

# **PENAMBAHAN CAMPURAN BENTONIT DAN KAOLIN PADA TANAH PASIR TERHADAP KOEFISIEN PERMEABILITAS DENGAN KONDISI PLASTISITAS BERBEDA PADA TINGKAT KEPADATAN MAKSIMUM**

**Ronald Agus Jembise**

Alumni Program Pascasarjana S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

**Oktovian B. A. Sompie, Freddy Jansen**

Dosen Pasca Sarjana Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

## **ABSTRAK**

*Permeabilitas tanah sangat mempengaruhi biaya serta kerumitan dari sekian banyak proses pelaksanaan serta purna konstruksi. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya struktur dan tekstur tanah serta unsur organik yang terkandung di dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas yang dihasilkan oleh kondisi kepadatan maksimum dengan indeks plastisitas tertentu.*

*Penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium, dengan menggunakan alat pengujian Standard Proctor Compaction test untuk pepadatan tanah dan alat permeabilitas standar untuk pengujian permeabilitas. Pengujian dilakukan dengan 5 variasi campuran tanah yaitu sampel 1 (MX-1) 80% pasir – 0% bentonit – 20% kaolin, sampel 2 (MX-2) 80% pasir – 5% bentonit – 15% kaolin, sampel 3 (MX-3) 80% pasir – 10% bentonit – 10% kaolin, sampel 4 (MX-4) 80% pasir – 15% bentonit – 5% kaolin dan sampel 5 (MX-5) 80% pasir – 20% bentonit – 0% kaolin.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kadar bentonit dalam tanah campuran dan menurunnya kadar kaolin maka nilai indeks plastisitas akan meningkat sedangkan nilai kepadatan maksimum dan nilai koefisien permeabilitas tanah akan menurun. Besarnya nilai Indeks plastisitas tanah campuran 1 sampai 5 adalah sebagai berikut, 7.15%, 13.49%, 23.53%, 32.04% dan 43.10%. Besarnya nilai kepadatan maksimum tanah adalah sebagai berikut, 1,53 gram/cm<sup>3</sup>, 1.45 gram/cm<sup>3</sup>, 1,40 gram/cm<sup>3</sup>, 1,37 gram/cm<sup>3</sup> dan 1.32 gram/cm<sup>3</sup>. Dan besarnya nilai koefisien permeabilitas adalah sebagai berikut 3,26 x 10<sup>-7</sup> cm/det, 4,37 x 10<sup>-8</sup> cm/det, 4,07 x 10<sup>-8</sup> cm/det, 3.59 x 10<sup>-9</sup> cm/det dan 9,68 x 10<sup>-10</sup> cm/det.*

*Kata Kunci: Koefisien Permeabilitas, Indeks Plastisitas, Kepadatan Maksimum.*

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah dalam meloloskan air yang dipengaruhi oleh struktur dan tekstur tanah serta unsur organik lainnya yang terkandung di dalam tanah. Koefisien permeabilitas tergantung pada distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Permeabilitas tanah sangat mempengaruhi biaya serta kerumitan dari sekian banyak proses pelaksanaan serta purna konstruksi.

Plastisitas tanah adalah kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak-retak atau remuk. Tanah berbutir halus khususnya tanah lempung sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Pada musim kemarau tanah akan menyusut dan retak-retak karena kehilangan air sedangkan pada musim hujan bersifat *kohesif* (lengket) dan

sangat lunak. Hal ini menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan seperti jalan raya yang bergelombang atau retak, miringnya *abutmen* jembatan dan sebagainya yang menyebabkan kerugian yang tidak sedikit. Oleh karena itu perlu diketahui keadaan tanah sehubungan dengan sifat plastis dan permeabilitas yang dimilikinya.

Untuk tujuan tersebut telah dilakukan penelitian untuk mengetahui nilai kepadatan maksimum untuk indeks plastisitas tertentu, menentukan nilai koefisien permeabilitas dari tanah hasil pepadatan dan mendeskripsikan hubungan antara permeabilitas yang dihasilkan oleh kondisi kepadatan maksimum dengan indeks plastisitas tertentu.

### **Rumusan Masalah**

Mengacu pada latar belakang tersebut, maka masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar pengaruh penambahan nilai persentasi campuran antara kaolinit dan bentonit dengan tanah pasir terhadap nilai indeks plastisitas, kepadatan maksimum dan koefisien permeabilitas ?
2. Bagaimana hubungan antara permeabilitas yang di hasilkan oleh kondisi kepadatan maksimum dengan indeks plastisitas dari masing-masing campuran.?

**Pembatasan Masalah**

1. Penelitian menggunakan tanah pasir dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA), Kecamatan Air Tembaga Kota Bitung dengan kondisi sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman ± 4-5 meter.
2. Sifat-sifat Kimia dari bahan campuran tidak di periksa.
3. Test Pemadatan dilakukan secara manual dengan *Standard Proctor*.
4. Pemanfaatan bentonit dan kaolin sebagai bahan stabilisasi hanya ditinjau terhadap nilai Indeks Plastisitas, Pemadatan dan Koefisien Permeabilitas dengan campuran tanah pasir dari TPA Bitung.
5. Penelitian dilakukan dengan pengujian Permeabilitas yang menggunakan metode *Falling Head Test* dengan nilai kadar air optimum dan berat isi kering Maksimum dari pengujian pemadatan standart.

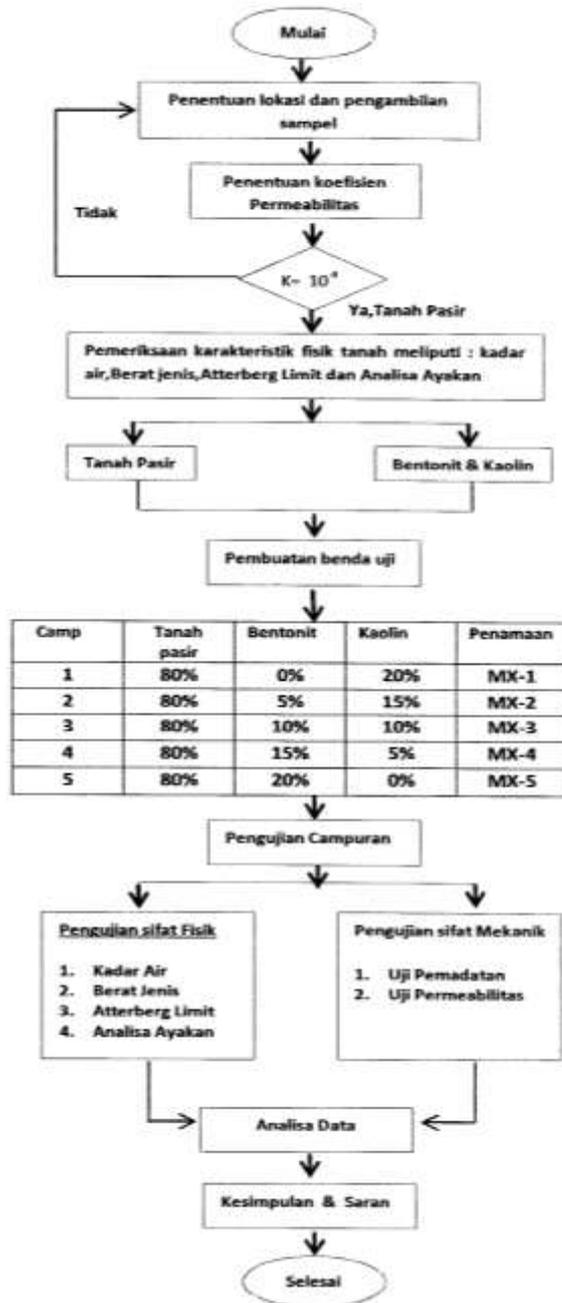
**Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian adalah:

1. Mendapatkan sifat Fisik dari masing-masing campuran.
2. Mendapatkan nilai kepadatan maksimum tanah untuk kondisi indeks plastisitas tertentu.
3. Mendapatkan nilai koefisien permeabilitas dari tanah hasil pemadatan masing-masing campuran.
4. Menentukan hubungan antara Indeks Plastistas dengan kepadatan maksimum
5. Menentukan hubungan antara Indeks Plastisitas dengan koefisien permeabilitas
6. Menentukan hubungan antara kepadatan maksimum dengan koef permeabilitas.
7. Mendapatkan nilai maksimal campuran.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado dengan tahapan sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

**TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk sebagai bahan padat disertai dengan gas dan cairan yang mengisi pori diantara butiran padat. Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir

kasar (*coarse grained*). Sebaliknya, bila partikelnya kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau disebut tanah berbutir halus (*fine grained*).

### Tanah Pasir

Secara partikel, ukuran partikel pasir besar dan sama atau seragam, bentuknya bervariasi dari bulat sampai persegi. Bentuk-bentuk yang dihasilkan dari abrasi dan pelarutan adalah sehubungan dengan jarak transportasi sedimen. Perilaku terjadinya massa disebabkan oleh jarak pori diantara butiran masing-masing yang bersentuhan.

Mineral pasir yang lebih dominan adalah kwarsa yang pada dasarnya stabil, lemah dan tidak dapat merubah bentuk. Pada suatu saat, pasir dapat meliputi *Granit*, *Magnetit* dan *hornblende*. Karena perubahan cuaca dimana akan cepat terjadi pelapukan mekanis dan terjadi sedikit pelapukan kimiawi, mungkin akan ditemui *mika*, *feldspar* atau *gypsum*, tergantung pada batuan asal.

Secara permeabilitas, pasir merupakan material yang memiliki permeabilitas tinggi, mudah di tembus air.

### Bentonit

Bentonit adalah istilah yang digunakan dalam dunia perdagangan untuk sejenis lempung yang mengandung mineral *monmorilonit* lebih dari 85% dan fragmen sisanya terdiri dari campuran kwarsa *kristobarit*, *feldspar*, *kalsit*, *gypsum*, *kaolit*, *ilit* dan sebagainya.

Nama bentonit diambil dari nama formasi tempat lempung itu mula-mula ditemukan, yaitu formasi Benton yang terdapat di daerah *Ford Benton Wyoming*, Amerika Serikat (*Knight*, 1964). Penamaan istilah bentonit diusulkan sebagai pengganti dari istilah sebelumnya yaitu "*Soapy clay*" atau "*Taylorit*" yang dipopulerkan oleh *Taylorit*. Sedangkan nama monmorilonit itu sendiri berasal dari Perancis pada tahun 1947 untuk penamaan lempung yang terdapat di *Monmorilon* Perancis yang dipublikasikan pada tahun 1853 – 1856. ([www.dim.esdm.go.id](http://www.dim.esdm.go.id))

Jenis lempung ini menunjukkan sifat koloid yang kuat dan memiliki sifat mengembang seketika bersentuhan dengan air (*Kirk Ohtmer*, 1964). Istilah bentonit secara umum digunakan untuk sejenis lempung yang bersifat plastis, koloidal, dan *swelling*.

Menurut *L. D. Wesley* (2012), bentonit dapat terbentuk dari proses vulkanis hasil pelapukan, *hydrothermal*, *transformasi*, dan sedimentasi.

### Kaolin

Nama kaolin atau "*Kaolinit*" berasal dari bahasa Cina "*kau – ling*" yang berarti suatu punggung tinggi dari suatu bukit di dekat *Jauchau Fu*, Cina dimana suatu lempung kaolinit putih didapatkan beberapa abad yang lalu (*J. E. Bowles*, 1991). Istilah kaolin sebenarnya menerangkan beberapa mineral lempung yang berbeda. Para insinyur memakai istilah ini untuk menerangkan kelompok lempung yang berkegiatan rendah.

Satuan struktur kaolinit terdiri dari lapisan tetrahedral silica yang berganti-ganti dengan puncak yang tertanam didalam satuan oktahedral alumina (*gibsit*), lapisan *silica* dan *gibsit* yang berganti-ganti ini menghasilkan apa yang kadang-kadang disebut satuan dasar 1 : 1. Satuan dasar tipis yang dihasilkan mempunyai ketebalan sekitar 7Å dan memanjang secara tak terhingga (relative terhadap 7Å) ke arah kedua dimensi lainnya. *Cluster kaolinit* merupakan tumpukan dari 70 – 100 atau lebih lembar-lembar 7Å ini, sebagai suatu buku dengan rekatan hydrogen dan gaya *van der waals* pada pertemuannya.

### Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah pada prinsipnya adalah usaha untuk memperkecil jarak antara butiran tanah (*solid*) dengan jalan mengurangi volume udara yang ada dalam pori tanah tersebut. Hal ini dilakukan dengan menggunakan beban statis atau dinamis pada tanah. Prosedur pemadatan yang digunakan adalah *Uji Proctor Standar (Standard Proctor Compaction Test 1933, ASTM D-98-58T)*. Dalam setiap pekerjaan pemadatan yang dikerjakan, dihitung :

1. Kadar air tanah ( $\omega$ )

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100 \% \quad (1)$$

dimana :  $W_w$ =Berat Air

$W_s$ =Berat butiran tanah

2. Berat isi basah ( $\gamma_b$ )

$$\gamma_b = \frac{W \text{ (gram)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

dimana :  $\lambda_b$  = kerapatan tanah (gram/cm<sup>3</sup>)

W = berat tanah (gram)

V = volume silinder (cm<sup>3</sup>)

3. Berat Volume kering ( $\gamma_d$ )

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + \omega} \quad (3)$$

*Proctor* telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan volume kering tanah padat. Tingkat kepadatan tanah

dinyatakan oleh berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Garis angka pori nol (*Zero Air Void*) digambarkan selalu berada diatas kurva pemadatan. Garis kadar air nol (*ZAV*) menunjukkan kerapatan kering pada saat jenuh (*saturation*) 100% ( $S=100$ ). Data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \cdot \lambda_w}{1 + w \cdot G_s} \quad (4)$$

dimana  $\gamma_{ZAV}$  = Berat volume pada kondisi ZAV  
 $G_s$  = Berat jenis tanah

### Plastisitas Tanah

Tanah berbutir halus yang mengandung mineral lempung atau bahan organik dapat berubah bentuk menyesuaikan dengan kadar air tanpa mengalami retak-retak. Kondisi ini dikenal dengan plastisitas yaitu kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk atau volume tanpa terjadinya retak-retak yang disebabkan oleh penyerapan air di sekeliling permukaan partikel lempung. Pada kadar air yang sangat rendah, tanah menjadi padat (*solid*). Sedangkan pada kadar air yang sangat tinggi, tanah dan air mengalir seperti cairan (*liquid*). Selisih antara batas cair dan batas plastis ialah daerah dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (*Plasticity Index*).

$$PI = LL - PL \quad (5)$$

dimana :

PI = Indeks Plastisitas  
 LL = Batas cair  
 PL = Batas Plastis

### Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah. Didalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa,serta bentuk geometri rongga pori.

Secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori. Tanah disebut mudah meloloskan air (*permeable*) bila tanah tersebut benar-benar mempunyai sifat meloloskan air (kerikil, pasir) dan sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah

tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil.

Untuk mengetahui koefisien permeabilitas suatu tanah dapat dilakukan secara langsung di lapangan dan juga di laboratorium. Pengujian di laboratorium menggunakan dua cara yaitu:

- 1) *Constant head*, Pengujian permeabilitas tinggi konstan.
- 2) *Falling head*, Pengujian permeabilitas tinggi jatuh.

Dalam pekerjaan pengujian Permeabilitas dengan menggunakan metode *falling head* digunakan rumus sebagai berikut :

$$k = 3.84 * \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \left( \frac{H_0}{H_1} \right) \quad (6)$$

dimana:

$a$  = Area Of Stand Pipe (cm<sup>2</sup>)  
 $L$  = Length of Specimen (cm)  
 $A$  = Area of Specimen (cm<sup>2</sup>)  
 $t$  = Time of Test I (sec)  
 $H_0$  = Initial Head (cm)  
 $H_1$  = Final Head (cm)  
 $k$  = Coeficient of Permeability (cm/sec)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa pengujian yang telah dilakukan antara lain pengujian sifat-sifat fisik dan Pengujian sifat-sifat mekanis dari tanah campuran dan disajikan dalam bentuk tabel-tabel dan grafik.

### Persentase Campuran

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir yang diambil dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Baru Kecamatan Air Tembaga Kota Bitung sedangkan Bentonit adalah Bentonit produksi PT.SÜD-CHEMIE dengan nama Produk BENTONIL®CF dan Kaolin yang diproduksi oleh PT. ASIA KAOLINRAYA dengan nama produk Kaolin Clay.

Tanah pasir yang diambil dari lapangan dikeringkan dengan cara kering udara kemudian disaring dengan saringan No.04 dan dicampur dengan bentonit dan kaolin sesuai dengan persentasi yang sudah ditetapkan. Sebelum penentuan persentase yang dianggap maksimal penulis sudah melakukan beberapa pengujian yang sama terhadap beberapa persentase tanah pasir yaitu 60%, 70%,80% seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Persentase campuran sebelum menentukan persentase campuran yang dianggap maksimal.

| Camp   | Pasir 60% |      | Pasir 70% |      | Pasir 80% |      |
|--------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
|        | Bent      | Kaol | Bent      | Kaol | Bent      | Kaol |
| Camp 1 | 0         | 40   | 0         | 30   | 0         | 20   |
| Camp 2 | 10        | 30   | 7,5       | 22,5 | 5         | 15   |
| Camp 3 | 20        | 20   | 15        | 15   | 10        | 10   |
| Camp 4 | 30        | 10   | 22,5      | 7,5  | 15        | 5    |
| Camp 5 | 40        | 0    | 30        | 0    | 20        | 0    |

Namun pada persentase pasir 80% yang paling maksimal karena penggunaan bahan campuran yang sedikit namun memberikan perilaku yang diharapkan dari campuran.

Persentase campuran untuk bentonit dan kaolin dibuat berbanding terbaik yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dengan maksud untuk membandingkan perilaku kedua bahan campuran apabila dicampur dengan tanah pasir.

Setelah mendapatkan persentase yang dianggap maksimal maka selanjutnya bahan uji dibuat dengan 5 variasi campuran dengan code campuran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Rencana campuran untuk pengujian

| Camp   | Pasir (%) | Bentonit (%) | Kaolin (%) | Code |
|--------|-----------|--------------|------------|------|
| Camp 1 | 80        | 0            | 20         | MX-1 |
| Camp 2 | 80        | 5            | 15         | MX-2 |
| Camp 3 | 80        | 10           | 10         | MX-3 |
| Camp 4 | 80        | 15           | 5          | MX-4 |
| Camp 5 | 80        | 20           | 0          | MX-5 |

### Karakteristik Tanah asli

Tabel 3. Karakteristik Tanah Asli

| No | Karakteristik                 | Nilai                 |
|----|-------------------------------|-----------------------|
| 1  | Kadar Air                     | 19.25%                |
| 2  | Berat Jenis                   | 2.47                  |
| 3  | Analisa saringan lolos No.200 | 26.34%                |
| 4  | Berat Isi kering Maksimum     | 1.29                  |
| 5  | Kadar Air Optimum             | 27                    |
| 6  | Koefisien Permeabilitas       | $1.25 \times 10^{-4}$ |

Berdasarkan analisa karakteristik tanah dengan menggunakan ASTM versi USCS (*Unified Classification System*) dapat disimpulkan bahwa dari hasil uji analisa saringan bahwa lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari saringan No.200 dan lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan No.04, sehingga dapat digolongkan kedalam simbol SW yaitu, pasir berkerikil bergradasi baik dengan sedikit berbahan halus.

### Karakteristik Bentonit dan Kaolin

Berdasarkan analisa karakteristik bentonit dan kaolin, dengan menggunakan system klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) seperti pada table berikut dapat disimpulkan bahwa :

Tabel 4. Karakteristik Bentonit dan Kaolin

| No | Karakteristik      | Bentonit | Kaolin |
|----|--------------------|----------|--------|
| 1  | Kadar Air          | 13.4     | 0.3    |
| 2  | Berat Jenis        | 2.72     | 2.59   |
| 3  | Liquid Limit       | 132.10%  | 88.47% |
| 4  | Plastic Limit      | 45.05%   | 43.08% |
| 5  | Shrinkage Limit    | 39.84%   | 6.37%  |
| 6  | Indeks Plastisitas | 87.05%   | 45.40% |

Bentonit dengan LL=132.10%, Kaolin dengan LL=88.47% dan bentonit dengan PI=87.05%, kaolin dengan PI=45.40 maka termasuk lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, digolongkan kedalam symbol CH grup Fat Clay.

### Hasil Pengujian Sifat Fisik Campuran

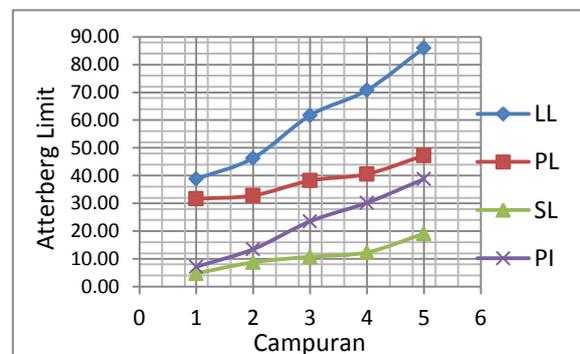
Hasil pengujian sifat Fisik Campuran dapat dilihat pada tabel-tabel berikut

Tabel 5. Pengujian Kadar Air dan Berat Jenis

| Camp | Kadar Air | Berat Jenis |
|------|-----------|-------------|
| MX-1 | 19.92     | 2.56        |
| MX-2 | 21.12     | 2.58        |
| MX-3 | 27.43     | 2.60        |
| MX-4 | 29.12     | 2.63        |
| MX-5 | 38.38     | 2.68        |

Tabel 6. Pengujian Batas Atterberg Campuran

| Camp | LL    | PL    | SL    | PI    |
|------|-------|-------|-------|-------|
| MX-1 | 38.80 | 31.66 | 4.78  | 7.15  |
| MX-2 | 46.33 | 32.84 | 8.76  | 13.49 |
| MX-3 | 61.73 | 38.20 | 10.76 | 23.53 |
| MX-4 | 70.82 | 40.59 | 12.35 | 30.24 |
| MX-5 | 86.04 | 47.27 | 19.12 | 38.77 |

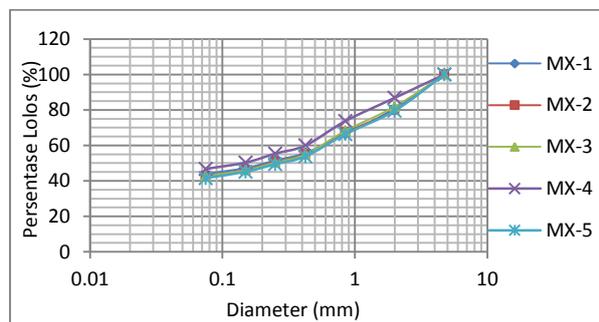


Grafik 1. Hubungan antara Campuran dan Atterberg Limit

Berdasarkan Tabel 4 dan grafik 1 diatas dapat disimpulkan bahwa nilai LL, PL, SL dan PI meningkat seiring dengan besarnya penambahan kadar bentonit dalam campuran dan berbanding terbalik dengan kaolin

Tabel 7. Pengujian Analisa Saringan Campuran

| Saringan | MX-1  | MX-2  | MX-3  | MX-4  | MX-5  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No. 04   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |
| No. 10   | 80.93 | 79.91 | 81.87 | 86.82 | 79.56 |
| No. 20   | 86.18 | 67.4  | 68.3  | 73.77 | 66.46 |
| No. 40   | 55.83 | 55.04 | 54.97 | 60.01 | 53.83 |
| No. 80   | 51.50 | 50.66 | 50.36 | 55.35 | 49.42 |
| No. 100  | 47.28 | 46.25 | 46.06 | 50.34 | 45.17 |
| No. 200  | 43.96 | 42.79 | 42.74 | 46.76 | 41.61 |



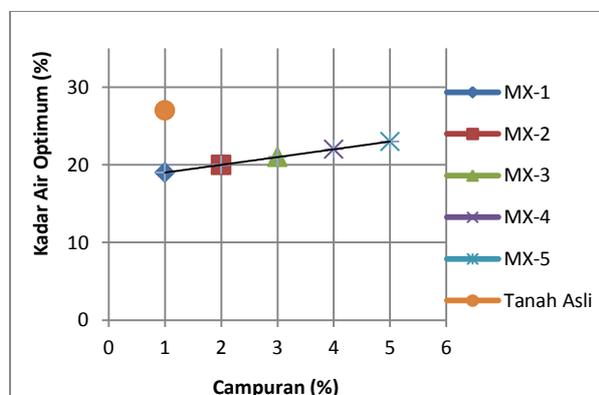
Grafik 2. Hubungan Diameter saringan dan persentase lolos

### Pengujian Sifat Mekanik Campuran

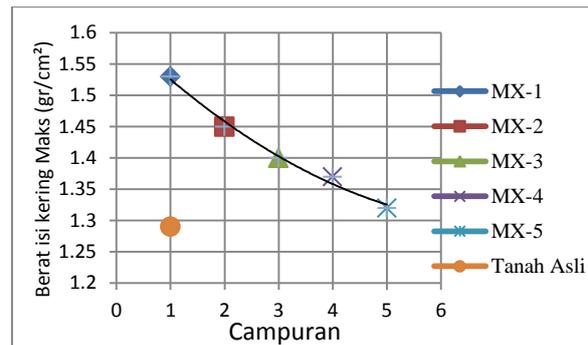
Pengujian sifat Mekanik Campuran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Pengujian *Compaction* Campuran

| Camp | Pasir | Bentonit | Kaolin | Kadar air Optimum (%) | Berat isi tanah kering (gr/cm <sup>2</sup> ) |
|------|-------|----------|--------|-----------------------|--|
| MX-1 | 80%   | 0%       | 20%    | 19                    | 1.53   |
| MX-2 | 80%   | 5%       | 15%    | 20                    | 1.45   |
| MX-3 | 80%   | 10%      | 10%    | 21                    | 1.40   |
| MX-4 | 80%   | 15%      | 5%     | 22                    | 1.37   |
| MX-5 | 80%   | 20%      | 0%     | 23                    | 1.32   |



Grafik 3. Hubungan Campuran dengan nilai Kadar Air *Optimum*



Grafik 4. Hubungan antara Campuran dengan nilai berat isi kering maksimum.

Tabel 6, Grafik 3 dan Grafik 4 dengan variasi campuran antara bentonit dan kaolin yang persentasenya berbanding terbalik dari 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dan tanah pasir yang persentasenya 80% menunjukkan bahwa dengan bertambahnya persentase bentonit dalam campuran maka berat isi kering akan semakin kecil sedangkan kadar air optimumnya semakin besar.

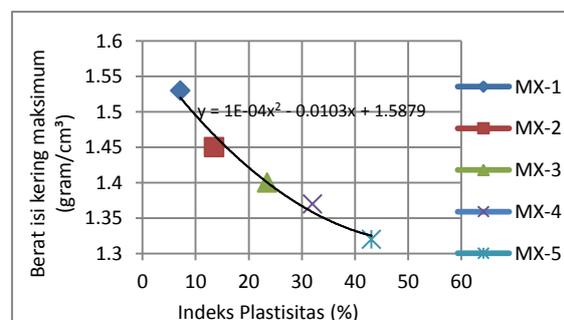
Tabel 9. Pengujian Permeabilitas

| Camp | Koefisien Permeabilitas |
|------|-------------------------|
| MX-1 | $3.27 \times 10^{-7}$   |
| MX-2 | $4.37 \times 10^{-8}$   |
| MX-3 | $4.07 \times 10^{-8}$   |
| MX-4 | $3.59 \times 10^{-9}$   |
| MX-5 | $9.68 \times 10^{-10}$  |

Tabel 10. Hubungan antara Indeks Plastisitas (PI), Kepadatan Maksimum ( $\gamma_{dry}$ ) dan Koefisien Permeabilitas (k)

| Campuran | Indeks Plastisitas | Berat Isi Kering maksimum | Koefisien permeabilitas |
|----------|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| MX-1     | 7.15               | 1.53                      | 3.26E-07                |
| MX-2     | 13.47              | 1.45                      | 4.37E-08                |
| MX-3     | 23.53              | 1.40                      | 4.07E-08                |
| MX-4     | 32.04              | 1.37                      | 3.59E-09                |
| MX-5     | 43.10              | 1.32                      | 9.68E-10                |

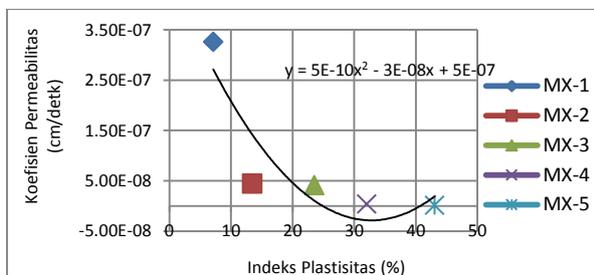
### Hubungan Indeks Plastisitas dengan Kepadatan Maksimum



Grafik 5. Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan berat isi kering maksimum

Grafik 5 menggambarkan bahwa nilai kepadatan maksimum menjadi semakin kecil berbanding terbalik dengan bertambahnya nilai indeks plastisitas. Namun pada indeks plastisitas 7.15% diharapkan dapat memberikan tingkat kepadatan yang paling maksimum sesuai dengan trend yang terjadi. Nilai indeks Plastisitas pada contoh tanah pertama (MX-1) rendah karena persentase kadar bentonit 0% sehingga potensi pengembangan bentonit tidak ada. Pada saat pemadatan dilakukan butiran-butiran tanah menjadi rapat dan kaolin mengisi rongga udara antar butiran karena penyerapan terhadap air kurang, hal ini mengakibatkan nilai kepadatan tanah menjadi besar

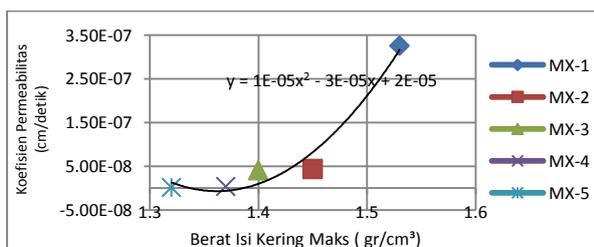
**Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Permeabilitas**



Grafik 6. Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Koefisien Permeabilitas

Grafik 6 menunjukkan bahwa Koefisien permeabilitas menurun seiring dengan menurunnya kepadatan maksimum. Semakin besar nilai Indeks Plastisitas maka potensi pengembangan bentonit akan semakin besar karena pada saat air mengalir melalui pori-pori antar butiran tanah bentonit akan mengembang karena menyerap air sehingga akan mempersempit ruang pori. Pengembangan bentonit ini akan mengakibatkan tanah akan sulit dilalui oleh air sehingga menyebabkan penurunan koefisien permeabilitas.

**Hubungan antara Kepadatan Maksimum dan Permeabilitas**



Grafik 7. Hubungan antara Indeks Plastisitas dengan Koefisien Permeabilitas

Grafik 7 menunjukkan bahwa penambahan persentase kadar bentonit dan pengurangan persentase kadar kaolin menyebabkan menurunnya nilai koefisien permeabilitas tanah meskipun tingkat kepadatan maksimum ikut menurun. Penambahan persentase kadar bentonit membuat tanah menjadi mengumpal dan kelihatan padat karena bentonit mengikat kuat butiran tanah lainnya dalam struktur tanah sehingga akan terdapat banyak pori-pori yang berukuran kecil. Air yang terkandung di dalam tanah akan diserap oleh butiran bentonit sehingga pori-pori yang semula diisi air dan udara lebih banyak di isi oleh udara. Hal ini menyebabkan kepadatan maksimum tanah menjadi rendah. Pada saat air mengalir melalui pori-pori antar butiran tanah bentonit akan menyerap air sehingga bentonit akan mengembang dan mempersempit ruang pori. Penyempitan ini berakibat tanah akan sulit mengalirkan air sehingga mengakibatkan penurunan nilai koefisien permeabilitas. Pada kondisi dimana air yang merembes melalui tanah tersebut sangatlah kecil, maka pada udara bebas air akan menguap sehingga dapat dikatakan tanah tersebut bersifat kedap air.

**KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya kadar kaolin dan bertambahnya kadar bentonit. Besarnya nilai koefisien permeabilitas tanah pada sampel tanah pertama (MX-1) sampai sampel tanah kelima (MX-5) berturut-turut adalah sebagai berikut :  $3.27 \times 10^{-07}$  cm/detik,  $4.37 \times 10^{-08}$  cm/detik,  $4.07 \times 10^{-08}$  cm/detik,  $3.59 \times 10^{-09}$  cm/detik dan  $9.68 \times 10^{-10}$  cm/detik.

Penurunan persentase kadar kaolin dan penambahan persentase kadar bentonit dalam tanah campuran menyebabkan terjadinya peningkatan nilai indeks plastisitas tanah, namun dengan penurunan kadar kaolin dan penambahan kadar bentonit dalam tanah campuran akan mengakibatkan menurunnya nilai kepadatan maksimum dan nilai koefisien permeabilitas.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ameta.M.N, dan Abhay S.W, 2008, *Effect of Bentonit on Permeability of Dune Sand*, EJGE volume 13.

- Arief.R, Harimurti dan Farindra D.W. 2008. *Pengaruh Prosentase Pasir pada Kaolin yang di Padatkan dengan Pematatan Standar Terhadap Rasio Daya Dukung California (CBR)*, Jurnal Rekayasa Sipil volume 2, Nomor.3 ISSN 1978–5658.
- Bowles, J. E. 1991. *Sifat-sifat fisik dan Geoteknis Tanah*. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Braja M. D, 1995, *Mekanika Tanah*, jilid 1. Erlangga, Jakarta
- Gueddouda M. K. and M. Lamara, 2010. *Hudraulic Behaviour of Dune Sand Bentonit Mixtures Under Confining Stress*, Global Journal Researches in Engineering, vol.10.
- Kirk-Othmer. 1964. *Encyclopedia of Chemical Technology, Index To Volume 1-27*, 5th Edition. John Wiley & Sons.inc. Hoboken, New Jersey
- Knight. 1964. *Correlation of Geologi Formation of Corolado, Wyoming, and Montana*. Proffesional Paper-United State Geological Survey vol. 18.
- Wesley. L. D, 2012, *Mekanika Tanah, Untuk Tanah Endapan dan Residu* , ANDI, Yogyakarta