebagai batuan ofiolit, sementara batuan vulkanik yang lebih muda atau yang lebih baru merupakan bagian dari busur kepulauan (Somptan, 2012).

Geologi di daerah Iluta, yang termasuk dalam Peta Geologi Lembar Tilamuta, mencakup batuan sedimen yang berasal dari periode Kuartar (Holosen). Batuan-batuan utama yang ada di wilayah penelitian ialah Formasi Batugamping Terumbu (QT). Fokus studi khusus pada daerah tersebut diberikan pada Formasi Batugamping Terumbu (QT).

Keanekaragaman jenis batugamping di lokasi penelitian menjadi hal yang menarik untuk dikaji karena menunjukkan potensi variasi fasies. Oleh karena itu, penulis terdorong untuk melakukan pemetaan geologi serta penelitian lanjutan di Daerah Iluta, Kecamatan Batudaa, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo.

2. METODE

Daerah penelitian terletak di Desa Iluta Kecamatan Batudaa, Kabupaten Gorontalo. Secara geografis wilayah Iluta terletak antara koordinat $0^{\circ}32'56.2''N$ dan $122^{\circ}59'10.0''E$, dengan luas daerah penelitian sekitar 12,73 Km.



Gambar 1. Peta Topografi Daerah Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan antara metode kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif meliputi kegiatan observasi langsung di lapangan, seperti analisis morfologi, deskripsi singkapan, dan identifikasi litologi. Sedangkan pendekatan kuantitatif dilakukan melalui pemeriksaan petrografi dan analisis geokimia dengan metode X-Ray Fluorescence (XRF). (sabana., dkk 2022; eksan., dkk 2019).

Analisis petrografi dilaksanakan di Laboratorium Petrografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo. Kegiatan ini bertujuan menentukan jenis serta kandungan mineral penyusun batuan melalui pembuatan sayatan tipis yang selanjutnya diamati menggunakan mikroskop.

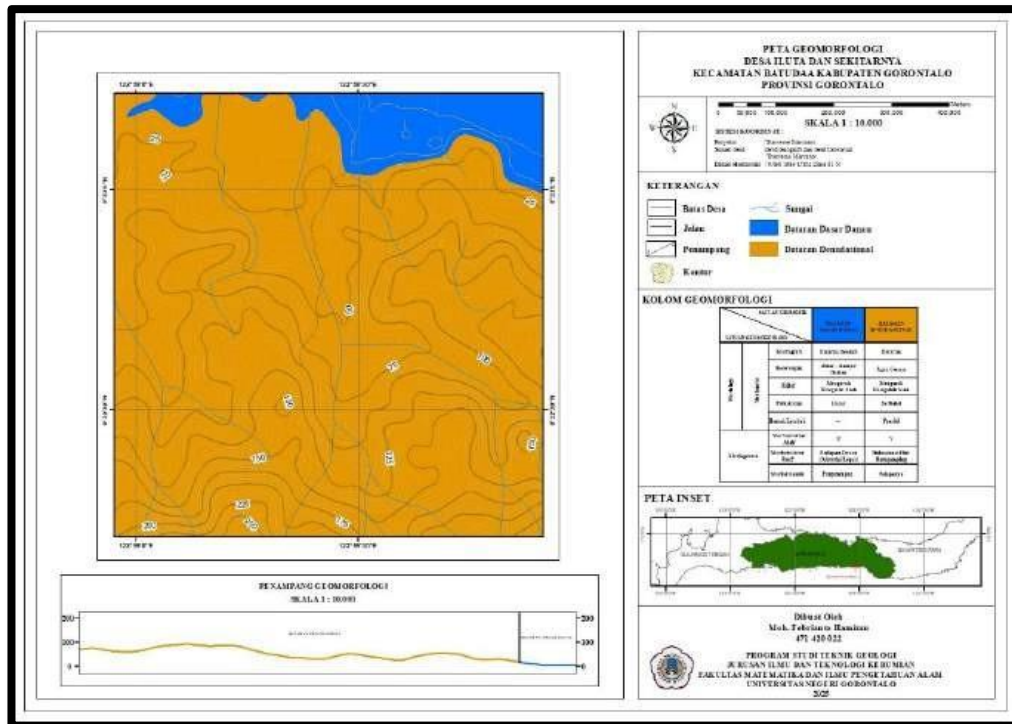
Sedangkan analisis geokimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia, pada sampel batugamping dari lapangan. Analisis ini memberikan gambaran mengenai kualitas batugamping di lokasi penelitian. Pengujian XRF dilaksanakan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi adalah cabang ilmu kebumihantropologi yang mempelajari proses terbentuknya lahan atau bentang alam, faktor-faktor yang memengaruhinya, asal-usul pembentukannya, serta interaksinya dengan lingkungan dalam ruang dan waktu. Dalam penelitian ini, penentuan satuan geomorfologi mengacu pada klasifikasi Van Zuidam (1985) dan aspek-aspek yang dijelaskan oleh Brahmantyo dan Bando (2006). Data geomorfologi dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan dengan memperhatikan bentuk lahan dan kontur ketinggian (morfologi), kemiringan lereng (morfometri), jenis litologi dan struktur geologi penyusun (morfostruktur pasif), proses geologi yang masih aktif (morfostruktur aktif), serta data pendukung dari peta geologi dan informasi terkait lainnya untuk menilai perubahan bentuk permukaan bumi.

Berdasarkan hasil analisis topografi dan observasi lapangan, geomorfologi wilayah penelitian memiliki ketinggian antara 25 hingga 275 mdpl dengan bentang alam yang bervariasi. Secara garis besar, geomorfologi daerah ini terbagi menjadi dua satuan utama. Pertama, satuan dataran dasar danau, yang memiliki morfologi datar hingga landai pada elevasi rendah, terbentuk melalui proses sedimentasi di lingkungan perairan atau bekas genangan danau. Kedua, satuan dataran denudasional, yang ditandai oleh morfologi perbukitan landai hingga bergelombang dengan ketinggian lebih tinggi, terbentuk akibat proses denudasi berupa pelapukan dan erosi pada batuan penyusunnya.



Gambar 2. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

B. Stratigrafi Daerah Penelitian

Penyusunan satuan stratigrafi pada daerah penelitian mengacu pada klasifikasi sistem penamaan tidak resmi yang didasarkan pada kesamaan ciri litologi hasil pengamatan lapangan serta analisis petrografi di laboratorium. Penentuan satuan batuan dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap singkapan di lapangan yang mencakup ciri litologi, tekstur, dan komposisi penyusunnya, kemudian diperkuat dengan data petrografi untuk mengetahui detail mineralogi maupun struktur mikroskopisnya. Hasil analisis tersebut selanjutnya dibandingkan dengan penelitian terdahulu pada lokasi yang sama sebagai acuan korelasi stratigrafi. Berdasarkan data yang diperoleh, tatanan stratigrafi di daerah penelitian dapat diurutkan dari fasies yang paling tua hingga fasies yang paling muda, yaitu fasies packstone, fasies wackstone dan fasies mudstone.

1) Satuan Packstone

Satuan ini merupakan jenis batuan sedimen karbonatan yang tersusun atas batuan karbonatan yaitu batugamping jenis packstone yang mana satuan ini tersebar luas dibagian barat dengan capaian sebarannya kurang lebih 50% dari luas Lokasi penelitian, Singkapan ini ditemukan di alur sungai kecil yang dangkal, dikelilingi oleh vegetasi lebat. Singkapan batuan tersingkap cukup baik pada dinding dan dasar sungai. Batuan yang dijumpai berwarna dominan hijau keabu-abuan dengan bagian berwarna putih hingga kecokelatan. Berdasarkan pengamatan megaskopis, batuan ini memiliki tekstur kasar dengan fragmen batuan berukuran kerikil hingga bongkah kecil yang berbentuk menyudut hingga membuldar. Fragmen-fragmen tersebut tersemam oleh matriks halus yang cukup kompak, namun masih terlihat rongga-rongga kecil di beberapa bagian.

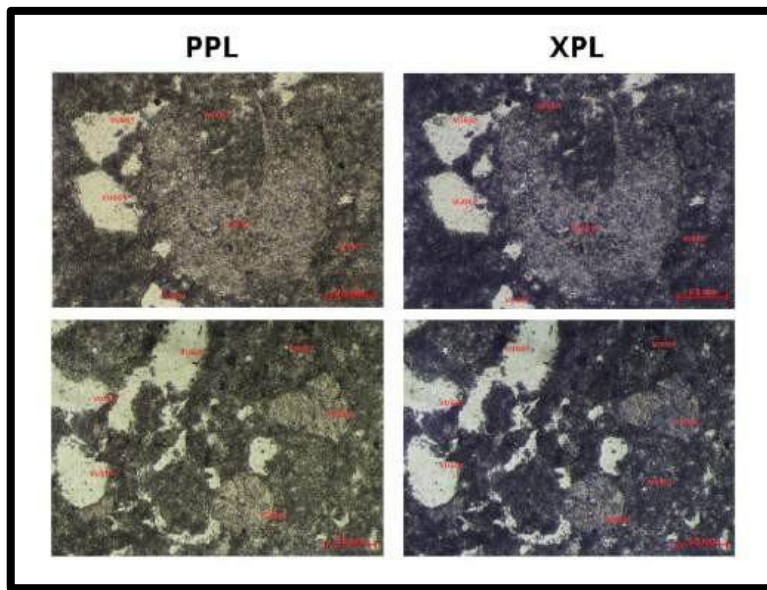


Gambar 3. Kenampakan Singkapan (A) dan Kenampakan Hand Specimen (B) Batugamping Packstone Pada Singkapan FH-18



Gambar 4. Kenampakan Megaskopis Batugamping Packstone Pada Singkapan D2-FH18

Hasil pengamatan mikroskopis pada sampel packstone menunjukkan sayatan tipis batugamping berwarna hitam keabu-abuan (nikol sejajar) dan abu-abu terang (nikol silang), dengan ukuran butiran 0,1–1,0 mm dan tekstur mud-supported. Batuan ini didominasi oleh mikrit sebesar 73%, memiliki porositas vuggy sekitar 16% akibat proses pelarutan, serta mengandung bioklas berupa foraminifera sebanyak 11%. Beberapa pori terisi oleh kalsit sekunder. Berdasarkan klasifikasi Embry dan Klovan (1971), sampel ini tergolong Batugamping Packstone.



Gambar 5. Kenampakan Sayatan Tipis Batugamping Packstone

2) Satuan Wackstone

Satuan ini merupakan jenis batuan sedimen karbonatan yang tersusun atas batuan karbonatan yaitu batugamping jenis wackstone yang mana satuan ini tersebar luas dibagian Tenggara dengan capaian sebarannya kurang lebih 30% dari luas Lokasi penelitian, Singkapan yang diamati menunjukkan lapisan horizontal yang cukup jelas, dengan perbedaan warna mencolok antara bagian atas yang berwarna putih terang dan bagian bawah yang lebih gelap. Batuan yang diambil dari singkapan ini berwarna putih cerah, bertekstur halus hingga sedikit kasar, serta memiliki porositas tinggi yang ditandai oleh banyaknya rongga-rongga kecil. Secara megaskopis, batuan ini tersusun oleh material karbonat halus (mikrit) dengan kandungan bioklas seperti pecahan foraminifera, bersifat ringan dan rapuh. Stratifikasi sejajar yang terlihat di singkapan menunjukkan proses pengendapan yang berlangsung secara tenang di lingkungan laut dangkal.

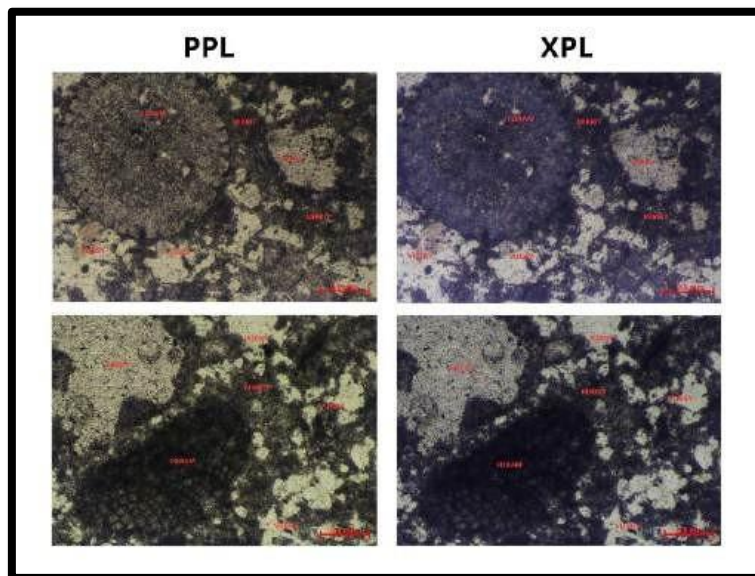


Gambar 6. Kenampakan Singkapan (A) dan Kenampakan Hand Specimen (B) Batugamping Wackstone Pada Singkapan FH-4



Gambar 7. Kenampakan Megaskopis Batugamping Wackstone Pada Singkapan FH-4

Hasil pengamatan mikroskopis pada sampel wackstone memperlihatkan sayatan tipis batugamping berwarna putih pucat hingga keabu-abuan dengan tekstur mud-supported. Komposisi utama penyusunnya terdiri atas foraminifera (13%), vuggy porosity (42%) sebagai fraksi terbesar, kalsit (11%), dan mikrit (34%) dengan total 1205 butir yang dianalisis. Sebagian pori terisi kalsit sekunder hasil proses diagenesis. Berdasarkan klasifikasi Embry dan Klovan (1971), sampel ini termasuk ke dalam Batugamping Wackstone.



Gambar 8. Kenampakan Sayatan Tipis Batugamping Wackstone

3) Satuan Mudstone

Satuan ini merupakan jenis batuan sedimen karbonatan yang tersusun atas batuan karbonatan yaitu batugamping jenis mudstone yang mana satuan ini tersebar luas dibagian Barat Laut dengan capaian sebarannya kurang lebih 20% dari luas Lokasi penelitian, Singkapan yang diamati berada pada lereng terbuka dengan kemiringan sedang hingga terjal dan memperlihatkan bagian batuan yang cukup jelas. Singkapan ini tersusun atas batuan karbonat berwarna krem hingga putih kekuningan, dengan tekstur halus hingga agak kasar dan tampak rapuh. Struktur perlapisan tidak terlalu tampak secara jelas, namun terdapat variasi warna vertikal yang mengindikasikan perubahan litologi atau proses diagenesis. Vegetasi semak dan pohon muda tumbuh di sekitar singkapan, terutama pada bagian atas, sementara bagian bawah singkapan cukup terbuka dan mudah diakses. Secara megaskopis, batuan memiliki komposisi dominan mikrit dan kalsit, serta diduga mengandung fragmen bioklastik halus seperti foraminifera.

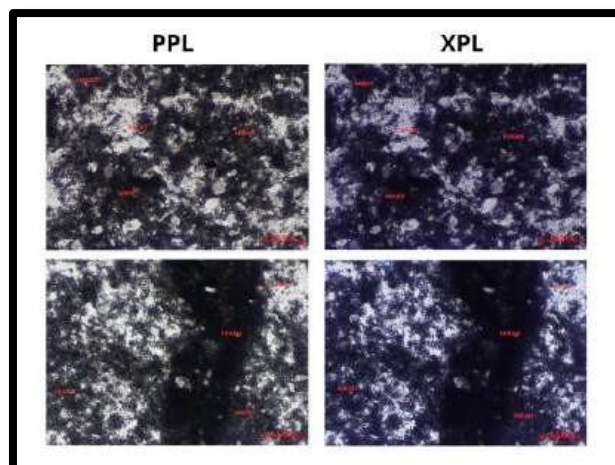


Gambar 9. Kenampakan Singkapan (A) dan Kenampakan Hand Specimen (B) Batugamping Mudstone Pada Singkapan FH-22



Gambar 10. Kenampakan Megaskopis Batugamping Mudstone Pada Singkapan FH-22

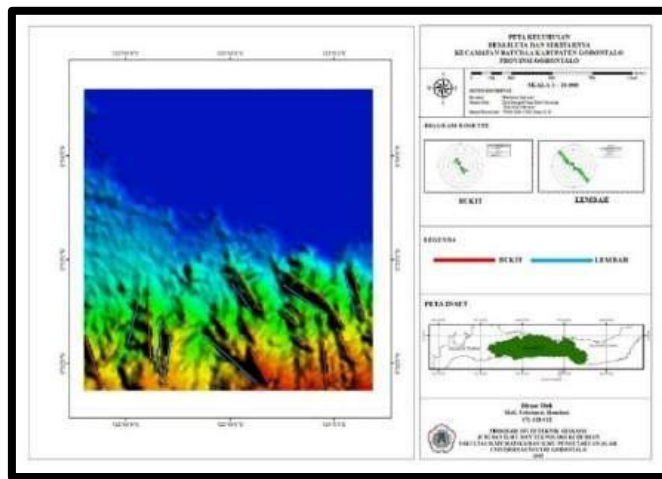
Hasil pengamatan mikroskopis pada sampel mudstone menunjukkan sayatan batugamping berwarna putih terang hingga hitam dengan tekstur mud-supported. Batuan ini didominasi oleh kalsit (52%) sebagai semen dan mikrit (40%) sebagai matriks, disertai bioklas berupa foraminifera (8%), sedangkan porositas vuggy sangat kecil (<1%) sehingga tidak signifikan. Dominasi kalsit dan mikrit menandakan adanya proses diagenesis lanjut dengan rekristalisasi kalsit yang mengisi sebagian besar pori. Berdasarkan klasifikasi Embry dan Klovan (1971), sampel ini termasuk ke dalam Batugamping Mudstone.



Gambar 11. Kenampakan Sayatan Tipis Batugamping Mudstone

C. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Analisis terhadap data struktur di wilayah penelitian dilakukan dengan meninjau pola kelurusan yang diperoleh dari data DEMNAS. Pendekatan ini dipilih karena tidak ditemukan data struktur geologi seperti kekar maupun sesar secara langsung di lapangan. Melalui interpretasi kelurusan tersebut, pengolahan data dilaksanakan menggunakan perangkat lunak *Global Mapper* dengan memisahkan kenampakan lembah dan punggung. Kedua elemen topografi ini sering kali menjadi indikator adanya struktur geologi bawah permukaan, misalnya sesar, patahan, atau lipatan. Lembah umumnya berkembang mengikuti jalur sesar atau zona rekahan, sehingga mencerminkan adanya proses penurunan permukaan akibat aktivitas geologi dalam waktu yang panjang. Sebaliknya, punggung merupakan kenampakan morfologi yang lebih tinggi, biasanya terbentuk karena aktivitas tektonik seperti pengangkatan atau pelipatan lapisan batuan. Dari hasil analisis kelurusan, orientasi punggung atau bukit cenderung mengarah barat laut – tenggara (NW–SE), sedangkan orientasi lembah dominan timur laut – barat daya (NE–SW). Pola orientasi tersebut menunjukkan adanya arah tegasan utama yang mempengaruhi pembentukan struktur geologi dan bentuk morfologi di kawasan penelitian.



Gambar 12. Peta Kelurusan Daerah Penelitian

D. Hasil Analisis Geokimia

Analisis geokimia batugamping dilakukan dengan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*). Analisis ini dilakukan pada tiga contoh yaitu sampel pada stasiun FH 18, FH 4, dan FH 22. Dari hasil uji XRF, diperoleh data seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Geokimia Batugamping

PARAMETER	FH 18	FH 4	FH 22
SiO ₂	7.32	10.66	53.58
Al ₂ O ₃	2.03	2.09	15.53
Fe ₂ O ₃	1.11	1.02	5.63
MgO	1.00	0.75	2.04
CaO	49.29	49.64	8.31
Na ₂ O	0.04	0.08	0.94
K ₂ O	0.14	0.17	1.14
TiO ₂	0.07	0.09	0.63
P ₂ O ₅	0.01	0.04	0.11
MnO	0.03	0.03	0.07
H ₂ O	38.47	34.82	11.57
SO ₃	0.10	0.03	0.04
H ₂ O	0.67	0.51	2.38

1) Satuan Packstone

Sampel pada stasiun FH 18 merupakan batugamping jenis packstone dengan komposisi unsur penyusun geokimia yang diperoleh berdasarkan hasil analisis geokimia menunjukkan dominasi CaO sebesar 49,64%, yang mengindikasikan bahwa batuan didominasi oleh mineral kalsit. Kandungan SiO₂ sebesar 10,66% menunjukkan adanya sedikit material silikat seperti kuarsa atau mineral lempung. Unsur minor lainnya yang terdeteksi adalah Al₂O₃ (2,09%), Fe₂O₃ (1,02%), dan MgO (0,75%), yang kemungkinan berasal dari mineral lempung atau oksida besi minor. Kandungan Na₂O (0,08%) dan K₂O (0,17%) sangat rendah, menunjukkan sedikit kontribusi mineral feldspar atau lempung alkali. Kandungan HD (34,82%) yang tinggi mendukung keberadaan material karbonat yang mudah terurai pada suhu tinggi. Berdasarkan komposisi ini, batuan dapat diinterpretasikan sebagai batugamping dengan sedikit kandungan material klastik.

2) Satuan Wackstone

Sampel pada stasiun FH 4 merupakan batugamping jenis wackstone yang mana komposisi unsur penyusun geokimia yang diperoleh berdasarkan hasil analisis geokimia menunjukkan dominasi CaO sebesar 49,29%, yang juga mengindikasikan bahwa batuan didominasi oleh mineral kalsit. Kandungan SiO₂ hanya 7,32%, lebih rendah dibanding Stasiun 1, menunjukkan kemurnian karbonat yang lebih tinggi. Kandungan Al₂O₃ (2,03%), Fe₂O₃ (1,11%), dan MgO (1,00%) tetap rendah, menunjukkan sedikit kandungan mineral lempung atau oksida besi. Kandungan Na₂O (0,04%) dan K₂O (0,14%) juga sangat rendah. HD mencapai 38,47%, semakin menegaskan dominasi karbonat pada batuan ini. Berdasarkan komposisi kimia tersebut, batuan di Stasiun 2 diinterpretasikan sebagai batugamping murni dengan kemurnian karbonat tinggi.

3) Satuan Mudstone

Sampel pada stasiun FH 22 merupakan batugamping jenis mudstone yang mana komposisi unsur penyusun geokimia yang diperoleh berdasarkan hasil analisis geokimia menunjukkan kandungan SiO₂ yang sangat tinggi sebesar 53,58%, mengindikasikan dominasi mineral kuarsa atau mineral lempung silikat. Kandungan Al₂O₃ (15,53%) juga tinggi, mendukung keberadaan mineral lempung alumina seperti illit atau kaolinit. Kandungan Fe₂O₃ (5,63%) dan MgO (2,84%) lebih tinggi dibanding dua sampel sebelumnya, menunjukkan adanya mineral lempung berbesi dan magnesium. Kandungan CaO hanya 8,31%, yang mengindikasikan bahwa batuan bukan batugamping murni melainkan batuan silikat dengan sedikit karbonat. Kandungan Na₂O (0,94%) dan K₂O (1,14%) relatif lebih tinggi, mendukung kehadiran mineral lempung atau feldspar alterasi. HD hanya 11,57%, menunjukkan kandungan karbonat yang rendah. Berdasarkan data tersebut, sampel Stasiun 3 diinterpretasikan sebagai mudstone atau sedimen silikat-lempung dengan sedikit kandungan karbonat.

E. Potensi Batugamping

Hasil analisis geokimia menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) pada beberapa sampel batugamping di wilayah penelitian menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada kandungan oksida utama, terutama CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. Perbedaan komposisi unsur ini mencerminkan tingkat kemurnian batugamping sekaligus menilai potensi penggunaannya sebagai bahan baku industri, khususnya dalam industri semen.

Kandungan CaO sebagai komponen utama dalam batugamping menunjukkan nilai yang berbeda pada setiap sampel. Pada sampel FH18 dan FH4, kandungan CaO masing-masing sebesar 49,29% dan 49,64%, sedangkan pada sampel FH22 kadar CaO jauh lebih rendah yaitu hanya mencapai 8,31%. Secara umum, rata-rata kadar CaO pada seluruh sampel adalah 35,74%. Jika mengacu pada SNI, batugamping yang layak digunakan sebagai bahan baku semen harus memiliki kandungan CaO lebih besar dari 50% serta kandungan MgO kurang dari 2%. Dengan demikian, sampel FH18 dan FH4 dapat dikategorikan hampir memenuhi standar yang dipersyaratkan, sedangkan sampel FH22 tidak memenuhi standar karena kandungan CaO yang sangat rendah.

Selain CaO, kandungan MgO pada batugamping juga menjadi faktor penting dalam menilai kualitas batuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sampel memiliki kandungan MgO antara 0,75%–2,84% dengan rata-rata sebesar 1,53%. Nilai ini masih berada dalam kisaran batas toleransi yang ditentukan standar, meskipun sampel FH22 dengan MgO 2,84% mendekati ambang batas. Kandungan MgO yang tinggi umumnya tidak diinginkan dalam industri semen karena dapat menghasilkan senyawa periklas (MgO bebas) yang berpotensi menyebabkan retak (expansion cracking) pada produk akhir.

Kandungan SiO₂ pada sampel juga menunjukkan variasi yang cukup mencolok, di mana nilai tertinggi terdapat pada sampel FH22 yaitu sebesar 53,58%, sedangkan pada sampel FH18 dan FH4 masing-masing hanya sebesar 7,32% dan 10,66%. Nilai rata-rata kandungan SiO₂ dari seluruh sampel adalah 23,85%. Hal ini menunjukkan bahwa sampel FH22 memiliki karakter lebih silisik dibandingkan dengan dua sampel lainnya, sehingga cenderung tidak sesuai untuk dimanfaatkan sebagai batugamping murni dalam industri semen. Sementara itu, kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ pada sampel berkisar antara 2,03–15,53% dan 1,02–5,63% dengan nilai rata-rata masing-masing 6,55% dan 2,58%. Kedua oksida ini berperan sebagai bahan minor dalam pembuatan semen karena dapat meningkatkan sifat hidrolik pada proses pembentukan klinker.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, dapat diinterpretasikan bahwa sampel FH18 dan FH4 memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku semen karena kandungan CaO mendekati standar minimal yang dipersyaratkan dan kandungan MgO masih relatif rendah. Namun demikian, agar dapat memenuhi standar industri secara penuh, diperlukan blending atau pencampuran dengan batugamping yang memiliki kadar CaO lebih tinggi. Sebaliknya, sampel FH22 dengan kadar CaO sangat rendah dan kadar SiO₂ sangat tinggi tidak layak digunakan sebagai bahan baku semen. Sampel ini lebih tepat dikategorikan sebagai batugamping impure atau batupasir karbonatan yang kemungkinan besar hanya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan konstruksi sederhana, seperti agregat jalan atau material urug, tetapi tidak untuk industri semen.

Dengan demikian, hasil uji geokimia memperlihatkan bahwa batugamping di daerah penelitian menunjukkan variasi kualitas, di mana sebagian sampel memiliki potensi untuk digunakan dalam industri semen, sedangkan sebagian lainnya tidak memenuhi kriteria standar dan hanya layak digunakan untuk pemanfaatan industri yang lebih rendah.

F. Pemanfaatan Batugamping Sebagai Bahan Baku Industri

Tabel 2. Jenis Pemanfaatan Batugamping Berdasarkan Kandungan Senyawa Pada Daerah Penelitian.

No	Sampel	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Pemanfaatan
1	FH 18	49,29	7,32	2,03	1,11	1,00	Industri semen portland tipe 1 (perlu dilakukannya blending CaO mendekati syarat SNI ; MgO < 5%
2	FH 4	49,64	10,66	2,09	1,02	0,75	Industri semen portland tipe 1 (perlu dilakukannya blending CaO mendekati syarat SNI ; MgO < 5%
3	FH 22	8,31	53,58	15,53	5,63	2,84	Industri konstruksi (agregat, urugan, batu pecah) ; bahan korektif silika pada pembuatan semen

1) Satuan Packstone

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa sampel FH18 memiliki kandungan CaO sebesar 49,29%, SiO₂ sebesar 7,32%, Al₂O₃ sebesar 2,03%, Fe₂O₃ sebesar 1,11%, dan MgO sebesar 1,00%. Berdasarkan standar SNI dalam buku bahan galian industri Sukandarrumidi, (2016) Menyatakan bahwa syarat minimal CaO untuk bahan baku semen portland adalah ≥50% dan MgO maksimal 5%. Dengan demikian, kandungan CaO pada FH18 berada sedikit di bawah syarat minimal standar, sedangkan kandungan MgO berada jauh di bawah batas maksimum yang ditentukan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa batugamping FH18 pada dasarnya dapat digunakan untuk bahan baku semen portland tipe I, yaitu jenis semen yang paling umum digunakan untuk keperluan konstruksi umum, meskipun CaO perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, pemanfaatan FH18 membutuhkan langkah blending, yaitu pencampuran dengan batugamping lain yang kaya CaO atau dengan bahan korektif untuk meningkatkan kandungan kalsium oksida agar sesuai dengan spesifikasi industri semen.

Selain itu, kandungan SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ pada sampel ini relatif rendah, sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap kualitas semen. Kandungan oksida-oksida minor tersebut justru dapat berperan sebagai mineral tambahan yang mendukung proses klinkerisasi. Rendahnya MgO juga menjadi faktor positif karena kadar MgO yang tinggi dapat menyebabkan ekspansi berlebih dan menurunkan kualitas semen.

Dengan demikian, meskipun FH18 belum sepenuhnya memenuhi standar secara mandiri, batugamping ini tetap memiliki potensi besar sebagai bahan baku semen setelah melalui tahap pencampuran. Hal ini

menjadikan FH18 bernilai ekonomis dan dapat dikembangkan untuk mendukung industri semen di daerah penelitian.

2) Satuan Wackstone

Sampel FH4 memiliki kandungan CaO sebesar 49,64%, SiO₂ sebesar 10,66%, Al₂O₃ sebesar 2,09%, Fe₂O₃ sebesar 1,02%, dan MgO sebesar 0,75%. Nilai CaO pada FH4 berada pada kondisi hampir sama dengan FH18, yaitu sedikit di bawah syarat minimal standar ($\geq 50\%$). Sementara itu, kandungan MgO tetap berada jauh di bawah ambang batas 5%, sehingga sampel ini aman untuk digunakan pada industri semen.

Dengan karakteristik ini, FH4 juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku semen portland tipe I, yaitu semen umum yang banyak digunakan untuk konstruksi bangunan gedung, jalan, maupun infrastruktur lainnya. Namun, sama seperti FH18, pemanfaatannya memerlukan blending dengan material lain yang memiliki kadar CaO lebih tinggi untuk menyesuaikan dengan spesifikasi SNI Sukandarrumidi (2016). Dari segi komposisi minor, kandungan SiO₂ pada sampel FH4 lebih tinggi dibandingkan FH18. Kadar silika yang cukup tinggi ini sebenarnya menjadi kelebihan karena berperan penting dalam pembentukan senyawa C₂S (dicalcium silicate) dan C₃S (tricalcium silicate) yang menentukan kekuatan jangka panjang semen. Namun, jika kadar silika terlalu tinggi tanpa diimbangi oleh CaO, hal ini justru dapat menurunkan reaktivitas bahan baku.

Dengan demikian, FH4 memiliki prospek pemanfaatan utama sebagai bahan baku semen setelah melalui proses pencampuran. Karakteristiknya yang mirip dengan FH18 membuat keduanya dapat digabungkan sebagai bagian dari komposisi raw mix dalam industri semen portland.

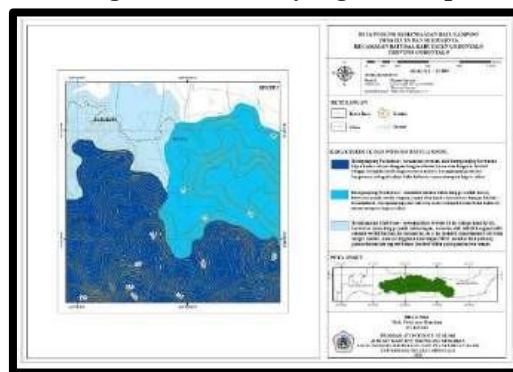
3) Satuan Mudstone

Berbeda dengan FH18 dan FH4, sampel FH22 memiliki komposisi kimia yang sangat berbeda. Kandungan CaO hanya sebesar 8,31%, jauh di bawah syarat minimal CaO untuk industri semen. Sementara itu, kandungan SiO₂ pada FH22 sangat tinggi, yaitu mencapai 53,58%, diikuti dengan Al₂O₃ sebesar 15,53%, Fe₂O₃ sebesar 5,63%, dan MgO sebesar 2,84%.

Dengan kondisi tersebut, batugamping FH22 kurang layak dijadikan bahan baku utama untuk industri semen karena kandungan CaO-nya sangat rendah. Namun, kadar SiO₂ yang tinggi justru membuka peluang pemanfaatan lain, yakni sebagai bahan korektif silika dalam proses pembuatan semen. Industri semen memerlukan penyeimbang kandungan silika untuk memperoleh komposisi raw mix yang optimal, sehingga FH22 tetap memiliki peran penting meskipun bukan sebagai bahan utama.

G. Penyebaran Batugamping Di Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian, batugamping yang tersingkap memperlihatkan variasi litofasies utama berupa packstone, wackstone, dan mudstone. Secara spasial, penyebaran litofasies ini dapat diamati dari morfologi dan posisi stratigrafi pada peta geologi. Batugamping jenis packstone menempati sekitar 50% dari total luas penyebaran, umumnya berada pada morfologi perbukitan yang lebih menonjol dengan tekstur agak kompak serta kandungan bioklas melimpah. Batugamping jenis wackstone menempati sekitar 30% dari total luas penyebaran, ditemukan pada morfologi perbukitan landai hingga lereng dengan tekstur lebih halus, serta skeletal grain yang terdispersi dalam matriks mikrit. Sementara itu, batugamping jenis mudstone menempati sekitar 20% dari total luas penyebaran, dominan pada morfologi rendah hingga dataran bergelombang, dengan ciri utama warna abu-abu pucat, tekstur halus, dan dominasi mikrit sebagai penyusun utama. Sisanya berupa endapan kuartar muda dan litologi non karbonat yang menutupi sebagian kecil daerah penelitian.



Gambar 13. Peta Potensi Pemanfaatan Batugamping Daerah Penelitian

4. KESIMPULAN

- a. Kondisi geologi daerah penelitian terdiri dari geomorfologi berupa dataran denudasional dan dataran danau dengan pola aliran sungai adalah *Parallel*. Daerah penelitian terbagi atas tiga satuan batugamping dari yang tertua hingga yang termuda yaitu satuan batugamping mudstone, satuan batugamping wackstone, dan satuan batugamping packstone. Berdasarkan analisis kelurusan diperoleh hasil kelurusan bukit dan lembah memiliki arah tegasan dominan kelurusan punggung (bukit) umumnya berorientasi barat laut – tenggara (NW-SE), sedangkan kelurusan lembah umumnya berorientasi timur laut – barat daya (NE-SW).
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di daerah Iluta, Kecamatan Batudaa, Kabupaten Gorontalo, dapat disimpulkan bahwa stratigrafi daerah penelitian tersusun atas satuan batugamping dengan fasies packstone, wackstone, dan mudstone dari tua ke muda, serta satuan aluvial. Fasies packstone tersusun atas batugamping berwarna hijau keabu-abuan dengan tekstur kasar dan fragmen kerikil hingga bongkah kecil yang tersemam mikrit, ditemukan dominan di bagian barat. Fasies wackstone memiliki tekstur halus hingga sedikit kasar, berwarna putih cerah, ringan, rapuh, dan kaya mikrit dengan bioklas foraminifera, tersebar di bagian tenggara. Sementara itu, fasies mudstone menunjukkan tekstur halus hingga agak kasar, berwarna krem hingga putih kekuningan, tersusun oleh mikrit dan kalsit dengan sedikit bioklas, dan ditemukan di bagian barat laut.
- b. Berdasarkan hasil analisis geokimia XRF, sampel satuan batugamping packstone dan sampel satuan batugamping wackstone memiliki kandungan CaO tinggi sekitar 49–50% serta SiO₂ dan Al₂O₃ yang rendah, sehingga menunjukkan kualitas batugamping yang baik dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku industri semen maupun kapur tohor. Sementara itu, sampel satuan batugamping mudstone memiliki kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang sangat tinggi dengan CaO rendah sekitar 8,31%, sehingga menunjukkan bahwa sampel ini merupakan mudstone atau shale dengan dominasi mineral silikat dan lempung yang tidak sesuai digunakan sebagai bahan baku industri batugamping. Secara keseluruhan, batugamping pada daerah penelitian memiliki potensi ekonomis terutama pada satuan packstone dan wackstone untuk pemanfaatan pada sektor industri semen dan kapur, sedangkan mudstone tidak direkomendasikan sebagai batugamping industri tetapi dapat berperan sebagai lapisan penutup atau pelindung pada satuan stratigrafi di lokasi penelitian.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penulisan naskah ini. Terima kasih juga kepada Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi atas fasilitas analisis geokimia X-Ray Fluorescence (XRF) yang telah diberikan. Penghargaan yang tulus juga disampaikan kepada rekan-rekan di lapangan dan laboratorium atas bantuan teknis serta kerja sama yang baik selama kegiatan penelitian. Tidak lupa, penulis berterima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bergman, S. C., Coffield, D. Q., Talbot, J. P., & Garrard, R. A. (1996). Tertiary tectonic and magmatic evolution of western Sulawesi and the Makassar Strait, Indonesia: evidence for a Miocene continent-continent collision. Geological Society, London, Special Publications, 106(1), 391-429.
- Brahmantyo, B. & Bando. 2006. Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. Jurnal Geoplika, V. 1 (2), p. 71-78.

- Cottam, M. A., Hall, R., Forster, M. A., & Boudagher-Fadel, M. K. (2011). Basement character and basin formation in Gorontalo Bay, Sulawesi, Indonesia: new observations from the Togian Islands.
- Eksan, D. H., Zainuri, A., & Kasim, M. (2019). Potensi Batugamping Untuk Bahan Baku Industri Semen Daerah Biluhu Timur dan Sekitarnya. *Jambura Geoscience Review*, 1(2), 68-76.
- Embry, A. F., and Klovan, J. E. 1971. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, NWT. *Bull. Can. Petroleum Geol.* Vol. 19. 730–781.
- Gan, C., Wang, Y., Qian, X., Lu, X., Mustapha, K. A., Zhang, Y., & Wu, S. (2022). Diorite enclaves and host granite of the early Miocene Gorontalo pluton in the North Sulawesi Arc, Indonesia: Implications for recycled oceanic crust and crust-mantle interaction. *Journal of Asian Earth Sciences*, 227, 105101.
- Nurahmah, S. C. C., Rosana, M. F., & Haryanto, I. (2024). Geochemistry of Volcanic Rocks in Poneo Island, North Gorontalo, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 9(3), 304-312.
- Permana, A. P. (2019). Tipe, Lingkungan dan Sejarah Diagenesis Batugamping Buliide Gorontalo Berdasarkan Analisis Petrografi. *Jurnal Geomine*, 7(02), 79-86.
- Permana, A. P., Pramumijoyo, S., & Akmaluddin, A. (2019). Analysis of microfacies and depositional environment of limestone in Yosonegoro area, Gorontalo Province, Indonesia. *Bulletin of the Iraq Natural History Museum (P-ISSN: 1017-8678, E-ISSN: 2311-9799)*, 15(4), 443-454.
- Pholbud, P. (2011). Tectono-stratigraphic Evolution of Western Gorontalo Bay, Indonesia. *Berita Sedimentologi*, 22(1), 16.
- Sabana, H. D. (2022). Analisis Geokimia Batu Gamping Desa Kamang Magek Bagian Tenggara, Kecamatan Tilatang Kamang, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Salama, T. H., Maryati, S., & Manyoe, I. N. (2021). Studi Mekanisme Sedimentasi Formasi Dolokapa, Gorontalo. *Jambura Geoscience Review*, 3(2), 97-111.
- Sompotan, 2012. Struktur Geologi Sulawesi, Perpustakaan Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Sukandarrumidi. (2016). *Bahan galian industri* (Cetakan ke-4). Yogyakarta: UGM Press.
- Van Zuidam, R, A. 1985. Aerial Photo Interpretation In Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC, Smits Publ. Enschede, The Hagu Netherlands.