

ANALISIS PENGARUH RASIO BINDER DAN SLAG NIKEL TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIS MORTAR GEOPOLIMER

Tia Imelda Ali¹, Mufti Amir Sultan^{2*}, Arbain Tata³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun, tiaimelda@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun, muftiasltn@unkhair.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun, arbaintata@unkhair.ac.id

ABSTRAK

Maluku Utara merupakan penghasil nikel terbesar di dunia, sehingga peningkatan produksi nikel berimplikasi pada bertambahnya limbah slag nikel yang berpotensi mencemari lingkungan. Slag nikel memiliki karakteristik kimia yang mendekati agregat alam dan berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif pada mortar geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio binder–slag nikel terhadap kuat tekan dan penyerapan air mortar geopolimer serta mengevaluasi mutunya berdasarkan SNI 03-0349-1989. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan benda uji berbentuk kubus berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ sebanyak 45 sampel, yang dibuat dengan variasi rasio binder terhadap slag nikel sebesar 30%:70%, 40%:60%, 50%:50%, 60%:40%, dan 70%:30%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi diperoleh pada komposisi 70%:30% sebesar 3,74 MPa dan terendah pada komposisi 30%:70% sebesar 1,62 MPa. Nilai penyerapan air terendah sebesar 2,50% diperoleh pada komposisi 70%:30%, sedangkan nilai tertinggi sebesar 7,85% terjadi pada komposisi 30%:70%. Peningkatan proporsi binder terbukti menurunkan porositas mortar geopolimer secara signifikan.

Kata kunci : *slag nikel, rasio binder–slag, kuat tekan*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi sumber daya bahan galian yang sangat beragam dan tersebar di berbagai wilayah, meliputi sumber daya energi seperti batu bara, minyak bumi, gas alam, dan panas bumi; mineral logam antara lain timah, emas, perak, bauksit, nikel, bijih besi, mangan, tembaga, timah hitam, seng, platina, tungsten, krom, merkuri, dan molibdenum; serta mineral industri yang mencakup fosfat, sulfur, iodin, bromin, batu kapur, kaolin, trass, lempung, pasir, batu apung, bismut, mika, feldspar, jarosit, dan intan [1].

Dari beragam jenis sumber daya galian tersebut, yang paling menarik perhatian adalah nikel. Saat ini Indonesia menjadi negara penghasil nikel terbesar di dunia tahun 2023 dilansir dari data Badan Survey Geologi Amerika

Serikat (USGS) [2]. Tingginya angka produksi nikel di Indonesia akan berdampak pada peningkatan jumlah *tailing* atau limbah dari pengolahan nikel.

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Industri (BPPI), slag nikel memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku semen, material konstruksi, serta infrastruktur jalan. Slag nikel mengandung senyawa kimia yang serupa dengan agregat alam yang umum digunakan dalam konstruksi, sehingga berpotensi menjadi material alternatif sekaligus mengurangi tingkat eksploitasi sumber daya alam [3], [4].

Slag nikel merupakan limbah industri yang dihasilkan dari proses peleburan bijih nikel dan jumlahnya terus meningkat seiring dengan intensifikasi kegiatan pertambangan, sehingga pemanfaatannya sebagai material konstruksi menjadi isu penting dalam konteks keberlanjutan lingkungan. Secara kimia, slag nikel umumnya didominasi oleh senyawa silika dan alumina, masing-masing sebesar 40–50% SiO_2 dan 10–15% Al_2O_3 , serta mengandung CaO , FeO , dan MgO dalam jumlah yang signifikan [5]. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang tinggi menjadikan slag nikel berpotensi sebagai material reaktif dalam sistem geopolimer berbasis aktivator alkali [6]. Beberapa penelitian melaporkan bahwa senyawa aluminosilikat berperan penting dalam pembentukan jaringan polimer tiga dimensi yang memengaruhi kuat tekan dan durabilitas mortar geopolimer [7], [8]. Selain itu, struktur slag nikel yang cenderung amorf dilaporkan meningkatkan reaktivitas terhadap larutan alkali, sehingga mempercepat proses polimerisasi dan menghasilkan matriks geopolimer yang lebih padat dan homogen [9]. Penelitian lain menunjukkan bahwa pemanfaatan slag nikel sebagai bahan penyusun mortar geopolimer dapat meningkatkan densitas mikrostruktur dan menurunkan porositas, yang berdampak positif terhadap sifat mekanis dan ketahanan jangka panjang material [10], [11]. Namun demikian, kinerja mortar geopolimer berbasis slag nikel sangat dipengaruhi oleh rasio campuran, jenis dan konsentrasi aktivator alkali, serta metode perawatan, sehingga diperlukan kajian lanjutan untuk menentukan komposisi optimum [12], [13].

2 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (bebas) terhadap variabel dependen (terikat) dalam kondisi yang terkontrol. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan metode statistik kuantitatif.

2.1 Persiapan Bahan

Bahan penelitian meliputi binder dan slag nikel yang dipersiapkan sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditentukan. Seluruh bahan ditimbang berdasarkan persentase variasi binder–slag nikel yang direncanakan. Binder tersusun dari bahan aluminosilikat (*fly ash*) dan larutan aktivator alkali (NaOH 10M, Na_2SiO_3).

2.2 Perancangan Campuran dan Pembuatan Benda Uji

Perancangan campuran dilakukan dengan variasi rasio binder–slag nikel sebesar 30%:70%, 40%:60%, 50%:50%, 60%:40%, dan 70%:30% pada setiap kelompok sampel. Campuran yang telah homogen kemudian dicetak ke dalam cetakan kubus berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Total benda uji yang dibuat dalam penelitian ini berjumlah 45 sampel, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kebutuhan campuran mortar per m³

Kode Sampel	Komposisi Binder: Slag Nikel	Slag Nikel	Binder		
			Fly Ash	Aktivator	
				NaOH	Ni ₂ SiO ₃
M1	30:70	1.099	259,05	70,65	141,30
M2	40:60	942	345,40	94,20	188,40
M3	50:50	785	431,75	117,75	235,5
M4	60:40	628	518,10	141,30	282,60
M5	70:30	471	604,45	164,85	329,70

2.3 Perawatan dan Pemanasan

Setelah proses pencetakan, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan pemanasan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 8 jam sebagai tahap curing awal.

2.4 Pengujian Kuat Tekan

Benda uji yang telah melalui proses pemanasan selanjutnya diuji kuat tekannya menggunakan mesin uji tekan sesuai prosedur pengujian yang berlaku.

2.5 Pengujian Penyerapan

Pengujian penyerapan air dilakukan dengan metode perendaman benda uji dalam air selama 24 jam, kemudian dihitung nilai penyerapan air berdasarkan selisih berat sebelum dan sesudah perendaman.

2.6 Analisa Data

Data hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio binder–slag nikel terhadap karakteristik mekanis dan fisis mortar geopolimer.

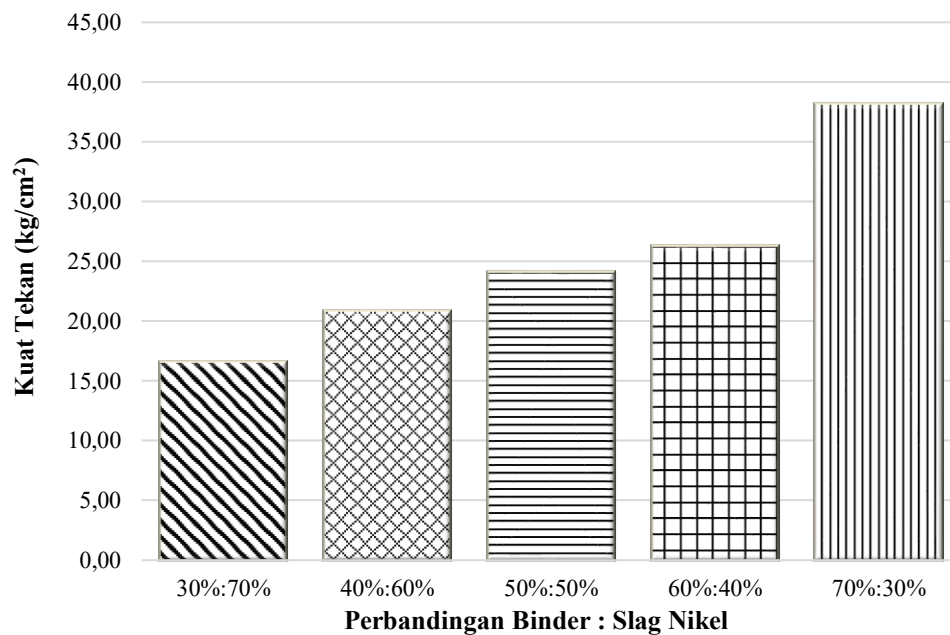
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar dilakukan untuk mengetahui kualitas mutu mortar geopolimer serta mengukur daya tahan mortar terhadap beban tekan. Sampel mortar diuji setelah 1 hari setelah di oven dilakukan dengan cara memberikan beban sehingga benda uji tersebut hancur dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan ukuran benda uji 5 x 5 x 5 cm³, saat mortar hancur maka didapat beban/gaya tekan maksimum (Pmaks) dari benda uji. Hasil uji kuat tekan ditampilkan pada gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kuat tekan mortar/geopolimer meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi binder dalam campuran binder–slag nikel. Pada perbandingan 30%:70% diperoleh kuat tekan terendah sekitar 16,52 kg/cm², kemudian meningkat bertahap pada rasio 40%:60% dan 50%:50% hingga sekitar 20,80–24,07 kg/cm², yang mengindikasikan semakin efektifnya pembentukan matriks pengikat dan densifikasi struktur. Peningkatan kuat tekan yang lebih signifikan terjadi pada rasio 60%:40% dan mencapai nilai tertinggi pada rasio 70%:30% sebesar ±26,31–38,14 kg/cm². Tren ini sejalan dengan teori dan hasil penelitian sebelumnya

yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan binder akan memperkuat ikatan antar partikel, mempercepat reaksi geopolisasi, serta menghasilkan mikrostruktur yang lebih rapat sehingga meningkatkan sifat mekanis material [6], [12], [13], [14].



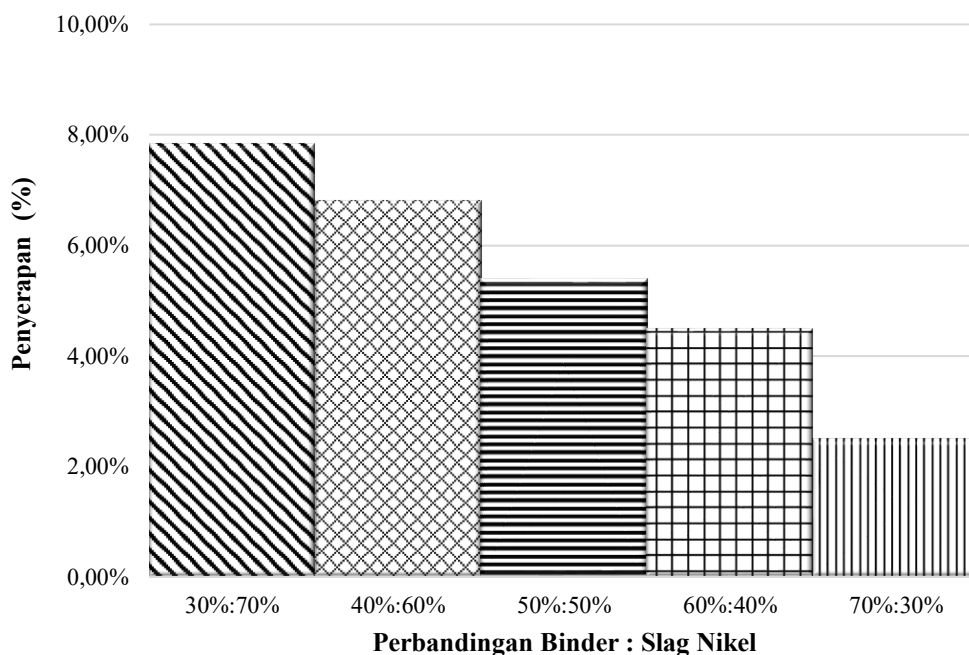
Gambar 1. Grafik rata-rata kuat tekan mortar geopolimer

Peningkatan nilai kuat tekan sejalan dengan peningkatan proporsi binder pada campuran mortar geopolimer, hal ini menunjukkan bahwa binder berperan penting dalam pembentukan struktur dan kekuatan mortar geopolimer. Pada komposisi dengan slag nikel yang tinggi (70%) terbentuknya ikatan geopolimerisasi menjadi kurang optimal karena jumlah binder yang terbatas, sehingga kuat tekan yang dihasilkan juga rendah. Sebaliknya, pada komposisi dengan binder yang lebih tinggi (70%), proses geopolimerisasi berlangsung lebih efektif karena ketersediaan bahan pengikat yang cukup untuk membentuk matriks yang kuat dan padat. Penurunan proporsi slag nikel juga mengurangi kemungkinan terbentuknya pori-pori atau rongga yang dapat melemahkan struktur mortar.

3.2 Penyerapan Mortar

Hasil pengujian penyerapan mortar ditampilkan pada gambar 2. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara perbandingan binder: slag nikel dan nilai penyerapan air (%), di mana terlihat kecenderungan penurunan penyerapan seiring dengan meningkatnya proporsi binder dalam campuran. Pada komposisi 30%:70%, nilai penyerapan tertinggi tercatat sekitar 7,8%, kemudian menurun bertahap pada variasi 40%:60% dan 50%:50%, hingga mencapai nilai terendah sekitar 2,5% pada komposisi 70%:30%. Tren ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar binder mampu memperbaiki kerapatan mikrostruktur dan menurunkan porositas material, sehingga mengurangi kemampuan material menyerap air. Fenomena ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kandungan binder yang lebih tinggi dalam mortar atau material berbasis

geopolimer berperan penting dalam membentuk matriks yang lebih padat dan berkelanjutan, sehingga berdampak langsung pada penurunan nilai penyerapan air dan peningkatan durabilitas material.



Gambar 2. Grafik nilai rata - rata penyerapan mortar geopolimer berbahan dasar slag nikel

3.3 Mutu Mortar

Berdasarkan data uji kuat tekan dan penyerapan air pada mortar geopolimer berbahan dasar *slag* nikel, kalsifikasi mutu material dilakukan dengan merujuk pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 03-0349 [15], maka mutu yang mortar ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air serta mutu mortar berdasarkan SNI 0349

Perbandingan Binder: Slag Nikel	Kuat Tekan (kg/cm ²)		Penyerapan, Max (%)	Mutu	Keterangan
	Rata-Rata, Min	Individu, Min			
30:70	16,52	16,00	7,85	IV	Kuat tekan rata-rata min <25 MPa, kuat tekan individu min <21 MPa, penyerapan air maks <35%
40:60	20,80	19,80	6,80	IV	Kuat tekan rata-rata min <25 MPa, kuat tekan individu min <21 MPa, penyerapan air maks <35%
50:50	24,07	23,50	5,39	IV	Kuat tekan rata-rata min <25 MPa, kuat tekan individu min >21 MPa, penyerapan air maks <35%
60:40	26,31	25,10	4,50	III	Kuat tekan rata-rata min <25 MPa, kuat tekan individu min <21 MPa, penyerapan air maks <35%
70:30	38,14	36,60	2,50	III	Kuat tekan rata-rata min >25 MPa, kuat tekan individu min >21 MPa, penyerapan air maks <35%

Tabel 2 tersebut menyajikan hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air mortar/geopolimer dengan variasi perbandingan binder: slag nikel (30:70 hingga 70:30), sekaligus klasifikasi mutu berdasarkan kriteria teknis yang digunakan.

Secara umum, peningkatan proporsi binder di dalam campuran menunjukkan kenaikan kuat tekan dan penurunan nilai penyerapan air. Pada rasio 30:70 dan 40:60, kuat tekan rata-rata masih relatif rendah (16,52–20,80 kg/cm²) dengan penyerapan air cukup tinggi (6,80–7,85%), sehingga diklasifikasikan sebagai mutu IV. Rasio 50:50 masih berada pada mutu IV, meskipun kuat tekan sudah mendekati batas atas dan penyerapan air mulai menurun. Peningkatan lebih lanjut pada rasio 60:40 menghasilkan kuat tekan rata-rata 26,31 kg/cm² dengan penyerapan air 4,50%, sehingga mutu meningkat menjadi III. Kondisi terbaik ditunjukkan oleh rasio 70:30, dengan kuat tekan rata-rata tertinggi (38,14 kg/cm²), kuat tekan individu minimum 36,60 kg/cm², serta penyerapan air terendah (2,50%), yang memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata dan individu serta penyerapan air maksimum <35%, sehingga dikategorikan mutu III dengan kinerja mekanis paling optimal.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi rasio binder–slag nikel berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan penyerapan air mortar geopolimer. Peningkatan proporsi binder cenderung meningkatkan kuat tekan dan menurunkan nilai penyerapan air. Komposisi optimum diperoleh pada rasio binder–slag nikel 70%:30%, yang menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 3,74 MPa dan penyerapan air terendah sebesar 2,50%. Sebaliknya, komposisi 30%:70% menunjukkan kinerja terendah dengan kuat tekan 1,62 MPa dan penyerapan air 7,85%. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar binder mampu mengurangi porositas mortar geopolimer dan memperbaiki mutu mortar sesuai kriteria SNI 03-0349-1989.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sukandarrumidi. 2009, *Bahan Galian Industri*, Ke-3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2009.
- [2] R. Wijaya and S. Astutiningsih, "Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Terak Nikel (Slag Nikel) sebagai Agregat pada Mortar dan Beton," *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 93–100, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang>
- [3] A. A. Tanjung, R. Gonzales, A. Seprianti, and R. Izati, "Analysis of Nickel Slag Utilisation as Shotcrete Raw Material and Handling of Nickel Slurry to Reduce the Environmental Impact," *Jurnal Migasian*, vol. 6, no. 2, pp. 11–22, 2022.
- [4] E. P. Rambak et al., "Studi Literatur: Potensi Pemanfaatan Slag Nikel sebagai Material Alternatif Ramah Lingkungan dalam Konstruksi Berkelanjutan," *Jurnal Media Konstruksi*, vol. 10, no. 1, pp. 141–148, 2025.

- [5] Z. Zhang, J. L. Provis, A. Reid, and H. Wang, "Geopolymer Foam Concrete: An Emerging Material for Sustainable Construction," *Constr Build Mater*, vol. 56, pp. 113–127, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081.
- [6] J. Davidovits, "Properties of Geopolymer Cements," in *Alkaline Cements and Concretes*, KIEV Ukraine, 1994, pp. 1–20. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/284651826>
- [7] A. B. Yuuwono, K. K. D. Sungkono, H. A. Rahman, A. Rachmawan, H. Heryan, and R. Kurniawan, "Karakteristik Mortar Geopolimer Berbasis Fly Ash Kelas C dengan Penambahan Boraks," *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, vol. 29, no. 1, pp. 17–24, 2024.
- [8] N. Dafa Wardana et al., "Perkembangan Teknologi Bahan Mortar pada Beton Geopolimer: Tinjauan Artikel," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2025, pp. 208–217.
- [9] C. Shi and R. L. Day, "Pozzolanic Reaction in the Presence of Chemical Activators Part I. Reaction Kinetics," *Cem Concr Res*, vol. 30, pp. 51–58, 2000.
- [10] M. Alhawat, A. Ashour, G. Yildirim, A. Aldemir, and M. Sahmaran, "Properties of Geopolymers Sourced from Construction and Demolition Waste: A Review," *Journal of Building Engineering*, vol. 50, pp. 1–26, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104104.
- [11] M. Amran, S. Debbarma, and T. Ozbakkaloglu, "Fly Ash-Based Eco-Friendly Geopolymer Concrete: A Critical Review of the Long-Term Durability Properties," *Constr Build Mater*, vol. 270, pp. 1–23, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121857.
- [12] J. L. Provis and J. S. J. Deventer, "Alkali-Activated Materials State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM," 2014.
- [13] J. L. Provis, "Alkali-Activated Materials," *Cem Concr Res*, vol. 114, pp. 40–48, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.cemconres.2017.02.009.
- [14] D. Hardjito and B. V Rangan, "Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concret," *Pert, Australia*, 2005.
- [15] SNI 0349, *Bata Beton Untuk Pasangan Dinding*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 1989.