

# ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN PASIR PALU SEBAGAI BAHAN STABILISASI MEKANIS PADA PERILAKU TANAH LEMPUNG

Andi Marini Indriani<sup>1)</sup>, Agus Sugianto<sup>2)</sup>, Gunaedy Utomo<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup> Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Balikpapan

Email: [marini\\_sabrina@yahoo.com.sg](mailto:marini_sabrina@yahoo.com.sg), [agus.fadhil@yahoo.co.id](mailto:agus.fadhil@yahoo.co.id), [gunaedy.utomo@gmail.com](mailto:gunaedy.utomo@gmail.com)

## ABSTRAK

Jenis tanah didaerah pesisir umumnya adalah tanah lempung yang memiliki plastisitas dan aktivitas yang tinggi, sifat kembang susut yang besar dan nilai daya dukung yang rendah ditandai dengan nilai CBR lapangan yang rendah dan tidak memenuhi standar untuk dijadikan lapisan *subgrade* jalan. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis. Dalam proses stabilisasi ini material pasir Palu dipilih sebagai material *stabilisator*. Pasir Palu memiliki gradasi baik, memiliki koefisien keseragaman (Cu) lebih besar dari 4 dan koefisien gradasi (Cc) kurang dari 1 dan memiliki berat jenis yang baik dibandingkan pasir yang lain. Dalam proses stabilisasi ini menggunakan metode pencampuran Tanah Asli + Variasi Pasir 10%, 20%, 30% dan 40%. Penambahan pasir Palu menyebabkan gradasi tanah berubah, semakin banyak volume pasir yang ditambahkan gradasi tanah semakin kasar dan tanah dengan gradasi ukuran butiran kasar akan meningkat kepadatannya lebih besar dibandingkan pada gradasi ukuran butiran halus. Sifat mekanis tanah dan juga daya dukung tanah juga berubah dimana nilai CBR tanah asli dari 4,08% naik menjadi 7,93% pada penambahan pasir sebesar 40 % sehingga memenuhi sebagai lapisan subgrade menurut Bina Marga.

**Kata kunci:** stabilisasi, pasir palu, CBR

## ABSTRACT

*The type of soil in coastal areas is clay soil that has high plasticity and activity index, high shrinkage and low bearing capacity generally marked by low in situ CBR value and does not meet the standards to be used as a subgrade layer of the road. It is therefore necessary to attempt improving its physical and mechanical properties. In this stabilization process, Palu sand material is chosen as a stabilizer material. Palu sand has a good gradation, uniformity coefficient (Cu) greater than 4 and gradation coefficient (Cc) less than 1 and good density, compared to other sand. In this stabilization process experiment the method of mixing the clay soil + Palu Sand with variation 10%, 20%, 30% and 40%. The addition of Palu sand causes the gradation of the soil to change, the more the volume of sand added with soil gradation becomes more rough and the soil with gradation of coarse size will increase its density greater than the one with fine size. The mechanical properties of the soil and the bearing capacity of the soil also change. The original soil with CBR value of 4.08% rises to 7.93% by addition of sand of evaluated 40%, thus characteristic fulfilling as a subgrade layer according to Bina Marga.*

**Key word:** Stabilization, palu sand, CBR

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Jalan lingkaran atau *ring road* adalah jalan yang melingkari pusat kota, yang berfungsi untuk pengalihan arus lalu lintas dari pusat kota. Biasanya merupakan bagian jaringan jalan dengan pola radial membentuk ring radial. Semakin besar kota semakin banyak ring digunakan. Dengan adanya Ring Road

kepadatan kendaraan di pusat kota bisa dikurangi, terutama kepadatan akibat para pengendara/pelintas antar kota. Sebelum adanya *ring road* para pelintas antar kota tadi harus melewati pusat kota, hal ini tentunya menyebabkan bertambah padatnya kendaraan. Dengan adanya *ring road* para pelintas antar kota tadi tidak perlu melewati pusat kota, tapi hanya melewati pinggiran kota. Sehingga kemacetan di pusat kota bisa berkurang. Biasanya jalan lingkaran berhubungan dengan bangunan dengan fungsi Bandara, Pelabuhan atau pusat industri dan

umumnya dibangun di daerah tepi pantai atau pesisir untuk mempermudah akses.

Tetapi permasalahan terjadi karena daerah tepi pantai atau pesisir yang dijadikan *subgrade* umumnya adalah tanah rawa yang terdiri dari jenis lempung organik atau anorganik yang memiliki plastisitas dan aktivitas yang tinggi, sifat kembang susut yang besar dan nilai daya dukung yang rendah ditandai dengan nilai CBR lapangan yang rendah dan tidak memenuhi standar persyaratan Bina Marga (harga minimum nilai CBR untuk tanah dasar adalah 6%).

Oleh karena itu perlu dilakukan usaha untuk memperbaiki sifat fisis tanah dan meningkatkan kekuatan tanah. Proses stabilisasi tanah dasar yang dapat dilakukan baik secara kimiawi maupun mekanis. Stabilisasi tanah adalah usaha perbaikan tanah dengan menambahkan benda keras atau benda lain ke dalam tanah, dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisik dan mengubah kekuatan tanah.

Dalam penelitian ini coba dilakukan proses stabilisasi secara mekanis terhadap tanah lempung anorganik yang diambil dari rencana lokasi pembangunan *coastal road* di Kabupaten Penajam Paser Utara yang memiliki plastiitas tinggi dan daya dukung rendah dengan menggunakan penambahan pasir (gradasi berbutir kasar) guna mengubah sifat pengembangan tanah, memperbaiki gradasinya dan meningkatkan daya dukung tanah. Pasir yang digunakan untuk campuran tersebut adalah pasir sungai yang berasal dari kota Palu dengan butiran yang kasar dan telah memenuhi jenis klasifikasi pasir baik untuk bahan stabilisasi. Pasir palu merupakan bahan agregat yang memiliki berat jenis yang baik dibandingkan pasir lain dan juga mudah ditemukan karena sudah banyak beredar dipasaran.

**1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan apa yang telah dikemukakan, maka permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan pasir ditinjau dari test Indeks Plastisitas terhadap tanah lempung.
2. Bagaimana pengaruh penambahan pasir ditinjau dari Proctor Test dengan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) terhadap tanah lempung.
3. Bagaimana pengaruh penambahan pasir ditinjau dari test CBR terhadap tanah lempung.

**4. HASIL ANALISIS**

**4.1. Analisis Sebelum Distabilisasi**

**a. Analisis sifat Fisis**

Pengujian hasil dan analisis *subgrade* di laboratorium dibagi menjadi 2 (dua) yaitu pengujian mengenai karakteristik fisis *subgrade* meliputi, kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas) dan analisis lolos saringan no. 200 serta pengujian sifat mekanis yaitu kepadatan (standart proctor test) dan CBR.

Hasil dari pengujian karakteristik fisik *subgrade* diantaranya dapat ditunjukkan seperti Tabel 1.

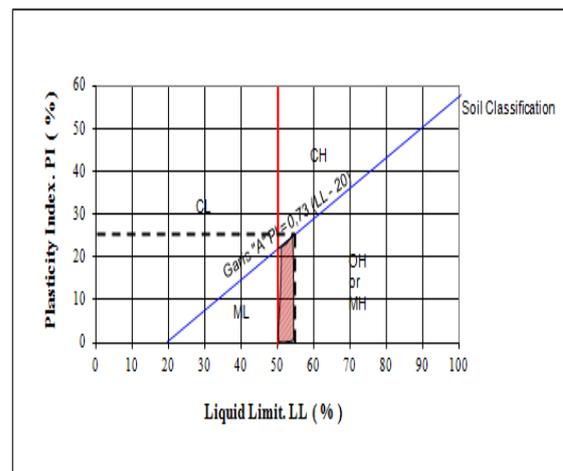
**Tabel 1.** Karakteristik Fisis *Subgrade*

Pemeriksaan	Hasil
Berat jenis (SG)	2,54 gr/cc
Kadar air	70%
Batas cair (LL)	55,50%
Batas plastis (PL)	31,68%
Plasticity index (IP)	23,82%
Lolos saringan no.200 (dicuci)	100 %

Sumber: Hasil pengujian laboratorium

Dari data propertis tanah yang diperoleh diatas maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

- a. Berdasarkan nilai prosentase lolos saringan no. 200 tanah lempung di atas, prosentase tersebut lebih besar dari 50 %, maka berdasarkan tabel klasifikasi USCS tanah ini secara umum dikategorikan golongan tanah berbutir halus.
- b. Dari sistem klasifikasi USCS dapat digambarkan dalam hubungan antara batas cair dan indeks plastisitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. sehingga didapatkan identifikasi tanah yang lebih spesifik.



**Gambar 1.** Sistem Klasifikasi Tanah (ASTM (1982))

Dari Gambar 1, diatas yang menjelaskan hubungan antara batas cair dan indeks platisitas

bahwa hasil menunjukkan satu titik pertemuan pengeplotan dibawah garis A, yang mana titik temu ini menjelaskan jenis tanah dasar (*subgrade*) yang diuji pada masuk dalam golongan simbol OH yang artinya (lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik) dengan nilai indeks plastisitas sebesar 23,82% (plastisitas tinggi). Tanah yang mempunyai harga plastis indeks ( $IP = LL - PL$ ) tinggi berarti tanah yang bersangkutan mudah berubah sifatnya, yaitu daya dukung atau kekuatan tanah menurun, apabila kadar airnya bertambah. Oleh karena itu, tanah dengan IP tinggi adalah sangat peka terhadap perubahan kadar air. Pencampuran pasir terhadap tanah dasar yang kurang baik diharapkan dapat menurunkan harga IP (Indeks Plastis).

**b. Analisis Sifat Mekanis**

Hasil pengujian sifat mekanis subgrade dapat ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** Karakteristik Mekanis

Pemeriksaan	Hasil
Kadar air optimum (OMC)	24,31%
Kepadatan kering max (MDD)	1,43 gr/cc
Berat isi basah ( $\gamma_t$ )	1,79 gr/cc
$\gamma$ Zero air void ( $\gamma_{ZAV}$ )	1,57 gr/cc
CBR	4,08%

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Dari hasil percobaan didapat nilai CBR laboratorium untuk tanah dasar (*subgrade*) sebesar 4,08% dimana nilai tersebut belum termasuk standar dari Bina Marga yaitu sebesar 6%.

Jenis Tanah Ditinjau Dari Kestabilannya Menurut Standar Bina Marga

1. Tanah stabil : Tanah yang memiliki nilai indeks plastisitas  $\leq 10\%$  , nilai  $CBR \geq 6\%$ , nilai *Liquid Limit* (LL)  $< 50\%$  dan nilai *Plastic limit* (PL)  $< 50\%$ .
2. Tanah tidak stabil: Tanah yang memiliki nilai indeks plastisitas  $\geq 10\%$  , nilai  $CBR \leq 6\%$ , nilai *Liquid Limit* (LL)  $> 50\%$  dan nilai *Plastic limit* (PL)  $> 50\%$ .

Klasifikasi tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai CBR 4,08%  $< 6\%$ , nilai *Liquid Limit* (LL) 55,5%  $> 50\%$  sehingga masuk kategori tidak stabil dan perlu untuk distabilisasi untuk memenuhi syarat sebagai tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan yang sesuai dengan standar Bina Marga.

**c. Proses Stabilisasi Mekanis**

Stabilisasi secara mekanis adalah usaha perbaikan tanah dengan menambahkan material padat guna merubah karakteristik dan sifat tanahnya. Dalam proses stabilisasi ini dipilih menggunakan material pasir Palu. Jenis pasir yang baik untuk gradasi stabilisasi adalah jenis pasir yang memiliki gradasi baik, memiliki koefisien keseragaman (Cu) lebih besar dari 4 dan koefisien gradasi (Cc) kurang dari 1. Pasir palu adalah termasuk yang memiliki sifat tersebut dan memiliki berat jenis yang baik dibandingkan pasir yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Pasir Palu

No	Pengujian	Hasil
1	Koefisien keseragaman (Cu)	6,8
2	Koefisien gradasi (Cc)	0,45
3	Berat jenis kering	2,42
4	Berat jenis JKP	2,53
5	Berat jenis semu	2,73
6	Peresapan (%)	4,82

Sumber: Laboratorium Pengujian dan Workshop Dinas Pekerjaan Umum PPU (2017)

Dalam proses stabilisasi ini menggunakan metode pencampuran Tanah asli + Variasi Pasir 10%, 20%, 30%, dan 40%. Diharapkan dengan penambahan pasir terhadap tanah dasar dapat menyebabkan kekuatan tanah menjadi meningkat. Secara karakteristik pasir memiliki tekstur tanah dengan deskripsi lebih dari 50% yang tertahan diatas saringan No.200 digolongkan pasir sangat kasar, kasar dan sedang. Sedangkan pasir yang memiliki tekstur lebih dari 50% lolos dari saringan No.200 digolongkan pasir halus dan sangat halus. Apabila tanah lempung dicampur dengan material pasir maka tanah akan menjadi keras sehingga menyebabkan penambahan kekuatan pada tanah.

Jenis pengujian laboratorium yang dilakukan untuk menunjang penelitian ini diantaranya adalah test Atterberg Limit, Standard Proctor Test, CBR rendam, Spesifik Gravity dari percobaan Picnometer dan Analisis Ayakan.

**4.2. Analisis Setelah Stabilisasi**

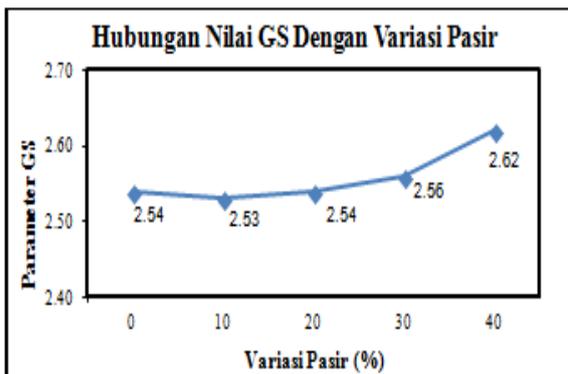
**a. Berat Jenis (*Specific Gravity Of Soil*)**

Dari data hasil percobaan dilaboratorium untuk percobaan uji berat jenis subgrade yang telah dicampur dengan variasi pasir dapat ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 2 dengan hasil variasi lainnya terlampir dihalaman lampiran.

**Tabel 4.** Harga (*Specific Gravity Of Soil*) Variasi

Parameter	Subgrade + Variasi Pasir				
	0%	10%	20%	30%	40%
GS	2,54	2,53	2,54	2,56	2,62

Sumber : Pengujian Laboratorium (2017)



**Gambar 2.** Harga GS Campuran Variasi Sumber : Pengujian Laboratorium (2017)

Dari data diatas dapat terlihat peningkatan nilai GS mengalami peningkatan setelah penambahan pasir sebesar 30% dan 40%. Berat jenis partikel ini penting dalam penentuan pergerakan partikel oleh air.

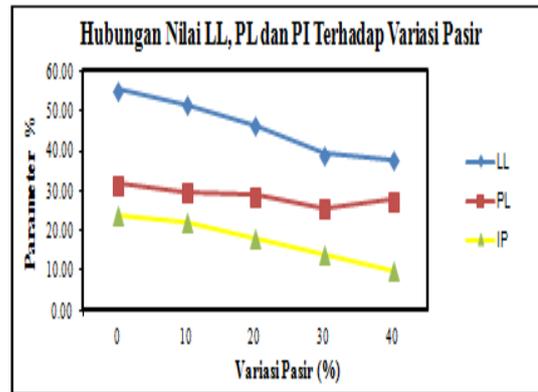
**b. Batas - Batas Atterberg**

Dari data hasil percobaan dilaboratorium untuk percobaan batas-batas atterberg subgrade yang telah dicampur dengan variasi pasir dapat ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 3.

**Tabel 5.** Harga LL, PL dan IP Variasi

Parameter	Variasi Pasir				
	0%	10%	20%	30%	40%
LL (%)	55,5	51,74	46,65	39,31	37,86
PL (%)	31,68	29,75	28,78	25,61	27,83
IP (%)	23,83	21,98	17,86	13,71	10,03
Penyusutan (%)	0	8,14	25,05	42,47	57,91

Sumber : Pengujian Laboratorium (2017)



**Gambar 3.** Harga LL, PL, dan IP (Variasi Pengujian Laboratorium 2017)

**c. Liquid Limit**

Dari Gambar 3 terlihat bahwa nilai batas cair mengalami penurunan saat penambahan campuran pasir tiap variasi. Hal ini disebabkan karena sifat pasir mengisi rongga – rongga pada lempung sehingga membuat ikatan lempung menjadi sedikit renggang. Sehingga merubah sifat tanah menjadi mudah meloloskan air karena rongga pasir yang besar dan hanya dibutuhkan kadar air yang sedikit untuk merubah tanah lempung berpasir dari keadaan plastis ke keadaan cair.

**d. Plastis Limit**

Dari tabel dan pola grafik plastis limit di atas dapat dilihat bahwa penambahan pasir dapat menurunkan nilai plastisitas indeks pada tanah lempung tersebut, karena sifat pasir yang tidak mengikat air sehingga dapat mengendalikan sifat plastis tanah tersebut.

**e. Indeks Plastisitas**

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Adelina A.R Runtuwene, Oscar.H.Kaseke dan Freddy Jansen dari Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil dengan judul Pengaruh Variasi Nilai Index Plastisitas Dari Agregat Halus Terhadap Daya Dukung Lapis Pondasi Agregat Kelas-A, menyatakan bahwa nilai index plastisitas mempengaruhi nilai CBR. Kenaikkan nilai index plastisitas sebesar 1.2% dapat menurunkan nilai CBR sebesar 11%. Penelitian yang dilakukan oleh Marwan Marwan, Devi Sundary dengan judul Hubungan Nilai California Bearing Ratio Dengan Indeks Plastisitas Tanah Desa Neuheun Aceh Besar Dipublikasikan Dalam Jurnal Teknik Sipil (Jts) Universitas Syah Kuala juga menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai indeks plastisitas tanah maka nilai CBR semakin rendah.

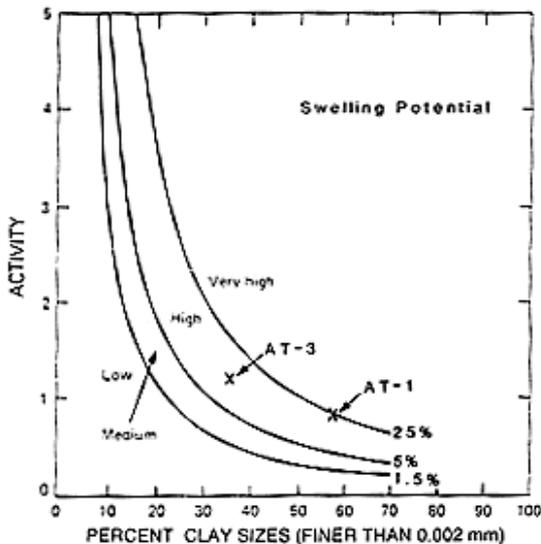
Dari hasil pengujian, penambahan pasir Palu pada tanah lempung ternyata menurunkan nilai index plastisitas mulai sebesar 8,14% pada penambahan pasir 10% hingga 57,91% pada penambahan pasir 40%, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai CBR pasti akan meningkat sesuai dengan prosentase penambahan pasir Palu.

**f. Swelling Potential**

Dari indeks plastisitas kita juga bisa mendapatkan nilai aktivitas tanah lempung untuk mengetahui sifat pengembangan tanah (*swelling potential*) menggunakan rumus seperti di bawah ini.

$$A = \frac{PI}{\% \text{ clay sizes} - 5}$$

Sifat kembang susut tanah yang besar tentu mempengaruhi konstruksi di atasnya. Dengan penambahan pasir maka nilai indeks plastisitas



(*Plasticity Index*) juga menurun sehingga nilai aktivitas tanah juga mengalami penurunan sehingga jika di plot pada kurva hubungan nilai PI dan aktivitas (Gambar 4 dan Tabel 6) maka akan terlihat posisi akan menurun dari *high* menjadi *medium* dan *low* seiring dengan penambahan prosentase pasir.

**Gambar 4.** Classification chart for swelling potential (Sifat-sifat Fisis dan Geotechnical Engineering)

**Tabel 6.** swelling potential

Parameter	Subgrade + Variasi Pasir				
	0%	10%	20%	30%	40%
<b>A</b>	0.264	0.233	0.190	0.146	0.107
<b>Swelling Potensial</b>	High	Medium	Medium	Low	Low

Sumber: Pengujian Laboratorium (2017)

**g. Test Kepadatan (Standart Proctor Test)**

Pemadatan adalah bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat pemadatan partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan air tetap tidak berubah. Saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini akan melunakkan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

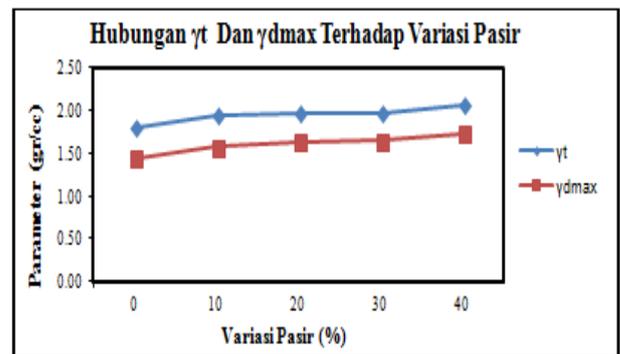
Pemadatan bertujuan untuk mempertinggi kuat geser tanah, mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas), mengurangi permeabilitas, mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dll. Tingkat kepadatan suatu tanah diukur dari nilai berat keringnya ( $\gamma_d$ ).

Dari data hasil percobaan dilaboratorium untuk percobaan uji kepadatan (*standard proctor test*) subgrade yang telah dicampur dengan variasi pasir didapat nilai  $\gamma_{dmax}$ ,  $\gamma_t$  dan  $W_{opt}$  yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Gambar 5.

**Tabel 7.** Harga  $\gamma_t$ ,  $\gamma_{dmax}$  dan  $W_{opt}$

Parameter	Variasi Pasir				
	0%	10%	20%	30%	40%
$\gamma_t$ (gr/cc)	1,79	1,93	1,97	1,97	2,06
$\gamma_{dmax}$ (gr/cc)	1,43	1,57	1,63	1,64	1,73
$W_{opt}$ (%)	24,31	22,87	20,74	20,33	18,68

Sumber : Pengujian Laboratorium (2017)

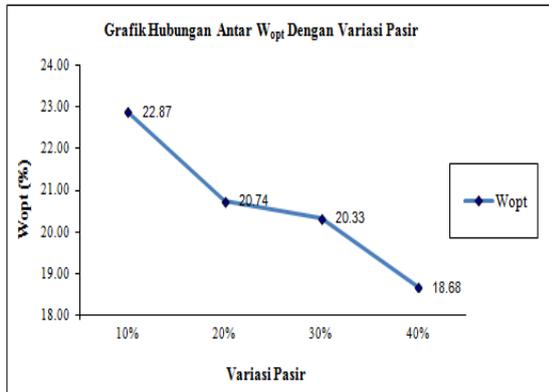


**Gambar 5.** Hubungan Antara  $\gamma_t$  dan  $\gamma_{dmax}$  (Pengujian Laboratorium (2017))

Grafik diatas menjelaskan bahwa semakin tinggi campuran variasi pasir semakin besar nilai berat volume isi kering ( $\gamma_{dmax}$ ) dan berat volume isi basah ( $\gamma_t$ ), ini disebabkan penambahan pasir mengakibatkan tanah mengalami perubahan gradasi. Tanah dengan gradasi ukuran butiran kasar akan

meningkat kepadatan lebih besar dibandingkan pada gradasi ukuran butiran halus.

Semakin tinggi prosentase pasir maka semakin kecil volume air yang dibutuhkan untuk mencapai berat volume isi kering ( $\gamma_{dmax}$ ). Itulah sebabnya nilai kadar air (*Optimum Moisture content*) yang digunakan untuk melakukan pengujian CBR juga mengalami penurunan seiring penambahan prosentase pasir yang mana ditunjukkan seperti gambar dibawah ini Gambar 6.



**Gambar 6.** Hubungan Antara  $W_{opt}$  Terhadap Variasi Pasir (Penguji Laboratorium, 2017)

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar campuran variasi pasir semakin kecil kadar air yang dibutuhkan. Hal demikian terjadi dikarenakan pasir sebagai bahan pencampur stabilisasi tidak menyerap air yang menyerap hanya tanah asli yang bersifat lempung, sehingga air yang dibutuhkan harus berada dalam keadaan optimum.

#### h. Test CBR Laboratorium

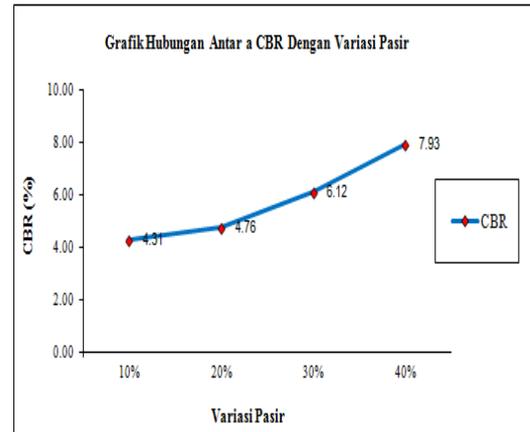
Dari data hasil percobaan dilaboratorium untuk percobaan uji CBR *subgrade* yang telah dicampur dengan variasi pasir ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 7

Gambar 7 menunjukkan nilai CBR rata-rata mengalami peningkatan dari tanah asli. Penambahan pasir 40% didapat nilai CBR 7,93% menunjukkan nilai dalam batas yang baik dan memenuhi standar dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga yaitu CBR 6%.

**Tabel 8.** Harga CBR Rendam (*Soaked*)

Parameter	Variasi Pasir			
	10%	20%	30%	40%
Nilai CBR (%)	4,31	4,76	6,12	7,93

Sumber : Penguji Laboratorium (2017)



**Gambar 7.** Hubungan Antara CBR Terhadap Variasi Pasir (Penguji Laboratorium, 2017)

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pemeriksaan sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli dan tanah yang telah di stabilisasi dengan penambahan pasir Palu dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanah asli yang diambil dari lokasi adalah tanah lempung karena prosentase lolos saringan NO. 200 nya hampir 100 persen, sifat pengembangan tanah tinggi dan daya dukung rendah.
2. Berat jenis tanah baru mengalami perubahan setelah penambahan pasir sebesar 30% dan 40%,
3. Konsistensi tanah mengalami perubahan karena penambahan pasir kasar menyebabkan ikatan lempung mengalami perenggangan dan sifat pasir yang tidak menyerap air,
4. Indeks plastisitas tanah mengalami penurunan sehingga aktivitas tanah juga mengalami penurunan, *swelling potensial* tanah juga mengalami penurunan dari *high* menjadi *low* pada penambahan pasir Palu 30% dan 40%
5. Penambahan pasir Palu menyebabkan gradai tanah juga berubah, semakin banyak volume pasir yang ditambahkan gradasi tanah juga semakin kasar dan tanah dengan gradasi ukuran butiran kasar akan meningkat kepadatannya lebih besar dibandingkan pada gradasi ukuran butiran halus.
6. Penambahan pasir Palu merubah sifat mekanis tanah dan juga daya dukung tanah, dibuktikan dengan perubahan nilai CBR tanah asli dari 4,08% naik menjadi 7,93% pada penambahan pasir sebesar 40 % sehingga memenuhi sebagai lapisan *subgrade* menurut Bina Marga

#### DAFTAR PUSTAKA

J. E. Bowles, Sifat-sifat Fisis dan Geotechnical Engineering (Mekanika Tanah), hlm. 559 - 562 eks, terjemahan Yani Sianipar, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.

Hardiyatmo, C. H. 2010. Mekanika Tanah 1. Gadjah Mada University Press, Jakarta.

Karl. Terzhagi dan R. B. Peck, Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid-1, terjemah Bagus Withaksono dan Benny Krisna R, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.

L. H. Shirley, Penuntun Geoteknik dan Mekanika Tanah : Penyelidikan Lapangan & Laboratorium, Bandung Nova, 1999

M. Das, Principles Of Geotechnical Engineering, Boston Pridle Weber & Schmidt Published, 1985.