

## **Pengaruh Limbah Slag Baja Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Dasar**

**M. Audito Alfansyah<sup>1</sup>, Dyah Pratiwi Kusumastuti<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur & Kewilayahan, Institut  
Teknologi PLN

<sup>2</sup>dyah.pratiwi@itpln.ac.id

### **ABSTRACT**

*The construction of transportation infrastructure that continues to be carried out by both the government and the private sector is not balanced with the availability of strategic land. This causes construction of transportation infrastructure, especially roads, which are often located on poor subgrade. The subgrade that is not good is generally soft soil, fine-grained soil or soil that has large shrinkage. To overcome this problem, improvements were made to the subgrade, which one of the methods is stabilization by adding additives such as steel slag waste. The addition of steel slag on soft soil will be reviewed by changes in physical characteristics, namely water content, specific gravity and consistency limits, as well as changes in mechanical characteristics, namely the shear strength parameter from direct shear test. Based on the results of physical characteristics testing, namely the value of water content, specific gravity and consistency limits of soft soil decreased along with the addition of steel slags compared to the original soil. Whereas for testing the mechanical characteristics, namely the cohesion value on soft soil has decreased and this is inversely proportional to the internal shear angle value which increases along with the addition of steel slag on soft soil.*

**Keywords:** *soft soil, stabilization, steel slag.*

### **ABSTRAK**

*Pembangunan prasarana transportasi yang terus dilakukan baik oleh pemerintah maupun swasta tidak seimbang dengan tersedianya lahan yang strategis. Hal ini yang menyebabkan pembangunan prasarana transportasi khususnya jalan raya, tak jarang berada di atas tanah dasar yang kurang baik. Tanah dasar yang kurang baik umumnya berjenis tanah lunak, tanah yang berbutir halus atau tanah yang memiliki kembang susut besar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan perbaikan terhadap tanah dasar yang salah satu metodenya adalah stabilisasi dengan menambahkan bahan aditif seperti limbah slag baja. Penambahan slag baja pada tanah lunak akan ditinjau perubahan karakteristik fisik yaitu kadar air, berat jenis dan batas-batas konsistensi, serta perubahan karakteristik mekanik yaitu parameter kuat geser dari pengujian geser langsung. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisik yaitu nilai kadar air, berat jenis dan batas-batas konsistensi tanah lunak mengalami penurunan seiring dengan penambahan slag baja dibandingkan tanah asli. Sedangkan untuk pengujian karakteristik mekanik yaitu nilai kohesi pada tanah lunak mengalami penurunan dan hal ini berbanding terbalik dengan nilai sudut geser dalam yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan slag baja pada tanah lunak.*

**Kata kunci:** *tanah lunak, stabilisasi, slab baja.*

## 1. PENDAHULUAN

Kualitas jalan sebagai salah satu faktor utama dalam keberlanjutan pembangunan dan meningkatkan perekonomian pada suatu daerah [1] sehingga lapisan tanah dasar sebagai pondasi jalan harus memiliki kuat dukung yang mampu menerima beban di atasnya. Oleh sebab itu sebelum merencanakan konstruksi wajib dilakukan penyelidikan tanah di lapangan untuk mengetahui karakteristik dan kuat dukungnya [2].

Tanah lempung salah satu jenis tanah yang memiliki kuat dukung rendah dan sifat fisik serta mekanisnya sangat dipengaruhi oleh air [3] sehingga tanah lempung kurang baik dijadikan material dalam pekerjaan konstruksi [4]. Namun karena keterbatasan lahan serta tidak jarang kondisi di lapangan yang tidak memungkinkan sehingga suatu konstruksi harus dikerjakan di atas tanah lempung. Agar suatu konstruksi dapat dikerjakan di atas tanah lempung atau tanah yang memiliki karakteristik kurang baik, maka perlu dilakukan tindakan untuk memperbaiki karakteristik teknisnya salah satunya adalah dengan stabilisasi. Stabilisasi merupakan salah satu metode perbaikan dengan menambahkan atau mencampurkan bahan aditif pada tanah [5].

Asal bahan yang ditambahkan dalam stabilisasi dapat berupa bahan pabrikan seperti semen, kapur atau berupa bahan limbah seperti abu terbang, abu sekam padi dan slag baja. Limbah slag baja yang ditambahkan dapat memperbaiki sifat fisik tanah lunak [5]. Menurut [4] limbah baja mampu mengurangi atau mengikat kandungan air yang terdapat pada tanah. Sehingga pada penelitian ini dilakukan penambahan slag baja yang merupakan limbah B3 pada tanah lempung. Penambahan slag baja yang ditambahkan pada tanah lempung ditinjau terhadap perubahan karakteristik fisik dan karakteristik mekanik khususnya parameter kuat geser.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di dalam laboratorium. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah yang terdapat pada proyek jalan tol dengan jenis tanah lempung organik. Secara garis besar penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan dan tahap analisis.

Tahap persiapan dilakukan dengan mengambil contoh tanah di lokasi yang telah ditentukan sebelumnya yaitu pada proyek jalan tol. Contoh tanah yang digunakan diambil pada kedalaman lebih kurang 1 m – 1,5 m. Contoh tanah yang telah diambil kemudian dimasukkan dalam karung yang kedap air dan dibawa serta disimpan di laboratorium untuk selanjutnya akan dilakukan pengujian. Contoh tanah yang digunakan dalam pengujian dalam kondisi tanah terganggu (*disturbed*) sehingga karakteristik tanah yang didapatkan pada kondisi awal kemungkinan akan berbeda dengan yang ada di lapangan.

Setelah tahap persiapan selesai dilakukan, dilanjutkan tahap pelaksanaan yang sepenuhnya dilakukan di laboratorium. Pada tahap pelaksanaan ini, contoh tanah yang sebelumnya telah diambil dari lokasi proyek jalan tol akan dilakukan beberapa pengujian-pengujian. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan karakteristik mekanik. Contoh tanah yang akan diuji juga akan mendapatkan perlakuan dengan penambahan slag baja dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Pengujian yang dilakukan pada contoh tanah untuk mengetahui karakteristik fisik adalah kadar air, berat jenis dan batas-batas konsistensi, sedangkan untuk mengetahui karakteristik mekanik pengujian yang dilakukan adalah dengan kuat geser langsung. Pengujian kuat geser langsung bertujuan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu sudut geser dalam dan kohesi.

Tahap analisis yaitu tahapan akhir yang dilakukan setelah seluruh tahap pelaksanaan pengujian. Data-data yang didapatkan pada tahap pelaksanaan diolah dan dianalisis untuk

mendapatkan nilai optimum dari setiap karakteristik fisik maupun mekanik. Berdasarkan hasil atau data pada tahap pelaksanaan, hasil pengujian dari contoh benda uji normal atau yang tidak diberi tambahan slag baja akan dibandingkan dengan contoh benda uji yang mendapatkan tambahan slag baja. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui perubahan karakteristik fisik maupun mekanik dari contoh benda uji yang mendapatkan tambahan slag baja sehingga didapatkan prosentase optimum yang tepat untuk ditambahkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan pengujian contoh tanah di Laboratorium Mekanika Tanah didapatkan karakteristik fisik dan mekanik tanah yaitu kadar air, berat jenis, batas-batas konsistensi, sudut geser dalam dan kohesi.

#### 3.1. Karakteristik Fisik

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik fisik adalah kadar air, berat jenis dan batas-batas konsistensi. Hasil setiap karakteristik didapatkan dari 3 pengujian contoh benda uji untuk kemudian diambil nilai rata-rata dari ke-3 hasil tersebut. Berikut ini adalah hasil pengujian untuk karakteristik fisik pada contoh tanah tanpa tambahan slag baja dan contoh tanah dengan tambahan slag baja.

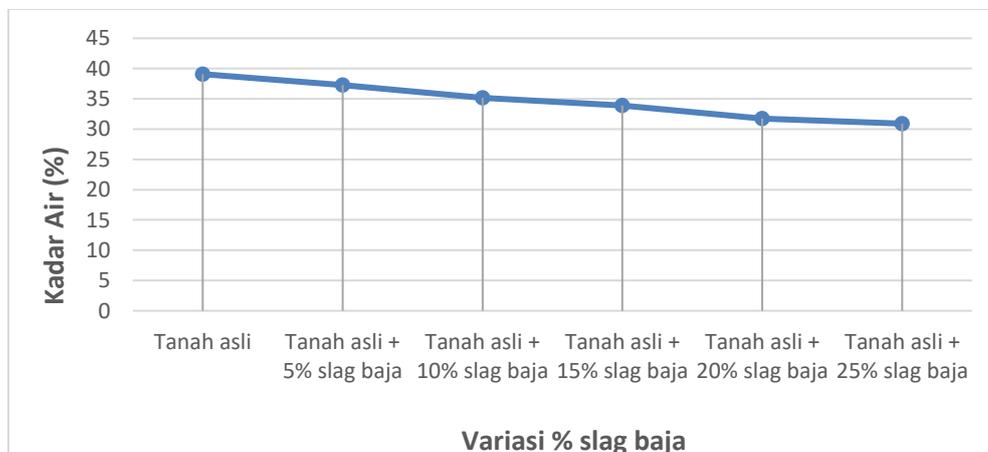
##### A. Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan berat air dengan berat butiran tanah. Hasil pengujian kadar air untuk contoh tanah adalah sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Kadar Air Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Kadar Air (%)
1	Tanah asli	39,08
2	Tanah asli + 5% slag baja	37,28
3	Tanah asli + 10% slag baja	35,18
4	Tanah asli + 15% slag baja	33,89
5	Tanah asli + 20% slag baja	31,75
6	Tanah asli + 25% slag baja	30,91

*Sumber: hasil perhitungan*



**Gambar 1.** Perubahan Kadar Air Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1 terlihat bahwa seiring dengan penambahan slag baja pada contoh tanah lempung maka kadar airnya semakin berkurang atau menurun. Hal ini disebabkan slag baja yang berupa serbuk dapat sedikit menyerap air yang tersimpan di dalam rongga-rongga tanah. Penurunan kadar air maksimum terjadi pada penambahan 25% slag baja terhadap tanah asli sebesar 20,91%.

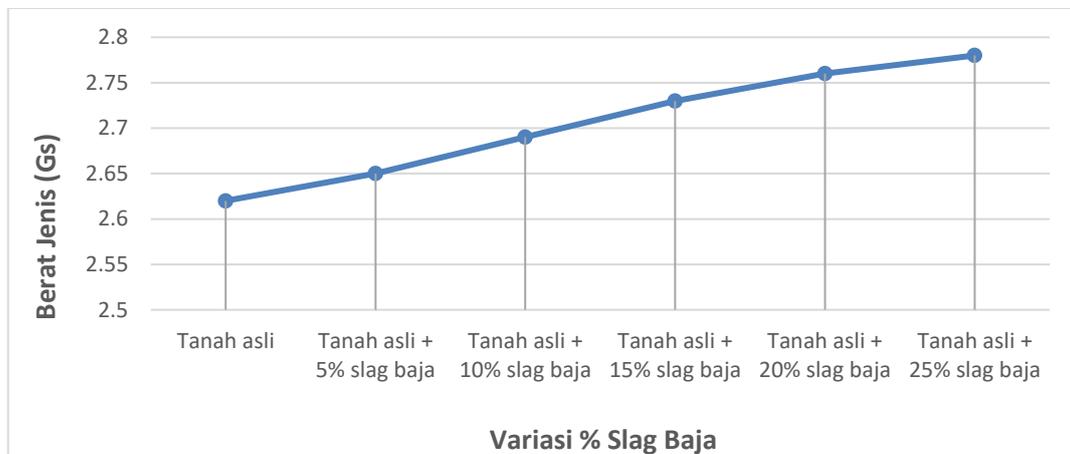
**B. Berat Jenis**

Berat jenis tanah merupakan perbandingan antara berat volume butiran dengan berat volume air pada suhu 20°C [6]. Hasil pengujian berat jenis tanah untuk contoh tanah adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Berat Jenis Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Berat Jenis (Gs)
1	Tanah asli	2,62
2	Tanah asli + 5% slag baja	2,65
3	Tanah asli + 10% slag baja	2,69
4	Tanah asli + 15% slag baja	2,73
5	Tanah asli + 20% slag baja	2,76
6	Tanah asli + 25% slag baja	2,78

*Sumber: hasil perhitungan*



**Gambar 2.** Perubahan Berat Jenis (Gs) Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, semakin banyak % penambahan menyebabkan nilai berat jenis contoh tanah uji semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya berat dan volume tanah akibat bertambahnya butiran. Serbuk-serbuk slag baja mengisi rongga-rongga tanah menggantikan air dan udara sehingga berat dan volume tanah bertambah. Peningkatan berat jenis terbesar terdapat pada penambahan 25% slag baja terhadap tanah asli sebesar 6,11%.

## C. Batas-batas Konsistensi

Kondisi tanah berbutir halus yang dapat dibentuk kembali dengan kandungan air yang bervariasi menggambarkan konsistensi tanah. Kondisi dasar atau perilaku tanah mengenai konsistensi tanah terdiri dari padat, semi padat, plastis dan cair. Kadar air pada kondisi transisi antara satu keadaan dengan keadaan yang lain dibagi menjadi batas susut, batas plastis dan batas cair. Hasil pengujian batas cair, batas plastis maupun batas susut sebagai berikut:

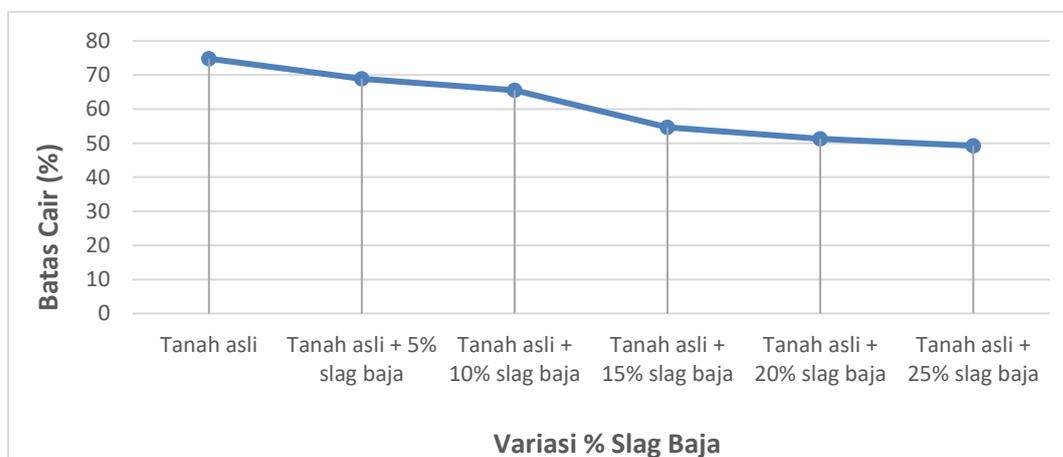
### 1. Batas Cair

Batas cair merupakan kondisi tanah dimana kadar air berada posisi transisi antara keadaan cair dan semi plastis. Pengujian batas cair pada setiap variasi penambahan slag baja dilakukan untuk 3 contoh benda uji untuk kemudian diambil hasil rata-rata yang digunakan atau diterapkan.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Batas Cair Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Batas Cair (%)
1	Tanah asli	74,81
2	Tanah asli + 5% slag baja	68,95
3	Tanah asli + 10% slag baja	65,58
4	Tanah asli + 15% slag baja	54,63
5	Tanah asli + 20% slag baja	51,25
6	Tanah asli + 25% slag baja	49,25

*Sumber: hasil perhitungan*



**Gambar 3.** Perubahan Batas Cair Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3 semakin banyak serbuk slag baja yang ditambahkan maka batas cair akan semakin menurun. Hal ini seiring dengan berkurangnya kadar air yang disebabkan penambahan serbuk slag baja, dimana serbuk slag baja akan menyerap sebagian air yang tersimpan didalam rongga-rongga tanah. Penurunan batas cair terbesar terdapat pada penambahan 25% serbuk slag baja atau mengalami penurunan sebesar 34,17% dibandingkan dengan kondisi tanah asli.

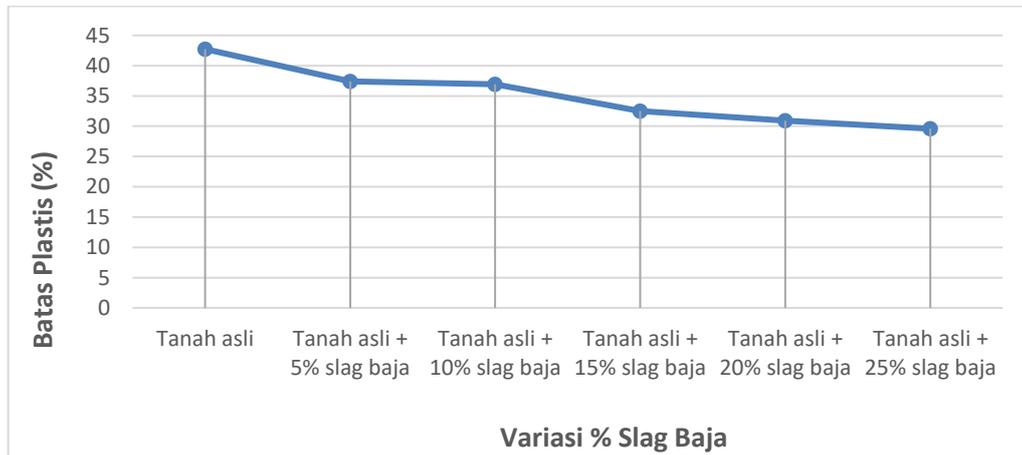
2. Batas Plastis

Batas plastis merupakan kondisi tanah dimana kadar air berada posisi transisi antara keadaan semi plastis dan plastis. Pengujian batas plastis dilakukan dengan memilin contoh tanah sampai retak pada diameter tertentu untuk kemudian diukur kadar airnya.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Batas Plastis Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Batas Cair (%)
1	Tanah asli	42,73
2	Tanah asli + 5% slag baja	37,39
3	Tanah asli + 10% slag baja	36,92
4	Tanah asli + 15% slag baja	32,48
5	Tanah asli + 20% slag baja	30,94
6	Tanah asli + 25% slag baja	29,59

Sumber: hasil perhitungan



**Gambar 4.** Perubahan Batas Plastis Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan hasil pengujian batas plastis pada Tabel 4 dan Gambar 4, terlihat seiring dengan bertambahnya serbuk slag baja maka batas plastis semakin menurun. Hal ini disebabkan serbuk slag baja yang dapat menyerap sebagian air yang tersimpan di dalam rongga tanah sehingga menyebabkan contoh tanah menjadi semakin kaku. Penurunan terbesar pada penambahan slag baja 25% dengan nilai batas plastis sebesar 29,59% sedangkan pada tanah asli sebesar 42,37%. Penurunan batas plastis pada penambahan slag baja 25% sebesar 30,16% dibandingkan pada contoh tanah asli.

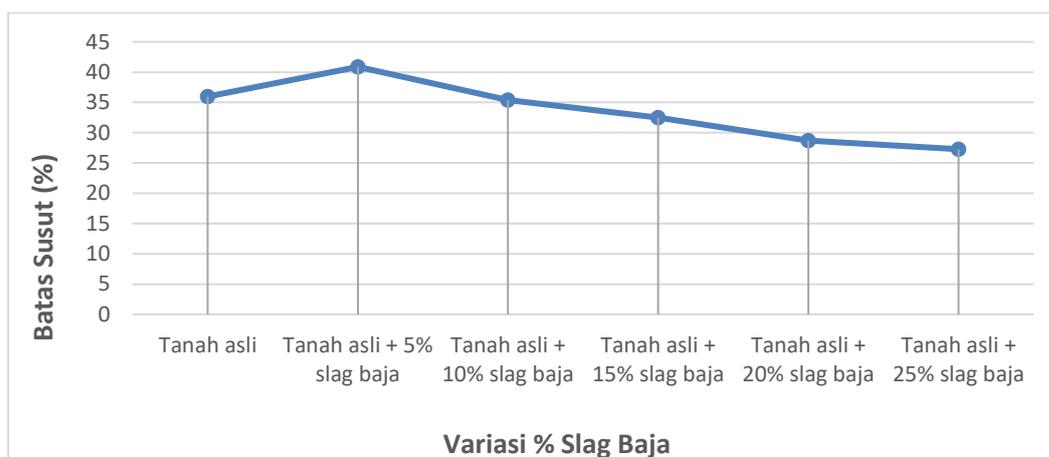
3. Batas Susut

Batas susut merupakan kondisi tanah dimana kadar air berada posisi transisi antara keadaan plastis dan kaku. Pengujian batas susut dilakukan dengan menimbang berat air raksa yang tumpah akibat contoh benda uji yang dimasukkan ke dalam air raksa. Contoh benda uji yang digunakan untuk dimasukkan dalam air raksa berada dalam dua kondisi yaitu ketika kondisi inisial atau asli dan kondisi kering atau setelah dioven selama 24 jam.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Batas Susut Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Batas Cair (%)
1	Tanah asli	35,97
2	Tanah asli + 5% slag baja	40,87
3	Tanah asli + 10% slag baja	35,37
4	Tanah asli + 15% slag baja	32,50
5	Tanah asli + 20% slag baja	28,71
6	Tanah asli + 25% slag baja	27,28

Sumber: hasil perhitungan



**Gambar 5.** Perubahan Batas Susut Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 5, hasil pengujian batas susut terlihat bahwa secara umum semakin banyak penambahan serbuk slag baja maka batas susut akan mengalami penurunan. Tetapi batas susut sedikit mengalami peningkatan di penambahan slag baja sebesar 5% dibandingkan batas susut pada kondisi asli, untuk kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya slag baja yang dicampurkan. Batas susut terendah terdapat pada penambahan serbuk slag baja sebesar 25% yaitu 27,28% dan batas susut terbesar pada penambahan serbuk slag baja 5% yaitu 40,87%. Besarnya penurunan batas susut pada penambahan serbuk slag baja 25% adalah 24,16% dan peningkatan batas susut pada penambahan serbuk slag baja 5% adalah 13,62% dibandingkan pada kondisi inisial atau asli.

4. Indeks Plastisitas

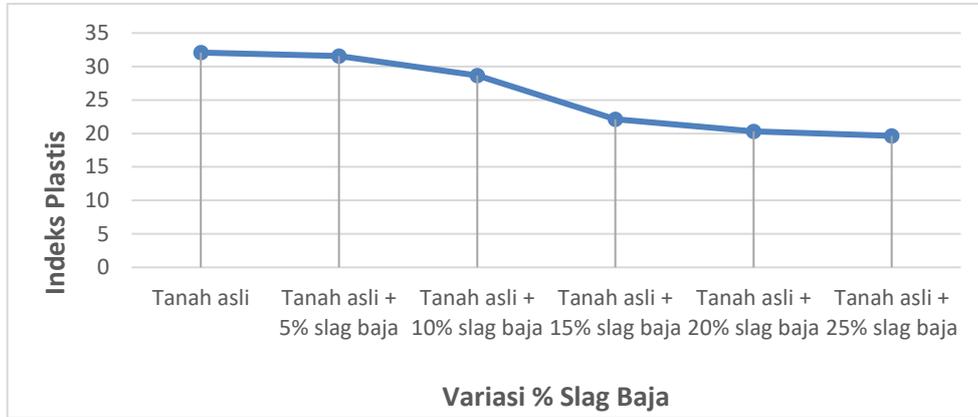
Indeks plastisitas merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis dari tanah. Indeks plastisitas memegang peranan penting dalam sistem klasifikasi tanah berbutir halus dan hal yang mendasar terhadap batas-batas konsistensi.

**Tabel 6.** Nilai Indeks Plastis Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Batas Cair (%)
1	Tanah asli	32,08
2	Tanah asli + 5% slag baja	31,55
3	Tanah asli + 10% slag baja	28,66

4	Tanah asli + 15% slag baja	22,15
5	Tanah asli + 20% slag baja	20,30
6	Tanah asli + 25% slag baja	19,65

Sumber: hasil perhitungan



Gambar 6. Perubahan Indeks Plastis Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan hasil perhitungan indeks plastisitas pada Tabel 6 dan Gambar 6 terlihat bahwa semakin besar penambahan serbuk slag baja maka indeks plastisitas semakin menurun. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian batas cair dan batas plastis di atas, bahwa semakin besar penambahan serbuk slag baja maka nilainya semakin menurun. Penurunan terbesar terdapat pada penambahan serbuk slag baja sebesar 25% atau sebesar 35,75% dibandingkan indeks plastis pada kondisi asli.

### 3.2. Karakteristik Mekanik

Pada penelitian ini, selain menguji karakteristik fisik juga menguji karakteristik mekanik. Karakteristik mekanik umumnya digunakan sebagai parameter perhitungan dalam perencanaan struktur bawah. Karakteristik mekanik yang diuji pada penelitian ini adalah pengujian kuat geser langsung untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu sudut geser dalam dan kohesi.

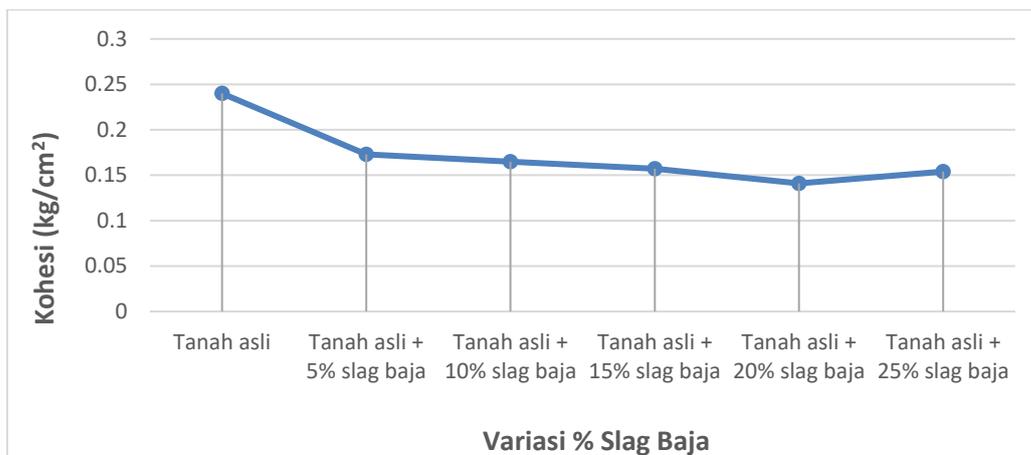
#### A. Kohesi

Kohesi adalah gaya lekatan antar butiran tanah yang terdapat pada tanah berbutir halus. Besarnya kohesi dipengaruhi oleh jenis tanah dan kepadatan atau kekakuan butiran tanahnya. Semakin kaku tanah maka semakin besar nilai kohesi dari tanah tersebut.

Tabel 7. Nilai Kohesi Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Kohesi (C) (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Tanah asli	0,240
2	Tanah asli + 5% slag baja	0,173
3	Tanah asli + 10% slag baja	0,165
4	Tanah asli + 15% slag baja	0,157
5	Tanah asli + 20% slag baja	0,141
6	Tanah asli + 25% slag baja	0,154

Sumber: hasil perhitungan



**Gambar 7.** Perubahan Nilai Kohesi Akibat Penambahan Slag Baja

Hasil pengujian dengan uji geser langsung, salah satu parameter yang akan diperoleh adalah kohesi. Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 7 terlihat bahwa semakin banyak penambahan serbuk slag baja maka secara umum nilai kohesi semakin menurun atau berkurang tetapi sedikit mengalami peningkatan pada penambahan 25% serbuk slag baja. Nilai kohesi terendah terdapat pada penambahan 20% serbuk slag baja sebesar 0,141 atau menurun sebesar 41,25% dibandingkan nilai kohesi tanah asli. Menurunnya nilai kohesi disebabkan penambahan serbuk slag baja sehingga mengurangi besarnya lekatan antar butiran tanah. Untuk nilai kohesi pada penambahan 25% serbuk slag baja sebesar 0,154 atau mengalami peningkatan sebesar 9,22% dibandingkan pada penambahan 20% serbuk slag baja atau yang memiliki nilai kohesi terendah.

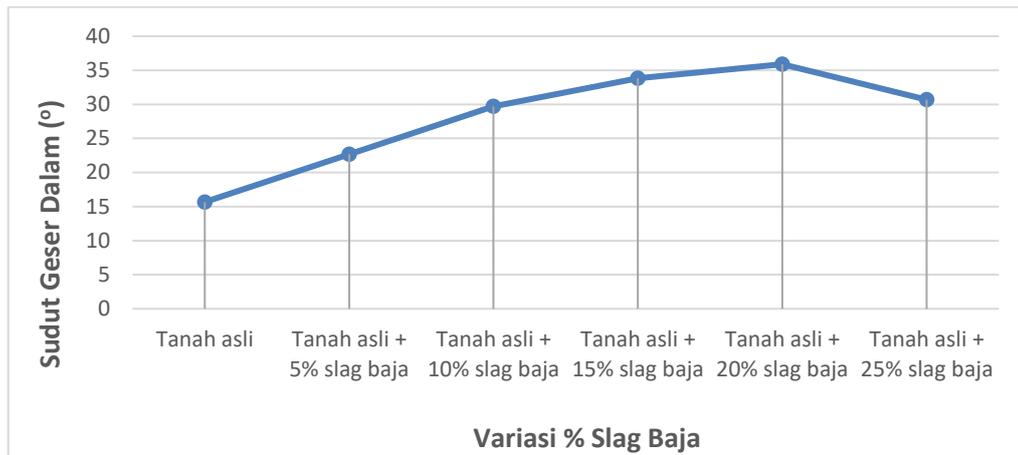
**B. Sudut Geser Dalam**

Sudut geser dalam yang merupakan salah satu parameter kuat geser yang dimiliki atau ditemui pada tanah berbutir/ granular. Sudut geser dalam ini merupakan sudut yang terbentuk akibat hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam tanah.

**Tabel 8.** Nilai Sudut Geser Dalam Pada Contoh Tanah

No.	Variasi Campuran Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ) (°)
1	Tanah asli	15°40'08"
2	Tanah asli + 5% slag baja	22°41'41"
3	Tanah asli + 10% slag baja	29°43'19"
4	Tanah asli + 15% slag baja	33°49'34"
5	Tanah asli + 20% slag baja	35°53'49"
6	Tanah asli + 25% slag baja	30°41'21"

*Sumber: hasil perhitungan*



**Gambar 8.** Perubahan Nilai Kohesi Akibat Penambahan Slag Baja

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 8 yang merupakan hasil uji Geser Langsung terlihat seiring penambahan serbuk slag baja maka besarnya sudut geser dalam secara umum mengalami kenaikan dan kembali mengalami penurunan pada penambahan 25% serbuk slag baja. Nilai sudut geser terbesar terdapat pada penambahan 20% serbuk slag baja atau mengalami kenaikan sebesar 124,04% dibandingkan nilai sudut geser dalam tanah asli.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian adalah penambahan slag baja terhadap tanah lunak mempengaruhi karakteristik fisik dan karakteristik mekanik. Karakteristik fisik diantaranya kadar air, berat jenis, batas cair, batas plastis dan batas susut mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya slag baja pada tanah lunak. Nilai terendah karakteristik fisik terdapat pada penambahan 25% serbuk slag baja. Sedangkan karakteristik mekanik yang ditinjau dari parameter kuat geser, berdasarkan hasil pengujian geser langsung diperoleh nilai kohesi semakin menurun seiring penambahan slag baja sedangkan nilai sudut geser dalam semakin bertambah. Nilai kohesi terendah terdapat pada penambahan 20% slag baja sedangkan nilai sudut geser dalam terbesar pada penambahan 20% slag baja.

##### 4.2. Saran

Saran dari pelaksanaan penelitian ini adalah metode pemeraman setelah contoh tanah ditambahkan serbuk slag baja serta melihat hasil perencanaan jalan raya dengan menerapkan hasil penelitian untuk mengetahui manfaat penambahan slag baja pada tanah dasar khususnya tanah lunak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. P. Kusumastuti and I. Sepriyanna, "Perencanaan Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi Tanah Dasar Menggunakan Bubuk Keramik dan Bubuk Kaca," *J. Konstr.*, vol. 10, no. 2, pp. 21–28, 2019.
- [2] A. Akhlaqul Karimah, Maslin; Rachmansyah, Arief; Andi Suryo, "Pengaruh Penambahan Bahan Campuran Dengan Komposisi 75% Fly Ash dan 25% Slag Baja Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR dan Swelling," *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 1, 2014.

- [3] N. Ardiyanti, Tika; Andajani, “Pengaruh Penambahan Limbah Baja (Slag) Pada Tanah Lempung di Daerah Babat Lamongan Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Test,” *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 3, no. November, pp. 158–165, 2014.
- [4] L. Natalia Polii, Sindy; Sompie, O. B. A; D. K. Manaroinsong, “Pengaruh Penambahan Abu Batu Bara Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung,” *Tekno*, vol. 16, no. 69, pp. 11–15, 2018.
- [5] D. Indrayanto and M. Ridwan, “Pengaruh Penambahan Limbah Baja (Slag) Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung di Daerah Babat Lamongan,” *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 3, no. 3, pp. 221–227, 2014, [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/9515/9405>.
- [6] R. Machfud and A. M. Firmansyah, “Pengaruh Penambahan Limbah Baja pada Tanah Lempung di Daerah Sarirejo Kabupaten Lamongan Terhadap Potensial Swelling,” *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 25–32, 2015.