

STUDI LITERATUR PENCAMPURAN MATERIAL TANAH LEMPUNG DAN PASIR BATU DENGAN STEEL SLAG

Stefi Kurniawan¹, Inda Sumarli², dan Ali Iskandar³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Stefi.325160014@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Indas@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aliiskandar@ft.untar.ac.id

Masuk: 03-07-2020, revisi: 10-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-08-2020

ABSTRACT

The use of steel slag has been widely used to increase soil strength. Steel slag is solid material from the process of refining molten iron in making steel which in the process uses furnace and using fuel from the air blown. The steel slag must be utilized cautiously because this material is categorized as B3 which is dangerous and toxic. The application that will be discussed in this research is "Literature Study of Mixing Clay and Sandstone with Steel Slag". This analysis will be conducted by comparison of the data from research findings. The data used are primary and secondary. For primary data, the mixing of steel slag material is fulfilled by sandstone while this material is mixed with clay for secondary data. The experimet carried out from the data obtained are the CBR test, optimum moisture content (OMC), spesific gravity, maximum dry density, and atterberg limit. The results of data comparison; in addition of certain steel slag consist of a maximum number increase of CBR value. In addition, the growth of steel slag content can also increase spesific gravity of soil, and reduce plasticity, liquid limit and moisture content.

Keywords: california bearing ratio (CBR); steel slag; clay; sandstone

ABSTRAK

Penggunaan limbah baja telah banyak digunakan untuk peningkatan kekuatan tanah. Limbah terak baja merupakan limbah padat dari proses pemurnian besi cair dalam pembuatan baja yang dalam prosesnya memakai tungku dapur dan menggunakan bahan bakar dari udara yang ditiupkan. Limbah baja ini harus dimanfaatkan sebaik-baiknya karena bahan ini termasuk kedalam limbah B3 yang Bahan Berbahaya dan Beracun. Pemanfaatan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah Studi Literatur Pencampuran Material Tanah Lempung dan Pasir batu dengan Steel Slag. Di dalam penelitian ini, dilakukan dengan perbandingan data-data dari hasil penelitian. Data-data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Untuk data primer, pencampuran material limbah baja dilakukan dengan pasir batu sedangkan untuk data sekunder material ini dicampurkan dengan tanah lempung. Pengujian yang dilakukan dari data-data yang didapat adalah pengujian CBR, kadar air optimum, berat jenis butir, berat jenis tanah, dan batas-batas atterberg. Hasil dari perbandingan beberapa data yang didapat, pada penambahan kadar limbah baja tertentu terdapat pertambahan nilai CBR paling maksimum. Selain itu, pertambahan kadar slag juga dapat meningkatkan berat jenis butir, dan mengurangi plastisitas, batas cair, dan kadar air.

Kata kunci: california bearing ratio (CBR); limbah baja; tanah lempung; pasir batu

1. PENDAHULUAN

Industri yang saat ini makin maju dalam perkembangannya adalah industri pengolahan pada baja. Limbah baja termasuk kedalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) padat yang secara fisik menyerupai agregat kasar yang disebut *steel slag*. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) *steel slag* merupakan suatu bahan yang tidak berbahaya jika dimanfaatkan untuk konstruksi perkerasan jalan. Karena atas dasar pemikiran tersebut, maka perlu diadakan suatu percobaan untuk pemanfaatan limbah industri pengolahan baja dari awalnya material ini dapat merusak lingkungan, menjadi sesuatu yang dapat dimanfaatkan salah satunya pada pekerjaan prasarana transportasi yang dapat digunakan sebagai bahan campuran tanah untuk perkerasan jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan limbah

yang diakibatkan oleh pembakaran baja dibidang konstruksi pada bagian perkerasan jalan, dan menentukan komposisi yang tepat untuk memanfaatkan limbah baja.

Terak baja

Terak baja merupakan limbah padat dari proses pemurnian besi cair dalam pembuatan baja. Menurut FHWA Nomor Publikasi: FHWA-RD-97-148, terak baja (*slag*) merupakan produk sampingan dari pembuatan baja, diproduksi selama pemisahan baja cair dari kotoran di tungku pembuatan baja. Terak dalam ASTM. C.989, "*Standard spesification for ground granulated Blast-Furnace Slag for use in concrete and mortar* (ASTM, 1995:494) adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk halus sampai balok-balok besar, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan.

Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). Tanah juga didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan.

Kadar air (ω)

Kadar air suatu tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam persen. (ASTM D 2216-98). Kadar air dalam tanah dibutuhkan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah.

California bearing ratio (CBR)

Nilai CBR adalah presentase antara daya dukung tanah yang diteliti yang dibandingkan dengan daya dukung batu pecah standar pada nilai penetrasi yang sama (0.1 inch dan 0.2 inch), ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Nilai CBR yang diukur dalam 2 kondisi, yaitu kondisi *soaked* (terendam) dan *unsoaked* (tidak terendam).

Spesific gravity

Sifat fisik tanah dapat ditentukan dengan mengetahui berat jenis tanahnya dengan cara menentukan berat jenis yang lolos saringan No. 200 menggunakan labu ukur. Menurut Standar Nasional Indonesia SNI 1964-2008, pengertian berat jenis butir tanah adalah perbandingan antara massa isi butir tanah dan massa isi air pada temperatur 4⁰C.

Analisa besar butir

Grain Size adalah suatu usaha untuk menentukan distribusi butiran pasir dan butiran-butiran tanah yang lebih kecil dari butiran-butiran pasir yang lolos saringan no. 200 serta menentukan klasifikasi jenis tanah dan membandingkan persentase pengembangan butiran-butiran pasir, lanau, dan lempung.

Kompaksi

Pengujian kompaksi ditujukan untuk mendapatkan kadar air optimum pada saat kepadatan maksimum (W optimum dan γ_d maksimum).

Kembang susut tanah (*swelling*)

Kembang susut tanah merupakan peristiwa mengembangnya tanah yang disebabkan karena meresapnya air kedalam pori-pori tanah menggantikan udara akibat penambahan beban. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui besar presentase pengembangan dan tekanan tanah pada saat kondisi sedang dibebani.

Plastic limit/batas plastis (PL)

Batas Plastis adalah keadaan dimana tanah saat memiliki kadar air terendah lalu tanah mulai berubah sifatnya menjadi plastis. Pengujian ini dilakukan dengan cara menggulung tanah sampai berdiameter 1/8 inch (3.2 mm) menjadi retak.

Liquid limit/batas cair (LL)

Batas cair adalah kondisi kadar air tanah dimana sifat tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair. Pada kondisi ini tanah memiliki kuat geser yang rendah. Nilai batas cair adalah kadar air pada ketukan ke 25 (N = 25).

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian

Jenis penelitian yang akan digunakan adalah studi literatur. Penelitian yang akan dilakukan adalah membandingkan hasil-hasil penelitian pencampuran material *slag* dengan tanah dan pasir batu.

Metode pengumpulan data

Metode yang dilakukan dalam pengumpulan data ini adalah studi dokumen. Jenis data yang diambil dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer merupakan data atau informasi yang diperoleh tidak secara langsung dari obyek penelitian yang belum dipublikasi terletak pada data 1. Data sekunder merupakan data atau informasi yang diperoleh secara tidak langsung dari obyek penelitian yang bersifat public terletak pada data 2 – 10.

Pengolahan data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggabungkan beberapa data dari literatur yang ada lalu, data-data tersebut dibandingkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data

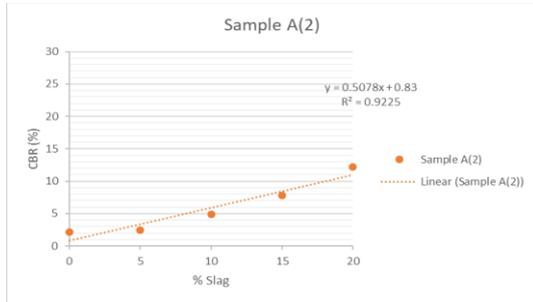
Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data 1 sedangkan, untuk data sekunder berada pada nomor 2-10 karakteristik datanya adalah:

1. Karakteristik *slag* pada data 1 adalah besar butirnya paling besar 19mm. *Slag* dicampurkan pada material sirtu dan semen. Semen yang digunakan hanya 4% untuk presentase campuran *slag* 76% + sirtu 20%. Sumber: Laporan Pengujian Laboratorium Electric Furnace Cilegon, Banten, 2017
2. Data sekunder 2 tanah yang digunakan adalah tanah lempung ekspansif (dengan IP = 54,4 dan LL = 79,76%). Presentase *slag* yang dicampurkan 0%, 5%, 10%, 15%, sampai dengan 20%. Sumber data: Pengaruh Penambahan Limbah Baja (Slag) Pada Tanah Lempung di Daerah Babat Lamongan.
1. Tanah yang digunakan pada data 3 adalah tanah *high plasticity clay and silt* (dengan IP = 23,64% dan LL = 51,9%). *Slag* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk butir halus, dengan ukuran butiran paling besar 4,75 mm. Sumber data: *Effect of By-Product Steel Slag on the Engineering Properties of Clay Soils*.
2. Tanah yang digunakan pada data 4 adalah tanah lempung berbutir kasar dengan presentase kerikil 63%, pasir 27% dan lanau 10%. Termasuk kedalam tanah *high plasticity* (dengan IP = 22% dan LL = 51%). Dan butiran *slag* yang digunakan juga termasuk butir kasar, yang terdiri dari 86% kerikil dan 14% pasir. Sumber data: *Steel Slag Waste Material for the construction of Road*.
3. Tanah yang digunakan pada data 5 adalah tanah lempung berbutir halus (paling besar 4,75 mm). Butiran *slag* yang digunakan pada penelitian ini adalah butir halus. Sumber data: *Soil Stabilisation Using Ground Granulated Blast Furnace Slag*.
4. Tanah yang digunakan pada data 6 adalah *marine clay* bertekstur butir halus dengan *highly plastic* (dengan IP = 37,78% dan LL = 70,7%). *Slag* yang digunakan pada data ini berbutir halus (paling besar 4,75 mm). Sumber data: *A Laboratory Study on the Affect of Steel Slag for Improving the Properties of Marine Clay for Foundation Beds*.
5. Tanah yang digunakan pada data 7 adalah *high plasticity clay* (dengan IP = 36% dan LL = 66%). Dan *slag* yang digunakan pada penelitian ini adalah berbutir halus. Sumber data: *Laboratory Study of Steel Slag Used in Stabilizing Expansive Soil*.
6. Tanah yang digunakan pada data 8 adalah *organic high plasticity soil* (dengan IP = 40,12% dan LL = 73,58%). *Slag* yang digunakan halus (seperti semen). Sumber data: Studi Laboratorium Variasi Campuran Slag Baja dan Slag Feronikel Terhadap Penurunan Kadar Air, Peningkatan Nilai CBR, dan Kuat Tekan Tanah, Studi Kasus Jalan Tol Bocimi STA. 19+125, Bogor.
7. Tanah yang digunakan pada data 9 adalah *black cotton soil high plasticity*. Ukuran butir tanah melewati saringan ukuran 4,75 mm. Sumber data: *Investigation on Percentage Addition of Sand, Red murrum and Steel slag for Strengthening the Subgrade Soil*.
8. Tanah yang digunakan pada data 10 adalah tanah lempung (IP = 22,05%). Presentase butiran *slag* antara kerikil dan pasir adalah 1% dan 95%, dan ukuran partikel halus adalah 4%. Sumber data: *Influence of Steel Slag and Fly Ash on Strength Properties of Clayey Soil: A Comparative Study*.

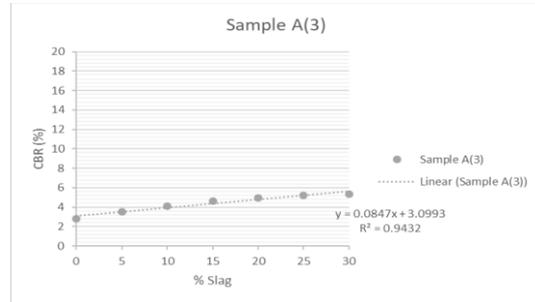
Hasil analisis

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap nilai *california bearing ratio* (CBR)

Pada data 2 (gambar 1) saat campuran tanah dengan *slag* sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% nilai CBR bertambah sebesar 2,49%, 4,787%, 7,84% hingga 12,18%. Pada data 3 (gambar 2) dilakukan pencampuran *slag* dengan presentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% adalah sebesar 2,8%, 3,52%, 4,13%, 4,61%, 4,97%, 5,22%, 5,34%.

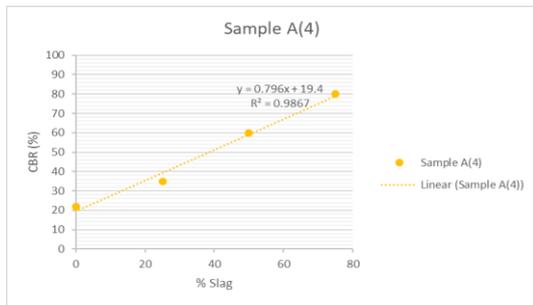


Gambar 1. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)

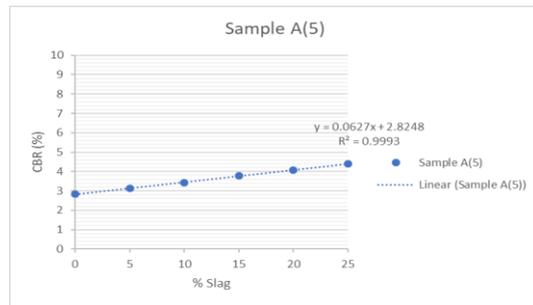


Gambar 2. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 3 (Sumber: Shalabi, dkk, 2016)

Nilai CBR tanah asli pada data 4 (gambar 3) adalah 22%, akan meningkat dengan adanya penambahan *slag* sebesar 25%, 50%, 75% nilai CBR nya menjadi 35%, 60%, dan 80%. Pada data 5 (gambar 4), pencampuran tanah dengan *slag* sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Nilai CBR akan meningkat mulai dari 2,84%, 3,13%, 3,44%, 3,77%, 4,06%, hingga 4,41%.

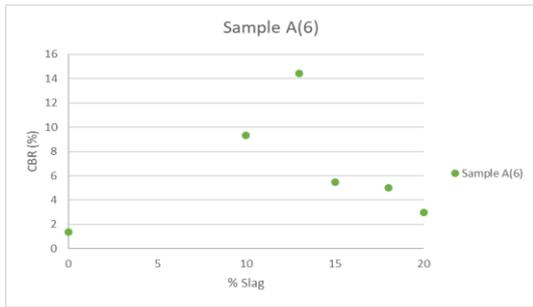


Gambar 3. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 4 (Sumber: Sinha, dkk, 2013)

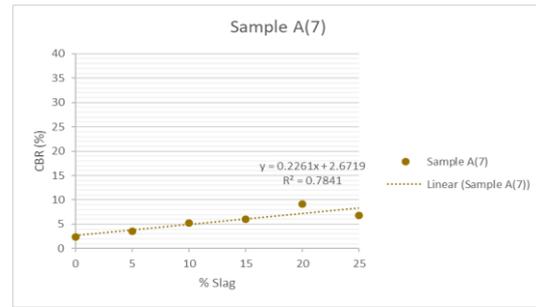


Gambar 4. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 5 (Sumber: Pathak, dkk, 2014)

Pada data 6 (gambar 5), saat pencampuran tanah dengan *slag* sebesar 0% dan 10% besarnya CBR bertambah mulai dari 1,345%, lalu 9,436%, dan untuk persentase 13% nilai CBR 14,435%. Pada saat pencampuran tanah dengan *slag* sebesar 15%, 18%, dan sampai 20% nilai CBR menjadi 5,46%, 5%, dan hingga 2,96%. Nilai CBR pada tanah asli data 7 (gambar 6) adalah 2,4% akan bertambah menjadi 3,5% ketika penambahan *slag* sebesar 5%, lalu saat 15%, 20% dan 25% nilai CBR bertambah menjadi 5,2%, 6%, 9,09%, dan 6,8%.

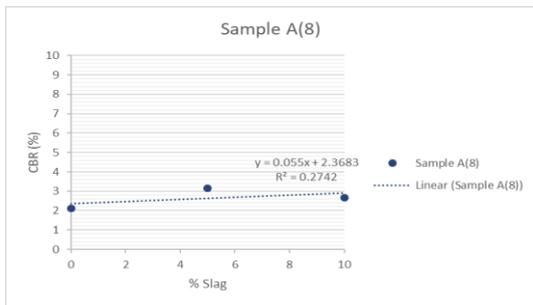


Gambar 5. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)

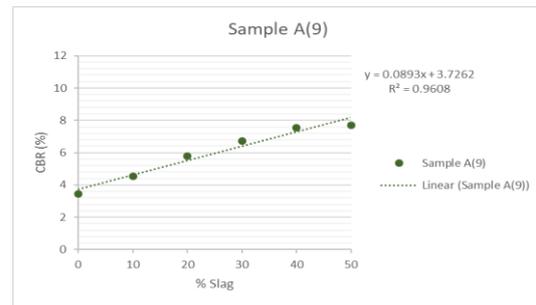


Gambar 6. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

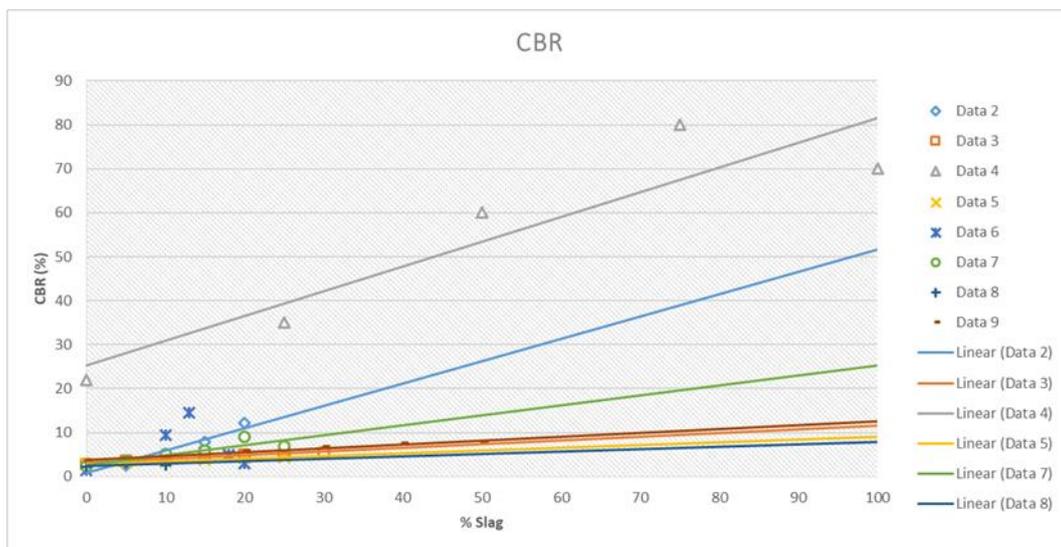
Pada data 8 (gambar 7), CBR tanah asli sebesar 2,11%, lalu pada saat pencampuran *slag* dengan tanah sebesar 5% nilai CBR naik menjadi 3,16% dan pada saat pencampuran *slag* dengan tanah sebesar 10% nilai CBR menjadi 2,66%. Pada data 9 (gambar 8), terjadi kenaikan nilai CBR pada tanah yaitu pada tanah asli nilai CBR sebesar 3,46%, pada pencampuran tanah dengan *slag* sebesar 10% nilai CBR naik menjadi 4,52%, lalu pada penambahan *slag* sebesar 20%, 30%, 40% dan 50% nilai CBR yang didapat adalah 5,78%, 6,74%, 7,55%, dan 7,7%.



Gambar 7. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 8 (Sumber: Kurnaedi, 2019)



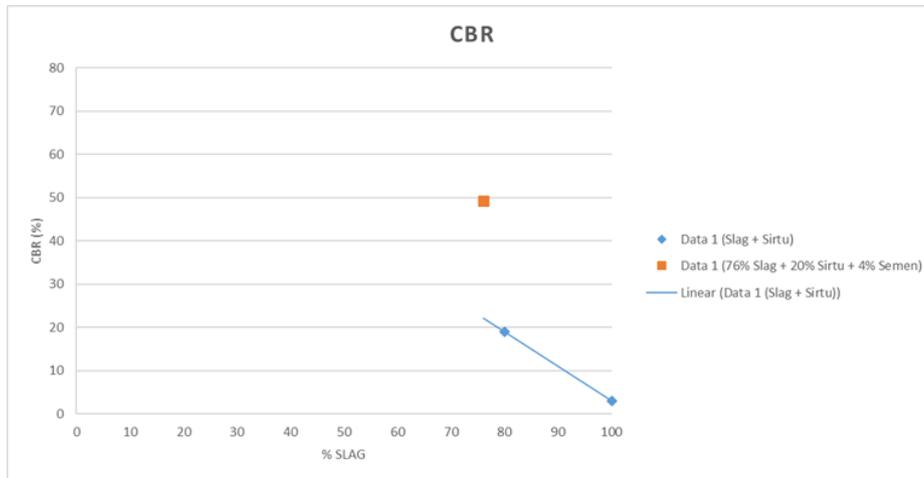
Gambar 8. Grafik penambahan nilai CBR sampel A data 9 (Sumber: Palve and Sharma, 2018)



Gambar 9. Perbandingan kenaikan CBR pada tanah lempung dengan *slag*

Dari hasil perbandingan data yang dilakukan pada gambar 9, dapat diketahui dengan menambahkan *slag* pada tanah asli akan mengakibatkan naiknya nilai CBR tanah. Pada kadar persentase *slag* tertentu, terdapat pertambahan nilai CBR yang paling maksimum. Contoh pada data 4, nilai CBR akan terus naik dari penambahan 25%, 50%, hingga 75% *slag*, nilai CBR yang didapat 35% meningkat menjadi 60%, 80% lalu menurun saat

pertambahan *slag* sebanyak 100%, maka nilai CBR yang didapat akan turun menjadi 70%. Pertambahan *slag* paling maksimum berada pada penambahan *slag* sebesar 75%, lebih atau kurang dari 75% *slag* hasil penambahan nilai CBR nya menurun.

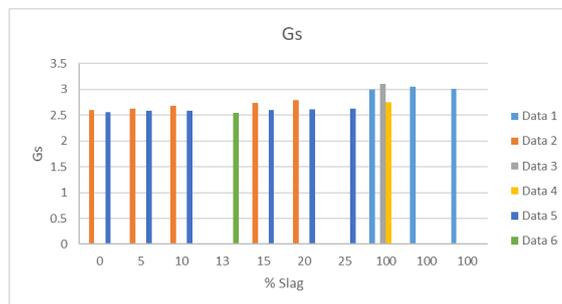


Gambar 10. Grafik nilai CBR pada pasir batu dengan *slag*

Pada pencampuran 20% pasir batu dengan steel slag sebesar 80% nilai CBR yang didapat adalah 19,021%. Kadar pencampuran steel slag dengan pasir batu yang paling optimum adalah dengan presentase campuran 76% steel slag dengan 4% semen lalu dicampurkan dengan 20% pasir batu dengan nilai CBR yang didapat adalah sebesar 49,251%. Dan pada saat dilakukan pengetesan dengan steel slag 100% nilai CBR yang didapat menurun hingga 2,95%.

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap berat jenis tanah (Gs)

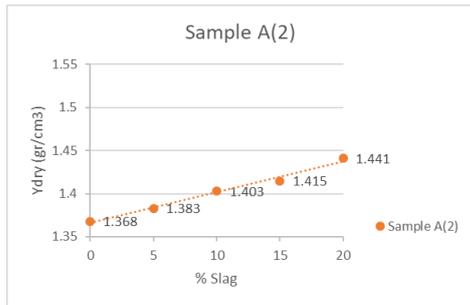
Pada data 1, nilai Gs pada 100% *slag* berkisar antara 3 – 3,05. Pada data 2, pencampuran *slag* mulai dari 0% sampai dengan 20% nilai Gs didapat 2,6 – 2,796. Untuk data 3, 4 dan 6, nilai Gs pada 100% *slag* adalah 3,1, 2,75, 2,312. Pada data 5, pencampuran slag dari 0% – 25% nilai Gs didapat 2,56 – 2,63. Dan terakhir pada data 6, penambahan nilai Gs dari 2,53 (saat tanah asli) menjadi 2,55 (saat dicampurkan dengan 13% *slag*). Dapat dilihat pada gambar 11.



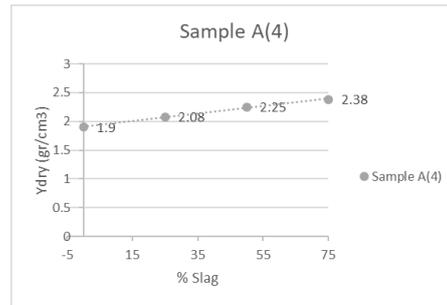
Gambar 11. Perbandingan data berat jenis tanah

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap nilai berat isi kering maksimum ($\gamma_{dry maks}$)

Pada data 2 (gambar 12) saat tanah belum tercampur *slag* nilai berat isi kering maksimum adalah 1,368 gr/cm³, lalu persentase *slag* sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% mengalami kenaikan menjadi 1,383 gr/cm³, 1,403 gr/cm³, 1,415 gr/cm³ dan 1,411 gr/cm³. Nilai besarnya berat isi kering maksimum tanah pada data 4 (gambar 13) adalah pada saat sampel tanah asli adalah sebesar 1,9 gr/cm³, pada persentase *slag* sebesar 25%, 50% dan 75% mengalami kenaikan sebesar 2,08 gr/cm³, 2,25 gr/cm³ dan 2,38 gr/cm³.

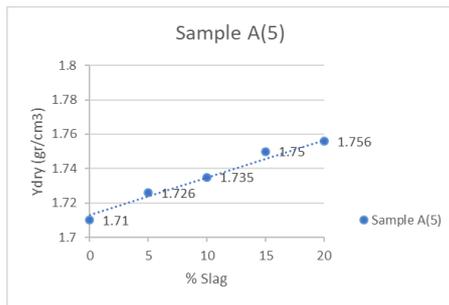


Gambar 12. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)

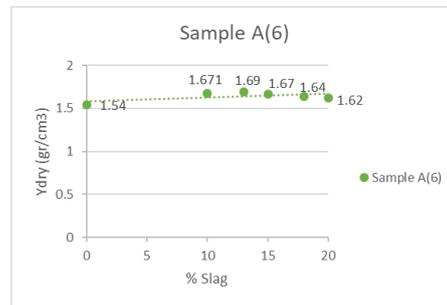


Gambar 13. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 4 (Sumber: Sinha, dkk, 2013)

Kenaikan berat isi kering maksimum pada data 5 (gambar 14) adalah dari 1,71 gr/cm³, 1,726 gr/cm³, 1,735 gr/cm³, 1,75 gr/cm³ dan 1,756 gr/cm³. Dari Persentase *slag* 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pada data 6 (gambar 15), nilai berat isi kering maksimum pada tanah dicampurkan dengan *slag* sebesar 0%, 10%, 13%, 15%, 18% sampai dengan 20% nilai berat isi kering maksimum yang didapat sebesar 1,54 gr/cm³, 1,671 gr/cm³, 1,69 gr/cm³, 1,67 gr/cm³, 1,64 gr/cm³, 1,64 gr/cm³, 1,62 gr/cm³.

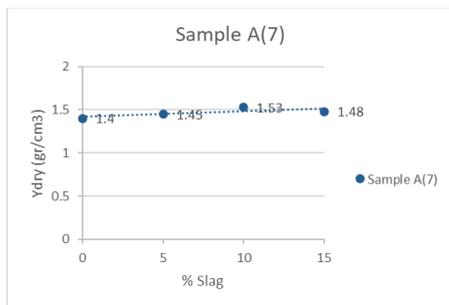


Gambar 14. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 5 (Sumber: Pathak, dkk, 2014)

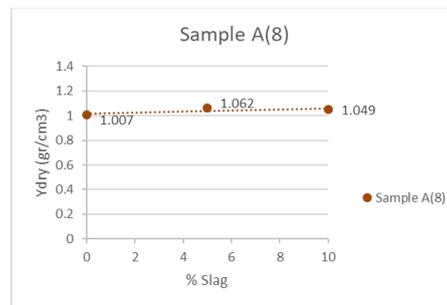


Gambar 15. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)

Nilai berat isi kering maksimum pada tanah data 7 (gambar 16) adalah sebesar 1,4 gr/cm³, penambahan *slag* sebesar 5%, 10%, 15% nilai berat isi kering maksimum yang didapat sebesar 1,45 gr/cm³, 1,53 gr/cm³, 1,48 gr/cm³. Maka, pertambahan nilai berat isi kering maksimum tertinggi pada saat persentase *slag* yang digunakan pada data 8 (gambar 17) adalah sebesar 10%. Pada data 8, berat isi kering maksimum sampel tanah asli yang digunakan adalah sebesar 1,007 gr/cm³, penambahan *slag* sebesar 5% dan 10% kenaikan berat isi kering maksimum adalah sebesar 1,062 gr/cm³, dan 1,049 gr/cm³.



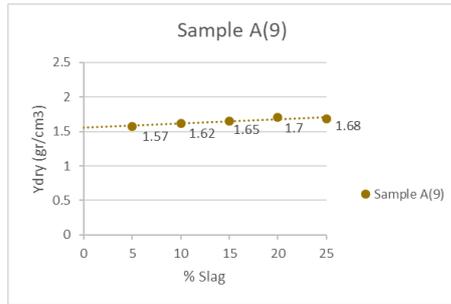
Gambar 16. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)



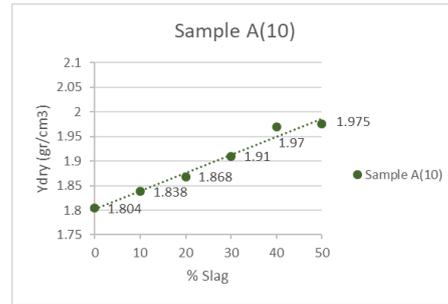
Gambar 17. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 8 (Sumber: Kurnaedi, 2019)

Untuk data 9 (gambar 18), nilai berat isi kering maksimum yang diuji dimulai dari pencampuran 5% *slag* dengan tanah didapat besarnya 1,57 gr/cm³, lalu dilanjutkan penambahan 10%, 15%, 20% hingga 25% *slag* nilai berat isi kering maksimum yang didapat 1,62 gr/cm³, 1,65 gr/cm³, 1,7 gr/cm³, 1,68 gr/cm³. Maka pertambahan nilai berat isi kering maksimum tertinggi pada saat persentase *slag* yang digunakan pada data 9 adalah sebesar 20%. Nilai berat isi kering maksimum sampel tanah asli yang digunakan pada data 10 (gambar 19) adalah sebesar 1,804

gr/cm³, penambahan *slag* sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, hingga 50% kenaikan berat isi kering maksimum yang didapat adalah sebesar 1,838 gr/cm³, 1,868 gr/cm³, 1,91 gr/cm³, 1,97 gr/cm³, 1,975 gr/cm³.



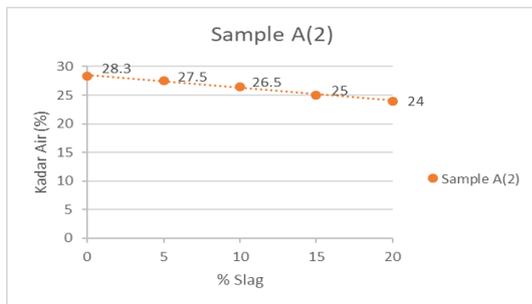
Gambar 18. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 9 (Sumber: Palve and Sharma, 2018)



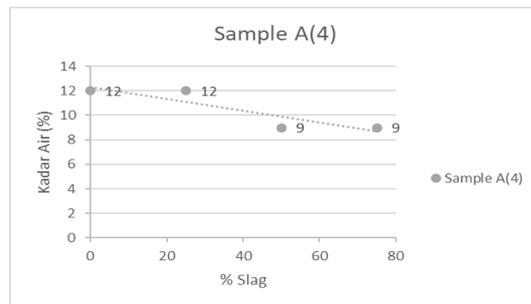
Gambar 19. Grafik berat isi kering maksimum sampel A data 10 (Sumber: Biradar, dkk, 2014)

Grafik pengaruh penambahan slag terhadap kadar air optimum (wopt)

Pada data 2 (gambar 20), sampel kadar air optimum pada sampel tanah asli adalah sebesar 28,3%, penambahan *slag* sebesar 5%, 10%, 15%, hingga 20% kadar air yang didapat adalah 27,5%, 26,5%, 25% dan 24%. Pada data 4 (gambar 21), sampel kadar air optimum pada sampel tanah asli adalah sebesar 12%, pada pencampuran tanah dengan 25% *slag* tidak memiliki pengaruh terhadap penurunan kadar air. Lalu ketika kadar *slag* dinaikkan sebesar 50% terlihat penurunan kadar air sehingga mencapai 9% dan tetap hingga kadar *slag* sebesar 75%. Pertambahan *slag* dapat menurunkan kadar air optimum pada tanah.

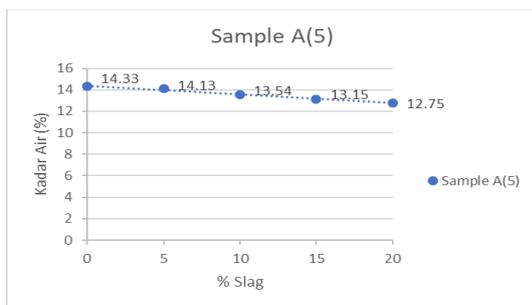


Gambar 20. Grafik wopt sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)

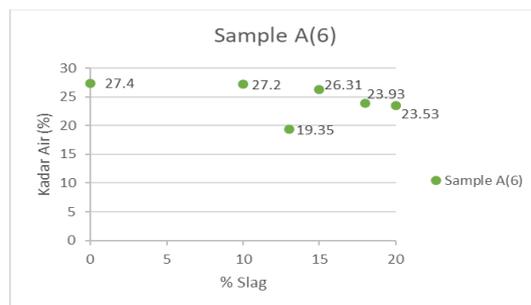


Gambar 21. Grafik wopt sampel A data 4 (Sumber: Sinha, dkk, 2013)

Besar kadar air optimum pada tanah data 5 (gambar 22) adalah 14,33%, lalu kadar air akan terus menurun pada persentase 5%, 10%, 15% sampai sebesar 20%, nilainya adalah 14,13%, 13,54%, 13,15%, dan 12,75%. Pada data 6 (gambar 23), sampel kadar air optimum pada sampel tanah asli adalah sebesar 27,4%, pada pencampuran tanah dengan 10%, 13%, 15%, 18%, dan 20% *slag* akan mengurangi besar kadar air optimum pada tanah yaitu sebesar 27,2%, 19,35%, 26,31%, 23,93% dan 23,53%.

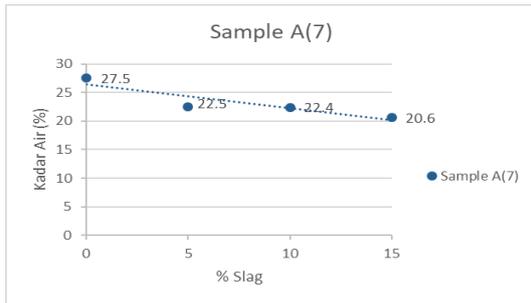


Gambar 22. Grafik wopt sampel A data 5 (Sumber: Pathak, dkk, 2014)

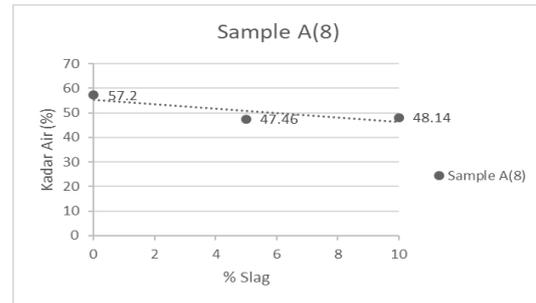


Gambar 23. Grafik wopt sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)

Pada data 7 (gambar 24), didapat data kadar air optimum pada tanah adalah sebesar 27,5%, lalu pada saat persentase kadar *slag* ditambahkan menjadi 5%, 10%, dan 15% maka kadar air turun menjadi 22,5%, 22,4%, dan 20,6%. Besar kadar air optimum tanah pada data 8 (gambar 25) adalah 57,2% pencampuran tanah dengan sebesar 5% 10% maka kadar air optimum yang didapatkan menurun hingga 47,46%, dan 48,14%.

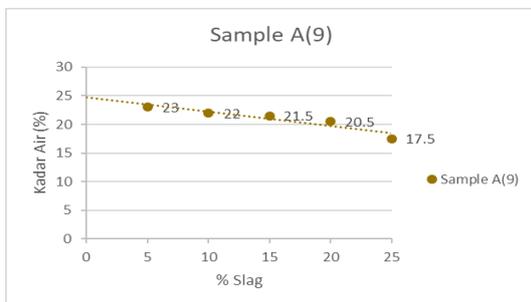


Gambar 24. Grafik wopt sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

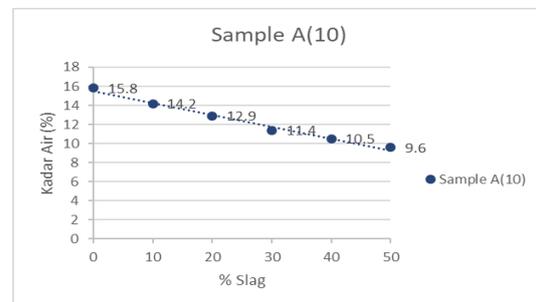


Gambar 25. Grafik wopt sampel A data 8 (Sumber: Kurnaedi, 2019)

Pada data 9 (gambar 26) pencampuran tanah dengan *slag* dimulai dari 5% penambahan bahan *slag* dengan nilai yang didapat adalah 23%, lalu akan turun ketika ditambahkan 10%, 15%, 20%, dan 25% *slag* sehingga nilainya menjadi 23%, 21,5%, dan 20,5% dan 17,5%. Nilai kadar air optimum tanah pada data 10 (gambar 27) adalah 15,8%. Pencampuran tanah dengan *slag* dimulai dari 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% penambahan bahan *slag* dengan nilai kadar air optimum yang didapat adalah 14,2%, 12,9%, 11,4%, 10,5% dan 9,6%



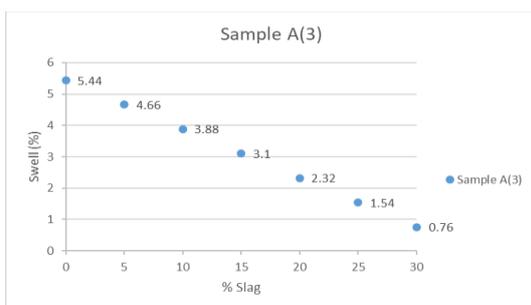
Gambar 26. Grafik wopt sampel A data 9 (Sumber: Palve and Sharma, 2018)



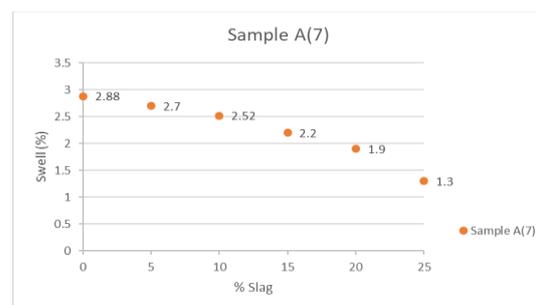
Gambar 27. Grafik wopt sampel A data 10 (Sumber: Biradar, dkk, 2014)

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap kembang susut tanah (*swelling*)

Pada data 3 (gambar 28) tanah mengalami penurunan kembang susut dari 5.44% pada tanah asli dan akan terus menurun menjadi 4,66%, 3,88%, 3,1%, 2,32%, 1,54%, hingga 0,76% saat *slag* 5%, 10%, 15%, 20%, 25% hingga 30%. Pada data 7 (gambar 29) tanah mengalami penurunan kembang susut mulai dari 2.88% pada saat tanah asli, saat penambahan *slag* sebesar 5%, 10%, 20%, dan 25% nilai *swell* menjadi 2,7%, 2,2%, dan 1,3%.

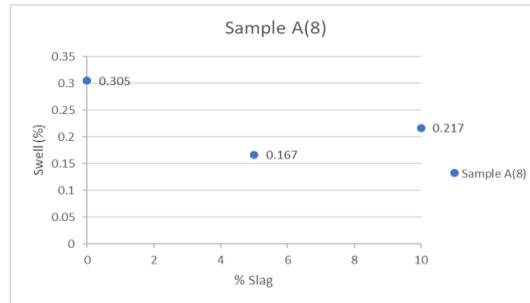


Gambar 28. Grafik *swelling* sampel A data 3 (Sumber: Shalabi, dkk, 2016)



Gambar 29. Grafik *swelling* sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

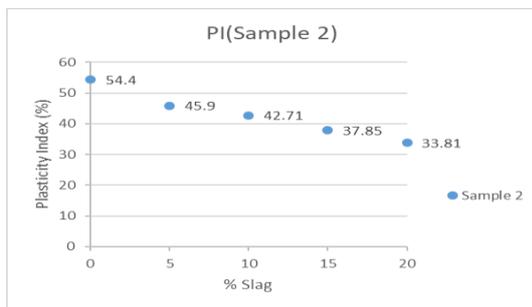
Pada data 8 (gambar 30) tanah mengalami penurunan kembang susut mulai dari 0,305% pada saat tanah asli, saat 5% menurun hingga 0,167%, dan saat 10% menurun hingga 0,217%.



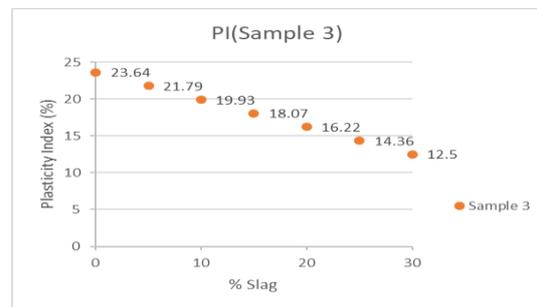
Gambar 30. Grafik *swelling* sampel A data 8 (Sumber: Kurnaedi, 2019)

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap index plastisitas tanah (IP)

Nilai indeks plastis tanah pada data 2 (gambar 31) adalah 54,4%. Ketika dilakukan penambahan *slag* sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% maka besar IP tanah menurun menjadi 45,9%, 42,71%, 37,85% dan menurun sampai dengan 33,81%. Nilai indeks plastis tanah pada data 3 (gambar 32) adalah 23,64%. Pada saat dilakukan penambahan *slag* sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dapat menyebabkan besar IP tanah menurun menjadi 21,79%, 19,93%, 18,07%, 16,22%, dan 12,5%.

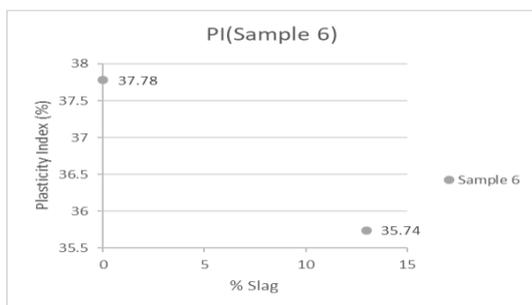


Gambar 31. Grafik index plastisitas sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)

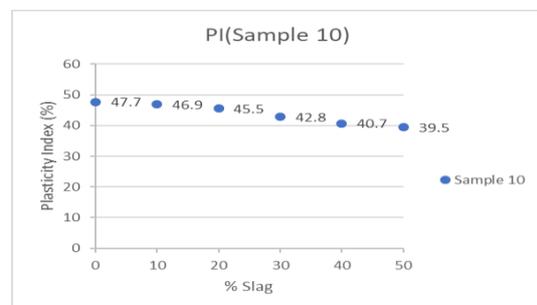


Gambar 32. Grafik index plastisitas sampel A data 3 (Sumber: Shalabi, dkk, 2016)

Pada data 6 (gambar 33), penambahan *slag* juga mempengaruhi pengurangan nilai plastisitas. Nilai IP tanah asli adalah 37,78% lalu pada saat pencampuran tanah dengan *slag* sebesar 13% nilai IP menurun menjadi 35,74%. Besar nilai IP pada tanah data 7 (gambar 34) adalah 36%, pencampuran *slag* sebesar 5%, 15%, 20%, 25% hingga 30% menjadi 30%, 25%, 19%, 16% dan 9%.

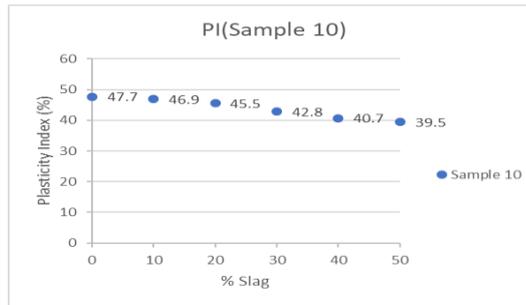


Gambar 33. Grafik index plastisitas sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)



Gambar 34. Grafik index plastisitas sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

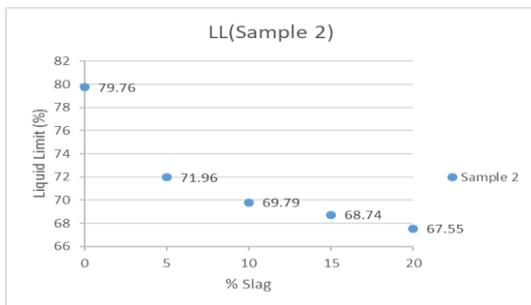
Nilai indeks plastis tanah pada data 10 (gambar 35) adalah 47,7%. Saat dilakukan penambahan *slag* sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% maka besar IP tanah menurun menjadi 46,9%, 45,5%, 42,8%, 40,7% dan 39,5%.



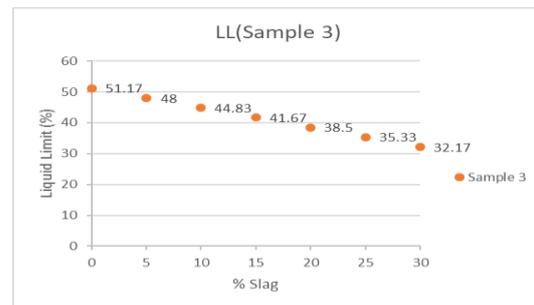
Gambar 35. Grafik index plastisitas sampel A data 10 (Sumber: Biradar, dkk, 2014)

Grafik pengaruh penambahan slag terhadap batas cair tanah (LL)

Sampel tanah asli pada data 2 (gambar 36) batas cair sebesar 79,76%. Penambahan slag 5%, 10%, 15%, dan 20% berkurang menjadi 71,96%, 69,79%, 68,74%, dan 67,55%. Sampel tanah asli pada data 3 (gambar 37) memiliki nilai batas cair sebesar 51,17%. Nilai batas cair pada campuran sampel tanah dengan slag sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% berkurang menjadi 48%, 44,83%, 41,67%, 38,5%, 35,33%, 32,17%.

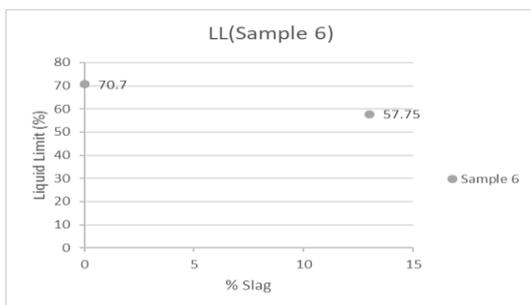


Gambar 36. Grafik batas cair sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)

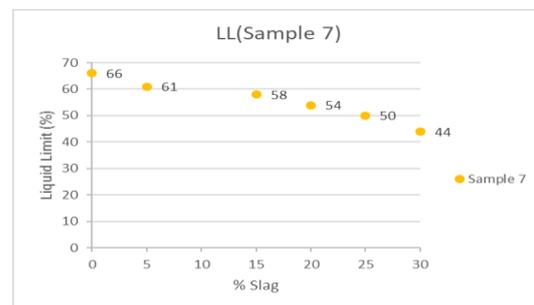


Gambar 37. Grafik batas cair sampel A data 3 (Sumber: Shalabi, dkk, 2016)

Sampel tanah asli pada data 6 (gambar 38) memiliki nilai batas cair sebesar 70,7%. Lalu pada saat penambahan 13% slag nilai batas cair menurun menjadi 57,75%. Sampel tanah asli pada data 7 (gambar 39) memiliki batas cair sebesar 66%. Nilai batas cair pada campuran sampel tanah dengan pasir sebesar 5%, 15%, 20%, 25% dan 30% berkurang menjadi 61%, 58%, 54%, 50%, hingga 44%.

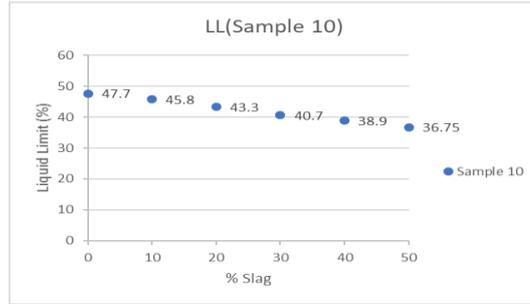


Gambar 38. Grafik batas cair sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)



Gambar 39. Grafik batas cair sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

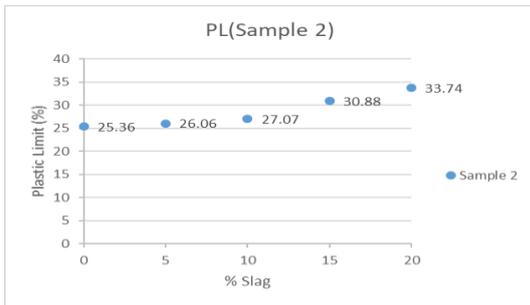
Sampel tanah asli pada data 10 (gambar 40) memiliki batas cair sebesar 47,7%. Nilai batas cair pada campuran sampel tanah dengan pasir sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% berkurang menjadi 45,8%, 43,3%, 40,7%, 38,9% hingga 36,75%.



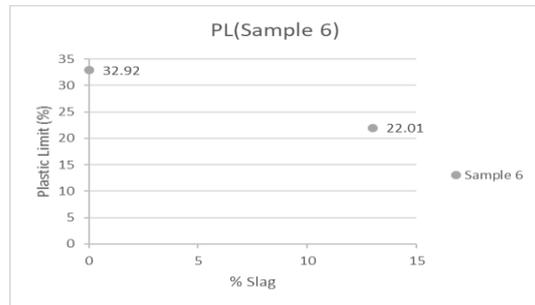
Gambar 40. Grafik batas bair sampel A data 10 (Sumber: Biradar, dkk, 2014)

Grafik pengaruh penambahan *slag* terhadap batas plastis tanah (PL)

Nilai batas plastis pada data 2 (gambar 41) mengalami kenaikan, dimulai dari nilai batas plastis pada sampel tanah asli adalah sebesar 25,36%, dengan penambahan sebesar 5% *slag* didapat nilai PL sebesar 26,06%, lalu ditambahkan dengan 10% *slag* nilai PL nya adalah sebesar 27,07%, dan pada saat penambahan sebesar 15% dan 20% nilai batas plastis akan terus bertambah menjadi 30,88% sampai dengan 33,74%. Pertambahan nilai batas plastis tanah sedikit. Nilai batas plastis pada data 6 (gambar 42) mengalami pengurangan, nilai batas plastis pada sampel tanah asli adalah sebesar 25,36%, lalu ketika dicampur dengan 13% *slag* nilai batas plastis berkurang menjadi 22,01%.

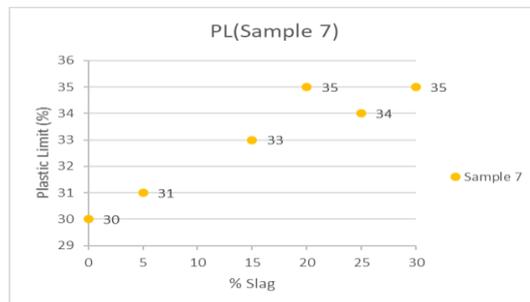


Gambar 41. Grafik batas plastis sampel A data 2 (Sumber: Ardiyanti dan Andajani, 2014)



Gambar 42. Grafik batas plastis sampel A data 6 (Sumber: D. Koteswara Rao, dkk, 2014)

Nilai batas plastis pada data 7 (gambar 43) mengalami penambahan, dimulai dari nilai batas plastis pada sampel tanah asli adalah sebesar 30%, lalu ketika dicampur dengan 5% *slag* nilai batas plastis meningkat hingga 31%, dan terus meningkat hingga persentase pencampuran sebesar 15%, 20%, 25%, dan 30% yaitu bertambah sebesar 33%, 35%, 34%, sampai dengan 35%. Pertambahan nilai batas plastis pada tanah relatif sedikit.



Gambar 43. Grafik batas plastis sampel A data 7 (Sumber: Zumrawi and Babikir, 2017)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah:

1. Penambahan *slag* pada tanah asli akan mengakibatkan naiknya nilai CBR tanah. Pertambahan nilai CBR yang paling maksimum, terdapat pada kadar *slag* tertentu.

2. Penambahan material semen dalam pencampuran *slag* dengan sirtu dapat mempengaruhi kenaikan nilai CBR. Berdasarkan nilainya. (4% semen + 76% slag + 20% sirtu; CBR = 49,251%)
3. Kenaikan kepadatan tanah diakibatkan karena proses dimana air dan udara atau pori-pori tanah semakin kecil. Jadi semakin berkurangnya angka pori, maka mengakibatkan berat butiran semakin besar sedangkan volume total tanah basah menjadi semakin berkurang.
4. Penambahan *slag* dengan tanah mengakibatkan kadar air menurun dan berat jenis kering meningkat, dikarenakan kompaktibilitas tanah meningkat dan membuat tanah lebih keras dan padat.
5. *Slag* dapat mengurangi nilai kembang susut pada tanah, karena sifat limbah baja yang tidak mengembang dan menyusut.
6. Penurunan pada plastisitas tanah (IP) dan batas cair pada tanah, disebabkan karena adanya penambahan *slag* yang dicampurkan pada tanah sehingga menyebabkan batas cair dan plastisitas tanah menjadi berkurang diakibatkan karena sifat *non-plastic* dari *steel slag*.

Saran

Saran untuk melengkapi penelitian ini adalah:

1. Perlu melakukan penelitian mengenai kadar kimia pada *slag*, karena kadar kimia yang terkandung didalam *steel slag* bisa berbeda.
2. Untuk melengkapi penelitian ini, perlu adanya pengujian *direct shear* pada sampel *slag* untuk mengetahui nilai kuat geser pada *steel slag*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanti, Tika and Nur Andajani. "Pengaruh Penambahan Limbah Baja (Slag) Pada Tanah Lempung di Daerah Babat Lamongan." *Rekayasa Teknik Sipil Vol 3 Nomer 3/rekat/14* (2014): 158-165.
- American Society for Testing and Material. ASTM D 854-83. Test method for specific gravity of soils.
- American Society for Testing and Material. ASTM D 422-63. Test method for particle size analysis of soils.
- American Society for Testing and Material. ASTM D 1140-54. Test method for amount of material in soils finer than the no. 200 (75 μ m).
- American Society for Testing and Material. ASTM D 4318-00. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- American Society for Testing and Material. ASTM D 2216. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 8378:2017. Spesifikasi lapis fondasi dan lapis fondasi bawah menggunakan slag.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 8379:2017. Spesifikasi Material Pilihan (selected material) Menggunakan Slag Untuk Kontruksi Jalan
- Biradar, Kiran B., U. Arun Kumar and Dr.PVV Satyanarayana. "Influence of Steel Slag and Fly Ash on Strength Properties of Clayey Soil: A Comparative Study." *ResearchGate* (2014): Volume 14 Number 2.
- Kurnaedi, William. "Studi Laboratorium Variasi Campuran Slag Baja dan Slag Feronikel Terhadap Penurunan Kadar Air, Peningkatan Nilai CBR, dan Kuat Tekan Tanah, Studi Kasus Jalan Tol Bocimi STA. 19+125, Bogor." Bandung: Universitas Katolik Parahyangan, 2019.
- Laboratorium Pengetesan Slag. "Laporan Pengujian Laboratorium Electric Furnace Cilegon, Banten." 2017.
- Palve, Miss Sangita Z and Dr. V. K. Sharma. "Investigation on Percentage Addition of Sand, Red murrum and Steel slag for Strengthening the Subgrade Soil." *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* (2018): Vol. 5, Issue 5.
- Pathak, Ashish Kumar, et al. "Soil Stabilisation Using Ground Granulated Blast Furnace Slag." *Journal of Engineering Research and Applications* (2014): 164-171.
- Rao, D. Koteswapeckra, G. Sravani and Naga Bharath. "A Laboratory Study on the Affect of Steel Slag for Improving the Properties of Marine Clay for Foundation Beds." India, 2014.
- Shalabi, Faisal I., Ibrahim M. Asi and Hisham Y. Qasrawi. "Effect of By-Product Steel Slag on the Engineering Properties of Clay Soils." *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* (2016): 6.
- Sinha, Anil, Sudhir Mathur and Vasant G Havanagi. "Steel Slag Waste Material for the construction of Road." *ResearchGate* (2013).
- Zumrawi, Magdi Mohamed Eltayeb and Alaa Abdel-Aziz Ali Babikir. "Laboratory Study of Steel Slag Used in Stabilizing Expansive Soil." *Asian Engineering Review* (2017): Vol. 4, No. 1-6.

