

OPTIMALISASI PRODUK LIMBAH WASHING BERUPA LEMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PADA INDUSTRI BATAKO, DAN GENTENG DI WILAYAH KECAMATAN TEGAL WARU, KABUPATEN PURWAKARTA, PROVINSI JAWA BARAT

Noufal Abhinaya¹, Teuku Yan W M Iskandar¹, Ildrem Syafri¹

¹ Program Studi Pasca Sarjana Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran

Email: noufal24001@mail.unpad.ac.id¹, Ildrem.syafri@unpad.ac.id¹, Yan@unpad.ac.id¹

Naskah Diterima: Februari 2026/Revisi: Mei 2026 /Disetujui: Juni 2026

ABSTRAK

Industri pertambangan andesit di Desa Sukamulya, Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Purwakarta menghasilkan limbah pencucian (washing waste) dalam jumlah besar sebagai akibat dari proses pencucian agregat untuk meningkatkan kualitas material. Limbah ini didominasi oleh partikel halus yang mengandung silika, alumina, dan mineral lempung, yang berpotensi mencemari lingkungan serta meningkatkan beban biaya operasional apabila tidak dikelola secara optimal. Di sisi lain, industri bahan bangunan seperti genteng dan batako memerlukan bahan baku lempung dengan karakteristik mineralogi dan kimia tertentu untuk memenuhi persyaratan fisik dan mekanik produk. Studi ini bertujuan mengevaluasi potensi limbah abu cuci andesit sebagai bahan substitusi sebagian lempung alami dalam pembuatan genteng dan batako berdasarkan kesesuaian komposisi kimia, sifat fisik, dan fungsinya terhadap kinerja produk. Pemanfaatan limbah ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah material, mengurangi dampak lingkungan, serta mendukung konsep pengelolaan limbah pertambangan yang berkelanjutan.

Kata kunci: limbah pencucian andesit, lempung, genteng, batako, pemanfaatan limbah, bahan bangunan berkelanjutan.

ABSTRACT

The andesite mining industry in Sukamulya Village, Tegalwaru District, Purwakarta Regency generates a large volume of washing waste as a result of aggregate washing processes aimed at improving material quality. This waste is predominantly composed of fine particles containing silica, alumina, and clay minerals, which may cause environmental pollution and increase operational costs if not properly managed. Meanwhile, the building materials industry, such as roof tiles and concrete blocks, requires clay raw materials with specific mineralogical and chemical characteristics to meet the physical and mechanical performance requirements of the final products. This study aims to evaluate the potential of andesite washing waste ash as a partial substitute for natural clay in the production of roof tiles and concrete blocks based on its chemical composition, physical properties, and functional contribution to product performance. The utilization of this waste is expected to enhance material value, reduce environmental impacts, and support sustainable mining waste management practices.

Keywords: andesite washing waste, clay, roof tiles, concrete blocks, waste utilization, sustainable building materials.

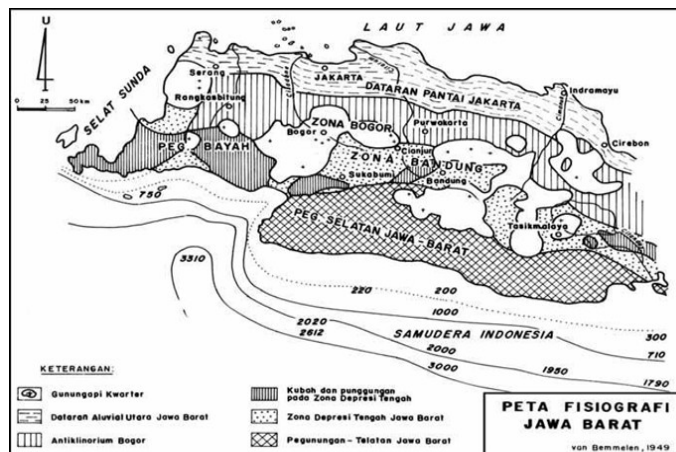
PENDAHULUAN

Secara fisiografi, wilayah Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Purwakarta, termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat yang menurut klasifikasi Van Bemmelen (1949) merupakan bagian dari busur vulkanik Tersier–Kuarter Pulau Jawa. Zona ini dicirikan oleh dominasi batuan vulkanik, khususnya lava andesit, breksi vulkanik, dan tuf hasil aktivitas gunungapi purba yang berkembang intensif sejak Kala Tersier Akhir hingga Kuarter. Kondisi fisiografi tersebut menjadikan wilayah Purwakarta dan sekitarnya kaya akan sumber daya batuan andesit yang hingga saat ini dimanfaatkan secara luas sebagai bahan baku industri konstruksi.

Proses vulkanisme yang membentuk zona fisiografi ini berperan penting dalam menentukan komposisi mineralogi dan kimia batuan andesit, yang umumnya didominasi oleh silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), serta mineral plagioklas dan mineral lempung hasil alterasi. Karakteristik ini tidak hanya mempengaruhi kualitas batuan andesit sebagai agregat, tetapi juga menentukan sifat limbah hasil pencucian (washing) agregat, yang berupa partikel halus kaya silika, alumina, dan fraksi lempung.

Lebih lanjut, dalam kerangka fisiografi Van Bemmelen (1949), Zona Pegunungan Selatan berperan sebagai daerah sumber material vulkanik yang mengalami pelapukan intensif, baik secara fisik maupun kimia, akibat kondisi iklim tropis basah. Proses pelapukan tersebut menghasilkan material halus yang secara alami memiliki kesamaan karakteristik dengan bahan baku industri keramik dan bahan bangunan berbasis lempung. Hal ini memperkuat dugaan bahwa limbah abu cuci andesit dari wilayah Tegalwaru memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif genteng dan batako.

Dengan demikian, pemanfaatan limbah pencucian andesit pada industri genteng dan batako tidak hanya relevan dari sisi teknis dan lingkungan, tetapi juga selaras dengan kondisi fisiografi regional Jawa Barat sebagaimana dikemukakan oleh Van Bemmelen (1949). Pendekatan ini mendukung konsep keterpaduan antara sumber daya geologi, industri hilir, dan pembangunan berkelanjutan, khususnya di wilayah yang secara fisiografis didominasi oleh batuan vulkanik seperti Kabupaten Purwakarta.



.Gambar 1 Peta Fisiografi Jawa Barat (Van Bemmelen,1949)

METODOLOGI

Jenis lempung yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan genteng dan batako memiliki karakteristik mineralogi dan kimia yang berbeda, yang secara langsung memengaruhi fungsi serta sifat produk akhir yang dihasilkan. Untuk pembuatan genteng, jenis lempung yang paling sesuai adalah lempung kaolinitik dan lempung ilitik. Kedua jenis lempung ini umumnya mengandung silika (SiO_2) sebesar 45–60% dan alumina (Al_2O_3) sekitar 10–20%, dengan kandungan kalsium oksida (CaO) berkisar 10–15%. Komposisi kimia tersebut memberikan stabilitas termal yang baik, tingkat plastisitas yang memadai, serta kemampuan pengikatan antarpartikel yang kuat selama proses pencetakan dan pembakaran. Lempung kaolinitik dikenal memiliki struktur mineral yang relatif stabil terhadap suhu tinggi, sehingga mampu menghasilkan produk genteng dengan kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap pelapukan, serta warna merah bata alami yang dipengaruhi oleh keberadaan oksida besi (Fe_2O_3) dalam material lempung (Colpas-Ruiz et al., 2020; SNI 03-2095-1998).

Sementara itu, untuk pembuatan batako, jenis lempung yang umum digunakan adalah lempung montmorilonitik (smektitik) atau lempung campuran kaolinit–montmorilonit. Lempung ini memiliki kandungan SiO_2 sebesar 40–55%, Al_2O_3 sebesar 5–15%, serta CaO yang relatif lebih tinggi, yaitu sekitar 15–25%. Kandungan kalsium yang tinggi berperan penting dalam meningkatkan kepadatan dan kuat tekan batako melalui pembentukan struktur yang lebih padat serta mendukung proses hidrasi semen selama tahap pengerasan. Selain itu, lempung montmorilonitik memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi dan plastisitas yang besar, sehingga mempermudah proses pencetakan serta meningkatkan ikatan antarpartikel pada campuran batako (Amalia Suci, 2023; SNI 03-0349-1989).

Sebagai upaya mendukung pemanfaatan material ramah lingkungan dan berkelanjutan, limbah abu cuci (washing waste) hasil proses pencucian batuan andesit dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi parsial terhadap lempung alami. Limbah ini umumnya mengandung SiO_2 sebesar 45–55%, Al_2O_3 sekitar 8–18%, serta CaO sebesar 10–20%, dengan karakteristik ukuran partikel halus berkisar 75–150 mikron, berat jenis 2,1–2,3 g/cm^3 , dan daya serap air sedang antara 5–10%. Karakteristik tersebut menjadikan limbah abu cuci berpotensi meningkatkan ikatan antarpartikel, memperbaiki kepadatan mikrostruktur, serta mendukung proses hidrasi semen maupun proses sintering pada material berbasis lempung.

Dengan demikian, lempung kaolinitik dan ilitik lebih sesuai digunakan sebagai bahan baku pembuatan genteng karena stabilitas termal, kekuatan mekanik, dan kualitas estetika yang dihasilkan, sedangkan lempung montmorilonitik lebih optimal untuk pembuatan batako karena daya ikat, plastisitas, dan kontribusinya terhadap peningkatan kuat tekan.

Pemanfaatan limbah abu cuci sebagai bahan substitusi alternatif diharapkan tidak hanya mampu memperbaiki sifat fisik dan mekanik produk genteng dan batako, tetapi juga memberikan nilai tambah pada limbah industri pencucian andesit, sehingga mendukung konsep efisiensi sumber daya dan pengelolaan lingkungan pertambangan yang berkelanjutan (Colpas-Ruiz et al., 2020; Amalia Suci, 2023).

**OPTIMALISASI PRODUK LIMBAH WASHING BERUPA LEMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PADA
INDUSTRI BATAKO DAN GENTENG DI WILAYAH KECAMATAN TEGAL WARU, KABUPATEN PURWAKARTA,
PROVINSI JAWA BARAT**



Gambar 2 Peta lokasi penelitian dan lintasan pengukuran geolistrik pada Kecamatan Tegal Waru, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat

Pengujian Specific Gravity dan Absorption Agregat Halus (ASTM C-128)/SNI1970:2008

Pengujian **specific gravity** dan **absorption** agregat halus dilakukan berdasarkan standar **ASTM C-128 / SNI 1970: 2008** untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang berpengaruh terhadap kinerja material campuran, khususnya dalam aplikasi beton dan bahan bangunan.

Berdasarkan hasil penimbangan, nilai specific gravity dan absorption dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bulk Specific Gravity (kondisi SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad (2.1)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity (kondisi kering oven)} = \frac{A}{B + 500 - C} \quad (2.2)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{A + B - C} \quad (2.3)$$

$$\text{Absorption (\%)} = \frac{500 - A}{A} \times 100 \quad (2.4)$$

Keterangan: A = berat sampel kering oven (gram); B = berat labu + air (gram); C = berat labu + sampel + air (gram); 500 = berat sampel kondisi SSD (gram).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian, analisis, dan interpretasi mineralogi menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD) terhadap tiga sampel bahan baku, yaitu SI-01, SI-02, dan SI-03, menunjukkan variasi komposisi fase mineral yang cukup signifikan. Perbedaan ini mengindikasikan adanya heterogenitas sifat kimia dan mineralogi bahan baku, yang selaras dengan karakteristik geologi daerah sumber material yang tersusun oleh batuan silikat alumina dengan tingkat pelapukan dan alterasi yang berbeda. Variasi jenis dan proporsi mineral lempung, feldspar, serta mineral non-lempung memberikan pengaruh langsung terhadap perilaku pembentukan, pembakaran, dan sifat mekanik produk genteng dan batako yang dihasilkan.

Secara umum, interpretasi hasil XRD menunjukkan bahwa ketiga sampel tersusun oleh tiga kelompok mineral utama, yaitu mineral feldspar, mineral lempung, dan mineral aksesori non-lempung. Mineral feldspar, seperti albite, andesine, anorthite, dan sanidine, hadir dalam jumlah yang relatif dominan pada seluruh sampel, dengan proporsi tertinggi pada sampel SI-02. Keberadaan feldspar ini mencerminkan tingginya kandungan silika dan alumina yang disertai unsur alkali (Na_2O , K_2O , dan CaO), yang berperan sebagai flux alami dalam proses pembakaran. Kondisi ini mendukung pembentukan fase kaca, meningkatkan densifikasi, serta memperbaiki kekuatan dan ketahanan produk genteng setelah pembakaran.

Kelompok mineral lempung pada ketiga sampel menunjukkan variasi komposisi yang cukup kontras. Sampel SI-02 didominasi oleh mineral lempung kaolinitik, seperti kaolinite dan halloysite, yang memiliki stabilitas termal tinggi dan susut bakar relatif rendah. Karakter ini mengindikasikan bahwa SI-02 memiliki kestabilan dimensi yang lebih baik selama proses pembakaran. Sebaliknya, sampel SI-03 menunjukkan dominasi mineral lempung yang lebih beragam, termasuk illite, muscovite, montmorillonite, dan saponite. Kandungan lempung ekspansif yang lebih tinggi pada sampel ini memberikan plastisitas yang sangat baik, namun juga berpotensi meningkatkan susut kering dan risiko retak apabila proses pengeringan tidak dilakukan secara terkendali. Sampel SI-01 berada pada kondisi antara, dengan keseimbangan antara lempung plastis dan mineral non-plastik.

Mineral non-lempung, seperti kuarsa, hornblende, diopside, dan zeolit (stilbite), hadir dalam jumlah sedang hingga rendah pada seluruh sampel. Kuarsa berperan sebagai pengisi (filler) yang membantu mengurangi susut dan menjaga stabilitas dimensi produk. Kandungan kuarsa yang relatif rendah pada ketiga sampel menunjukkan risiko deformasi termal yang kecil, terutama terkait transformasi fasa kuarsa saat pembakaran. Kehadiran mineral keras seperti hornblende dan diopside turut berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik dan ketahanan aus, meskipun tidak berperan signifikan dalam proses pembentukan fase kaca.

Berdasarkan hasil interpretasi keseluruhan, sampel SI-02 menunjukkan karakteristik mineralogi paling seimbang sebagai bahan baku genteng, dengan kombinasi feldspar tinggi, mineral lempung stabil, dan kandungan kuarsa yang terkendali. Sampel SI-01 dan SI-03 juga layak digunakan, namun memerlukan pengendalian proses yang lebih ketat, terutama pada tahap pengeringan dan pembakaran, untuk meminimalkan potensi cacat akibat susut dan retak. Untuk aplikasi batako, ketiga sampel menunjukkan potensi yang baik, karena kandungan mineral silikat dan alumina yang mendukung kekuatan tekan serta kohesi material, dengan sampel SI-03 berpotensi memberikan ikatan awal yang lebih baik akibat kandungan lempungnya yang tinggi.

**OPTIMALISASI PRODUK LIMBAH WASHING BERUPA LEMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PADA
INDUSTRI BATAKO DAN GENTENG DI WILAYAH KECAMATAN TEGAL WARU, KABUPATEN PURWAKARTA,
PROVINSI JAWA BARAT**

Secara keseluruhan, hasil pengujian XRD mengindikasikan bahwa bahan baku yang diuji memiliki karakter mineralogi yang sesuai untuk diaplikasikan pada industri genteng dan batako. Variasi komposisi mineral antar sampel mencerminkan heterogenitas sumber material, namun juga memberikan fleksibilitas dalam penentuan formulasi campuran dan pengaturan parameter proses. Dengan pengendalian teknis yang tepat, ketiga sampel tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan baku produk bangunan yang bernilai tambah

Tabel 1 Hasil Pengujian berdasarkan Analisis QRD

Produk	Sampel	Hasil Pengujian (Mineral dominan, %)	Kontributor Kimia Utama	Interpretasi SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -CaO	Kesesuaian dengan Literatur	Sumber
Genten g	SI-01	Albite 23,36%; Andesine 23,18%; Illite 13,48%; Montmorillonite 5,66%; Quartz 1,66%	Feldspar & lempung aluminosilikat	SiO ₂ tinggi; Al ₂ O ₃ sedang-tinggi; CaO rendah	Sesuai dengan bahan baku genteng keramik	Nugroho Fajar, 2017
Genten g	SI-02	Andesine 21,78%; Anorthite 21,58%; Kaolinite 18,60%; Sanidine 9,48%; Quartz 4,55%	Feldspar Ca-Na & kaolinite	SiO ₂ tinggi; Al ₂ O ₃ tinggi; CaO sedang	Paling ideal untuk genteng	Nugroho Fajar, 2017
Genten g	SI-03	Albite 23,76%; Kaolinite 20,35%; Illite 14,32%; Montmorillonite 8,62%; Quartz 4,72%	Feldspar Na & lempung	SiO ₂ tinggi; Al ₂ O ₃ tinggi; CaO rendah	Sesuai, perlu kontrol susut	Nugroho Fajar, 2017

Hasil pengujian dan analisis mineralogi menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel SI-01 menunjukkan bahwa material tersusun oleh kombinasi mineral feldspar, mineral lempung, dan mineral non-lempung dengan proporsi yang relatif seimbang. Komposisi ini mengindikasikan bahwa sampel SI-01 merupakan material silikat alumina yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produk bangunan, khususnya genteng dan batako. Variasi jenis mineral yang teridentifikasi mencerminkan proses pembentukan dan pelapukan batuan asal yang cukup kompleks, sehingga menghasilkan karakteristik fisik dan kimia yang heterogen.

Secara dominan, sampel SI-01 tersusun oleh mineral feldspar, yaitu albite sebesar 23,36% dan andesine sebesar 23,18%. Kehadiran feldspar dalam jumlah signifikan menunjukkan tingginya

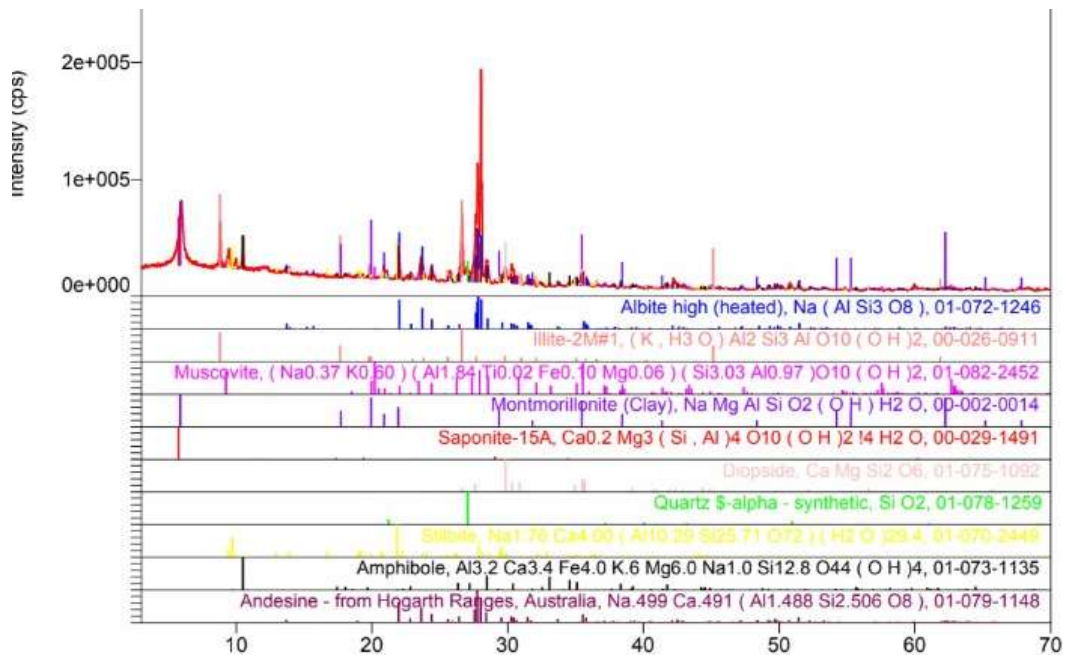
kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang disertai unsur alkali dan alkali tanah. Mineral ini berperan penting sebagai flux alami yang dapat menurunkan suhu sintering serta mendorong pembentukan fase kaca selama proses pembakaran. Kondisi tersebut sangat menguntungkan dalam pembuatan genteng karena dapat meningkatkan densifikasi dan kekuatan mekanik produk akhir.

Selain feldspar, sampel SI-01 juga mengandung mineral lempung berupa illite sebesar 3,48% dan montmorillonite sebesar 5,66%. Kehadiran mineral lempung ini memberikan plastisitas yang cukup baik, sehingga memudahkan proses pembentukan dan pencetakan. Namun demikian, sifat ekspansif montmorillonite berpotensi meningkatkan susut kering dan risiko retak apabila proses pengeringan tidak dilakukan secara bertahap dan terkendali. Oleh karena itu, pengaturan kadar air dan laju pengeringan menjadi faktor penting dalam pemanfaatan sampel SI-01 sebagai bahan baku keramik. Mineral non-lempung yang teridentifikasi pada sampel SI-01 meliputi diopside sebesar 12,12%, amphibole sebesar 5,33%, stilbite sebesar 4,81%, dan kuarsa sebesar 1,66%. Mineral-mineral ini berperan sebagai fase pengisi dan penunjang kekuatan mekanik. Kandungan kuarsa yang relatif rendah menunjukkan bahwa risiko deformasi dan retak akibat transformasi fasa kuarsa selama pembakaran dapat diminimalkan. Sementara itu, keberadaan diopside dan amphibole berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan dan ketahanan aus material, yang menguntungkan bagi aplikasi struktural seperti batako.

Berdasarkan interpretasi keseluruhan hasil pengujian, sampel SI-01 memiliki karakter mineralogi yang cukup seimbang antara plastisitas dan kekuatan. Komposisi feldspar yang tinggi mendukung proses sintering, sedangkan mineral lempung memberikan kemudahan pembentukan. Dengan pengendalian proses pengeringan dan pembakaran yang tepat, sampel SI-01 dinilai layak digunakan sebagai bahan baku genteng. Untuk aplikasi batako, keberadaan mineral keras dan silikat alumina juga mendukung peningkatan kepadatan serta kekuatan tekan, sehingga sampel ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan campuran atau substitusi agregat halus.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel SI-01 memiliki potensi teknis yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan baku alternatif produk bangunan. Pemanfaatan sampel ini tidak hanya mendukung aspek teknis produksi genteng dan batako, tetapi juga berpotensi meningkatkan nilai tambah material lokal apabila dioptimalkan melalui pengaturan komposisi dan parameter proses yang sesuai.

**OPTIMALISASI PRODUK LIMBAH WASHING BERUPA LEMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PADA
INDUSTRI BATAKO DAN GENTENG DI WILAYAH KECAMATAN TEGAL WARU, KABUPATEN PURWAKARTA,
PROVINSI JAWA BARAT**



Gambar 6 Hasil Pengujian Analisis QRD SI-01

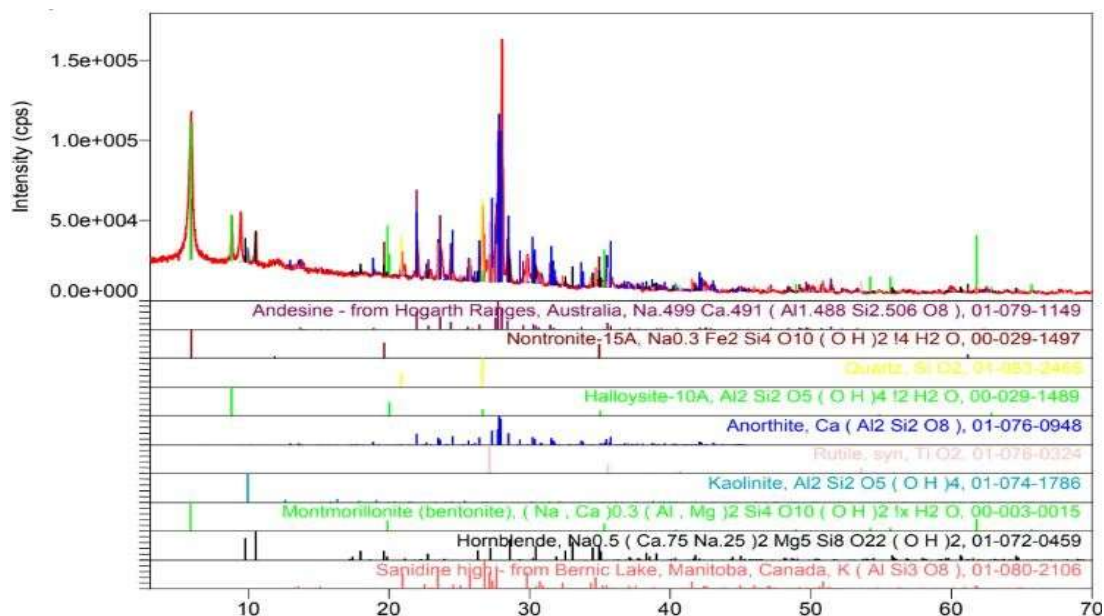
Hasil pengujian dan analisis mineralogi menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel SI-02 menunjukkan bahwa material tersusun oleh kombinasi mineral feldspar dan mineral lempung dengan proporsi yang dominan, serta sejumlah kecil mineral non-lempung sebagai fase minor. Komposisi mineral ini mencerminkan karakter material silikat alumina dengan kandungan unsur alkali dan alkali tanah yang relatif signifikan, sehingga memberikan potensi yang baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produk bangunan, khususnya genteng dan batako. Variasi fase mineral yang teridentifikasi juga menunjukkan bahwa sampel SI-02 berasal dari material dengan tingkat alterasi dan pelapukan yang cukup berkembang.

Secara kuantitatif, sampel SI-02 didominasi oleh mineral feldspar, yaitu andesine sebesar 21,78%, anorthite sebesar 21,58%, dan sanidine sebesar 9,48%. Tingginya kandungan feldspar ini mengindikasikan keberadaan SiO_2 dan Al_2O_3 dalam jumlah besar, serta CaO dan alkali (Na_2O dan K_2O) sebagai unsur penyerta. Feldspar berperan sebagai flux alami yang efektif dalam proses pembakaran, karena mampu menurunkan suhu sintering dan mempercepat pembentukan fase kaca. Kondisi ini sangat menguntungkan dalam produksi genteng keramik karena dapat meningkatkan densifikasi, kekuatan mekanik, dan ketahanan produk terhadap pelapukan.

Kelompok mineral lempung pada sampel SI-02 didominasi oleh kaolinite sebesar 18,60% dan halloysite-10Å sebesar 5,95%, disertai oleh montmorillonite sebesar 6,97% dan nontronite sebesar 6,18%. Dominasi mineral kaolinitik menunjukkan bahwa sampel SI-02 memiliki stabilitas termal yang relatif baik serta kecenderungan susut bakar yang lebih rendah dibandingkan material yang kaya lempung ekspansif. Keberadaan montmorillonite dan nontronite memberikan tambahan plastisitas yang bermanfaat pada tahap pembentukan, namun tetap memerlukan pengendalian kadar air dan proses pengeringan agar tidak menimbulkan retak.

Mineral non-lempung yang teridentifikasi pada sampel SI-02 meliputi kuarsa sebesar 4,55%, hornblende sebesar 3,41%, dan rutile sebesar 1,51%. Kandungan kuarsa yang relatif rendah menunjukkan bahwa risiko deformasi akibat transformasi fasa kuarsa selama pembakaran berada pada tingkat yang minimal. Sementara itu, keberadaan hornblende berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kestabilan struktur material, sedangkan rutile hadir sebagai mineral aksesori yang tidak berpengaruh signifikan terhadap proses pembakaran, tetapi dapat memengaruhi warna produk akhir.

Berdasarkan interpretasi keseluruhan hasil pengujian, sampel SI-02 memiliki karakter mineralogi yang paling seimbang dibandingkan sampel lainnya, dengan kombinasi feldspar tinggi dan mineral lempung yang relatif stabil. Karakteristik ini menjadikan sampel SI-02 sangat sesuai sebagai bahan baku genteng, karena mampu memberikan plastisitas yang cukup, stabilitas dimensi yang baik, serta sifat sintering yang optimal pada suhu pembakaran menengah. Untuk aplikasi batako, kandungan anorthite yang relatif tinggi berkontribusi terhadap penyediaan CaO, sehingga mendukung peningkatan kepadatan dan kekuatan tekan produk.



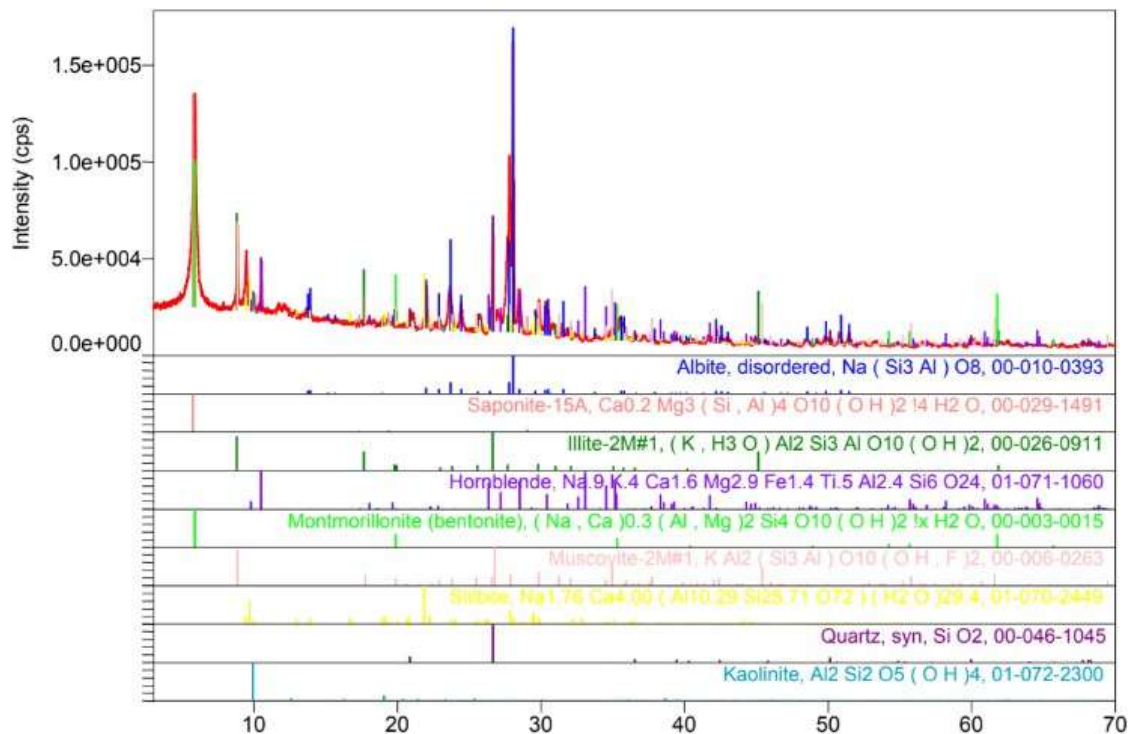
Gambar 7 Hasil Pengujian Analisis QRD SI-02

Hasil pengujian dan analisis mineralogi menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel SI-03 menunjukkan bahwa material ini didominasi oleh mineral lempung dengan kontribusi feldspar dan mineral non-lempung dalam jumlah lebih kecil. Komposisi tersebut mencerminkan karakter material silikat alumina dengan tingkat plastisitas yang relatif tinggi, yang sangat dipengaruhi oleh keberadaan mineral lempung berlapis. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sampel SI-03 berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produk bangunan, terutama pada aplikasi yang membutuhkan kemudahan pembentukan dan kohesi material yang baik.

**OPTIMALISASI PRODUK LIMBAH WASHING BERUPA LEMPUNG SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PADA
INDUSTRI BATAKO DAN GENTENG DI WILAYAH KECAMATAN TEGAL WARU, KABUPATEN PURWAKARTA,
PROVINSI JAWA BARAT**

Secara kuantitatif, mineral dominan pada sampel SI-03 adalah albite sebesar 23,76% sebagai feldspar natrium, disertai oleh kelompok mineral lempung yang cukup tinggi, yaitu kaolinite sebesar 20,35%, illite sebesar 14,32%, montmorillonite sebesar 8,62%, dan saponite sebesar 10,05%. Dominasi mineral lempung tersebut memberikan plastisitas yang sangat baik, sehingga memudahkan proses pencetakan dan pembentukan produk. Namun demikian, keberadaan montmorillonite dan saponite yang bersifat ekspansif berpotensi menyebabkan peningkatan susut kering dan risiko retak apabila proses pengeringan tidak dilakukan secara bertahap dan terkendali. Keberadaan albite dalam jumlah signifikan berperan sebagai sumber SiO_2 dan Al_2O_3 serta unsur alkali yang bertindak sebagai flux alami pada proses pembakaran. Feldspar natrium ini mendukung pembentukan fase kaca dan membantu proses sintering, meskipun kontribusinya terhadap penurunan suhu bakar tidak sebesar feldspar kalsium. Dengan demikian, sampel SI-03 masih memerlukan pengaturan suhu pembakaran yang tepat untuk mencapai densifikasi optimal pada produk genteng.

Mineral non-lempung yang teridentifikasi pada sampel SI-03 meliputi kuarsa sebesar 4,72%, hornblende sebesar 3,80%, dan stilbite sebesar 5,84%. Kandungan kuarsa yang relatif rendah menunjukkan bahwa risiko deformasi akibat transformasi fasa kuarsa selama pembakaran dapat diminimalkan. Keberadaan hornblende berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik, sedangkan stilbite sebagai mineral zeolit dapat memengaruhi porositas dan perilaku termal material, khususnya pada tahap awal pemanasan.



Gambar 8 Hasil Pengujian Analisis QRD SI-02

Analisis Sifat Fisik Berdasarkan (ASTM C-128)/SNI1970:2008

Pengujian Specific Gravity dan Absorption pada agregat halus dilakukan mengacu pada ASTM C128 dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik berat jenis serta kemampuan penyerapan air material yang berpengaruh terhadap kinerja mekanik dan durabilitas produk bangunan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak dua kali pengulangan, diperoleh nilai rata-rata Bulk Specific Gravity (SSD) sebesar 2,44, Bulk Specific Gravity kondisi kering oven sebesar 2,00, Apparent Specific Gravity sebesar 2,59, serta Absorption sebesar 11,43%. Nilai Bulk Specific Gravity (SSD) tersebut berada dalam rentang standar agregat normal yaitu 2,4–2,9, yang menunjukkan bahwa material memiliki kepadatan yang cukup baik ketika berada pada kondisi jenuh kering permukaan.

Perbedaan nilai antara Bulk Specific Gravity kondisi SSD dan kondisi kering oven menunjukkan adanya volume pori yang cukup besar di dalam agregat. Hal ini mengindikasikan bahwa material memiliki struktur internal yang relatif berpori, sehingga memungkinkan air masuk dan tersimpan di dalam rongga agregat. Nilai Apparent Specific Gravity yang lebih tinggi dibandingkan Bulk Specific Gravity menunjukkan bahwa mineral penyusun agregat memiliki densitas yang cukup baik apabila pori-pori internal tidak diperhitungkan, yang umumnya berkaitan dengan dominasi mineral silikat dalam material. Namun demikian, nilai Absorption rata-rata sebesar 11,43% jauh melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan dalam standar, yaitu sebesar 3%. Tingginya nilai penyerapan air ini menunjukkan bahwa agregat memiliki tingkat porositas yang tinggi, yang dapat disebabkan oleh kandungan mineral lempung, struktur butiran yang kurang kompak, serta keberadaan pori terbuka atau mikroretakan. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi kualitas campuran, khususnya dalam aplikasi beton atau batako, karena agregat akan menyerap sebagian air pencampur sehingga dapat menurunkan efektivitas rasio air-semen.

Tabel 1 Hasil Pengujian berdasarkan Analisis QRD

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION (ASTMC-128)		Unit	STANDAR	Test 1	Test 2	Average
Weight of sample in SSD		gram		500	500	500
Weight of flask + sample + water	(C)	gram		1521	1528,5	1524,75
Weight of flask + water	(B)	gram		1245,5	1252,5	1249
Weight of oven dry sample	(A)	gram		445	452,5	448,75
Bulk Specific Gravity (SSD Condition)	500 (B+500-C)	gr/cm3	2.4 s/d 2.9	2,42	2,46	2,44
Bulk Specific Gravity	A (B+500-C)	gr/cm3		1,98	2,02	2,00
Apparent Specific Gravity	A (A + B - C)	gr/cm3		2,63	2,56	2,59
Absorption	$\frac{(500-A)*100}{A}$	%	max. 3%	12,36	10,50	11,43

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis QRD (XRD) dan pengujian sifat fisik, dapat disimpulkan bahwa material yang diuji didominasi oleh mineral silikat, terutama kuarsa dan mineral lempung, yang berperan penting dalam pembentukan sifat fisik agregat. Hasil QRD menunjukkan bahwa komposisi mineral tersebut mendukung karakter material yang relatif keras, namun memiliki struktur internal yang cukup berpori. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian sifat fisik yang menunjukkan nilai Bulk Specific Gravity (SSD) sebesar 2,44 yang masih berada dalam rentang agregat normal, tetapi disertai dengan nilai absorpsi air yang tinggi sebesar 11,43%.

Korelasi antara hasil QRD dan sifat fisik mengindikasikan bahwa keberadaan mineral lempung dan tekstur butiran yang kurang kompak menyebabkan tingginya porositas dan kemampuan penyerapan air material. Dengan demikian, meskipun material masih memenuhi kriteria berat jenis untuk bahan bangunan, tingkat absorpsi yang tinggi menjadi faktor pembatas dalam penggunaannya. Oleh karena itu, material lebih sesuai dimanfaatkan dengan pengendalian teknis tertentu atau sebagai bahan substitusi parsial pada produk seperti batako atau genteng, agar kualitas dan durabilitas produk akhir tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia. Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Government Printing Office, The Hague, Netherlands.
- Amalia Suci, R. (2023). Karakteristik Lempung Montmorilonitik sebagai Bahan Baku Batako: Tinjauan Mineralogi dan Sifat Fisik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), 87–99.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI 03-2095-1998: Genteng Keramik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SNI 03-0349-1989: Bata Beton untuk Pasangan Dinding (Batako)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Colpas-Ruiz, R.J., Paz-Pino, D.J., Paucar-Paucar, M.E., & Contreras-Sosa, H. (2020). Effect of the mineralogical composition of clays on the physical and mechanical properties of ceramic roof tiles. *Construction and Building Materials*, 258, 119685. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119685>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1970:2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- ASTM International. (2015). *ASTM C128-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Moore, D.M., & Reynolds, R.C. (1997). *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals* (2nd ed.). Oxford University Press, New York, USA.
- Velde, B. (1995). *Origin and Mineralogy of Clays: Clays and the Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Mukherjee, S. (2013). *The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering, and Environment*. Springer Science & Business Media, New York, USA.
- Lottermoser, B.G. (2010). *Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts* (3rd ed.). Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Sukandarrumidi. (2009). *Bahan Galian Industri* (Edisi ke-2). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.

- Yildiz, K., Saglam, H., & Uzal, B. (2021). Properties of ceramic tiles produced from clay-based raw materials with varying silica and alumina contents. *Ceramics International*, 47(3), 3211–3220. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.09.135>
- Pratiwi, D., Sumardi, S., & Hariyadi, T. (2019). Pemanfaatan Limbah Industri Pertambangan sebagai Bahan Baku Bahan Bangunan: Tinjauan Sifat Fisik dan Mekanik. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 13(2), 145–154. Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Nugroho, F. (2017). Analisis Komposisi Kimia Genteng dan Hubungannya dengan Kekuatan serta Ketahanan Lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(1), 12–21. Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.