

ANALISIS HUBUNGAN BERAT ISI KERING MAKSIMUM DAN KADAR AIR OPTIMUM BERDASARKAN BATAS PLASTIS DAN BATAS CAIR

Asrilchan Joysonly Sihotang¹, Ir. Rudi Iskandar, MT.²

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jln. Perpustakaan No.2 Kampus USU Medan
e-mail: asrilchanjoysonly@yahoo.com

²Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jln. Perpustakaan No.2 Kampus USU Medan
e-mail: sipil_s2_usu@yahoo.com

ABSTRAK

Kestabilan dan kekuatan konstruksi bangunan berkaitan erat dengan kestabilan dan kekuatan tanah pada suatu konstruksi bangunan didirikan. Kekuatan tanah banyak bergantung pada kandungan air dalam tanah, jenis tanah dan keadaan asal dari tanah. Salah satu faktor yang paling penting dalam menambah kekuatan tanah adalah dengan melakukan pemadatan tanah. Dalam pemadatan tanah memerlukan waktu tambahan, sampel tanah yang banyak, dan biaya pelaksanaan tambahan. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan analisis hubungan antara parameter kepadatan tanah yaitu berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dengan batas atterberg yaitu batas cair dan batas plastis sehingga diperoleh keamatan hubungan antar parameter.

Data-data yang digunakan berasal dari hasil percobaan laboratorium yang menggunakan sampel tanah dari Lubuk Pakam, Limau Manis, dan Sungai Basa. Hasil data percobaan dianalisis dengan menggunakan bantuan sistem komputerisasi untuk mendapatkan nilai hubungan antara parameter kepadatan tanah berdasarkan batas plastis dan batas cair.

Hasil analisis hubungan yang diperoleh adalah adanya pengaruh batas plastis dan batas cair terhadap berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dengan nilai koefisien determinasi yang baik dan nilai korelasi yang kuat. Berat isi kering maksimum menurun dengan meningkatnya batas plastis (PL) dan batas cair (LL). Kadar air optimum meningkat dengan meningkatnya batas plastis (PL) dan batas cair (LL).

Kata Kunci : berat isi kering maksimum, kadar air optimum, batas cair, batas plastis

ABSTRACT

The stability and strength of building construction is closely related to the stability and strength of the soil at a construction set. Much depends on the strength of the soil water content in the soil, soil type and origin of the soil. One of the most important factors in increasing the strength of the soil is to do a soil compaction. In soil compaction requires additional time, many soil samples, and additional implementation costs. To overcome these problems can be done analysis of the relationship between soil density parameters, namely the maximum dry density and optimum moisture content with Atterberg limits are the liquid limit and plastic limit in order to obtain the relationship between the parameters.

The data used came from the results of laboratory experiments using soil samples from Lubuk Pakam, Limau Manis, and Sungai Basa. The results of the experimental data were analyzed using a computerized system help to get the value of the relationship between the density of soil parameters based on plastic limit and liquid limit.

The results obtained by the analysis of the relationship is the influence of the plastic limit and the liquid limit of the maximum dry density and optimum moisture content with a good coefficient of determination and a strong correlation value. Maximum dry unit weight decreases with increasing plastic limit (PL) and liquid limit (LL). Optimum water content increases with increasing plastic limit (PL) and liquid limit (LL).

Keywords : maximum dry density, optimum moisture content, plastic limit, liquid limit

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Tanah merupakan dasar sebuah konstruksi yang berperan sebagai pendukung pondasi pada sebuah konstruksi bangunan. Kestabilan dan kekuatan konstruksi bangunan berkaitan erat dengan kestabilan dan kekuatan tanah yang merupakan pondasi suatu konstruksi bangunan didirikan. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui kekuatan tanah, karena tanpa mengetahuinya maka konstruksi yang dibangun akan mengalami kegagalan seperti keruntuhan bangunan, keretakan bangunan dan hal-hal lain yang tidak diinginkan.

Terdapat beberapa kriteria penting yang harus diketahui dari tanah yang hendak didirikan suatu bangunan terutama dari segi jenis, sifat dan kekuatan tanah. Kekuatan tanah banyak bergantung pada kandungan air dalam tanah, jenis tanah dan keadaan asal dari tanah. Salah satu faktor yang paling penting dalam menentukan kekuatan tanah adalah pemadatan tanah. Pemadatan tanah merupakan suatu proses menaikkan kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel melalui pengeluaran udara dari pori-pori tanah dengan cara mekanis.

Pemadatan tanah biasanya digunakan pada pembuatan bendung, jalan raya, lapangan terbang, bangunan perumahan dan sebagainya. Pemadatan ini dilakukan untuk meningkatkan kekuatan tanah. Hasil yang didapat dari uji pemadatan tanah adalah berat isi kering maksimum dan kadar air optimum. Untuk mendapatkan hasil optimum tersebut membutuhkan bahan yang cukup banyak, operator laboratorium yang handal, menyita waktu, serta biaya yang cukup besar. Dengan hubungan antara batas plastis dan batas cair dengan berat isi kering maksimum serta kadar air optimum dapat memudahkan dalam penentuan parameter-parameter tanah tanpa melakukan uji pemadatan. Jika hasil klasifikasi ini bisa digunakan untuk memprediksi berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari suatu bahan tanah maka dapat dihemat waktu, tenaga dan biaya pada pelaksanaan pekerjaannya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan berat isi kering maksimum berdasarkan batas plastis dan batas cair dari sampel tanah dan untuk mendapatkan hubungan kadar air optimum berdasarkan batas plastis dan batas cair tanah.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan atau referensi di dalam mempersingkat waktu, tenaga dan biaya kontrol bahan tanah pada proyek jalan raya, bendungan, lapangan terbang, maupun proyek bangunan lainnya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Teori Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah merupakan salah satu proses penting dalam pekerjaan tanah. Pemadatan tanah adalah proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan secara mekanis (digilas atau ditumbuk). Pemadatan tanah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan tanah sehingga meningkatkan daya dukung pondasi yang ada di atasnya, memperbaiki kuat geser tanah, mengurangi kompresibilitas, dan mengurangi permeabilitas.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Apabila ada penambahan air yang berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) maka partikel-partikel tanah akan lebih mudah bergerak sehingga membuat keadaan tanah menjadi lebih padat. Kenaikan kadar air tanah pada suatu tanah yang dipadatkan akan menaikkan berat volume tanah. Perlu diperhatikan bahwa pada saat kadar air = 0, berat volume basah tanah (γ) adalah sama dengan berat volume keringnya (γ_d) atau $\gamma = \gamma_d(w=0)$. Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah per satuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Setelah mencapai kadar air tertentu, penambahan kadar air cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut menempati ruang-ruang pori-pori dalam tanah. Kadar air dimana harga berat volume berat kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum (w_{opt}). Untuk suatu kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah tidak udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Jadi, berat volume kering maksimum pada suatu kadar air tertentu dengan kondisi *zero air void* (pori-pori tanah tidak mengandung udara).

Faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah adalah :

1. Pengaruh jenis tanah

Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat spesifik tanah, dan jumlah mineral lempung mempunyai pengaruh terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah

2. Pengaruh energi pemampatan tanah

Usaha pemadatan dan energi pemadatan adalah tolak ukur energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan, usaha pemadatan ini dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilas, jumlah jatuhnya dari benda-benda yang dijatuhkan, energi dari suatu ledakan dan hal-hal yang serupa untuk volume tanah tertentu. Di laboratorium, usaha pemadatan tanah dilakukan dengan tumbukan palu yang

dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa kali pada beberapa lapisan tanah di dalam suatu cetakan (mold) untuk menghasilkan suatu contoh dengan volume tertentu.

3. Pengaruh kadar air

Tanah kohesif kering merupakan bongkah-bongkah yang sukar dipadatkan. Jika disiram air menjadi lunak dan lebih mudah dipadatkan tetapi semakin besar kadar air tanah semakin membatasi kepadatan yang dapat dicapai. Pada pemadatan yang dapat berkurang hanya udara, jika volume air lebih besar maka kepadatan maksimum berkurang. Tanah kenyang air tidak dapat dipadatkan. Pada dasarnya, makin basah tanah makin mudah dipadatkan karena air berfungsi sebagai pelumas agar butir-butir tanah mudah merapat. Tetapi kadar air yang berlebihan akan mengurangi hasil pemadatan yang dapat dicapai. Pada pemadatan suatu tanah dengan tenaga pemadatan tertentu akan menghasilkan pemadatan terbesar. Kadar air terbaik tersebut disebut dengan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*). Kepadatan terbaik akan mendapatkan berat volume kering maksimum (*Maximum Dry Density*).

2.2 Korelasi dan Regresi

Korelasi berfungsi untuk mengetahui derajat atau keeratan hubungan, juga untuk mengetahui arah hubungan dua variabel numerik. Simbol yang digunakan adalah R. Derajat keeratan hubungan (kuat lemahnya hubungan) dapat dilihat dari tebaran datanya. Semakin rapat tebarannya, semakin kuat hubungannya dan sebaliknya semakin melebar tebarannya menunjukkan hubungannya semakin lemah.

Tabel 2.1 Interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2007)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Regresi adalah untuk membuat perkiraan atau prediksi nilai suatu variabel (variabel dependen) melalui variabel yang lain (variabel independen) yang dinyatakan dengan bentuk fungsi persamaan. Untuk menentukan bentuk regresi diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang sering diberi simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y. Pada regresi harus ada variabel yang ditentukan dan variabel yang menentukan atau dengan kata lain adanya ketergantungan variabel yang satu dengan variabel yang lainnya dan sebaliknya. Kedua variabel biasanya bersifat kausal atau mempunyai hubungan sebab akibat yaitu saling berpengaruh.

Koefisien determinasi merupakan besaran yang akan mengukur ketepatan garis regresi. Koefisien determinasi menunjukkan persentase besarnya variabilitas dalam data yang dijelaskan oleh model regresi. Simbol yang digunakan adalah R^2 . R^2 semakin besar mendekati 1 maka pengaruh antara variabel semakin kuat. $R^2 = 0$, maka antara variabel tidak memiliki pengaruh. R^2 semakin kecil, maka pengaruh hubungan antara variabel lemah. Semakin besar nilai R^2 , semakin baik model regresi yang diperoleh.

Tabel 2.2 Akurasi regresi linear berdasarkan koefisien determinasi, R^2 (Marto, 1996)

Nilai R^2	Akurasi Model Regresi
<0,25	Tidak Baik
0,25-0,55	Relatif Baik
0,56-0,75	Baik
>0,75	Sangat Baik

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen laboratorium dan metode analisa statistik. Metode eksperimen laboratorium yaitu suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan data-data yang dilakukan dengan percobaan di laboratorium dan pengamatan secara langsung, sistematis terhadap kejadian-kejadian objek yang diteliti.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan hubungan antara parameter kepadatan tanah yaitu berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dengan batas cair dan batas plastis. Setelah mendapatkan hasil laboratorium, data yang diperoleh dikorelasi dengan bantuan sistem komputerisasi dengan menggunakan program Microsoft Excel dan program SPSS.

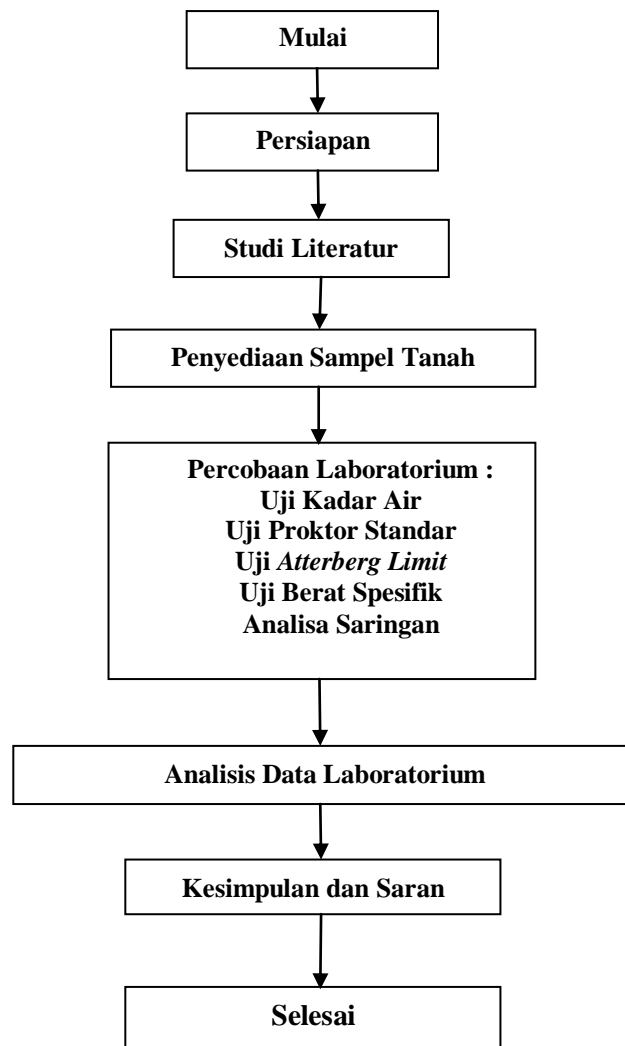
Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Metode eksperimen

Mengadakan suatu percobaan laboratorium untuk mendapatkan suatu hasil data yang selanjutnya akan dianalisa.

2. Metode Analisa Statistik

Pengolahan data untuk menentukan hubungan antara parameter kepadatan tanah dengan batas atterberg dengan menggunakan program SPSS.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil data yang didapat dari percobaan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sumatera Utara berupa berat isi kering maksimum ($\gamma_{d(\text{maks})}$), kadar air optimum (w_{opt}), batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), berat spesifik (Gs). Dari hasil data didapat nilai batas cair antara 19,25% sampai 42,44%, dengan nilai rata-rata 32,33%. Nilai batas plastis antara 10,62% sampai 28,23%, dengan nilai rata-rata 19,19%. Nilai berat isi kering maksimum antara 1,302 gr/cm³ - 1,603 gr/cm³, dengan nilai rata-rata 1,453gr/cm³. Nilai kadar air optimum antara 18,22% sampai 31,24%, dengan nilai rata-rata 24,48%.

Tabel 4.1 Hasil data laboratorium

Nama Sampel	Hasil Uji Kepadatan Tanah		FINE (%)	Hasil Uji Batas Atterberg			Berat Spesifik	Jenis Tanah
	$\gamma_{d(\text{maks})}$ (gr/cm ³)	w_{opt} (%)		LL (%)	PL (%)	PI (%)		
LP-1	1,492	21,90	53,76	30,23	12,37	17,86	2,65	CL
LP-2	1,502	21,58	52,95	26,27	19,13	7,14	2,65	CL
LP-3	1,479	24,32	57,98	36,98	19,30	17,68	2,65	CL
LP-4	1,447	25,78	58,07	40,28	24,44	15,84	2,65	CL
LP-5	1,498	23,34	53,09	31,26	15,89	15,37	2,65	CL
LP-6	1,512	20,81	41,92	23,95	15,96	7,99	2,65	SC
LP-7	1,472	25,20	57,98	38,26	20,11	18,15	2,65	CL
LP-8	1,484	24,42	56,34	36,67	21,18	15,49	2,65	CL
LP-9	1,497	24,50	53,02	34,00	20,81	13,19	2,65	CL
LP-10	1,454	25,51	56,94	39,00	18,87	20,13	2,65	CL
LM-1	1,538	19,72	46,09	27,26	15,89	11,37	2,66	SC
LM-2	1,506	19,52	47,31	28,23	17,81	10,42	2,66	CL
LM-3	1,490	19,35	52,97	29,84	19,48	10,36	2,66	CL
LM-4	1,563	18,22	44,94	24,08	12,57	11,51	2,66	SC
LM-5	1,454	20,97	55,04	30,96	19,28	11,68	2,66	CL
LM-6	1,496	19,82	52,56	29,78	18,56	11,22	2,66	CL
LM-7	1,569	18,95	43,48	22,19	11,89	10,30	2,66	SC
LM-8	1,432	21,00	59,03	32,82	20,22	12,60	2,66	CL
LM-9	1,603	18,75	38,16	19,25	10,62	8,63	2,66	CL
LM-10	1,558	19,92	25,41	25,41	13,06	12,35	2,66	CL
SB-1	1,364	30,10	56,88	35,01	20,43	14,58	2,66	CL
SB-2	1,400	27,14	51,07	29,41	17,81	11,60	2,66	CL
SB-3	1,392	28,21	52,69	30,03	19,35	10,68	2,66	CL
SB-4	1,331	31,12	58,48	39,91	24,54	15,37	2,66	CL
SB-5	1,329	31,24	60,73	40,78	25,50	15,28	2,66	CL
SB-6	1,312	30,65	62,11	42,24	28,23	14,01	2,66	ML
SB-7	1,349	30,54	58,21	38,11	23,31	14,80	2,66	CL
SB-8	1,385	30,68	54,05	32,88	22,23	10,65	2,66	CL
SB-9	1,353	30,26	54,58	36,70	22,92	13,78	2,66	CL
SB-10	1,343	30,95	57,85	38,16	23,86	14,30	2,66	CL

Keterangan :

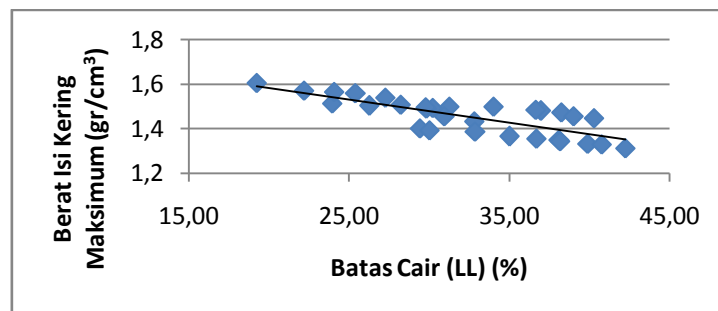
- $\gamma_{d(\text{maks})}$: berat isi kering maksimum (gr/cm³)
 w_{opt} : kadar air optimum (%)
 FINE : sampel tanah yang lolos saringan no 200 (%)
 LL : batas cair (%)
 PL : batas plastis (%)
 PI : indeks propertis (%)
 LP : sampel tanah dari Lubuk Pakam
 LM : sampel tanah dari Limau Manis
 SB : sampel tanah dari Sungai Basa

4.1 Hubungan Antara Berat Isi Kering Maksimum dengan Batas Cair Menggunakan Gabungan Data

Persamaan hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas cair (LL) menggunakan gabungan data adalah :

$$\begin{aligned}\gamma_{d(\text{maks})} &= 1,788 - 0,010 \text{ LL} \\ R^2 &= 0,615 \\ R &= 0,784\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,615$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel $\gamma_{d(\text{maks})}$ dapat dijelaskan oleh variabel LL (batas cair) sebesar 61,5%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,784 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang negatif yang berarti $\gamma_{d(\text{maks})}$ berbanding terbalik dengan batas cair. Nilai $\gamma_{d(\text{maks})}$ menurun dengan meningkatnya nilai batas cair. Koefisien regresi dari persamaan sebesar -0,010 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai LL sebesar 1% akan menurunkan nilai $\gamma_{d(\text{maks})}$ sebesar 0,010.



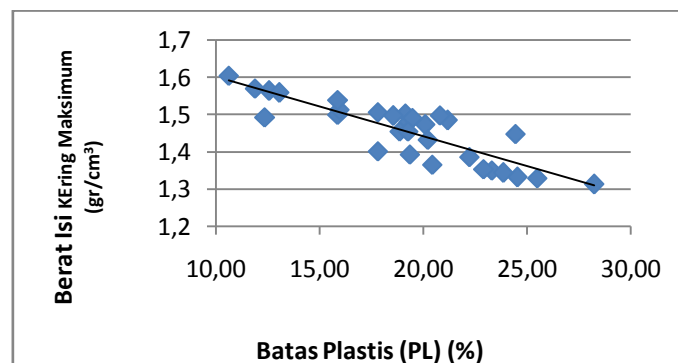
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas cair menggunakan gabungan data

4.2 Hubungan Antara Berat Isi Kering Maksimum dengan Batas Plastis Menggunakan Gabungan Data

Persamaan hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas plastis (PL) adalah :

$$\begin{aligned}\gamma_{d(\text{maks})} &= 1,760 - 0,016 \text{ PL} \\ R^2 &= 0,736 \\ R &= 0,858\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,736$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel $\gamma_{d(\text{maks})}$ dapat dijelaskan oleh variabel PL (batas plastis) sebesar 73,6%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,858 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan sangat kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang negatif yang berarti $\gamma_{d(\text{maks})}$ berbanding terbalik dengan batas plastis. Nilai $\gamma_{d(\text{maks})}$ menurun dengan meningkatnya nilai batas plastis. Koefisien regresi dari persamaan sebesar -0,016 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai PL sebesar 1% akan menurunkan nilai $\gamma_{d(\text{maks})}$ sebesar 0,016.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas plastis menggunakan gabungan data

4.3 Hubungan Antara w_{opt} dengan Batas Cair Menggunakan Gabungan Data

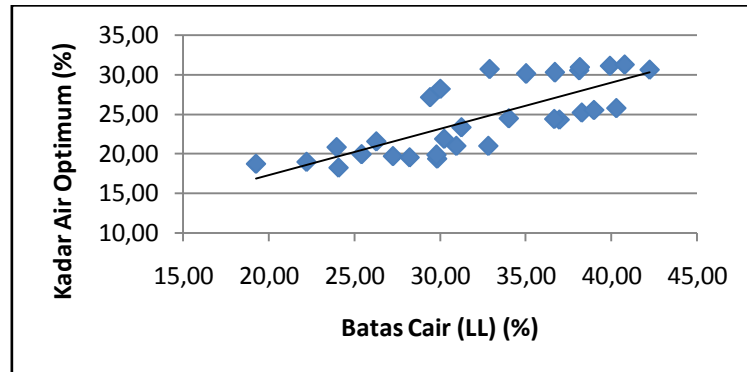
Persamaan hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas cair (LL) menggunakan gabungan data adalah:

$$w_{opt} = 5,614 + 0,583 LL$$

$$R^2 = 0,606$$

$$R = 0,779$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,606$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel w_{opt} dapat dijelaskan oleh variabel LL (batas cair) sebesar 60,6%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,779 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang positif yang berarti w_{opt} berbanding lurus dengan batas cair. Nilai w_{opt} naik dengan meningkatnya nilai batas cair. Koefisien regresi dari persamaan sebesar 0,583 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai LL sebesar 1% akan menaikkan nilai w_{opt} sebesar 0,583.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara w_{opt} dengan batas cair menggunakan gabungan data

4.4 Hubungan Antara w_{opt} dengan Batas Plastis Menggunakan Gabungan Data

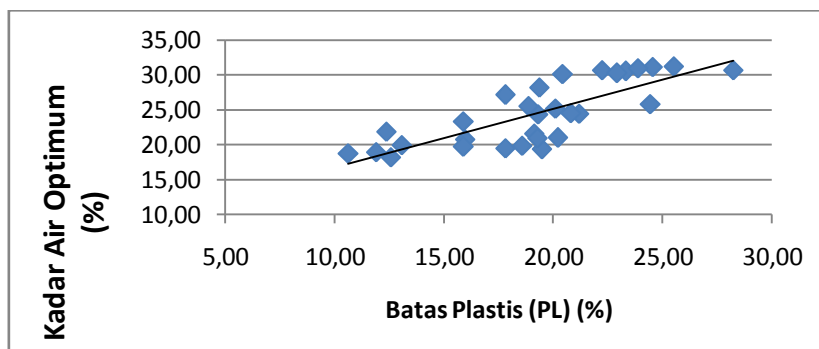
Persamaan hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas plastis (PL) menggunakan gabungan data adalah:

$$w_{opt} = 8,421 + 0,837 PL$$

$$R^2 = 0,624$$

$$R = 0,790$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,624$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel w_{opt} dapat dijelaskan oleh variabel PL (batas plastis) sebesar 62,4%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,790 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang positif yang berarti w_{opt} berbanding lurus dengan batas plastis. Nilai w_{opt} naik dengan meningkatnya nilai batas plastis. Koefisien regresi dari persamaan sebesar 0,837 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai PL sebesar 1% akan menaikkan nilai w_{opt} sebesar 0,837.



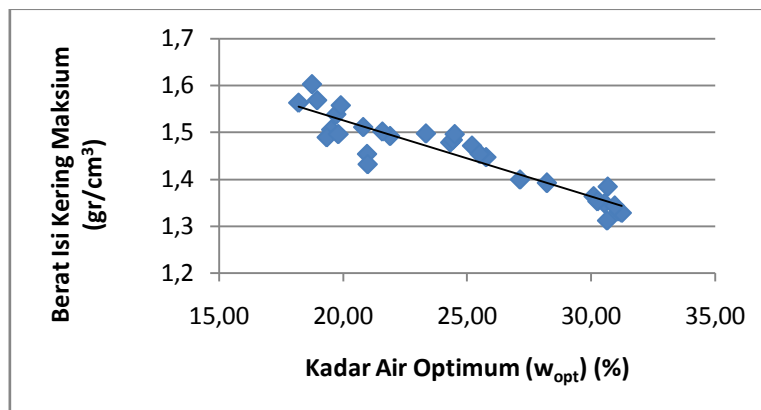
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara w_{opt} dengan batas plastis menggunakan gabungan data

4.5 Hubungan Berat Isi Kering Maksimum dan w_{opt} Menggunakan Gabungan Data

Persamaan hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(maks)}$ dengan w_{opt} menggunakan gabungan data adalah :

$$\begin{aligned}\gamma_{d(maks)} &= 1,852 - 0,016 w_{opt} \\ R^2 &= 0,856 \\ R &= 0,925\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,856$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel $\gamma_{d(maks)}$ dapat dijelaskan oleh variabel w_{opt} sebesar 85,6%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,925 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan sangat kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang negatif yang berarti $\gamma_{d(maks)}$ berbanding terbalik dengan w_{opt} . Nilai $\gamma_{d(maks)}$ turun dengan meningkatnya nilai w_{opt} . Koefisien regresi dari persamaan sebesar -0,016 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai w_{opt} sebesar 1% akan menurunkan nilai $\gamma_{d(maks)}$ sebesar 0,016.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara $\gamma_{d(maks)}$ dengan w_{opt} menggunakan gabungan data

4.6 Hubungan Antara Berat Isi Kering Maksimum dengan Batas Cair dan Batas Plastis Menggunakan Gabungan Data

Persamaan hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(maks)}$ dengan batas cair dan batas plastis menggunakan gabungan data adalah :

$$\begin{aligned}\gamma_{d(maks)} &= 1,777 - 0,002 LL - 0,014 PL \\ R^2 &= 0,741 \\ R &= 0,861\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,741$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel $\gamma_{d(maks)}$ dapat dijelaskan oleh variabel LL dan PL sebesar 74,1%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,861 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan sangat kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang negatif yang berarti nilai $\gamma_{d(maks)}$ turun dengan meningkatnya nilai batas cair dan batas plastis. Koefisien regresi dari persamaan sebesar -0,002 dan -0,014 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai LL 1% akan menurunkan nilai $\gamma_{d(maks)}$ sebesar 0,002 dan setiap kenaikan nilai PL sebesar 1% akan menurunkan nilai $\gamma_{d(maks)}$ sebesar 0,014.

4.7 Hubungan Antara w_{opt} dengan Batas Cair dan Batas Plastis Menggunakan Gabungan Data

Persamaan hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas cair dan batas plastis menggunakan gabungan data adalah :

$$\begin{aligned}w_{opt} &= 6,014 + 0,279 LL + 0,492 PL \\ R^2 &= 0,657 \\ R &= 0,811\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan regresi didapat nilai $R^2 = 0,657$, sehingga model regresi dikategorikan baik. Hal ini berarti variabel w_{opt} dapat dijelaskan oleh variabel LL dan PL sebesar 65,7%. Dari persamaan regresi juga didapat nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,811 sehingga kekuatan hubungan dikategorikan sangat kuat. Hasil dari persamaan yang didapat menunjukkan arah hubungan yang positif yang berarti nilai w_{opt} naik dengan meningkatnya nilai batas cair dan batas plastis. Koefisien regresi dari persamaan sebesar 0,279 dan 0,492 sehingga dapat diartikan setiap kenaikan nilai LL sebesar 1% akan menaikkan nilai w_{opt} sebesar 0,279 dan setiap kenaikan nilai PL sebesar 1% akan menaikkan nilai w_{opt} sebesar 0,492.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang dilakukan diperoleh hubungan antara parameter kepadatan tanah (kadar air optimum dan berat isi kering maksimum) dengan batas atterberg (batas cair dan batas plastis). Secara keseluruhan, objek penelitian ini dapat dikatakan berhasil karena nilai R^2 lebih besar dari 0,5 sehingga pengaruh antar variabel dikategorikan baik dan nilai koefisien korelasi (R) yang kuat. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan agar mendapat kepercayaan model regresi yang telah didapatkan. Jenis sampel tanah, jumlah sampel tanah, dan cara pengerjaan penelitian mempengaruhi hasil model regresi yang didapat.

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Dari hasil data didapat nilai batas cair (LL) antara 19,25% sampai 42,44%, dengan nilai rata-rata 32,33%. Nilai batas plastis (PL) antara 10,62% sampai 28,23%, dengan nilai rata-rata 19,19%. Nilai berat isi kering maksimum ($\gamma_{d(\text{maks})}$) antara 1,302 gr/cm³- 1,603 gr/cm³, dengan nilai rata-rata 1,453gr/cm³. Nilai w_{opt} antara 18,22% sampai 31,24%, dengan nilai rata-rata 24,48%.
2. Hubungan antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas cair (LL) menggunakan data gabungan adalah :
 $\gamma_{d(\text{maks})} = 1,788 - 0,010 \text{ LL}$ dengan nilai $R^2 = 0,615$ dan $R = 0,784$
3. Hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas plastis (PL) menggunakan data gabungan adalah
 $\gamma_{d(\text{maks})} = 1,760 - 0,016 \text{ PL}$ dengan $R^2 = 0,736$ dan $R = 0,858$
4. Hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas cair (LL) menggunakan data gabungan adalah:
 $w_{\text{opt}} = 5,614 + 0,583 \text{ LL}$ dengan $R^2 = 0,606$ dan $R = 0,779$
5. Hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas plastis (PL) menggunakan data gabungan adalah :
 $w_{\text{opt}} = 8,421 + 0,837 \text{ PL}$ dengan $R^2 = 0,624$ dan $R = 0,790$
6. Hubungan antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan w_{opt} menggunakan data gabungan adalah :
 $\gamma_{d(\text{maks})} = 1,852 - 0,016 w_{\text{opt}}$, dengan $R^2 = 0,856$ dan $R = 0,925$
7. Hubungan yang didapat antara $\gamma_{d(\text{maks})}$ dengan batas cair dan batas plastis menggunakan data gabungan adalah: $\gamma_{d(\text{maks})} = 1,777 - 0,002 \text{ LL} - 0,014 \text{ PL}$ dengan $R^2 = 0,741$ dan $R = 0,861$
8. Hubungan yang didapat antara w_{opt} dengan batas cair dan batas plastis menggunakan data gabungan adalah : $w_{\text{opt}} = 6,014 + 0,279 \text{ LL} + 0,492 \text{ PL}$ dengan nilai $R^2 = 0,657$ dan $R = 0,811$
9. $\gamma_{d(\text{maks})}$ menurun dengan meningkatnya batas plastis (PL) dan batas cair (LL).
10. w_{opt} meningkat dengan meningkatnya batas plastis (PL) dan batas cair (LL).

5.2. Saran

1. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan agar mendapat kepercayaan model regresi yang telah didapatkan.
2. Bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian lanjutan harus lebih teliti dalam penggunaan peralatan maupun pembacaan hasil data, serta pengolahan data yang benar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khafaji, A.N. (1993). Estimation Soil Compaction Parameters by Means of Atterberg Limits. Quarterly Journal of Engineering Geologist. Vol. 26, pp. 359-368.
- Bowles, J. E. (1986). *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknik Tanah*, Erlangga, Jakarta
- Blotz, L.R., Benson C.H. dan Boutwell G.P. (1998). Estimating Optimum Water Content And Maximum Dry Unit Weight For Compacted Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. September 1998, pp. 907-912.
- Das, B. M.. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayas Geoteknis) Jilid I*, Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I*, PT. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta
- Modul Praktikum Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
- Moradi, Salahedin., Ebrahimi, Eisa. (2013). Relationship between the percentage of clay with liquid limit, plastic limit and plastic index in four different soils texture class. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences. Journal-2013-3-8/697-702.
- Nendi, Amutha Munia. (2010). *Korelasi Regresi Antara Parameter Pemadatan Tanah Dan Had Atterberg*. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Noor, Sahid., Chitra, R., Gupta, Manish. Estimation of Proctor Properties of Compacted Fine Grained Soils from Index and Physical Properties. International Journal of Earth Sciences and Engineering. ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp. 147-150
- Sridharan, A., Nagaraj, H.B. (2005). Plastic limit and compaction characteristics of fine grained Soils. Ground Improvement (2005) 9, No. 1, 17-22
- Sugiyono. 2007. *Statistika untuk Penelitian*. CV Alfabeta. Bandung

Zakaria, Hafedz Bin. (2007). *Korelasi Atara Hasil Ujian Mampatan dan Had Atterberg*. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.