



BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1. BAHASAN PENDAHULUAN

Pada bagian bab IV ini membahas tentang laporan hasil pengamatan dari serangkaian proses penelitian, termasuk perolehan data dan pengolahannya. Adapun garis besar pengamatan, perolehan data, dan pengolahan yang disajikan yakni mulai dari persipan, peninjauan *index properties* dan *engineering properties* dari material tempurung kelapa, dan sementasi tempurung kelapa yang diuji sebagai kajian yang dibahas.

Peninjauan *index properties* material tempurung kelapa meliputi pengambilan data dari uji *sieve* analisis abrasi pembentukan material granular, pengukuran ketebalan, dan penentuan nilai *bulk density* dengan pengujian menggunakan meja getar. Sedangkan peninjauan *engineering properties* material tempurung kelapa meliputi pengujian CBR dan pencatatan *swelling* berdasarkan fungsi waktu. Kemudian, modifikasi sementasi tempurung kelapa dibuat guna mendapatkan nilai *strength* dan nilai modulus dari spesimen tersebut. Selanjutnya, membandingkan dari hasil yang diperoleh dengan material lain sebagai parameter nilai kalayakan material ringan timbunan.

4.2. PERSIAPAN BAHAN DASAR

Seperti yang telah dibahas pada bab III, persiapan bahan dasar untuk percobaan pembuatan material timbunan ringan ini yakni serabut dan tempurung kelapa. Serabut dan tempurung kelapa tersebut direndam selama kurang lebih empat minggu untuk uji ketahanan terhadap lingkungan basah. Data yang diperoleh bersifat kualitatif dan belum bisa dipaparkan secara kuantitatif.



4.2.1. Kondisi Bahan Dasar Terendam Dalam Air

Dari uji serabut dan tempurung kelapa yang direndam tersebut, diperoleh kondisi serabut kelapa terdegradasi/membusuk secara cepat. Serabut kelapa yang terdegradasi tersebut menjadi rapuh, rusak, menimbulkan bau, dan tidak layak digunakan sebagai alternatif bahan dasar timbunan. Sedangkan tempurung kelapa masih kuat/stabil terhadap lingkungan basah. Kondisi serabut kelapa yang rentan terhadap lingkungan basah tidak memungkinkan untuk dilanjutkan pada percobaan berikutnya. Dengan kata lain, serabut kelapa tidak cocok digunakan dalam pembuatan material ringan pada percobaan ini. Sehingga, pada proses selanjutnya hanya menggunakan tempurung kelapa sebagai material utama dalam memodifikasi menjadi material ringan timbunan.

4.2.2. Analisis Uji Ketahanan Terhadap Air

Dari uji persiapan bahan dasar yang direndam ke dalam air, didapati kondisi serabut kelapa cepat membusuk ketika kontak dengan air. Hal tersebut dimungkinkan serabut kelapa yang basah merupakan media yang cocok sebagai tempat berkembangnya mikroorganisme seperti amoeba, bakteri, jamur, dan sejenisnya yang dapat menguraikan material organik serabut kelapa tersebut. Selain itu, serabut kelapa juga mudah menyerap air / memiliki daya absorpsi yang tinggi. Sehingga kondisi tersebut mempercepat penguraian terhadap tekstur serat dari serabut kelapa ketika kontak dengan air.

Sedangkan tempurung kelapa merupakan material bagian *endocarp* dari buah kelapa yang cukup kuat/stabil terhadap air. Struktur tempurung kelapa yang cukup keras memungkinkan mikroorganisme seperti amoeba, bakteri, jamur, dan sejenisnya sulit atau membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menguraikan material organik tersebut. Dengan demikian, tempurung kelapa relatif tidak mengalami masalah yang signifikan terhadap lingkungan basah bila digunakan sebagai material timbunan.



4.3. PENINJAUAN *INDEX PROPERTIES*

Peninjauan *index properties* material tempurung kelapa meliputi pengambilan data dari uji *sieve* analisis abrasi pembentukan material granular, pengukuran ketebalan, dan penentuan nilai *bulk density* dengan pengujian menggunakan meja getar. Pembahasan, data-data yang diperoleh, dan hasil pengolahannya dapat dilihat pada uraian sebagai berikut:

4.3.1. Distribusi Ukuran Agregat Tempurung Kelapa

4.3.1.1. Perolehan Data dan Pengolahan Distribusi Ukuran Agregat Tempurung Kelapa

Peninjauan *index properties* distribusi butiran agregat tempurung kelapa dilakukan dengan pengambilan sampel tempurung kelapa sebanyak 1000 gram kondisi kering oven. Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam mesin abrasi ASTM D2613 selama ± 15 menit, kemudian dilakukan *sieve* analisis selama ± 8 menit. Data yang diperoleh dari percobaan tersebut antara lain sebagai berikut:

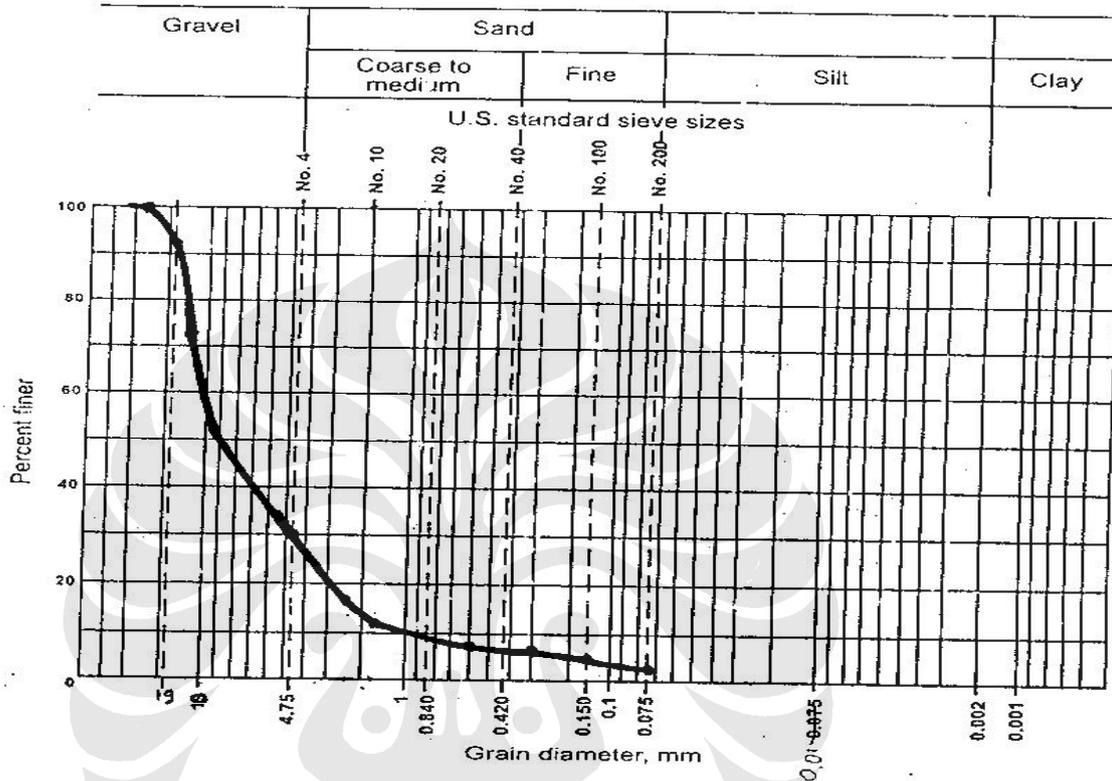
Tabel 4.3.1.1.a. Data Distribusi Butiran Agregat Tempurung Kelapa

Saringan	Ukuran (mm)	Tertahan (gram)	Lolos (gram)	% Lolos
2	50	0	1000	100,00%
1,5	37,5	0	1000	100,00%
1	25	0	1000	100,00%
0,75	19	73	927	92,70%
0,5	12,5	199	728	72,80%
0,375	9,5	211	517	51,70%
No. 4	4,75	217	300	30,00%
No.8	2,36	122	178	17,80%
No.16	1,18	66	112	11,20%
No.30	0,6	33	79	7,90%
No.50	0,3	18	61	6,10%
No.100	0,15	12	49	4,90%
No.200	0,075	19	30	3,00%
PAN		29	1	0,10%
Jumlah		999		



Sedangkan grafik hasil pengolahan dari data distribusi percobaan *sieve analysis* tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 4.3.1.1.a. Grafik Distribusi Butiran Agregat Tempurung Kelapa



4.3.1.2. Analisis Distribusi Ukuran Agregat Tempurung Kelapa

Dari grafik distribusi butiran agregat tempurung kelapa tersebut diperoleh klasifikasi 68% *gravel*, 25% pasir kasar – pasir medium, dan 7% pasir halus. Sedangkan nilai $D_{60}^7 = 11$, $D_{30} = 4,75$, dan $D_{10} = 9,5$. Maka diperoleh nilai koefisien keseragaman (C_u) dan nilai koefisien kelengkungan (C_c) adalah sebagai berikut:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{11}{9,5} = 1,16$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{4,75^2}{11 \times 9,5} = 0,22$$

⁷ D_{60} , D_{30} , D_{10} , menyatakan persentase partikel yang ukurannya lebih kecil dari ukuran yang ditinjau.



Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai $C_u \approx 1$, berarti karakteristik material tersebut seragam atau hanya memiliki satu tipe ukuran butiran. Sedangkan nilai C_c yang diperoleh diluar rentang $1 < C_c < 3$, berarti gradasi material tersebut dikategorikan buruk.

Kondisi tersebut cukup wajar karena agregat tempurung kelapa hasil abrasi yang diuji hanya ditujukan untuk mengetahui *index properties*. Selain itu, pembentukan agregat tersebut memang diupayakan berukuran seragam sebagai material dasar untuk proses selanjutnya. Sehingga dengan keseragaman ukuran butiran agregat tersebut diperoleh gradasi yang dikategorikan buruk.

4.3.2. Ketebalan Tempurung Kelapa

Salah satu karakteristik *index properties* dari agregat tempurung kelapa yang diteliti yakni ketebalan dari tempurung kelapa itu sendiri. Pengukuran ketebalan tempurung kelapa dilakukan dengan menggunakan jangka sorong ketelitian 0,05 mm dari 40 sampel agregat granular tempurung kelapa yang diambil secara acak. Data ketebalan tempurung kelapa yang diperoleh berkisar antara 3,00 – 7,36 mm. Berikut data pengukuran yang diperoleh setelah diurutkan, dari 40 sampel yang diambil secara acak:

Tabel 4.3.2.a. Data Ketebalan Tempurung Kelapa

No.	Tebal (mm)						
1	3,00	11	4,11	21	4,55	31	5,00
2	3,10	12	4,11	22	4,59	32	5,47
3	3,10	13	4,14	23	4,60	33	5,50
4	3,11	14	4,15	24	4,61	34	5,55
5	3,30	15	4,19	25	4,63	35	5,85
6	3,30	16	4,20	26	4,82	36	5,90
7	3,64	17	4,28	27	4,85	37	6,32
8	3,66	18	4,36	28	4,91	38	6,65
9	3,70	19	4,40	29	4,96	39	7,21
10	4,00	20	4,50	30	4,96	40	7,36

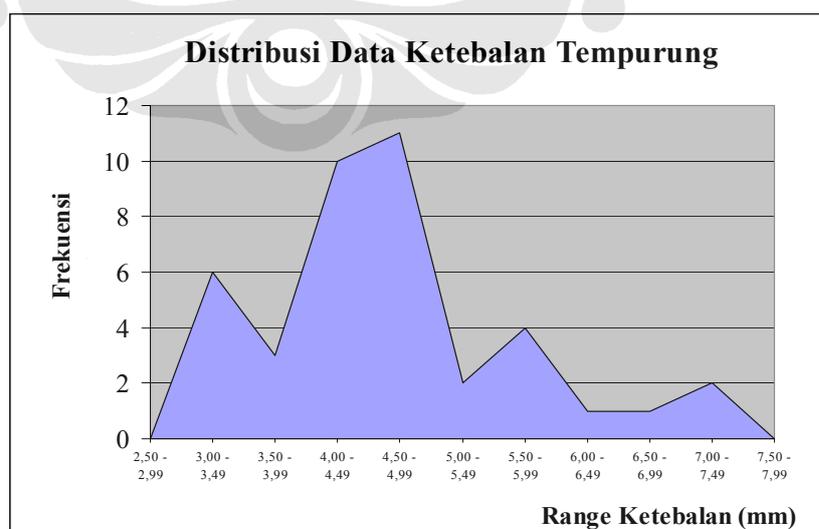


Sedangkan distribusi data ketebalan tempurung kelapa dengan pengelompokan range panjang kelas 0,5 dapat kita lihat sebagai berikut:

Tabel 4.3.2.b. Distribusi Data Ketebalan Tempurung Kelapa

Range	Frekuensi
2,50 - 2,99	0
3,00 - 3,49	6
3,50 - 3,99	3
4,00 - 4,49	10
4,50 - 4,99	11
5,00 - 5,49	2
5,50 - 5,99	4
6,00 - 6,49	1
6,50 - 6,99	1
7,00 - 7,49	2
7,50 - 7,99	0

Gambar 4.3.2.a. Grafik Distribusi Data Ketebalan Tempurung Kelapa





4.3.3. Bulk Density Agregat Tempurung Kelapa

4.3.3.1. Data dan Pengolahan Nilai Bulk Density Agregat Tempurung Kelapa

Perolehan nilai data *bulk density* merupakan bagian dari serangkaian persiapan uji CBR, yakni pada saat pemadatan material granular tempurung kelapa dengan menggunakan meja getar. Seperti yang telah dibahas pada bab III, pemadatan material granular tersebut menggunakan mold berukuran diameter 15,23 cm, dan tinggi 16,15 cm. Pemadatan dilakukan selama ± 8 menit, kemudian diambil data-data untuk perhitungan *bulk density* yang diperlukan.

Gambar 4.3.3.1.a. Pemadatan Agregat Tempurung Kelapa dengan Meja Getar



Berikut adalah data dan pengolahan yang berhasil diperoleh:

Berat mold + sampel = 10,023 kg	Diameter mold = 15,23 cm
Berat mold = 8,762 kg	Tinggi = 16,15 cm
Berat sampel = 1,261 kg	

$$*Bulk Density = \frac{\text{Berat sampel}}{\text{Volume sampel setelah pemadatan}} \dots\dots\dots(\text{Pers.4.3.3.1.a.})$$



Tabel 4.3.3.1.a. Data dan Pengolahan Nilai Bulk Density Agregat Tempurung Kelapa

	Tinggi awal (cm)	Penurunan (cm)	Tinggi sampel (cm)	<i>Bulk Density</i> (gram/cm ³)
Percobaan I	16,15	1,50	14,65	0,472724377
Percobaan II	16,15	1,53	14,62	0,4736944
Percobaan III	16,15	1,48	14,67	0,4720799

4.3.3.2. Analisis Nilai *Bulk Density* Agregat Tempurung Kelapa

Pada percobaan pemadatan agregat granular tempurung kelapa menggunakan meja getar tersebut didapatkan hasil pengamatan bahwa material granular tersebut masih terdapat rongga-rongga (*voids*). Hal ini disebabkan karena karakteristik agregat tersebut bersifat lepas (*loose*) menyerupai pasir atau *gravel*. Fakta tersebut didukung dengan hasil percobaan *sieve* analisis sebelumnya yang menunjukkan bahwa dari sampel 1000 gram tempurung kelapa yang dijadikan material granular dengan mesin abrasi, menghasilkan klasifikasi 68% *gravel*, 25% pasir kasar – pasir medium, dan 7% pasir halus. Sehingga kondisi pemadatan sampel yang diperoleh tidak akan tercapai kepadatan optimal, seperti pada lempung. Oleh karena itu, pada umumnya nilai *bulk density* dari material granular yang bersifat lepas (*loose*) bernilai relatif rendah jika dibandingkan dengan material lainnya.

Dari data dan pengolahan tiga percobaan di atas, didapat nilai penurunan rata-rata sampel sebesar 1,503 cm dan nilai rata-rata *bulk density* sebesar 0,473 gram/cm³ atau setara dengan 473 kg/m³. Sedangkan pada literatur, rentang nilai *bulk density* agregat tempurung kelapa antara 420 hingga 480 kg/m³ (Artikel “*Granular Coconut Shell Carbon*”, TGS Aqua Tech. Inc.). Nilai *bulk density* rata-rata yang diperoleh dari percobaan tersebut masih berada pada rentang literatur, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan sudah sesuai dengan target yang diperoleh.



4.4. PENINJAUAN *ENGINEERING PROPERTIES*

Peninjauan *engineering properties* dari material granular tempurung kelapa yang dilakukan yakni nilai CBR dan *swelling*. Mengingat tujuan penggunaan material tersebut sebagai material timbunan, sehingga nilai CBR dan *swelling* umumnya sangat dibutuhkan untuk studi kelayakan dalam pengaplikasian dilapangan.

4.4.1. Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

Metode Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*), yaitu suatu metode yang dikembangkan pertama kali oleh *California Division of Highway* (1929), digunakan untuk mengklasifikasikan tanah/geomaterial yang sesuai untuk dijadikan material *subgrade* atau material *base course* pada konstruksi jalan raya. Pengujian CBR mengukur besar kekuatan tanah/geomaterial pada suatu kadar air dan Kerapatan jenis tertentu berdasarkan besarnya beban yang dibutuhkan untuk penetrasi 0,1” dan 0,2”. Kemudian dibandingkan dengan kekuatan batu pecah yang bergradasi rapat sebagai standar material yang nilainya adalah 100 %.

4.4.1.1. Perolehan dan Pengolahan Data Uji CBR

Uji CBR merupakan jenis pengujian properti tanah yang lazim dilakukan untuk mengetahui *engineering properties* sebagai geomaterial. Dalam hal ini, modifikasi material ringan tempurung kelapa juga dilakukan uji CBR dengan prosedur seperti yang telah dibahas pada bab III. Adapun data-data yang diperoleh dari uji CBR dengan nilai LRC = 23,248 adalah sebagai berikut:



Tabel 4.4.1.1.a. Perolehan Data Uji CBR

Penetrasi (in)	Percobaan I		Percobaan II		Percobaan III		Rata-rata II dan III	
	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked
0,000	0	0	0	0	0	0	0	0
0,025	3	2	1,5	1	1,6	1	1,55	1
0,050	5	4	2	1,5	3	2	2,5	1,75
0,075	6,5	6,5	3	2,5	4	3	3,5	2,75
0,100	8	9	4	3,7	5	4,5	4,5	4,1
0,125	9,5	12	5	5	7	6	6	5,5
0,150	11,5	17	6	6,2	8,5	8	7,25	7,1
0,175	14	19	8	7,8	9,5	9	8,75	8,4
0,200	15	21	10	9,2	10,5	9,5	10,25	9,35

Kemudian, mengplot grafik penetrasi yang diberikan terhadap nilai resisten penetrasi dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Resisten Penetrasi (Psi)} = \frac{M \times LRC}{A} \dots\dots\dots(\text{Pers. 4.4.1.1.a.})$$

Dimana:

M : Pembacaan Dial

LRC (*Load Reading Coefficient*) : Faktor kalibrasi alat (lbf/div) = 23,248

A : Luas bidang tekan (3 in²)

Sehingga diperoleh nilai perhitungan resisten penetrasi rata-rata data percobaan tersebut adalah sebagai berikut:

Contoh, Penetrasi 0,025”:

Unsoaked : Resisten penetrasi = $\frac{1,55 \times 23,248}{3} = 12,011$ Psi

Soaked : Resisten penetrasi = $\frac{1 \times 23,248}{3} = 7,749$ Psi

Contoh, Penetrasi 0,050”:

Unsoaked : Resisten penetrasi = $\frac{2,5 \times 23,248}{3} = 19,373$ Psi

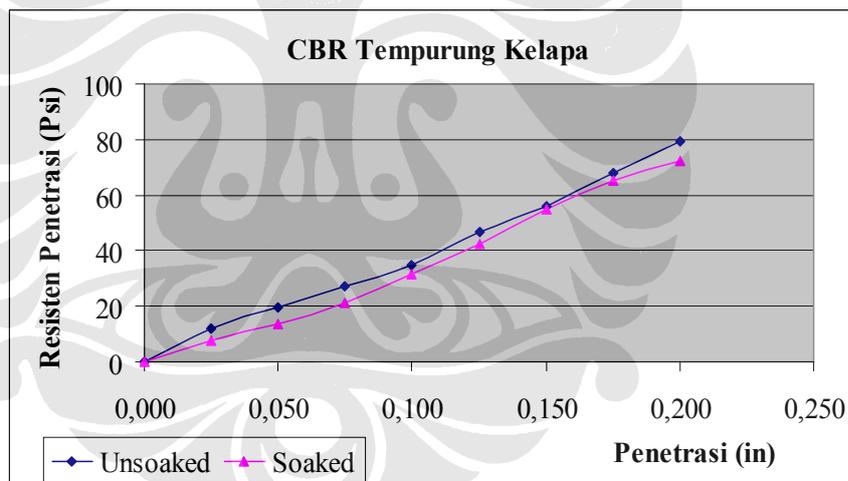
Soaked : Resisten penetrasi = $\frac{1,75 \times 23,248}{3} = 13,561$ Psi



Tabel 4.4.1.1.b. Nilai Resisten Penetrasi Rata-rata

Penetrasi (in)	Resisten Penetrasi (Psi)	
	Unsoaked	Soaked
0,000	0	0
0,025	12,01147	7,749333
0,050	19,37333	13,56133
0,075	27,12267	21,31067
0,100	34,872	31,77227
0,125	46,496	42,62133
0,150	56,18267	55,02027
0,175	67,80667	65,0944
0,200	79,43067	72,45627

Grafik 4.4.1.1.a. Resisten Penetrasi Vs. Penetrasi
Data Uji CBR



Perhitungan nilai CBR:

$$CBR = \frac{M \times LRC}{A \times BS} \times 100\% \dots\dots\dots(Pers. 4.4.1.1.b.)$$

M : Pembacaan Dial

LRC : Faktor kalibrasi alat (lbf/div) = 23,248

A : Luas bidang tekan (3 in²)

BS : Beban standar (psi), 1000 psi untuk penetrasi 0,1" dan 1500 psi untuk penetrasi 0,2"



❖ **Penetrasi 0,1”**

$$\text{Unsoaked : CBR} = \frac{4,5 \times 23,248}{3 \times 1000} \times 100\% = 3,487 \%$$

$$\text{Soaked : CBR} = \frac{4,1 \times 23,248}{3 \times 1000} \times 100\% = 3,177 \%$$

❖ **Penetrasi 0,2”**

$$\text{Unsoaked : CBR} = \frac{10,25 \times 23,248}{3 \times 1500} \times 100\% = 5,295 \%$$

$$\text{Soaked : CBR} = \frac{9,35 \times 23,248}{3 \times 1500} \times 100\% = 4,83 \%$$

4.4.1.2. Analisis Hasil Pengolahan Data Uji CBR

Perhitungan yang dilakukan dari data uji CBR diambil adalah percobaan II dan percobaan III. Langkah tersebut diambil karena dua percobaan terakhir dilakukan lebih cermat dan relatif lebih teliti dari percobaan pertama. Hal tersebut terbukti dengan kemiripan pola perolehan data dan selisih angka dari data yang diperoleh sangat kecil. Kondisi tersebut kita anggap cukup representatif dari sampel yang kita uji tanpa mengabaikan prinsip perolehan data yang harus *fair* dan apa adanya.

Adapun variasi data uji CBR yang didapatkan kemungkinan dipengaruhi oleh ketebalan tempurung kelapa seperti pada pembahasan sebelumnya. Semakin tebal rata-rata ukuran tempurung kelapa yang dijadikan sampel, maka kemungkinan nilai CBR yang diperoleh akan semakin tinggi. Hal tersebut dapat diperkirakan karena hanya dengan pengamatan secara kasat mata, semakin tebal tempurung kelapa maka tingkat kekerasannya semakin tinggi. Begitu pula dengan variasi data uji CBR kondisi *soaked*, kecermatan dalam meniriskan air pada saat akan dilakukan uji CBR juga turut berpengaruh. Sisa-sisa air yang masih tertinggal dalam mold yang bercampur dengan agregat sampel dapat mempengaruhi perolehan nilai data yang diperoleh. Karena air yang tertinggal tersebut dapat menyumbangkan nilai resisten penetrasi yang akan didapatkan. Semakin banyak air yang tertinggal, maka nilai resisten penetrasi semakin tinggi



dan keakurasian data uji CBR sampel agregat tempurung kelapa tidak sepenuhnya tepat.

Variasi data yang diakibatkan oleh perbedaan ketebalan tempurung kelapa memang wajar dan tidak dapat dihindari. Mengingat dalam satu sampel pengujian terdapat berbagai ukuran ketebalan agregat tempurung kelapa yang heterogen. Namun, upaya untuk mendapatkan data yang lebih akurat khususnya pada kondisi *soaked*, dapat dilakukan dengan meniriskan air lebih lama yakni sekitar 5 menit sebelum pengujian CBR dilakukan. Sebagai contoh, pada percobaan I nilai perolehan data *soaked* lebih besar dari pada kondisi *unsoaked*. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh ketidakcermatan dalam meniriskan air saat akan dilakukan uji CBR. Akibatnya air yang tertinggal tersebut dapat menyumbangkan nilai resisten penetrasi yang akan didapatkan. Untuk itu, pada percobaan II dan III dilakukan penirisan air yang agak lama untuk meminimalisir air yang tertinggal didalam mold. Sehingga keakuratan data yang diperoleh benar-benar mendekati nilai representatif yang sebenarnya.

Kemudian, variasi dan keakurasian data yang diperoleh juga dipengaruhi oleh kecermatan pembacaan dial saat pengambilan data dilakukan. Mengingat pencatatan data dilakukan dengan pembacaan dial secara manual, sehingga kemungkinan terjadi kesalahan relatif cukup besar. Hal tersebut otomatis juga berpengaruh pada hasil pengolahan yang akan diperoleh. Jika terdapat selisih satu angka saja pada pembacaan dial, hal tersebut dapat menimbulkan selisih hasil pengolahan nilai resisten penetrasi sebesar 7,749 Psi. Namun, secara keseluruhan proses percobaan yang dilakukan sudah sesuai dengan prosedur yang seharusnya. Demikian pula pencatatan data dari pembacaan dial sudah dilakukan secara cermat dan hati-hati, sehingga apabila terjadi kemungkinan selisih hasil pengolahan masih berada pada batas kewajaran.

Mengenai nilai CBR dari material granular tempurung kelapa yang hanya berkisar maksimum 5,295 %, termasuk kategori buruk jika digunakan sebagai *subgrade* menurut standar ASTM D1883 – 87 (kategori terlampir). Seperti pada pembahasan sebelumnya, hal tersebut dikarenakan material granular tempurung kelapa mirip dengan sifat pasir, koral/*gravel*, dan material ukuran lebih besar lainnya yakni bersifat lepas (*loose*). Sehingga pada saat pemadatan sangat sulit



untuk mencapai kondisi kepadatan optimum. Hasil pemadatan material granular tempurung kelapa didalam mold selalu saja terdapat pori-pori (*voids*) yang cukup besar. Kondisi inilah yang menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya nilai data yang diperoleh pada saat dilakukan penetrasi uji CBR. Untuk itu, dibuat modifikasi meterial sementasi yakni material “Sementasi Tempurung Kelapa” (STK) dengan penambahan semen sebagai agen pengikat antar partikel material granular tempurung kelapa tersebut. Sehingga, pada pengaplikasian di lapangan material STK menjadi lebih stabil, kuat dan memiliki nilai CBR yang memadai yang akan dibahas pada bagian berikutnya.

4.4.2. Uji Swelling

Uji *swelling* juga merupakan bagian dari uji CBR, yakni pada saat sampel direndam (kondisi *soaked*) pencatatan *swelling* dilakukan untuk mengetahui pengembangan ukuran akibat perubahan kadar air berdasarkan fungsi waktu. Perhitungan nilai *swelling* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari geomaterial apakah material tersebut bersifat ekspansif atau stabil terhadap air. Semakin kecil nilai *swelling*, maka material tersebut dikategorikan lebih bagus karena lebih stabil terhadap air.

4.4.2.1. Perolehan dan Pengolahan Data Uji Swelling

Proses perolehan data/pencatatan nilai *swelling* dari agregat tempurung kelapa cukup sederhana, yakni hanya mencatat perubahan dial yang dipasang pada saat pengkondisian *soaked* dari serangkaian uji CBR tempurung kelapa berdasarkan fungsi waktu. Pencatatan nilai *swelling* yang dilakukan yakni pada saat setengah jam pertama, jam ke-1, ke-2, ke-3, dan seterusnya hingga jam ke-96 seperti pada penjelasan bab III. Pada serangkaian uji CBR pengkondisian *soaked*, diperoleh pencatatan data *swelling* dari agregat tempurung kelapa adalah sebagai berikut:



Tabel 4.4.2.1.a. Perolehan Data Pencatatan *Swelling*

Waktu (jam)	Percobaan I	Percobaan II	Percobaan III
0	0	0	0
0,5	0,356	0,332	0,333
1	0,658	0,378	0,392
2	0,723	0,492	0,482
3	0,982	0,541	0,533
48	1,283	0,634	0,653
72	1,294	0,681	0,684
96	1,325	0,702	0,697

Perhitungan nilai *swelling*:

$$Swell = \frac{M' \times LRC \times 0,001}{t} \times 100\% \dots\dots\dots (Pers. 4.4.2.1.a.)$$

M' : Pembacaan dial terakhir

LRC : Faktor kalibrasi alat (lbf/div) = 2,54

t : Tinggi sampel (cm)

❖ **Percobaan II :**

$$Swell = \frac{0,702 \times 2,54 \times 0,001}{14,62} \times 100\% = 0,0122 \%$$

❖ **Percobaan III :**

$$Swell = \frac{0,697 \times 2,54 \times 0,001}{14,67} \times 100\% = 0,0121 \%$$

Sehingga, rata-rata nilai *swelling* yang diperoleh sebesar 0,012 %



4.4.2.2. Analisis Pengolahan Data Uji Swelling

Pada pengolahan data percobaan *swelling* agregat tempurung kelapa tersebut dilakukan perhitungan percobaan II dan III. Langkah tersebut diambil karena dua percobaan terakhir dilakukan lebih cermat dan teliti. Sedangkan percobaan pertama masih dalam tahap *trial and error*, sehingga kemungkinan penyimpangan data yang diperoleh cukup besar. Hal tersebut diperkuat dari pola perolehan data yang didapatkan. Data pada percobaan pertama sedikit berbeda dengan pola perolehan data pada percobaan II dan III. Sedangkan perolehan data pada percobaan II dan III hampir menunjukkan persamaan pola dan selisih angka yang kecil. Untuk itu, perhitungan nilai *swelling* yang dilakukan hanya mengambil data percobaan II dan III yang dianggap cukup representatif tanpa mengabaikan perolehan data yang *fair* dan apa adanya.

Perolehan nilai *swelling* dari agregat tempurung kelapa yang hanya sebesar 0,012 % terbilang cukup kecil. Kondisi tersebut cukup baik, karena semakin kecil nilai *swelling* yang diperoleh, maka material tersebut semakin baik dan stabil terhadap air. Demikian pula sebaliknya, semakin besar nilai *swelling* yang diperoleh, maka material tersebut labil terhadap perubahan kadar air.

Pencapaian awal perolehan nilai *swelling* dari hasil pengolahan tersebut dapat dibandingkan dengan lempung yang biasa digunakan sebagai material timbunan. Biasanya lempung memiliki nilai *swelling* yang cukup tinggi, atau bahkan ada yang bersifat ekspansif⁸. Jika ternyata perolehan nilai *swelling* dari hasil pengolahan data agregat tempurung kelapa lebih kecil dari rata-rata nilai *swelling* lempung pada umumnya, maka dapat disimpulkan bahwa material tempurung kelapa lebih bagus atau lebih stabil terhadap air. Pembahasan lebih lanjut mengenai perbandingan nilai *swelling* agregat tempurung kelapa dengan lempung, dapat disajikan pada sub bab analisis perbandingan paparan selanjutnya.

⁸ Material (tanah) yang berpotensi mengalami pengembangan/peningkatan volume bila terekspos terhadap air.



4.5. SEMENTASI TEMPURUNG KELAPA (STK)

Skenario pembuatan sementasi tempurung kelapa (STK) seperti yang telah dibahas pada bab III, dilakukan dengan komposisi campuran perbandingan volume semen – agregat. Perhitungan proporsi dilakukan dengan formulasi sebagai berikut:

- Bj semen : 3150 kg/m³
- Bj Agregat : 480 kg/m³
- Void : 5%
- Volume : 0,00157 m³
- Waste : 35%
- Vol. Design : 0,0021195 m³

$$M_{\text{semen}} \text{ (kg)} = \frac{\text{Vol.design}}{\frac{1}{BJ_{\text{semen}}} + \frac{n}{BJ_{\text{agregat}}} + \frac{w/c}{BJ_{\text{air}}}} \dots\dots\dots \text{(Pers. 4.5.a)}$$

$$M_{\text{agregat}} \text{ (kg)} = n \times M_{\text{semen}} \dots\dots\dots \text{(Pers. 4.5.b)}$$

$$V_{\text{air}} \text{ (liter)} = w/c \times M_{\text{semen}} \dots\dots\dots \text{(Pers. 4.5.c)}$$

Dimana, n : indeks proporsi agregat

Sehingga diperoleh proporsi campuran sebagai berikut:

Tabel 4.5.a. Komposisi Campuran STK, w/c = 0,6

Proporsi	Semen (kg)	Agregat (kg)	Air (liter)
1:2	1,855	0,565	0,353
1:3	1,451	0,663	0,276
1:4	1,192	0,727	0,227
1:5	1,012	0,771	0,193
1:6	0,878	0,803	0,167
1:8	0,695	0,848	0,132
1:10	0,576	0,877	0,110



Tabel 4.5.b. Komposisi Campuran STK, $w/c = 0,5$

Proporsi	Semen (kg)	Agregat (kg)	Air (liter)
1:2	1,908	0,581	0,303
1:3	1,484	0,678	0,236
1:4	1,214	0,740	0,193
1:5	1,027	0,783	0,163
1:6	0,890	0,814	0,141
1:8	0,703	0,857	0,112
1:10	0,581	0,885	0,092

Tabel 4.5.c. Komposisi Campuran STK, $w/c = 0,4$

Proporsi	Semen (kg)	Agregat (kg)	Air (liter)
1:2	1,964	0,598	0,249
1:3	1,517	0,694	0,193
1:4	1,236	0,754	0,157
1:5	1,043	0,795	0,132
1:6	0,902	0,825	0,115
1:8	0,710	0,866	0,090
1:10	0,586	0,892	0,074

4.5.1. Perolehan dan Pengolahan Data Modifikasi Material STK

Perolehan data kuantitatif sederhana yang diperoleh untuk kali pertama yakni kerapatan dari masing-masing spesimen. Data kerapatan masing-masing spesimen tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan kerapatan jenis dari spesimen STK yang telah dibuat. Berikut adalah data kerapatan spesimen STK yang berhasil diperoleh:



Tabel 4.5.1.a. Massa Spesimen STK

Proporsi	Massa (gram)			Massa Rata-rata (gram)		
	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4
1:2	2071	1959	2113	2081,5	2033	2119,5
	2092	2107	2126			
1:3	1848	1881	1903	1862	1887	1912
	1876	1893	1921			
1:4	1670	1674	1828	1682,5	1688,5	1833,5
	1695	1703	1839			
1:5	1660	1673	1667	1670,5	1685,5	1696,5
	1681	1698	1726			
1:6	1488	1542	1662	1490,5	1553	1667,5
	1493	1564	1673			

Catatan: Spesimen STK Proporsi 1:8 dan 1:10 mengalami kegagalan yakni pecah dengan seketika saat pelepasan cetakan.

Dari perolehan data kerapatan masing-masing sampel tersebut, kemudian dilakukan perhitungan kerapatan jenis sebagai berikut:

Kerapatan jenis = (M / V).....(Pers. 4.5.1.a)

Dimana,

M : Kerapatan sampel dinyatakan dalam kilogram

V : Volume sampel $\rightarrow 0,25 \times \pi \times d^2 \times t$ (dalam m³)

d : Diameter sampel (10 cm = 0,1 m)

t : Tinggi sampel (20 cm = 0,2 m)

Contoh perhitungan (proporsi 1:2) :

$$w/c = 0,6 \rightarrow \text{Kerapatan jenis} = \frac{2,0815}{0,25 \times \pi \times 0,1^2 \times 0,2} = 1325,796 \text{ kg/m}^3$$

$$w/c = 0,5 \rightarrow \text{Kerapatan jenis} = \frac{2,033}{0,25 \times \pi \times 0,1^2 \times 0,2} = 1294,904 \text{ kg/m}^3$$

$$w/c = 0,4 \rightarrow \text{Kerapatan jenis} = \frac{2,1195}{0,25 \times \pi \times 0,1^2 \times 0,2} = 1350 \text{ kg/m}^3$$

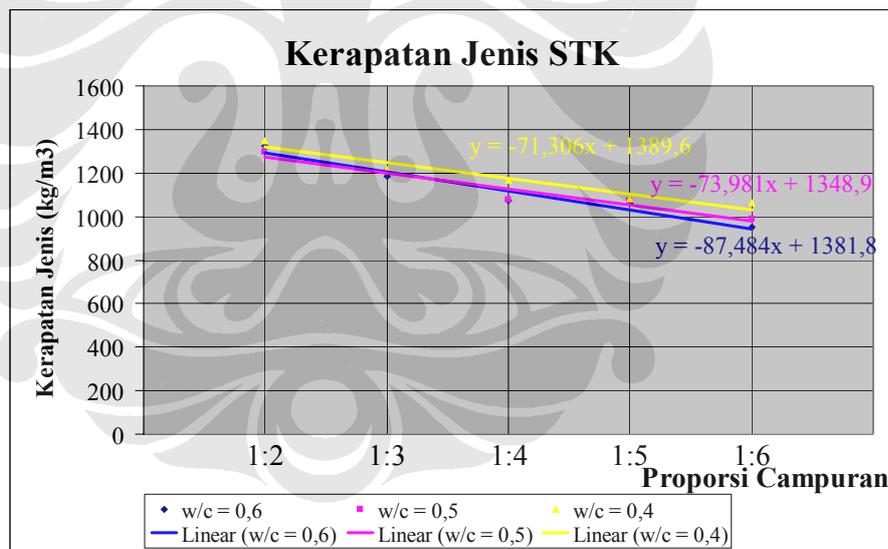


Berikut adalah hasil perhitungan kerapatan jenis keseluruhan dari data spesimen STK:

Tabel 4.5.1.b. Hasil Perhitungan Kerapatan Jenis Spesimen STK

Proporsi	Kerapatan Jenis (kg/m ³)		
	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4
1:2	1325,796	1294,904	1350
1:3	1185,987	1201,911	1217,834
1:4	1071,656	1075,478	1167,834
1:5	1064,013	1073,567	1080,573
1:6	949,363	989,172	1062,102

Gambar 4.5.1.a. Grafik Kerapatan Jenis Spesimen STK



Kemudian, dilakukan pembebanan pada spesimen STK yakni uji tekan untuk mendapatkan nilai *strength* yang ingin diketahui. Sebelumnya, permukaan sampel STK diberi mortar belerang (*capping*) untuk menutupi rongga-rongga permukaan sehingga luasan permukaan benar-benar rata dan sesuai dengan luasan yang diperhitungkan. Perolehan data pembebanan maksimum yang masih dapat ditahan dari uji tekan STK dapat kita lihat sebagai berikut:



Tabel 4.5.1.c. Data Pembebanan Maksimum Uji Tekan Spesimen STK

Proporsi	Beban (P) kg		
	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4
1 : 2	9300	9775	10725
	12150	9850	11050
1 : 3	8550	8900	9975
	8950	9000	10050
1 : 4	6950	8725	9025
	7225	8800	9275
1 : 5	5025	6350	7025
	5250	6400	7750
1 : 6	3025	3850	4975
	3025	4000	5300

Perhitungan *strength* (kuat tekan) dari spesimen STK dapat dilakukan dengan formulasi sederhana sebagai berikut:

$$\text{Strength} = (P/A) \dots\dots\dots(\text{Pers. 4.5.1.b})$$

Dimana:

P : Beban maksimum yang mampu ditahan (kg)

A : Luas penampang spesimen $\rightarrow 0,25 \pi \times d^2$ (cm²)

d : Diameter sampel (10 cm)

Contoh perhitungan (proporsi 1:2) :

$$w/c = 0,6 \rightarrow \text{Strength 1} = \frac{9300}{0,25\pi \times 10^2} = 118,364 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Strength 2} = \frac{12150}{0,25\pi \times 10^2} = 154,636 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Strength rata-rata} = (118,364 + 154,636)/2 = 136,500 \text{ kg/cm}^2$$



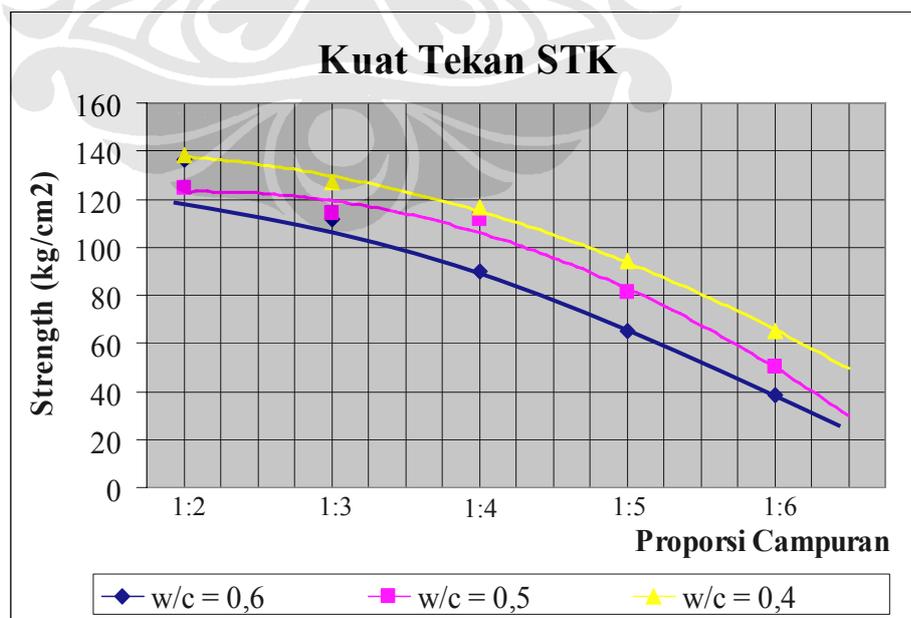
Hasil perhitungan *strength* dari spesimen STK secara keseluruhan dapat kita sajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.d. Data Perhitungan *Strength* Uji Tekan Spesimen STK

Proporsi	<i>Strength</i> (kg/cm ²)			<i>Strength</i> Rata-rata (kg/cm ²)		
	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4	w/c = 0,6	w/c = 0,5	w/c = 0,4
1 : 2	118,364	124,409	136,500	136,500	124,886	138,568
	154,636	125,364	140,636			
1 : 3	108,818	113,273	126,955	111,364	113,909	127,432
	113,909	114,545	127,909			
1 : 4	88,455	111,045	114,864	90,205	111,523	116,455
	91,955	112,000	118,045			
1 : 5	63,955	80,818	89,409	65,386	81,136	94,023
	66,818	81,455	98,636			
1 : 6	38,500	49,000	63,318	38,500	49,955	65,386
	38,500	50,909	67,455			

Secara umum, korelasi pola hubungan antara proporsi campuran STK, w/c rasio, dan nilai *strength* yang dihasilkan dapat kita lihat pada grafik sebagai berikut:

Gambar 4.5.1.b. Grafik Kuat Tekan Spesimen STK





Selanjutnya dilakukan pengujian modulus elastisitas terhadap material STK untuk mengetahui karakteristik nilai regangan/*strain* (ϵ), modulus elastisitas (E), dan nilai rasio Poisson (ν) dari material tersebut. Sampel yang diuji yakni STK proporsi 1:6, w/c rasio 0,6 berupa silinder ukuran diameter 15 cm, dan tinggi 30 cm, yang disesuaikan dengan spesifik alat uji modulus yang tersedia.

Gambar 4.5.1.c. Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK



Pencatatan dilakukan dengan pembacaan perubahan ukuran arah aksial dan lateral, akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan besar pembebanan yang diberikan yakni diambil setengah dari kapasitas beban *strength* dari material STK tersebut yang telah diuji sebelumnya. Metode pengambilan data dilakukan dengan tiga siklus nilai pembebanan dinaikkan dan diturunkan, sehingga perolehan data dari ketiga siklus tersebut dapat dicapai nilai yang representatif. Berikut pencatatan data pengujian modulus elastisitas dari STK umur 18 hari yang berhasil diperoleh:



Tabel 4.5.1.e. Data Perubahan Ukuran Arah Aksial
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 18 Hari

Beban (kg)	Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
250	0,5	0,8	0,6	0,6	0,9	0,9
500	0,8	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3
750	1,4	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0
1000	1,9	2,3	2,2	2,2	2,4	2,5
1250	2,5	2,7	2,5	2,6	2,8	2,9
1500	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Tabel 4.5.1.f. Data Perubahan Ukuran Arah Lateral
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 18 Hari

Beban (kg)	Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
250	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5
500	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5
750	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
1000	0,5	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
1250	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1500	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Perolehan pencatatan data tersebut dikoreksi dengan faktor kalibrasi dial, yakni untuk pembacaan data arah aksial nilai koreksinya sebesar 0,982 sedangkan untuk pembacaan data arah lateral nilai koreksinya sebesar 0,961. Perolehan pencatatan data setelah dikalikan dengan nilai koreksi masih dalam satuan 10^{-2} mm, berikut contoh perhitungan koreksi data yang diperoleh:

Data perubahan arah aksial pada siklus I naik, beban 250 kg:

$$\text{Perolehan data} = 0,5 \times 0,982 = 0,491$$

**BAB IV
PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA**



Data perubahan arah lateral pada siklus I naik, beban 250 kg:

Perolehan data = $0,2 \times 0,961 = 0,192$

Sehingga secara keseluruhan data yang diperoleh tersaji dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.g. Data Aktual Perubahan Ukuran Arah Aksial
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 18 Hari

Beban (kg)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)
0	0,000	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393
250	0,491	0,786	0,589	0,589	0,884	0,884
500	0,786	1,277	1,178	1,178	1,277	1,277
750	1,375	1,669	1,571	1,768	1,866	1,964
1000	1,866	2,259	2,160	2,160	2,357	2,455
1250	2,455	2,651	2,455	2,553	2,750	2,848
1500	3,142	3,142	3,142	3,142	3,241	3,241
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Tabel 4.5.1.h. Data Aktual Perubahan Ukuran Arah Lateral
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 18 Hari

Beban (kg)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)
0	0,000	0,192	0,192	0,288	0,288	0,288
250	0,192	0,288	0,288	0,288	0,481	0,481
500	0,288	0,384	0,288	0,384	0,481	0,481
750	0,481	0,577	0,481	0,577	0,577	0,577
1000	0,481	0,673	0,577	0,673	0,577	0,673
1250	0,673	0,769	0,769	0,769	0,769	0,769
1500	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	



Perhitungan nilai regangan/*strain* (ϵ) dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Strain } (\epsilon) = (\Delta L/L_0) \dots \dots \dots (\text{Pers. 4.5.1.c})$$

Dimana,

ΔL : Perubahan ukuran akibat pembebanan

L_0 : Ukuran awal sebelum pembebanan

Contoh perhitungan:

Arah aksial:

Pada pembebanan 1500 kg, siklus I naik:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan (stress)} &= 1500 / (0,25 * \pi * 15^2) \\ &= 8,485 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan (strain)} &= 3,142 / 30000 \\ &= 10,475 * 10^{-5} \end{aligned}$$

Arah lateral:

Pada pembebanan 1500 kg, siklus I naik:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan (stress)} &= 1500 / (0,25 * \pi * 15^2) \\ &= 8,485 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan (strain)} &= 0,865 / 15000 \\ &= 5,766 * 10^{-5} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil perhitungan nilai regangan/*strain*⁹ secara keseluruhan yang berhasil diperoleh:

Tabel 4.5.1.i. Hasil Perhitungan Nilai Regangan Arah Aksial
Spesimen STK Umur 18 Hari

Tegangan (kg/cm ²)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)
0,000	0,000	1,309	1,309	1,309	1,309	1,309
1,414	1,637	2,619	1,964	1,964	2,946	2,946
2,828	2,619	4,255	3,928	3,928	4,255	4,255
4,242	4,583	5,565	5,237	5,892	6,219	6,547
5,657	6,219	7,529	7,201	7,201	7,856	8,183
7,071	8,183	8,838	8,183	8,511	9,165	9,493
8,485	10,475	10,475	10,475	10,475	10,802	10,802
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

⁹ Nilai regangan positif artinya ukuran menyusut saat diberi pembebanan, sedangkan nilai regangan negatif artinya ukuran mengembang saat diberi pembebanan.

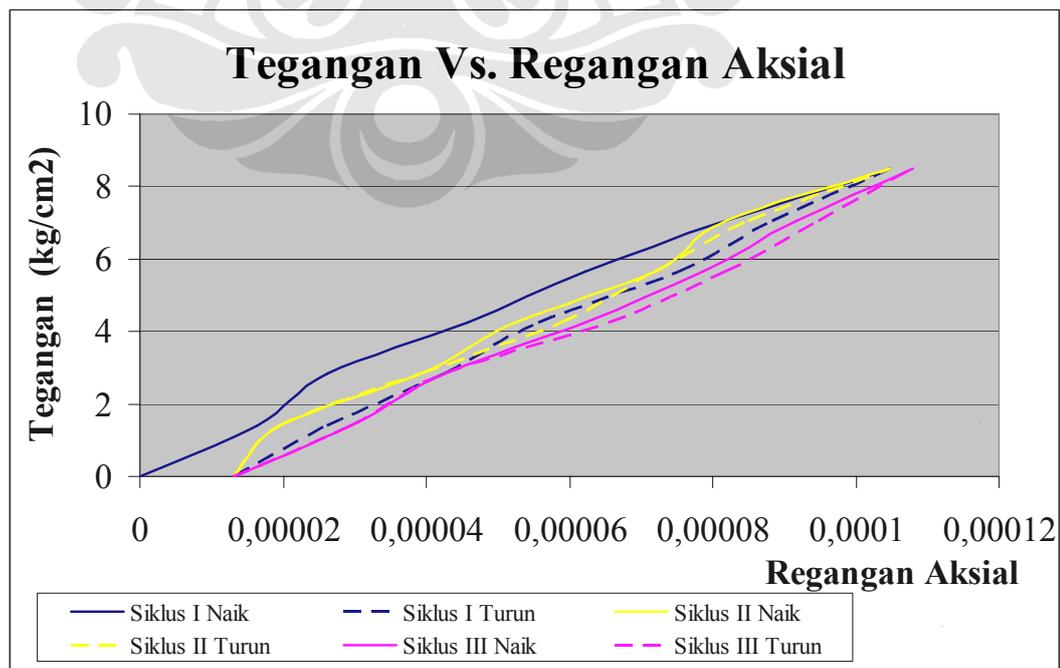


Tabel 4.5.1.j. Hasil Perhitungan Nilai Regangan Arah Lateral
Spesimen STK Umur 18 Hari

Tegangan (kg/cm ²)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)
0,000	0,000	-1,281	-1,281	-1,922	-1,922	-1,922
1,414	-1,281	-1,922	-1,922	-1,922	-3,203	-3,203
2,828	-1,922	-2,563	-1,922	-2,563	-3,203	-3,203
4,242	-3,203	-3,844	-3,203	-3,844	-3,844	-3,844
5,657	-3,203	-4,485	-3,844	-4,485	-3,844	-4,485
7,071	-4,485	-5,125	-5,125	-5,125	-5,125	-5,125
8,485	-5,766	-5,766	-5,766	-5,766	-5,766	-5,766
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

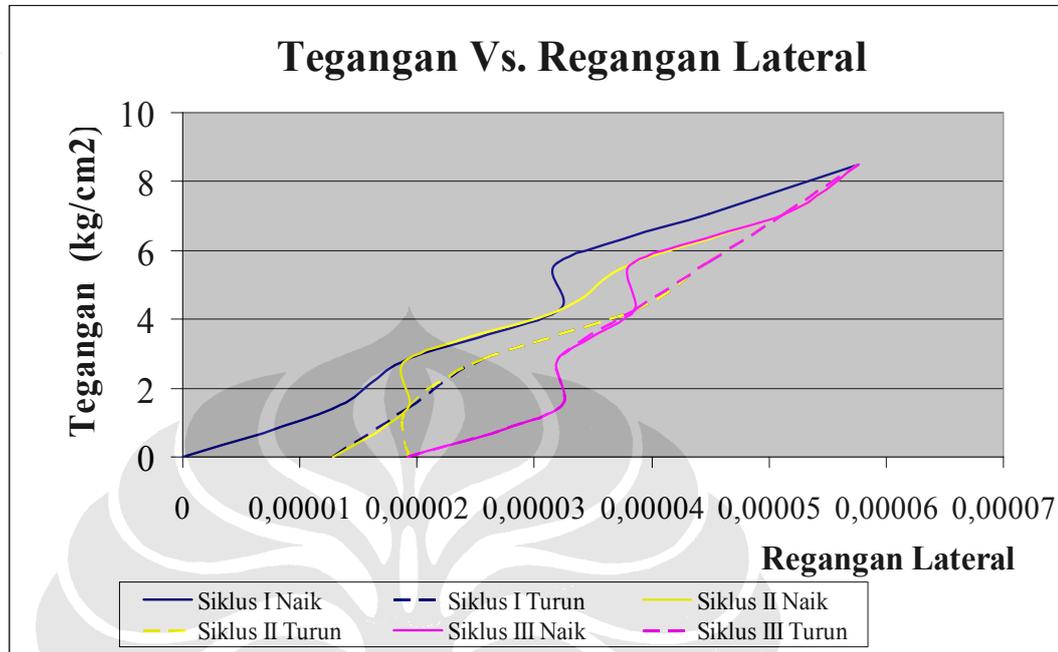
Hasil perhitungan nilai regangan tersebut dapat korelasikan kedalam bentuk grafik tegangan/*stress* – regangan/*strain* sebagai berikut:

Gambar 4.5.1.d. Grafik Tegangan Vs. Regangan Aksial
Spesimen STK Umur 18 Hari





Gambar 4.5.1.e. Grafik Tegangan Vs. Regangan Lateral
Spesimen STK Umur 18 Hari



Catatan: regangan lateral diambil nilai mutlak

Untuk perhitungan nilai modulus elastisitas (E) dilakukan berdasarkan formulasi sebagai berikut:

$$E = \sigma / \epsilon \dots\dots\dots(Pers. 4.5.1.d)$$

Dimana,

E : Modulus elastisitas

σ : Tegangan (*stress*)

ϵ : Regangan (*strain*)

Contoh perhitungan pada tegangan 8,485 kg/cm² :

Nilai modulus elastisitas aksial siklus I naik:

$$E = 8,485 / (10,475 \cdot 10^{-5}) = 81.003,518 \text{ kg/cm}^2$$

Secara keseluruhan, perhitungan nilai modulus elastisitas dalam satuan kg/cm² yang diperoleh tertera pada tabel sebagai berikut:



Tabel 4.5.1.k. Hasil Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Arah Aksial
Spesimen STK Umur 18 Hari

Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
#DIV/0!	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
86403,752	54002,345	72003,127	72003,127	48002,085	48002,085
108004,690	66464,425	72003,127	72003,127	66464,425	66464,425
92575,449	76238,605	81003,518	72003,127	68213,489	64802,814
90951,318	75133,698	78548,866	78548,866	72003,127	69123,002
86403,752	80003,474	86403,752	83080,531	77146,207	74485,993
81003,518	81003,518	81003,518	81003,518	78548,866	78548,866
Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Sehingga, nilai rata-rata modulus elastisitas yang diperoleh adalah sebesar 7.403,361 MPa. Sedangkan nilai rasio Poisson (ν) yang diperoleh dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut:

$$\text{Rasio Poisson } (\nu) = \frac{-\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{aksial}} \dots\dots\dots (\text{Pers. 4.5.1.e})$$

Perhitungan diambil pada pembebanan terbesar ketiga siklus yakni pada tegangan 8,485 kg/cm², contoh perhitungan siklus I naik dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Rasio Poisson } (\nu) = -(5,766 \cdot 10^{-5}) / 10,475 \cdot 10^{-5} = 0,550$$

Secara keseluruhan, nilai rasio Poisson yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.l. Hasil Perhitungan Nilai Rasio Poisson
Spesimen STK Umur 18 Hari

	Siklus I	Siklus II	Siklus III
Pembebanan Naik	0,550	0,550	0,534
Pembebanan Turun	0,550	0,550	0,534

Sehingga, rata-rata nilai rasio Poisson yang diperoleh adalah sebesar 0,545



Pencatatan data modulus elastisitas juga dilakukan pada sampel umur 28 hari untuk memantau perubahan nilai sebagai upaya pembandingan. Berikut pencatatan data pengujian modulus elastisitas dari STK umur 28 hari yang berhasil diperoleh:

Tabel 4.5.1.m. Data Perubahan Ukuran Arah Aksial
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 28 Hari

Beban (kg)	Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
0	0	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
250	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
500	0,9	0,9	1	1,1	1,2	1,3
750	1,8	1,9	1,9	2	2	2,2
1000	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
1250	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5
1500	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Tabel 4.5.1.n. Data Perubahan Ukuran Arah Lateral
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 28 Hari

Beban (kg)	Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
250	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
500	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
750	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
1000	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
1250	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
1500	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	



Perolehan pencatatan data tersebut dikoreksi dengan faktor kalibrasi dial, yakni untuk pembacaan data arah aksial nilai koreksinya sebesar 0,982 sedangkan untuk pembacaan data arah lateral nilai koreksinya sebesar 0,961. Perolehan pencatatan data setelah dikalikan dengan nilai koreksi masih dalam satuan 10^{-2} mm, berikut contoh perhitungan koreksi data yang diperoleh:

Data perubahan arah aksial pada siklus I naik, beban 250 kg:

Perolehan data = $0,5 \times 0,982 = 0,491$

Data perubahan arah lateral pada siklus I naik, beban 250 kg:

Perolehan data = $0,1 \times 0,961 = 0,0961$

Sehingga secara keseluruhan data yang diperoleh tersaji dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.o. Data Aktual Perubahan Ukuran Arah Aksial
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 28 Hari

Beban (kg)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)	Naik (10^{-2} mm)	Turun (10^{-2} mm)
0	0,000	0,393	0,393	0,491	0,491	0,491
250	0,491	0,589	0,589	0,687	0,687	0,786
500	0,884	0,884	0,982	1,080	1,178	1,277
750	1,768	1,866	1,866	1,964	1,964	2,160
1000	2,259	2,259	2,259	2,259	2,259	2,259
1250	2,357	2,357	2,357	2,357	2,357	2,455
1500	2,455	2,455	2,455	2,455	2,553	2,553
	Siklus I		Siklus II		Siklus III	



Tabel 4.5.1.p. Data Aktual Perubahan Ukuran Arah Lateral
Uji Modulus Elastisitas Spesimen STK Umur 28 Hari

Beban (kg)	Naik (10 ⁻² mm)	Turun (10 ⁻² mm)	Naik (10 ⁻² mm)	Turun (10 ⁻² mm)	Naik (10 ⁻² mm)	Turun (10 ⁻² mm)
0	0	0,0961	0,0961	0,0961	0,0961	0,1922
250	0,0961	0,0961	0,0961	0,0961	0,1922	0,1922
500	0,0961	0,0961	0,1922	0,1922	0,1922	0,2883
750	0,2883	0,2883	0,2883	0,2883	0,3844	0,3844
1000	0,3844	0,3844	0,3844	0,3844	0,4805	0,4805
1250	0,3844	0,3844	0,4805	0,4805	0,4805	0,4805
1500	0,5766	0,5766	0,5766	0,5766	0,5766	0,5766
Siklus I		Siklus II		Siklus III		

Perhitungan nilai regangan/*strain* (ϵ) dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Strain } (\epsilon) = (\Delta L / L_0) \dots \dots \dots (\text{Pers. 4.5.1.c})$$

Dimana,

ΔL : Perubahan ukuran akibat pembebanan

L_0 : Ukuran awal sebelum pembebanan

Contoh perhitungan:

Arah aksial:

Pada pembebanan 1500 kg, siklus I naik:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan (stress)} &= 1500 / (0,25 * \pi * 15^2) \\ &= 8,485 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan (strain)} &= 2,455 / 30000 \\ &= 8,183 * 10^{-5} \end{aligned}$$

Arah lateral:

Pada pembebanan 1500 kg, siklus I naik:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan (stress)} &= 1500 / (0,25 * \pi * 15^2) \\ &= 8,485 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan (strain)} &= 0,5766 / 15000 \\ &= 3,844 * 10^{-5} \end{aligned}$$



Berikut adalah hasil perhitungan nilai regangan/*strain*¹⁰ secara keseluruhan yang berhasil diperoleh:

Tabel 4.5.1.q. Hasil Perhitungan Nilai Regangan Arah Aksial
Spesimen STK Umur 28 Hari

Tegangan (kg/cm ²)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)
0,000	0,000	1,309	1,309	1,637	1,637	1,637
1,414	1,637	1,964	1,964	2,291	2,291	2,619
2,828	2,946	2,946	3,273	3,601	3,928	4,255
4,242	5,892	6,219	6,219	6,547	6,547	7,201
5,657	7,529	7,529	7,529	7,529	7,529	7,529
7,071	7,856	7,856	7,856	7,856	7,856	8,183
8,485	8,183	8,183	8,183	8,183	8,511	8,511
		Siklus I		Siklus II		Siklus III

Tabel 4.5.1.r. Hasil Perhitungan Nilai Regangan Arah Lateral
Spesimen STK Umur 28 Hari

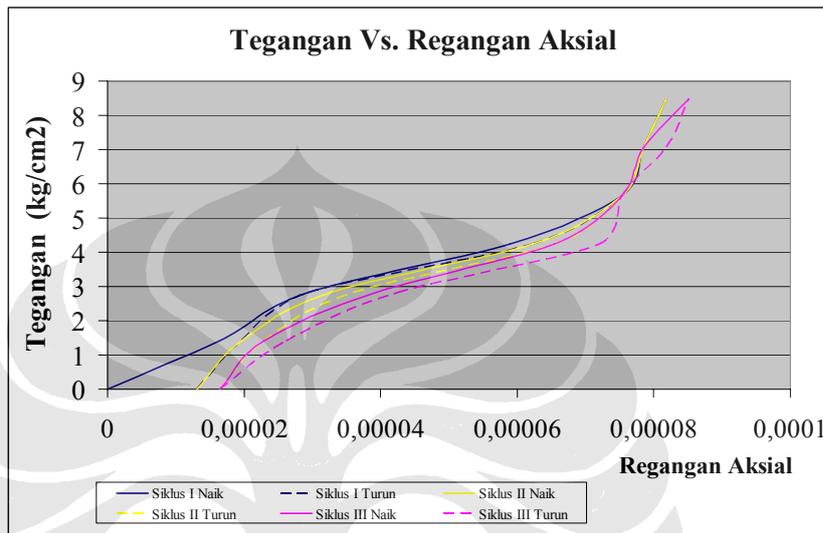
Tegangan (kg/cm ²)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)	Naik (10 ⁻⁵)	Turun (10 ⁻⁵)
0,000	0,000	-0,641	-0,641	-0,641	-0,641	-1,281
1,414	-0,641	-0,641	-0,641	-0,641	-1,281	-1,281
2,828	-0,641	-0,641	-1,281	-1,281	-1,281	-1,922
4,242	-1,922	-1,922	-1,922	-1,922	-2,563	-2,563
5,657	-2,563	-2,563	-2,563	-2,563	-3,203	-3,203
7,071	-2,563	-2,563	-3,203	-3,203	-3,203	-3,203
8,485	-3,844	-3,844	-3,844	-3,844	-3,844	-3,844
		Siklus I		Siklus II		Siklus III

¹⁰ Nilai regangan positif artinya ukuran menyusut saat diberi pembebanan, sedangkan nilai regangan negatif artinya ukuran mengembang saat diberi pembebanan.

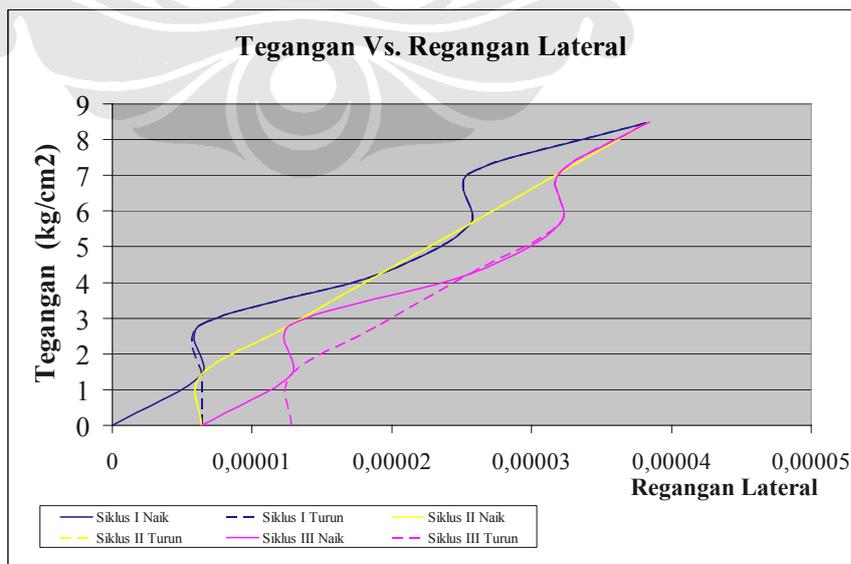


Hasil perhitungan nilai regangan tersebut dapat korelasikan kedalam bentuk grafik tegangan/*stress* – regangan/*strain* sebagai berikut:

Gambar 4.5.1.f. Grafik Tegangan Vs. Regangan Aksial
Spesimen STK Umur 28 Hari



Gambar 4.5.1.g. Grafik Tegangan Vs. Regangan Lateral
Spesimen STK Umur 28 Hari



Catatan: regangan lateral diambil nilai mutlak



Untuk perhitungan nilai modulus elastisitas (E) dilakukan berdasarkan formulasi sebagai berikut:

$$E = \sigma/\epsilon \dots\dots\dots(Pers. 4.5.1.d)$$

Dimana,

E : Modulus elastisitas

σ : Tegangan (*stress*)

ϵ : Regangan (*strain*)

Contoh perhitungan pada tegangan 8,485 kg/cm² :

Nilai modulus elastisitas aksial siklus I naik:

$$E = 8,485 / (8,183 \cdot 10^{-5}) = 103.684,503 \text{ kg/cm}^2$$

Secara keseluruhan, perhitungan nilai modulus elastisitas dalam satuan kg/cm² yang diperoleh tertera pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.s. Hasil Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Arah Aksial
Spesimen STK Umur 28 Hari

Naik	Turun	Naik	Turun	Naik	Turun
#DIV/0!	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
86403,752	72003,127	72003,127	61716,966	61716,966	54002,345
96004,169	96004,169	86403,752	78548,866	72003,127	66464,425
72003,127	68213,489	68213,489	64802,814	64802,814	58911,649
75133,698	75133,698	75133,698	75133,698	75133,698	75133,698
90003,909	90003,909	90003,909	90003,909	90003,909	86403,752
103684,503	103684,503	103684,503	103684,503	99696,637	99696,637
Siklus I		Siklus II		Siklus III	

Sehingga, nilai rata-rata modulus elastisitas yang diperoleh adalah sebesar 7.898,743 MPa. Sedangkan nilai rasio Poisson (ν) yang diperoleh dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut:



$$\text{Rasio Poisson } (\nu) = \frac{-\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{aksial}} \dots\dots\dots(\text{Pers. 4.5.1.e})$$

Perhitungan diambil pada pembebanan terbesar ketiga siklus yakni pada tegangan 8,485 kg/cm², contoh perhitungan siklus I naik dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Rasio Poisson } (\nu) = -(-3,844 \cdot 10^{-5}) / 8,183 \cdot 10^{-5} = 0,470$$

Secara keseluruhan, nilai rasio Poisson yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5.1.u. Hasil Perhitungan Nilai Rasio Poisson
Spesimen STK Umur 28 Hari

	Siklus I	Siklus II	Siklus III
Pembebanan Naik	0,470	0,470	0,452
Pembebanan Turun	0,470	0,470	0,452

Sehingga, rata-rata nilai rasio Poisson yang diperoleh adalah sebesar 0,464

4.5.2. Analisis Hasil Pengolahan Data Modifikasi Material STK

4.5.2.1. Kerapatan Jenis Sementasi Tempurung Kelapa (STK)

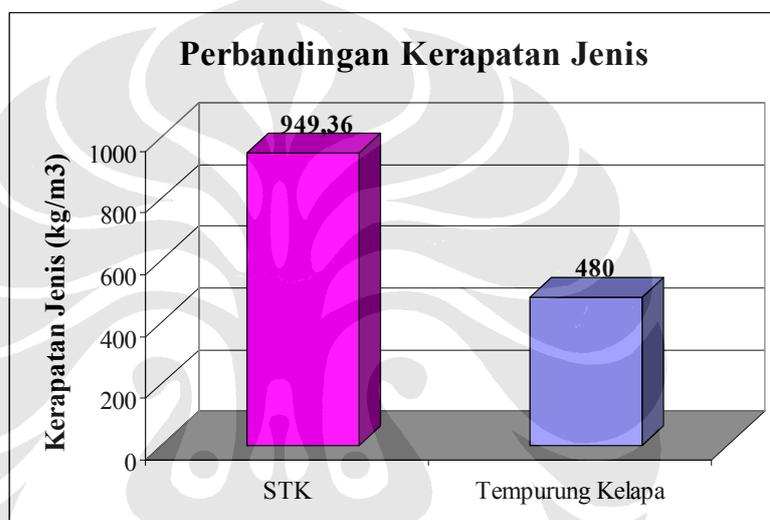
Dari pencatatan data dan hasil perhitungan pada spesimen STK dapat dilihat bahwa sebagian besar nilai kerapatan jenis STK diatas 1000 kg/m³. Padahal seperti yang telah dibahas pada bab I, salah satu tujuan penelitian ini yakni membuat material ringan yang parameternya adalah lebih ringan atau maksimum sama dengan kerapatan jenis air (1000 kg/m³). Pencapaian kerapatan jenis STK yang lebih ringan dari kerapatan jenis air baru tercapai pada proporsi 1:6 dengan w/c rasio 0,6 dan 0,5.

Dari grafik korelasi proporsi campuran STK, w/c rasio, dan massa jenis STK dapat dilihat *trendline* yang dihasilkan yakni semakin besar proporsi agregat maka kerapatan jenis yang dihasilkan semakin ringan. Begitu pula secara umum



semakin besar nilai w/c rasio yang digunakan, maka kerapatan jenis STK yang dihasilkan semakin ringan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan semen sebagai media pengikat mengakibatkan penambahan kerapatan jenis yang sangat signifikan. Sebagai contoh, pengamatan angka perbandingan kerapatan jenis spesimen STK (proporsi 1:6, w/c = 0,6) dengan kondisi awal sebelum dicampur dengan semen adalah sebagai berikut:

Gambar 4.5.2.1.a. Diagram Batang Perbandingan Kerapatan Jenis STK Vs. Tempurung Kelapa



Dengan hanya menambahkan semen sebanyak seperenam dari volume agregat dan air sebanyak 167 ml (perhitungan sebelumnya diatas), menghasilkan kenaikan kerapatan jenis hampir 98%.

Kenaikan kerapatan jenis STK yang sangat signifikan akibat penambahan semen boleh kita anggap suatu kewajaran. Karena kerapatan jenis semen sendiri hampir 6,5 kali lipat dari kerapatan jenis tempurung kelapa yakni 3150 kg/m³. Upaya mereduksi nilai kerapatan jenis STK dengan pengurangan jumlah semen sebenarnya juga pernah dilakukan dengan mencoba proporsi campuran 1:8 dan 1:10. Namun upaya tersebut gagal karena jumlah semen yang terlalu sedikit, sehingga pada saat pelepasan cetakan spesimen menjadi rusak/pecah dengan seketika sebelum pengujian lain dilakukan.



4.5.2.2. Kuat Tekan Sementasi Tempurung Kelapa (STK)

Dari hasil grafik perhitungan kuat tekan STK, dapat dikorelasikan antara nilai *strength* STK, w/c rasio, dan proporsi campuran, antara lain:

- ❖ Semakin besar nilai w/c rasio yang digunakan, maka nilai *strength* STK yang dihasilkan semakin kecil.
- ❖ Semakin besar proporsi agregat yang diberikan, maka nilai *strength* STK semakin kecil.

Hal ini sangat erat kaitannya dengan kadar semen yang diberikan sehingga berpengaruh pada nilai *strength* yang dihasilkan. Semakin besar nilai w/c rasio yang digunakan berarti jumlah semen lebih sedikit dari pada air sehingga daya ikat antar kepingan agregat cenderung melemah. Demikian pula semakin kecil nilai w/c rasio yang dipakai, maka jumlah semen lebih besar dari pada air sehingga daya ikat antar kepingan agregat menjadi kuat.

Selain itu, pemakaian proporsi campuran dengan nilai w/c rasio yang besar sangat berpotensi terjadinya *bleeding* pada sampel/spesimen yang dihasilkan. Hal ini karena pasta semen yang didapatkan lebih encer, sehingga kecenderungan pasta semen turun ke dasar cetakan pada saat pencetakan spesimen dibuat. Potensi terjadinya *bleeding* pada spesimen juga semakin besar jika proporsi agregat yang dipakai semakin besar.

Gambar 4.5.2.2.a. Perbandingan Spesimen Terjadinya *Bleeding*





Berdasarkan pengamatan masing-masing spesimen seperti pada gambar 4.3.2.2.a, terlihat bahwa spesimen proporsi 1:2, $w/c = 0,4$ bentuknya lebih rapat dan nilai *strength* yang dihasilkan lebih besar seperti yang tertera pada data-data sebelumnya. Sedangkan spesimen proporsi 1:6, $w/c = 0,5$ bentuknya berpori (*porous*) dan terjadi *bleeding* sehingga mengurangi nilai *strength* yang dihasilkan. Dengan demikian secara umum, bentuk spesimen yang berpori dan terjadinya *bleeding* turut memperkecil nilai *strength* yang dihasilkan.

Adapun upaya untuk mendapatkan nilai *strength* yang cukup representatif dapat dilakukan dengan meratakan bidang permukaan sampel. Sehingga luas bidang tekan dapat menjadi rata dan benar-benar mendekati spesifikasi luas yang diperhitungkan. Upaya tersebut dilakukan dengan memberikan mortar belerang diatas dan dibawah bidang tekan sampel atau lebih dikenal dengan istilah *capping*. Jika tidak dilakukan *capping*, kondisi permukaan yang masih berongga dan tidak rata dapat mengurangi luasan permukaan sampel. Padahal nilai *strength* juga dipengaruhi oleh luas bidang tekan. Semakin besar luas bidang tekan, maka kapasitas beban yang dapat ditahan oleh spesimen juga semakin besar yang berarti pula bahwa nilai *strength*-nya semakin besar mendekati kapasitas yang sesungguhnya.

Gambar 4.5.2.2.b. Pemberian Mortar Belerang (*Capping*)





4.5.2.3. Modulus Elastisitas Sementasi Tempurung Kelapa (STK)

Pada percobaan pengujian modulus elastisitas digunakan sampel STK proporsi semen-agregat 1:6, w/c rasio 0,6 ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hal tersebut disesuaikan dengan spesifik alat yang tersedia yakni dari ukuran tersebut, sehingga tidak lagi menggunakan ukuran silinder kecil diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan pemasangan dial vertikal untuk mengukur regangan aksial dan dial horisontal untuk mengukur regangan lateral seperti tertera pada gambar 4.5.1.c.

Secara umum, prosedur pengujian yang dilakukan sudah sesuai dengan ketentuan. Namun saat pencatatan/pembacaan data pada dial, angka yang diperoleh sangat kecil. Sehingga pencatatan data yang dilakukan hanya dengan pendekatan perkiraan sesuai dengan penunjukan jarum dial. Data angka yang sangat kecil tersebut memang sangat sulit dicatat untuk mendapatkan angka dengan ketepatan yang akurat karena pembacaan yang dilakukan secara manual. Untuk itu, membutuhkan ketelitian yang tinggi dan kecermatan yang baik. Hal inilah yang memungkinkan terjadinya selisih angka antara hasil perhitungan dengan nilai yang sebenarnya meskipun sangat kecil.

Mengenai hasil perhitungan data yang berhasil diperoleh, antara lain tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.5.2.3.a. Hasil Perhitungan Uji Modulus Elastisitas STK

Umur Sampel STK	Modulus Elastisitas (E)	Rasio Poisson (ν)
18 Hari	7.403,361 MPa	0,545
28 Hari	7.898,743 MPa	0,464

Dari nilai hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama umur sampel yang diuji, maka nilai modulus elastisitas yang diperoleh semakin besar. Sebaliknya, semakin lama umur sampel yang diuji, maka nilai rasio Poisson yang diperoleh semakin kecil. Hal tersebut dimungkinkan karena semakin lama umur sampel yang diuji tingkat kekerasan semakin baik, sehingga saat ditekan/diberi



beban pemampatan yang terjadi semakin kecil. Dengan kata lain, nilai regangan semakin kecil dan nilai modulus elastisitas semakin besar karena nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai modulus elastisitas seperti yang tertera pada formulasi persamaan 4.5.1.d. diatas. Sama halnya dengan pencapaian nilai rasio Poisson yang diperoleh, semakin keras kondisi sampel yang diuji maka regangan lateral yang terjadi semakin kecil sehingga memungkinkan pencapaian nilai rasio Poisson yang lebih kecil pada sampel STK yang berumur lebih lama. Dengan demikian, dapat ditinjau secara umum bahwa tingkat kekerasan sampel berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas yang diperoleh, dan berbanding terbalik dengan nilai rasio Poisson yang dihasilkan.

4.6. ANALISIS PERBANDINGAN DENGAN MATERIAL LAIN

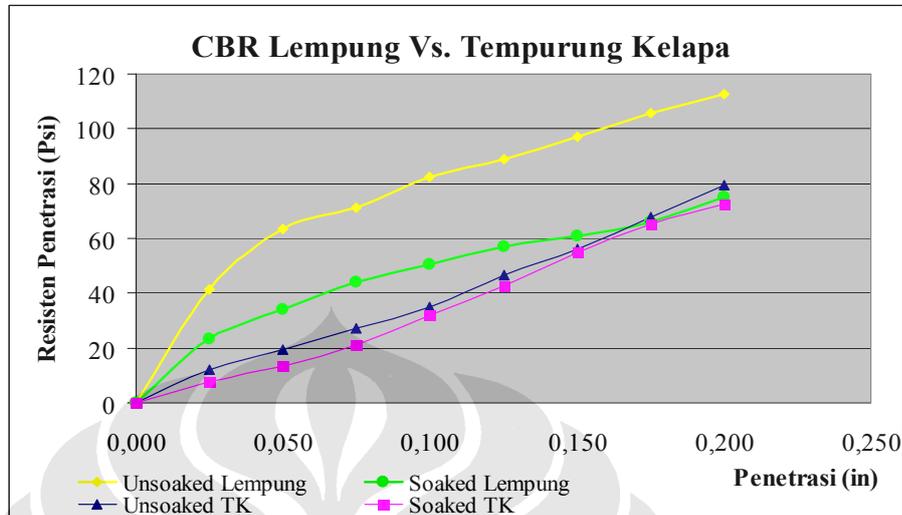
Analisis perbandingan yang dapat dilakukan yakni peninjauan *engineering properties* agregat tempurung kelapa (uji CBR) dan hasil nilai uji setelah dijadikan material STK. Uraian tersebut dapat dipaparkan sebagai parameter penilaian kelayakan STK untuk diaplikasikan sebagai material timbunan. Berikut adalah paparan perbandingan yang dapat ditelaah:

4.6.1. Perbandingan Hasil CBR Tempurung Kelapa dengan Lempung

Dari hasil perhitungan CBR tempurung kelapa, dapat dilakukan upaya perbandingan dengan nilai CBR lempung sebagai bahan kajian. Data CBR lempung diambil dari praktikum mata kuliah Mekanika Tanah tahun 2007 sebanyak tiga sampel (tiga kelompok praktikum). Sampel tanah lempung diambil dari wilayah kota Depok Jawa Barat, sekitar kampus Universitas Indonesia, kemudian dipadatkan dengan kadar air optimum sebesar 36 %. Berikut perbandingan hasil pengolahan data yang dapat ditelaah:



Grafik 4.6.1.a. Resisten Penetrasi Vs. Penetrasi
Data CBR Tempurung Kelapa dan Lempung



Tabel 4.6.1.a. Nilai CBR dan Swelling Lempung Vs. Tempurung Kelapa

Penetrasi	Nilai CBR			
	Tempurung Kelapa		Lempung	
	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked
0,1"	3,487 %	3,177 %	8,24 %	5,04 %
0,2"	5,295 %	4,83 %	7,51 %	4,99 %
<i>Swelling</i>	0,012 %		0,017 %	

Dari hasil pengolahan data CBR tempurung kelapa dan lempung, dapat dilihat bahwa grafik resisten penetrasi lempung berada diatas grafik resisten penetrasi tempurung kelapa. Demikian juga nilai CBR lempung lebih tinggi dari pada geomaterial tempurung kelapa. Hal ini bisa terjadi karena pemadatan lempung tercapai pada kondisi optimum sehingga nilai CBR yang diperoleh cukup tinggi dibanding dengan nilai CBR tempurung kelapa.



Berbeda dengan lempung, pemadatan tempurung kelapa sebagai material granular dilakukan pada kondisi kering oven dan menggunakan meja getar. Material granular tempurung kelapa mirip dengan sifat pasir, koral/*gravel*, dan material ukuran lebih besar lainnya yakni bersifat lepas (*loose*). Sehingga pada saat pemadatan sangat sulit untuk mencapai kondisi kepadatan optimum. Hasil pemadatan material granular tempurung kelapa didalam mold selalu saja terdapat pori-pori (*voids*) yang cukup besar. Kondisi inilah yang menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya nilai data yang diperoleh pada saat dilakukan penetrasi uji CBR.

Sedangkan tanah lempung, ukuran partikelnya sangat kecil ($< 0,002$ mm), nilai kohesinya tinggi, sehingga memudahkan untuk dipadatkan dalam perhitungan kadar air tertentu untuk mencapai kepadatan optimum. Ukuran partikel yang kecil dan nilai kohesi yang tinggi dari lempung tersebut memungkinkan *void* yang dihasilkan sangat kecil pada hasil pemadatan. Kondisi inilah yang menjadi salah satu faktor penyebab tingginya nilai CBR lempung dibanding dengan tempurung kelapa.

Nilai CBR dari material granular tempurung kelapa yang hanya berkisar maksimum 5,295 %, termasuk kategori buruk jika digunakan sebagai *subgrade* menurut standar ASTM D1883 – 87 (kategori terlampir). Untuk itu, dibuat modifikasi material sementasi yakni material “Sementasi Tempurung Kelapa” (STK) dengan penambahan semen sebagai agen pengikat antar partikel material granular tempurung kelapa tersebut. Sehingga, pada pengaplikasian di lapangan material STK menjadi stabil, kuat dan memiliki nilai CBR yang memadai yang akan dibahas pada bagian berikutnya.

Mengenai nilai *swelling*, material granular tempurung kelapa lebih stabil terhadap air jika dibandingkan dengan lempung. Kondisi tersebut dapat kita lihat pada grafik resisten penetrasi dimana *trendline* dari grafik material granular tempurung kelapa pada kondisi *unsoaked* hampir berimpitan dengan kondisi *soaked*. Demikian pula dari hasil perhitungan *swelling*, nilai *swelling* material granular tempurung kelapa (0,012 %) lebih kecil dari nilai *swelling* lempung (0,017 %). Sedangkan pada lempung, *trendline* dari grafik resisten penetrasi pada kondisi *unsoaked* memiliki selisih nilai yang cukup besar dengan kondisi *soaked*.



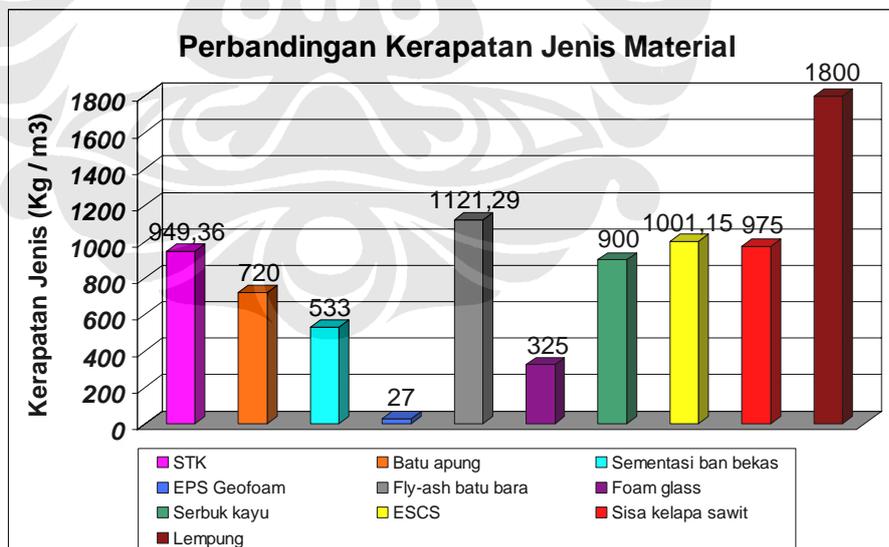
Dengan kata lain, lempung memiliki sifat yang relatif lebih ekspansif dibanding dengan material granular tempurung kelapa.

4.6.2. Perbandingan STK dengan Material Timbunan Lain

4.6.2.1. Perbandingan Kerapatan Jenis STK dengan Material Timbunan Lain

Dari serangkaian penjelasan analisis perhitungan diatas, jika dilakukan perbandingan antara nilai kerapatan jenis STK terhadap material timbunan lainnya seperti yang telah dibahas pada bab II, boleh dinilai bahwa STK sebenarnya tidak terlalu buruk untuk dikatakan sebagai material ringan. Hal ini dapat diambil contoh spesimen STK proporsi 1:6, w/c = 0,6 untuk dibandingkan dengan rata-rata kerapatan jenis material timbunan lainnya. Perbandingan nilai kerapatan jenis STK dengan material lain dapat dilihat pada diagram sebagai berikut:

Gambar 4.6.2.1.a. Diagram Batang Perbandingan Kerapatan Jenis Material Timbunan



Dari diagram tersebut dapat dilihat bahwa nilai kerapatan jenis STK tidak terlalu jauh berbeda dengan material serbuk kayu dan sisa kelapa sawit yang sama-sama berasal dari material organik. Dengan kata lain, hasil yang didapatkan cukup wajar sebagai material ringan dari bahan organik.



Nilai kerapatan jenis STK yang diperoleh tersebut masih kalah (lebih berat) jika dibandingkan dengan material batu apung, sementasi ban bekas, EPS *Geofoam*, dan *Foam glass*. Dari diagram tersebut terlihat bahwa material EPS *Geofoam* menempakan diri sebagai material ringan yang memiliki kerapatan jenis jauh lebih kecil dibandingkan dengan material-material lainnya. Dalam hal ini STK belum mampu untuk mengungguli material tersebut dari peninjauan kerapatan jenis. Namun demikian, jika dibandingkan dengan lempung, kerapatan jenis STK hampir menempati setengah dari nilai kerapatan jenis lempung. Hal ini sudah cukup untuk dikatakan bahwa STK telah berhasil dikategorikan sebagai material ringan timbunan.

4.6.2.2. Perbandingan *Strength* STK dengan Material Timbunan Lain

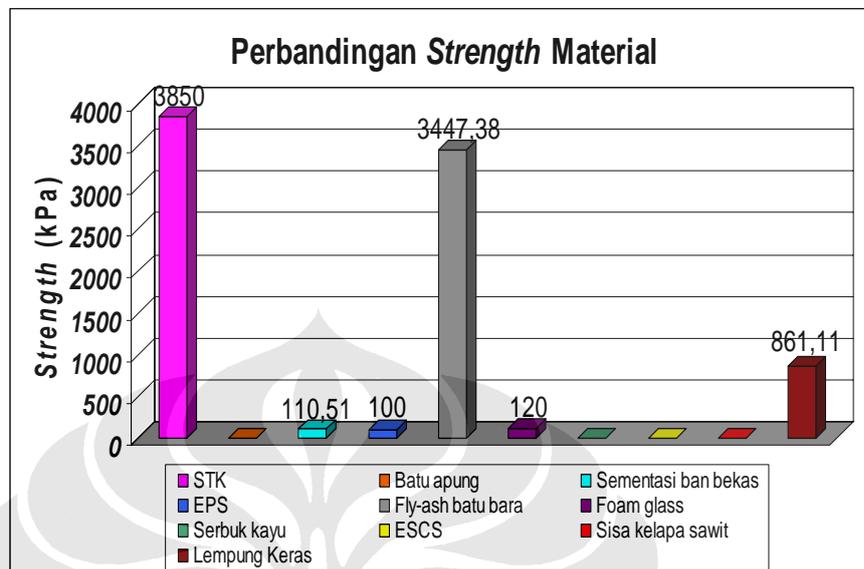
Mengenai hasil perhitungan nilai *strength* STK yang telah diperoleh, dapat dilakukan perbandingan nilai *strength* STK dengan material ringan lainnya sebagai parameter kelayakan material timbunan dari segi kekuatan dalam menahan beban luar. Nilai *strength* STK yang telah diperoleh tersebut dapat dikatakan sangat tinggi jika dibandingkan dengan material-material ringan lainnya. Adapun perbandingan nilai *strength* STK terhadap material-material ringan lainnya dapat dilihat pada tabel dan diagram sebagai berikut:

Tabel 4.6.2.2.a. Perbandingan Nilai *Strength* Material Ringan

Material	<i>Strength</i> (kPa)
STK	3850
Batu apung	-
Sementasi ban bekas	110,51
EPS	100
<i>Fly-ash</i> batu bara	3447,38
Foam glass	120
Serbuk kayu	-
ESCS	-
Sisa kelapa sawit	-
Lempung Keras	861,11



Gambar 4.6.2.2.a. Diagram Batang Perbandingan
Strength STK Terhadap Material Ringan Lainnya



Tingginya nilai *strength* STK seperti yang terlihat pada diagram diatas menunjukkan bahwa kapasitas *strength* STK sudah layak bila digunakan sebagai material timbunan. Karena nilai *sterngh* STK tersebut sudah melampaui nilai *Unconfined Compressive Strength* (UCS) lempung keras sebesar 8 ton/ft² (Terzaghi dan Peck, 1953) atau setara dengan 861,11 kPa.

Kendati demikian, tingginya nilai *sterngh* STK yang didapatkan juga masih cukup rasional bila dibandingkan dengan nilai *strength* material ringan lainnya. Sebagai contoh, nilai *strength* pada material *Fly-ash* batu bara yang hampir sama dengan nilai *strength* STK. Adapun nilai *strength* material sementasi ban bekas misalnya, nilai *strength*-nya yang hanya sebesar 110,51 kPa jauh dibawah nilai *strength* STK. Hal tersebut karena pengujian tekan pada material sementasi ban bekas dilakukan 7 hari setelah *curing*. Sedangkan pada material STK dilakukan pengujian tekan 28 hari setelah proses *curing*, sehingga cukup masuk akal apabila nilai *stength* STK yang diperoleh jauh lebih tinggi dari pada material sementasi ban bekas. Sedangkan untuk material lainnya yang tidak menggunakan semen seperti *Foam glass*, *EPS Geofom*, dan material lain pada pengaplikasiannya, nilai *strength*-nya cukup rendah. Hal ini sama kasusnya dengan material granular

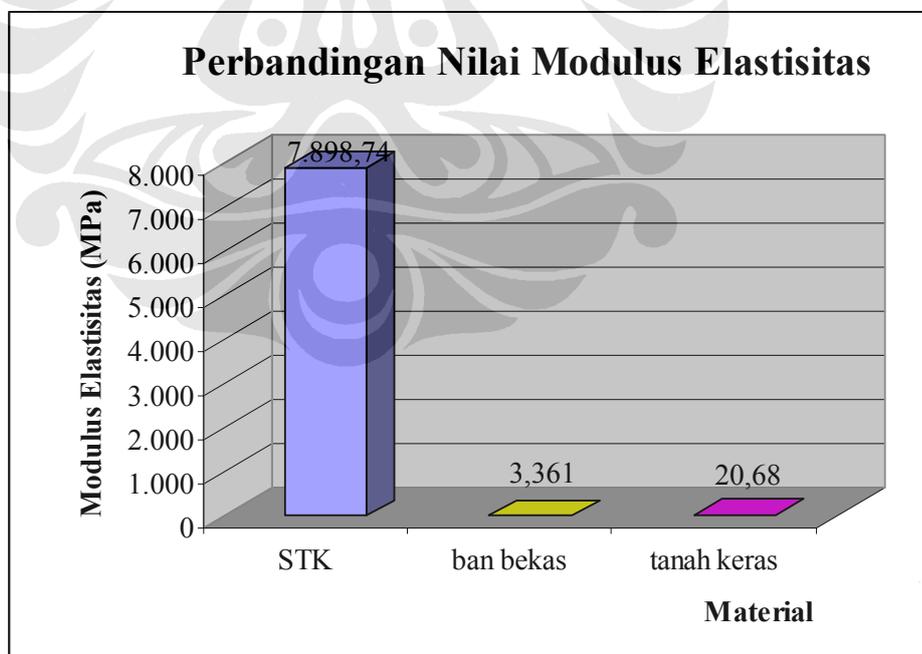


tempurung kelapa sebelum dijadikan STK. Dari pengujian CBR kondisi kering oven yang telah dilakukan, material granular hanya memiliki maksimum nilai resisten penetrasi sebesar 547,65 kPa. Dengan demikian, nilai hasil uji tekan STK yang telah diperoleh cukup relevan dan memiliki kapasitas nilai *strength* yang layak sebagai material ringan yang akan diaplikasikan untuk timbunan.

4.6.2.3. Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas STK dengan Material Lain

Dari hasil perhitungan uji modulus elastisitas material STK tersebut diatas, pencapaian nilai modulus elastisitas (E) pada sampel umur 28 hari sebesar MPa 7.898,743 MPa boleh dikatakan sudah cukup memadai. Nilai tersebut telah melampaui nilai modulus elastisitas dari material ban bekas yang hanya sebesar 3.361,62 kPa dan pematatan tanah keras bercampur butiran kasar yang hanya sebesar 3.000 Psi atau setara dengan 20,68 Mpa (terlampir).

Gambar 4.6.2.3.a. Diagram Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas





Tingginya nilai modulus elastisitas dari STK yang diperoleh dimungkinkan karena pengaruh semen sebagai agen pengikat antar keping material tempurung kelapa tersebut. Pencapaian nilai modulus elastisitas yang cukup besar tersebut tak lepas dari peran semen yang menyumbangkan nilai kekerasan yang terbentuk pada sampel yang diuji.

Nilai modulus elastisitas STK tersebut cukup masuk akal apabila dikoreksi dengan nilai modulus elastisitas beton mutu K200 yang mencapai kurang lebih 19.183,83 MPa. Atau dengan kata lain, nilai modulus elastisitas material STK lebih rendah dari nilai modulus elastisitas beton K200. Hal ini wajar adanya karena material STK menggunakan agregat organik, sedangkan beton biasa menggunakan agregat batu split yang lebih keras dan kompak. Sehingga, data-data yang diperoleh selama pengujian modulus elastisitas boleh dikatakan mendekati nilai representatif sampel yang diuji. Dengan demikian, secara umum hasil nilai uji modulus elastisitas dari material STK yang diperoleh cukup relevan dan cukup layak untuk digunakan sebagai material timbunan.