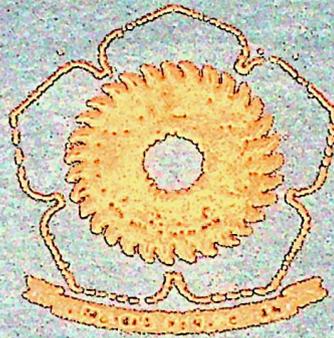


**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK ABANG CANGKANG SAWIT
SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI PARTIAL SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON
TANPA PERAWATAN**



LAPORAN TUGAS AKHIR

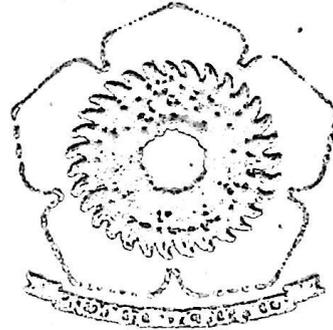
**Diklat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

**Oleh:
ROSI DESNIARTI
030231110026**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2007**

S
693.507
Des
P
2007

**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK ARANG CANGKAM
SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI PARTIAL SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON
TANPA PERAWATAN**



R. 1992
1. 1994

LAPORAN TUGAS AKHIR

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
ROSI DESNIARTI
03033110026

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2007**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

TANDA PESETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**NAMA : ROSI DESNIARTI
NIM : 03033116026
JURUSAN : TEKNIK SIPIL
JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK
ARANG CANGKANG SAWIT
SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI
PARTIAL SEMEN TERHADAP KUAT
TEKAN BETON
TANPA PERAWATAN.**

Indralaya, September 2007

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



**Dr. Ir. Gunawan Tanzil M.Eng
NIP : 131 674 994**

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TANDA PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA : ROSI DESNIARTI
NIM : 05033110026
JURUSAN : : TEKNIK SIPIL
JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK
ARANG CANGKANG SAWIT
SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI
PARTIAL SEMEN TERHADAP KUAT
TEKAN BETON
TANPA PERAWATAN.

Inderalaya, September 2007



Ketua Jurusan,

Ir. H. Imron Fikri Astira, MS
NIP 131 472 645

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

Uluu lebih baik dari pada harta, karena uluu akan menjaga kamu. Dan uluu
semakin bertambah bila dimanfaatkan, sedangkan harta semakin yang
menyusut dan akan habis bila dimanfaatkan.

(Abi bin Abi Thalh, ra)

Seunggulnya sesudah kesehatan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu
telah selamat dari kesukuan manusia, keteguhanlah dengan unguh-sungguh urusan
yang lalu.....

(Q. Alan Narak : 5 - 7)

Jika orang kepongahan pada kegelitiran, maka hilanglah kesanggihan. Tetapi,
jika orang sudah mulai kepongahan pada kesanggihan, maka hilanglah kegelitiran.

(St Francis Bacon)

Karya sederhana ini dipersembahkan khusus untuk :

- ❖ Alana & Japa beserta serta saudara-saudara
ku semuanya (k'aly, Rabi, Rafi, Riki)
- ❖ Seseorang yang akan menjadi pendamping
hidup ku & berteman ku selama ini
- ❖ Kakak & Nenek yang terkasih
- ❖ Juman karib ku (adang, dori, sal, sapti, novi,
minta, rima, harta, didi, hucu, ofra, cip, oof &
Jha nira genk) yang selalu membawa kebahagiaan
- ❖ Almamater yang menjadi kebahagiaan ku

PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK ARANG CANGKANG SAWIT SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI PARTIAL SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON TANPA PERAWATAN

ABSTRAKSI

Beton adalah campuran antara semen *Portland*, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Untuk memperoleh kualitas beton yang baik, maka dapat ditempuh dengan menggunakan bahan tambahan dan juga dapat menggunakan bahan substitusi sebagai bahan pengganti bahan yang ada dengan komposisi tertentu.

Industri Minyak sawit menghasilkan sejumlah besar limbah padat. Limbah cangkang sawit digunakan secara ekstensif sebagai bahan bakar untuk produksi uap air dalam kilang minyak sawit. Setelah pembakaran, sejumlah besar arang yang dihasilkan menciptakan permasalahan. Padahal di dalam arang cangkang sawit ini mengandung unsur SiO_2 dengan kadar yang cukup tinggi, yang sangat diperlukan untuk reaksi kimia antara arang cangkang sawit dengan semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Oleh karena itu, penelitian beton ini bertujuan ke arah menyediakan suatu penggunaan baru untuk Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) sebagai bahan campuran yang baru dengan harga murah, material yang cukup *pozzolanic*, yang bisa menjadi berguna di dalam *pozzolan* semen.

Dalam penelitian ini, bahan substitusi partial semen yang digunakan adalah serbuk arang cangkang sawit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serbuk arang cangkang sawit pada beton dan besarnya kuat tekan beton yang dihasilkan. Serbuk arang cangkang sawit yang ditambahkan ke dalam campuran beton yaitu dengan mengurangi berat semen yang digunakan berdasarkan hasil *mix design*. Variasi penambahan serbuk arang cangkang sawit yaitu 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dengan faktor air semen 0,5. Benda uji yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan jumlah sampel sebanyak 72 kubus beton dengan perincian 3 kubus untuk masing-masing umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kuat tekan beton normal pada umur 28 hari yaitu 35,04 MPa. Sedangkan untuk beton dengan campuran 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% serbuk arang cangkang sawit pada umur 28 hari, nilai kuat tekannya berturut-turut adalah 35,56 MPa; 35,19 MPa; 31,63 MPa; 28,00 MPa; 22,37 MPa.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penambahan serbuk arang cangkang sawit sebagai material substitusi partial semen dapat meningkatkan kuat tekan beton pada persentase 2,5% dan 5% serbuk arang cangkang sawit. Namun pada penambahan 7,5%, 10%, dan 12,5% SACS, mengalami penurunan kuat tekan beton. Pada umur 21 hari beton 2,5% SACS, kuat tekannya meningkat sebesar 2,76% dari beton normal umur 21 hari. Sedangkan pada penambahan 5% SACS, kuat tekannya meningkat sebesar 1,85%. Untuk umur 28 hari beton 2,5% SACS mengalami peningkatan sebesar 1,48% dan untuk 5% SACS mengalami peningkatan sebesar 0,43%.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Maksud dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mengikuti sidang sarjana teknik pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Selama menyusun laporan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak pengalaman dan pengetahuan yang berharga. Laporan ini disusun sebagai kelanjutan dari pelaksanaan penelitian di laboratorium struktur dan bahan jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya, berdasarkan arahan dan bimbingan dari dosen pembimbing. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan variasi persentase campuran abu cangkang sawit.

Dalam penyajian yang sederhana ini, penulis menyadari mungkin masih banyak kekurangan dalam laporan ini. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar penulis dapat memperbaiki kesalahan di masa yang akan datang.

Selama penulisan tugas akhir ini, penulis banyak menerima saran, penjelasan dan informasi yang sangat berguna dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada :

1. Bapak Dr. Ir. H. Hasan Basri, selaku Dekan Fakultas Teknik.
2. Kedua Orang tua ku, atas doa, nasehat dan dukungan yang setiap saat selalu mengiringi.
3. Bapak Ir. H. Imron Fikri Astira, MS selaku Ketua jurusan Teknik Sipil.
4. Ibu Ir. Hj. Reini Silvia Ilmiaty, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Dr. Ir. Gunawan Tanzil, M. Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
6. Kak Rudi selaku asisten Lab. Beton yang telah banyak membantu kami dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium maupun dalam penulisan laporan ini.
7. Kak Davit, yuk Tini, dan pak Lukman atas Bantuan dan informasi yang telah diberikan selama ini.

8. My Dear Emond Winarto yang selalu menemani dalam setiap perjuangan TA ku.
9. Teman-teman sebagai rekan kerja ku di laboratorium (Herta, Efran, Nike, dan kak Juna) yang telah banyak memberikan bantuan tenaga, pikiran, dan dorongan dalam menyelesaikan laporan ini.
10. Teman-teman satu kos ku (Ades, Sai, Dwi), yang terus menerus selalu memberikan semangat.
11. Seluruh teman-teman angkatan 2003 dan angkatan 2002 Teknik Sipil yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan bantuan.
12. Tante, Oom, Ani, dan dek davit, yang telah banyak membantuku selama ini.
13. Seluruh Teman-teman ku yang ada di Jurusan Teknik Tambang (Ayak, Novi, Thomas, Ricco Soccer, Ricco Thai, Ijul, Hendra, Melan, Dayat) yang secara tidak langsung memberikan semangat.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Demikianlah laporan ini penulis buat, penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi setiap pembacanya dan dapat dipergunakan sebaik mungkin bagi yang membutuhkannya.

Indralaya, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	UPT PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SRIWIJAYA <hr/> No. DAFTAR: 071261 <hr/> TANGGAL : 06 Mei 2007	i
Halaman Persetujuan		ii
Halaman Pengesahan		iii
Halaman Persembahan		iv
Abstraksi		v
Kata Pengantar		vi
Daftar Isi		viii
Daftar Tabel		xi
Daftar Gambar		xii
Daftar Lampiran		xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5. Sistematika Penulisan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Beton	4
2.2. Material Pembentuk Beton	5
2.2.1. Semen	5
2.2.2. Agregat Halus	9
2.2.3. Agregat Kasar	12
2.2.4. Air	13
2.2.5. Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS)	14
2.2.5.1. Serbuk Arang Cangkang Sawit Sebagai Material Beton	14
2.2.5.2. Pengaruh Dari Penambahan SACS	15
2.2.5.3. Unsur Yang Terkandung Dalam SACS	16

2.2.5.4. <i>Bulk Density</i> SACS	17
2.2.5.5. Kekuatan Tekan Beton Dengan Penambahan SACS	18
2.2.5.6. Mikrostruktur Beton	20
2.2.5.7. Keuntungan SACS Sebagai Pengganti Semen	20
2.3. Rasio Air Semen	21
2.4. Prilaku Beton Segar	22
2.4.1. Keleccakan (<i>workability</i>)	22
2.4.2. Segresi	22
2.4.3. <i>Bleeding</i>	23
2.5. Pengecoran Beton	24
2.6. Pemasadatan Beton	24
2.7. Perawatan Beton	25
2.8. Pengujian Kuat Tekan Beton	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Langkah-langkah Penelitian	27
3.2. Metode Rancangan Campuran Beton	28
3.3. Persiapan Material	28
3.4. Pengujian Material	29
3.4.1. Agregat Halus	29
3.4.2. Agregat Kasar	35
3.4.3. Serbuk Arang Cangkang Sawit	39
3.5. Desain Campuran Beton	40
3.6. Pengujian <i>Slump</i>	40
3.7. Pembuatan Benda Uji	40
3.7.1. Pengadukan Beton	40
3.7.2. Pencetakan Beton	41
3.8. Pengujian Benda Uji	41

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material	43
-------------------------------------	----

4.2. Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	43
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	45
4.4. Hubungan Kuat Tekan dan Umur Beton	46
4.5. Hubungan % Penurunan Berat Beton dan % Peningkatan & Penurunan Kuat Tekan Terhadap Beton Normal	52
4.6. Pengaruh Serbuk Arang Cangkang Sawit	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	60
-----------------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	6
2.1. Komposisi Utama Semen Portland	6
2.2. Karakteristik hidrasi semen	6
2.3. Komposisi Kimia Semen Baturaja	8
2.4. Kandungan kimia semen Portland tipe I	9
2.5. Syarat mutu agregat SII 0052 – 80	9
2.6. Gradasi agregat halus menurut ASTM dan BS	11
2.7. Pemeriksaan dan persyaratan air	14
2.8. Hasil dari analisis kimia dari SACS dan OPC	17
2.9. Toleransi waktu pengujian kuat tekan	26
3.1. Persentase kandungan Kimia SACS Dengan Pembakaran	40
4.1. Hasil Pengujian Agregat	43
4.2. Perencanaan Campuran Beton dengan w/c = 0,5	44
4.3. Perhitungan campuran beton dengan w/c 0,5 untuk satu kubus (15 x 15 x 15) cm ³ [+15%]	45
4.4. Campuran SACS Untuk Satu Kubus Beton w/c = 0,5	45
4.5. Nilai Kuat Tekan Rata-Rata (fc') Benda Uji Kubus Untuk Variasi Umur dan Persentase SACS Cangkang Sawit (Mpa)	46
4.6. Rekapitulasi Analisa Regresi Kuat Tekan Beton.....	46
4.7. Persentase Kenaikan dan Penurunan Kuat Tekan Beton SACS Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Dengan Faktor Air Semen 0,5	51
4.8. Penurunan Berat Beton SACS Terhadap Berat Beton Normal Dengan Faktor Air Semen 0,5	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar.....	18
2.1. Pengaruh dari penambahan SACS pada <i>bulk density</i>	18
2.2. Pengaruh dari penambahan SACS pada kuat tekan beton	19
2.3. Pengaruh dari penambahan SACS pada index aktivitas kekuatan beton pada umur perawatan yang berbeda	19
2.4. SEM Micrograph dari beton pada umur 28 hari dengan perbesaran 8000, a) beton normal, b) beton yang berisi 15% SACS, c) beton yang berisi 25% SACS	21
3.1. Bagan alir penelitian	27
4.1. Kurva regresi kuat tekan beton normal dengan $w/c = 0,5$	47
4.2. Kurva regresi kuat tekan beton SACS 2,5% dengan $w/c = 0,5$	47
4.3. Kurva regresi kuat tekan beton SACS 5% dengan $w/c = 0,5$	48
4.4. Kurva regresi kuat tekan beton SACS 7,5% dengan $w/c = 0,5$	48
4.5. Kurva regresi kuat tekan beton SACS 10% dengan $w/c = 0,5$	49
4.6. Kurva regresi kuat tekan beton SACS 12,5% dengan $w/c = 0,5$	49
4.7. Kurva hubungan kuat tekan rata-rata, umur beton normal dan beton dengan campuran SACS ($w/c = 0,5$)	50
4.8. Kurva hubungan % peningkatan & penurunan kuat tekan beton dan % penurunan berat terhadap beton normal.....	52
4.9. Kurva hubungan % peningkatan & penurunan kuat tekan beton dan % penurunan berat terhadap beton normal.....	53
4.10. Kurva hubungan berat beton dan kuat tekan beton normal, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% SACS pada umur 7 hari	54
4.11. Kurva hubungan berat beton dan kuat tekan beton normal, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% SACS pada umur 14 hari	54
4.12. Kurva hubungan berat beton dan kuat tekan beton normal, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% SACS pada umur 21 hari	55
4.13. Kurva hubungan berat beton dan kuat tekan beton normal, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% SACS pada umur 28 hari	55
4.14. Kurva hubungan berat beton dan kuat tekan beton normal, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% SACS pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari	56
4.15. Diagram hubungan kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan berbagai persentase SACS ($w/c = 0,5$)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Lampiran 2 : Tahapan *Mix Design* Dengan Metode ACI

Lampiran 3 : Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Lampiran 4 : Foto-Foto Dokumentasi

Lampiran 5 : Surat-Surat Pelaksanaan Penelitian

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah campuran antara semen *Portland*, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton merupakan bahan yang sering digunakan pada konstruksi sipil, karena penggunaan material beton memiliki kelebihan tertentu yaitu mempunyai kuat tekan yang tinggi, beton dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan, dapat digunakan untuk elemen struktur yang ramping dan bentang yang besar tanpa menimbulkan keretakan dan lendutan yang signifikan, tidak membutuhkan pemeliharaan yang cukup berarti dan relatif tahan terhadap api dan cuaca.

Untuk mendapatkan beton mutu tinggi maka diperlukan perencanaan berupa desain campuran beton (*mix design*). Campuran harus direncanakan dengan komposisi yang tepat sehingga mudah dikerjakan pada saat basah dan dapat memenuhi mutu beton yang telah direncanakan sebelumnya. Mutu beton sangat dipengaruhi oleh mutu dan komposisi campuran, perawatan (*curing*), kadar air, bahan tambahan, dan bahan pengganti bahan yang ada dengan komposisi tertentu.

Dalam penelitian ini akan digunakan bahan substitusi semen berupa serbuk arang cangkang sawit. Penggunaan serbuk arang cangkang sawit dimaksudkan untuk mengurangi panas hidrasi yang tinggi pada proses pembentukan beton dan untuk menambah kekuatan beton karena kadar silika yang terkandung dalam serbuk arang cangkang sawit cukup tinggi.

Pemilihan serbuk arang cangkang sawit sebagai bahan substitusi semen dalam memproduksi beton tidak hanya memecahkan masalah dari pembuangan limbah tetapi juga membantu menjaga sumber daya alam. Selain itu, pemilihan serbuk arang cangkang sawit juga dikarenakan harga semen yang semakin mahal dan ketersediaan bahan pembuat semen yang terbatas. Sedangkan limbah cangkang sawit kurang dimanfaatkan sehingga harga dapat diperoleh lebih murah.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah mengetahui perbandingan kuat tekan beton normal dengan beton yang dicampur dengan serbuk arang cangkang sawit dengan persentase 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dengan menggunakan faktor air semen yaitu 0,5 pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari tanpa perawatan. Selain itu, permasalahan yang akan dibahas adalah mengetahui perbandingan berat beton normal dengan berat beton serbuk arang cangkang sawit.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton normal yang dihasilkan dari penelitian yang telah dilakukan.
2. Untuk mencari pengaruh serbuk arang cangkang sawit sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton
3. Untuk membandingkan antara kuat tekan beton yang menggunakan serbuk arang cangkang sawit sebagai bahan pengganti semen tanpa perawatan dengan kuat tekan beton normal tanpa perawatan.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini, penulis melakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan agregat halus (pasir) berasal dari Tanjung Raja (OKI), agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah dari Lahat, semen Baturaja, dan air PAM. Penulis membuat 72 sampel berbentuk kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 5 cm yang terdiri dari:

1. Dua belas buah sampel beton normal untuk w/c 0,5
2. Enam puluh buah sampel beton dengan campuran serbuk arang cangkang sawit dengan persentase 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% untuk w/c 0,5.

Dimana sampel-sampel tersebut dibagi menjadi masing-masing 3 sampel untuk setiap umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari dengan faktor air semen yaitu w/c = 0,5 tanpa perawatan. Untuk w/c 0,5 $f_c' = 32,86$ Mpa. Perhitungan desain campuran (*Mix Design*) berdasarkan metode ACI (*American Concrete Institute*).

= 0,5 tanpa perawatan. Untuk w/c 0,5 $f_c' = 32,86$ Mpa. Perhitungan desain campuran (*Mix Design*) berdasarkan metode ACI (*American Concrete Institute*).

Hasil dari pengujian kuat tekan beton campuran akan dibandingkan dengan beton normal sehingga dapat diketahui kelayakan abu cangkang sawit sebagai bahan pengganti semen pada beton.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini disusun sedemikian rupa sehingga tidak menyimpang dari pedoman yang telah digariskan. Dalam hal ini pembahasan dibagi menjadi beberapa pokok pembahasan yang kemudian diuraikan secara terperinci.

Adapun yang diuraikan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, tujuan, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas gambaran umum beton, baik sifat-sifat beton dan material pembentuk serta kuat tekan beton.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini penulis akan menguraikan mengenai pelaksanaan penelitian yang meliputi pengujian bahan campuran beton, pembuatan benda uji, dan pengujian kuat tekan beton.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian material dan pengujian kuat tekan beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang diambil dari penelitian beserta saran.

2.2. Material Pembentuk Beton

Dalam pembuatan campuran beton, material yang digunakan harus berkualitas baik dengan memenuhi persyaratan standar. Semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lainnya harus diperhatikan mutunya agar beton yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang baik.

Pertimbangan dalam pemilihan material tersebut, antara lain:

- a. Memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.
- b. Ketersediaan material pada daerah tersebut.
- c. Optimalisasi antara mutu dan biaya.

2.2.1. Semen

Menurut Dipohusodo (⁷), semen yang digunakan untuk bahan beton adalah Semen Portland atau Semen Portland Pozzolan, berupa semen hidrolik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan gips (*gypsum*), berfungsi sebagai bahan perekat susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi.

Pada proses hidrasi, semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk massa padat. Semen Portland terutama mengandung kalsium dan aluminium silika. Dibuat dari bahan utama *limestone* yang mengandung kalsium oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO₂) serta aluminium oksida (Al₂O₃). Di dalam syarat pelaksanaan pekerjaan beton harus dicantumkan dengan jelas jenis semen yang boleh dipakai, dan harus selalu dipertahankan sesuai dengan yang dipakai pada waktu penentuan rencana campuran.

Proses pembuatan semen Portland secara garis besar adalah:

1. Penggilingan terhadap bahan-bahan baku semen dengan komposisi tertentu lalu dikeringkan hingga didapat bubuk halus.
2. Bubuk halus dimasukkan kedalam *Rotary klin* bersuhu sekitar 800⁰ C yang berputar dengan kecepatan 2 rpm. Hasil dari *rotary klin* berupa bahan-bahan baku yang telah meleleh dan menyatu menjadi *clinker* yang panasnya sekitar 1400⁰ C.
3. *Clinker* bersama *gypsum* digiling halus, yang kemudian hasilnya adalah semen.

Empat senyawa utama dalam semen portland diberikan dalam tabel 2.1 bersama dengan simbol singkatannya. Notasi singkatan ini biasa dipergunakan oleh ahli kimia semen yang disimbolkan dalam satu huruf, yaitu $\text{CaO} = \text{C}$; $\text{SiO} = \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$; dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$. Penggunaan H_2O dalam hidrasi semen dilambangkan sebagai H.

Tabel 2.1. Komposisi Utama Semen Portland

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Singkatan
<i>Tricalcium Silicate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
<i>Dicalcium Silicate</i>	$2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
<i>Tricalcium Aluminate</i>	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
<i>Tetracalcium Alumino Ferrite</i>	$4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Sumber : *Properties of Concrete*. Neville, A. M. Longman Group UK Ltd. England, 1998 ⁽¹⁰⁾

Reaksi semen berupa reaksi eksoternik (mengeluarkan panas), dimana proses hidrasi sangat mempengaruhi laju kenaikan panas. Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimia semen dan jumlah panas hidrasi yang dihasilkan oleh bahan-bahan pembentuknya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Karakteristik hidrasi semen

Komposisi Kimia	Kecepatan Reaksi	Kekuatan Yang Dicapai
C_3S	Sedang	Tinggi
C_2S	Lambat	Awal rendah, akhir tinggi
C_3A	Cepat	Rendah
C_4AF	Sedang	Rendah

Sumber : *Properties of Concrete*. Neville, A. M. Longman Group UK Ltd. England, 1998 ⁽¹⁰⁾

Menurut Departemen Perindustrian ⁽⁵⁾, semen Portland diklasifikasikan dalam 5 jenis sebagai berikut:

Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- Jenis II** : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III** : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah penyekatan terjadi.
- Jenis IV** : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V** : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen yang dipakai dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I. Pengujian analisa kimia semen tipe I tidak dilakukan, tetapi mengambil data-data yang telah ada (data sekunder) yang didapat dari PT. Semen Baturaja. Data komposisi kimia dan sifat fisika dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Semen Baturaja

No.	Unsur Kimia	% Berat	Standar ASTM (C-150)
1.	Silikon Dioksida (SiO_2)	20,98	-
2.	Besi Oksida (Fe_2O_3)	2,96	-
3.	Aluminium Oksida (Al_2O_3)	5,44	-
4.	Kalsium Oksida (CaO)	64,96	-
5.	Magnesium Oksida (MgO)	1,43	Maks. 6,00
6.	Sulphur Trioksida (SO_3)	2,71	Maks. 3,50
7.	F. CaO	0,66	Maks. 2,00
8.	IR	0,29	Maks. 3,00
9.	C_3A	9,41	-
10.	LOI	1,11	Maks. 5,00
Sifat Fisika			
1.	Kehalusan (Alat Bline – m^2/kg)	346	Min. 280
2.	Waktu pengikat (Alat Vicat)		
	- Awal (menit)	140	Min. 45
	- Akhir (menit)	320	Maks. 375
3.	Kekuatan tekan		
	- 3 hari (kg/cm^2)	260	Min.125
	- 7 hari (kg/cm^2)	345	Min. 200
	- 28 hari (kg/cm^2)	455	Min. 300
4.	Pengikatan palsu (<i>False Set</i>)		
	Penetrasi akhir (%)	54,00	Min. 50
	<i>Specific Gravity</i>	3,111	
	Pemuaian <i>autoclave</i>	0,041	Maks. 0,8

Sumber : Pengujian laboratorium semen Baturaja

Tabel 2.4. Kandungan kimia semen Portland tipe I

Komposisi Kimia	Persentase
C ₃ S	29 – 54
C ₂ S	22 – 43
C ₃ A	9 – 14
C ₄ AF	6 – 10
CaSO ₄	2,2 – 3,3
Free CaO	0,0 – 1,5
MgO	0,7 – 3,8

Sumber : *Properties of Concrete. Neville, A. M. Longman Group UK Ltd. England, 1998* (¹⁰)

2.2.2. Agregat Halus

Agar kekuatan beton yang diinginkan dapat tercapai, maka dalam pelaksanaan di lapangan, agregat halus/pasir yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan menurut SII 0052-80. Adapun syarat-syarat ini dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Syarat mutu agregat SII 0052 - 80

No.	Syarat Mutu Agregat	Agregat Halus
1.	Mutu kehalusan	1,5 – 3,8
2.	Kadar Lumpur	5%
3.	Kadar organik ditentukan dengan larutan sulfat 3%	Warna standar
4.	Kekerasan batu dibanding dengan pasir	< 2,2
5.	Sifat kekal benda uji dengan larutan jenuh garam sulfat a. Natrium Sulfat b. Magnesium Sulfat	< 10% < 15%
6.	Susunan grading	ASTM C-33

Sumber: *Annual Book of ASTM Standard, 1993* (³)

Penilaian terhadap mutu agregat halus dapat ditinjau dari beberapa segi, yaitu ada atau tidaknya bahan campuran yang terkandung dalam pasir, misalnya:

1. Pasir yang berasal dari sungai biasanya banyak mengandung Lumpur dan bahan organik. Oleh karena itu, sebelum pasir digunakan, terlebih dahulu pasir dibersihkan agar dihasilkan beton yang diinginkan.
2. Butiran pasir harus cukup keras, artinya butiran pasir ini tidak hancur atau pecah sebagai akibat dari perubahan cuaca.
3. Analisa untuk mendapatkan agregat halus dengan ukuran diameter yang sesuai.

Pasir yang digunakan untuk konstruksi bangunan haruslah pasir yang bergradasi baik. Berdasarkan penyelidikan bahwa pasir yang terlalu halus menyebabkan terjadinya retak-retak, namun pasir yang terlalu kasar menghasilkan campuran yang sukar dikerjakan. Sifat agregat halus mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Selain itu agregat halus tidak hanya mempengaruhi sifat beton tetapi juga sangat berpengaruh terhadap ketahanan/keawetan (*durability*).

Penggunaan agregat halus yang berasal dari laut dapat dilakukan dengan syarat harus dibersihkan dari pengotoran garam (klorida) ataupun kulit kerang. Pasir yang diperoleh dengan cara menggali, harus dibersihkan dari lempung atau tanah liat. Tanah atau lempung ini akan meliputi butiran pasir, sehingga akan mempengaruhi proses pelekatannya dengan semen atau material pembentuk beton lainnya. Humus yang menempel pada butiran pasir juga mempengaruhi proses reaksi pada hidrasi semen dalam beton.

Pada penelitian ini, berdasarkan standar ASTM, agregat halus tersebut diteliti terhadap:

1. Modulus kehalusan
2. *Specific gravity*
3. Absorpsi air
4. Kadar air
5. Kadar lumpur
6. Kadar organik

Setiap air pada permukaan agregat akan menambah volume air pada campuran (*mix*). Pada pelaksanaan desain campuran (*mix design*), kondisi dasar agregat adalah jenuh dan kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*). Semakin tinggi kadar air

pada agregat akan semakin kecil pula penambahan air pada campuran yang dikehendaki untuk memenuhi kadar air yang akan dicapai. Dalam penelitian ini pasir yang akan dipakai adalah pasir Tanjung Raja (Ogan Ilir).

Gradasi (*grading*) dapat mempengaruhi *workability* dan kepadatan beton, dengan demikian gradasi mempengaruhi karakteristik kekuatan. Pada gradasi baik, agregat dengan ukuran yang lebih kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang lebih besar. Untuk itu gradasi agregat halus sebaiknya dikontrol dan diperhatikan. Gradasi dari suatu sumber umumnya tidak sesuai dengan gradasi yang disyaratkan. Dalam hal ini dapat dilakukan pencampuran dari beberapa sumber untuk dilakukan penyaringan.

Pada umumnya tidak mungkin memperoleh pasir dengan gradasi yang cocok pada suatu daerah. Untuk memperbaiki gradasi, dilakukan dengan penambahan pasir campur yang cocok atau dengan mengambil bagian agregat yang berlebih dengan menggunakan alat klasifikasi.

Tabel 2.6. Gradasi agregat halus menurut ASTM dan BS

Ukuran Saringan		Persentase lolos				
BS	ASTM	BS 882 : 1973				Standar ASTM C - 33
		Gradasi Zone 1	Gradasi Zone 2	Gradasi Zone 3	Gradasi Zone 4	
9,5 mm	3/8 inch	100	100	100	100	100
4,75 mm	3/16 inch	90 – 100	90 – 100	90 - 100	95- 100	95 - 100
2,36 mm	8	60 - 95	75 – 100	85 – 100	95 - 100	80 - 100
1,18 mm	16	30 – 70	55 – 100	75 – 100	90 - 100	50 - 85
600 mm	30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 - 100	25 - 60
300 mm	50	5 – 20	8 – 30	12- 40	15 - 50	10 - 30
150 mm	100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10

Sumber : *Properties of Concrete*. Neville, A. M. Longman Group UK Ltd. England, 1998 ⁽¹⁰⁾

Fungsi agregat halus adalah sebagai bahan campuran pengisi beton. Ditinjau dari jenis agregat yang digunakan maka beton yang dihasilkan dapat berbobot ringan, normal, dan berat.

Maksud penggunaan agregat halus di dalam adukan beton antara lain:

- a. Menghemat pemakaian semen.
- b. Menambah kekuatan beton.
- c. Mengurangi penyusutan pada saat pengerasan beton.

2.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Agregat kasar beton dapat berupa kerikil (koral) sebagai hasil disintegrasi atau pembentukan alami dari batuan atau berupa batuan pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Agregat kasar memiliki ukuran minimum lebih besar dari 5 mm.
2. Agregat kasar tidak boleh berpori dan terdiri atas butiran yang keras. Agregat kasar yang mengandung butiran-butiran pipih, dapat dipakai asalkan jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat total. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh matahari atau hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering dan tidak mengandung zat-zat yang merusak beton. Apabila kadar lumpur lebih dari 1%, maka agregat harus dicuci.
4. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
 - Sisa di atas ayakan 31,5 mm lebih kurang 10% dari berat total.
 - Sisa di atas ayakan 4 mm lebih kurang (90 – 96)% dari berat total.
 - Selisih antara sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat total, minimum 10% berat total.
 - Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari 1,5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 dari tebal pelat, 3/4 dari jarak besi minimum antara tulangan-tulangan.

- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

Dalam penelitian beton ini, agregat kasar yang digunakan berasal dari Lahat.

2.2.4. Air

Menurut Dipohusodo (⁷), air yang digunakan untuk membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton dan baja tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar bersih yang dapat diminum. Harap diperhatikan bahwa air yang berasal dari sumber alam tanpa pengolahan sering mengandung garam-garam anorganik, zat organik, dan zat-zat mengapung seperti lempung atau tanah liat, minyak, dan kotoran lainnya, yang berpengaruh buruk pada mutu dan sifat beton.

Pada pengerjaan beton, air merupakan bahan campuran untuk mempercepat terjadinya proses kimia antara air, agregat dan semen. Selain itu, air juga berfungsi memudahkan pekerjaan pembuatan beton agar sesuai dengan seperti yang diharapkan.

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan air yang terlalu sedikit, akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai.

Perbandingan jumlah air semen akan mempengaruhi:

1. Kemudahan pengerjaan (*Workability*)
2. Kestabilan volume (*Volume Stability*)
3. Kekuatan beton (*Strength of Concrete*)
4. Keawetan beton (*Durability of Concrete*)

Air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton harus melalui pemeriksaan dan persyaratan yang dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Pemeriksaan dan persyaratan air

Macam-macam pemeriksaan	Persyaratan yang diizinkan	Cara pemeriksaan
PH	4,5 – 8,5	PB – 0301 - 76
Bahan padat	max. 2000 ppm	PB – 0302 - 76
Bahan suspensi	max. 2000 ppm	PB – 0303 - 76
Bahan organik	max. 2000 ppm	PB – 0304 - 76
Minyak	2% berat semen	PB – 0305 - 76
Ion sulfat	10.000 ppm	PB – 0306 - 76
Ion <i>chlor</i>	10.000 ppm	PB – 0307 - 76

Sumber: Dept. PU. Bina Marga 1992. *Petunjuk Pelaksanaan Beton, Edisi II* (6)

Selain faktor tersebut di atas, kepadatan dan panas juga mempengaruhi kekuatan beton. Untuk itu, sebaiknya menggunakan alat penggetar adukan (*vibrator*) agar diperoleh kepadatan beton yang sempurna, terutama untuk beton dengan rasio air semen yang rendah.

2.2.5. Serbuk Arang Cangkang Sawit

2.2.5.1. Serbuk Arang Cangkang Sawit Sebagai Material Beton

Menurut (4), industri minyak sawit menghasilkan sejumlah besar limbah padat. Limbah cangkang sawit digunakan secara ekstensif sebagai bahan bakar untuk produksi uap air dalam kilang minyak sawit. Setelah pembakaran, sejumlah besar arang yang dihasilkan menciptakan permasalahan penjualan. Kelayakan dari penggunaan arang cangkang sawit sebagai material konstruksi sekarang sedang dipelajari.

Material tersebut berbeda dengan PFA dari pembangkit tenaga listrik yang mengandung sisa zat organik yang lebih tinggi, unsur alkali lebih tinggi, dan rendah mutunya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang mencolok dari penambahan serbuk arang cangkang sawit pada pemisahan, penyusutan, penyerapan air, kepadatan dan kondisi akhir beton. Keleccakan dari adukan beton dengan penambahan serbuk arang cangkang sawit dapat dikatakan baik, dan pengaturan waktu yang baik dalam kebutuhannya berdasarkan pada standar Amerika dan standar Inggris.

Menurut (⁴), serbuk arang cangkang sawit memiliki unsur pozzolanik yang lemah, serbuk arang yang dicampur pada adukan semen mengakibatkan penurunan kuat tekan beton, kecuali ketika hanya 10% abu yang digunakan. Hasil menunjukkan bahwa serbuk arang cangkang sawit dapat dicampur pada jumlah yang kecil (sampai dengan 10%) dengan semen untuk pembuatan beton.

Studi ini menguji kelayakan dari perencanaan pemanfaatan serbuk arang cangkang sawit, limbah dari cangkang sawit sebagai material pengganti semen. Hasil dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa pencampuran semen yang berisi serbuk arang limbah dari cangkang sawit menunjukkan hasil yang memuaskan terhadap pengaturan waktu dan kondisi akhir beton. Kelecekan beton dengan tambahan abu dapat dikatakan baik, dan telah diamati bahwa tidak terjadi pemisahan dalam beton.

Pengaruh dari penambahan serbuk arang terhadap kepadatan dan penyerapan air pada beton tidak terlalu kelihatan. Penambahan serbuk arang cangkang sawit sampai penambahan 10%, setelah diamati tidak menimbulkan efek yang buruk pada kubus beton. Pada akhirnya, hal ini menghasilkan bahwa serbuk arang cangkang sawit bisa dicampurkan dalam jumlah yang kecil terhadap semen portland untuk pembuatan beton.

2.2.5.2. Pengaruh dari Penambahan Serbuk Arang Pembakaran Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton.

Menurut (⁴), pengaruh dari penambahan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) terhadap kuat tekan beton dengan tekanan *uniaxial* sedang diselidiki. Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dengan komposisi berbeda menggantikan semen Portland dari persentase 5, 10, 15, 20, 25 sampai 30% dari berat semen. Tes telah dilakukan pada sampel beton yang dirawat dalam 7 periode, yaitu dari hari ke- 0, 3, 7, 14, 21, 60, dan 90 hari. Pembacaan dari alat *electron micrograph* menunjukkan struktur yang memadat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) mempengaruhi peningkatan dari kekuatan beton.

Menurut proses dari penyaringan minyak kelapa sawit, penggilingan tersebut menghasilkan sejumlah limbah padat dalam bentuk serat, kulit, dan ampas tandan buah yang kosong. Sekarang ini, cangkang sawit sering digunakan sebagai bahan bakar pada

ketel uap pada tempat penggilingan kelapa sawit, yang mana menghasilkan limbah buangan dan cadangan energi.

Setelah pembakaran pada ketel uap terdapat sekitar 5% arang yang dihasilkan pada pembakaran tersebut. Untuk mencegah penurunan kondisi lingkungan dan polusi, pembuangan limbah kelapa sawit membutuhkan penanganan yang bijaksana dan pertimbangan. Serbuk arang cangkang sawit yang tidak mempunyai nutrisi yang cukup untuk menjadi pupuk, arang tersebut dibuang dilahan terbuka disekitar daerah pabrik kelapa sawit.

Serbuk arang pembakaran cangkang sawit adalah limbah yang diperoleh dari pembakaran cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar di tempat penggilingan kelapa sawit. Lebih dari 90% minyak kelapa sawit dihasilkan dari lahan pertanian bagian selatan Thailand. Tahun lalu, pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan 5.275 juta ton minyak dan mengalami kenaikan sekitar 3,86% sejak tahun 2003. Sekarang ini, sekitar 46 pabrik kelapa sawit beroperasi di Thailand dimana ribuan ton arang diproduksi tiap tahun dan limbah tersebut hanya dibuang tanpa ada suatu timbal balik komersial, dan menyebabkan dua gangguan yaitu kesehatan dan kerusakan lingkungan ketika tidak ditempatkan secara baik dan benar.

Hal tersebut akan menjadi baik jika tingkat hidrasi dan reaksi dan hasil hidrasi pada dasarnya dapat diubah dengan menggunakan mineral campuran, terutama pupuk pertanian. Riset diberbagai hal menunjukkan bahwa penempatan limbah kelapa sawit dengan cara tertentu mendapat perhatian dari masyarakat umum. Tetapi sekarang, penggunaan dari cangkang sawit hanya sebagai bahan bakar, dan hanya sedikit karbon yang aktif pada material beton untuk mencegah reaksi alkali dan penguatan.

Riset saat ini bertujuan ke arah menyediakan suatu penggunaan baru untuk Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) sebagai campuran mineral yang baru dengan harga murah, material yang cukup *pozzolanic*, yang bisa menjadi berguna di dalam *pozzolan* semen Beton yang diproduksi dengan berbagai penggantian tingkat *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dan dalam periode yang berbeda telah diuji dan hasil beton telah dibandingkan. Pengaruh Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dan umur perawatan pada kuat tekannya telah ditentukan (*Journal of materials in Civil Engineering*).

2.2.5.3. Unsur Yang Terkandung Dalam SACS

Analisis unsur kimia dari Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) menurut ASTM C311 dapat dilihat pada tabel 2.8. Unsur pokok dari Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) adalah silikon sebagai SiO_2 , aluminium sebagai Al_2O_3 , dan besi oksida sebagai Fe_2O_3 . Jumlah total dari SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 adalah 54,79%, yang mana kurang dari nilai yang ditentukan ASTM C618, untuk *fly ash* tipe C. Kandungan kalsium oksida (CaO) sekitar 14,02%. Kandungan SO_3 (2,49%) lebih rendah dari nilai maksimum yang ditentukan ASTM C618. *Loss on ignition* 1,02%, yang mana nilai itu juga lebih rendah dari 5%, nilai standar maksimum.

Analisa ukuran partikel telah dilakukan oleh analisa partikel laser (ASTM D422). Kurva distribusi ukuran butir menunjukkan bahwa Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) ini merupakan material seragam yang sangat halus.

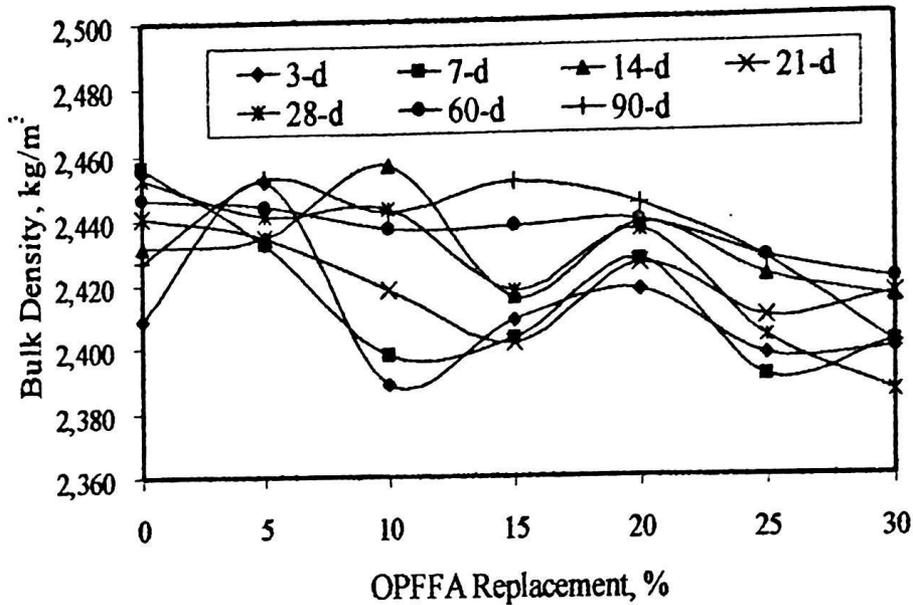
Tabel 2.8. Hasil dari analisis kimia dari SACS dan OPC

Komposisi Kimia	Persentase Berat (%)	
	OPC	SACS
SiO_2	22.13	48.65
Al_2O_3	3.74	2.52
Fe_2O_3	2.97	3.62
CaO	63.36	14.02
MgO	2.58	6.13
K_2O	0.52	17.55
MnO_2	0.00	0.37
SO_3	2.53	2.49
TiO_2	0.00	0.34
P_2O_5	0.00	3.40
LOI	2.70	0.13
<i>True density, g/cm³</i>	2.97	2.33

Sumber: *Journal of materials in Civil Engineering* (*)

2.2.5.4. Bulk Density Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS)

Kecendrungan dari *bulk density* sampel beton yang berisi pengurangan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dan penambahan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dan waktu perawatannya dapat dilihat pada gambar 1. perbedaannya dihubungkan dengan peningkatan dalam daerah permukaan dari campuran.



Gambar 2.1. Pengaruh dari penambahan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) terhadap *bulk density*

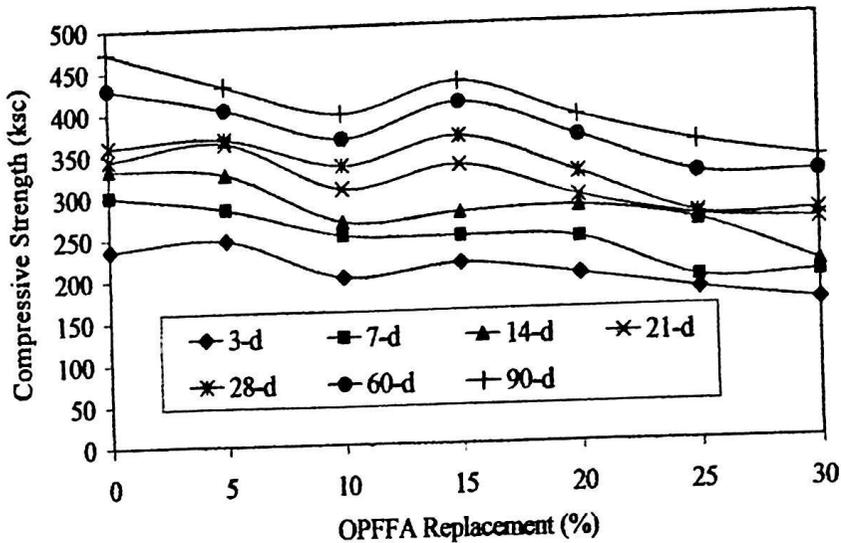
Sumber: *Journal of materials in Civil Engineering* (4)

2.2.5.5. Kekuatan Tekan Beton Dengan Penambahan SACS

Menurut (4), penambahan Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) ke *Ordinary Portland Cement* (OPC) pada awalnya mengurangi kekuatan tekan beton sampai umur 90 hari. Pada umur ini sebagian dari semen yang dicampur bisa memenuhi kekuatan Portland pozzolanik yang komersil. Kekuatan beton adalah lebih rendah ketika isi pozzolan mencapai 25% Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS). Bagaimanapun semen ini juga mempunyai kekuatan yang bisa diterima ketika dibandingkan dengan semen campuran berdasarkan ASTM C595. Dengan 30% SACS, tidak bisa mencapai kekuatan tekan pada umur 90 hari dari beton normal seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

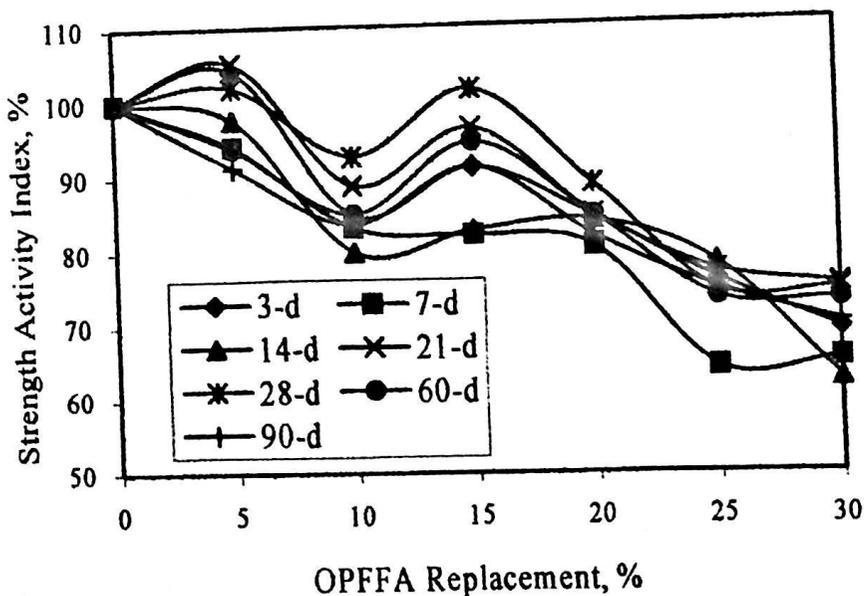
Kekuatan sampel beton lebih rendah tetapi masih tersusun berdasarkan ASTM C150 sampai penambahan 15% SACS. Bagaimanapun, 20% dan 25% SACS, bisa jadi dipertimbangkan untuk dicampur semen menurut ASTM C595. Hilangnya kekuatan atau *Strength Activity Index* (SAI) yang dibandingkan dengan beton normal adalah 25-38% dari tiap waktu perawatan (lihat gambar 2.3). Pada umur 60 hari, kekuatan seluruh beton SACS telah ditemukan untuk menjadi hampir sama halnya dengan kekuatan beton pada

umur 90 hari (lihat gambar 2.2). Sebaliknya, masing-masing dari umur perawatan, campuran beton menuju ke peningkatan kekuatan sekitar 2-15% dari kekuatan pada umur 90 hari.



Gambar 2.2. Pengaruh dari penambahan SACS pada kuat tekan beton

Sumber: *Journal of materials in Civil Engineering* (4)



Gambar 2.3. Pengaruh dari penambahan SACS pada index aktivitas kekuatan beton pada umur perawatan yang berbeda.

Sumber: *Journal of materials in Civil Engineering* (4)

2.2.5.6. Mikrostruktur Beton

Menurut *Journal of materials in Civil Engineering* (⁴), morfologi dari hidrasi beton yang reaktif telah diuji pada keretakan sampel kubus beton yang berisi 0%, 15% dan 25% Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) pada umur 28 hari. Alat SEM telah digunakan untuk melihat gaya gambaran elektron yang terhambur. Suatu perbandingan antara ke tiga mikrograph pada suatu perbesaran 8,000 menetapkan asumsi bahwa reaksi yang pozzolanik telah terjadi hubungan antara unsur partikel (lihat gambar 2.4).

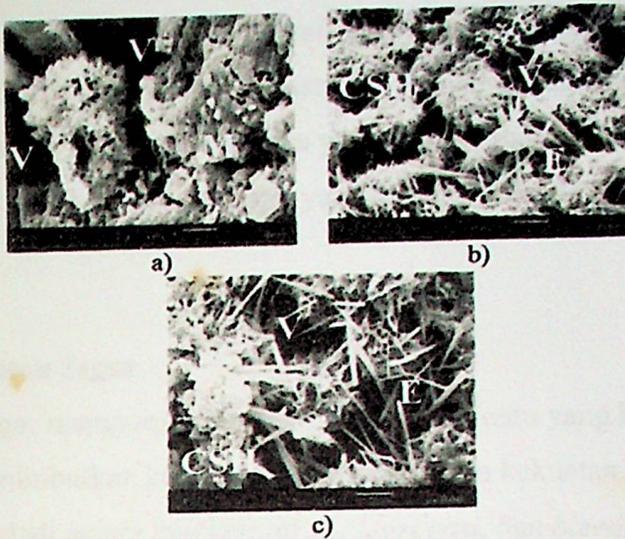
Peristiwa dari hasil reaksi hidrasi yang khas adalah di dalam morfologi yang berbeda dan penempatan. Gambar 2.4 a) SEM micrographs menunjukkan permukaan retak dari sampel kubus beton normal. Keretakan telah ditampakkan oleh struktur hidrat monosulphate (M). Ilustrasi yang kedua, gambar 2.4 b) dengan jelas menunjukkan bahwa calcium silicate hydrate (CSH) yang didistribusikan ke semua beton dan bahwa ada kekosongan sepanjang batas antara matrik semen beton dan sebagian dari *ettringite* (E) yang tersebar kedalam bagian yang kosong itu.

Hubungan antara CSH telah berkurang. Pada gambar 2.4 c), banyak *ettringite* dan beberapa milimeter kristal bisa dilihat diantara CSH. Sebagian dari kristal-kristal yang muncul untuk dihubungkan satu sama lain, dan tumbuh diantara CSH, dimana kekosongan makin meningkat.

2.2.5.7. Keuntungan Penggunaan SACS Sebagai Material Pengganti Semen

Penggantian Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dalam beton, awalnya mengurangi kekuatan beton pada umur 3 sampai 21 hari. Tetapi setelah perawatan 28 hari, penggantian 5 – 15% SACS terhadap semen pada beton memenuhi syarat ASTM C618. Pada periode perawatan ke-7, juga berpengaruh pada nilai *bulk density* dengan pengisian 1,1 – 3,7% SACS dan berbagai perawatan pada 0,1 – 2,5% SACS, hal tersebut diharapkan bahwa penggantian 5 – 15% SACS dalam beton memberikan kuat tekan yang sama dengan kuat tekan pada umur 28 hari dari sampel beton normal.

Hasil SEM analisa beton, mengkonfirmasi bahwa terdapat reaksi pozzolanik antara Serbuk Arang Cangkang Sawit (SACS) dan matriks semen. SACS tentu mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan dari beton yang dibuat dengan agregat normal dan mungkin juga berpengaruh pada kekerasan beton.



Gambar 2.4. SEM Micrograph dari beton pada umur 28 hari dengan perbesaran 8000, a) beton normal, b) beton yang berisi 15% SACS, c) beton yang berisi 25% SACS.

Sumber: *Journal of materials in Civil Engineering* (⁴)

2.3. Rasio Air Semen

Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan *water cement ratio* (w.c.r.). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai *water cement ratio* (w.c.r.) 0,40 – 0,60, tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan nilai w.c.r. rendah, sedangkan di lain pihak, untuk menambah daya *workability* (kelecekan, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai w.c.r. yang lebih tinggi (').

Untuk beton berkekuatan normal, proporsi campuran didasarkan pada rasio air cement (*water cement ratio*) yang besar. Untuk beton ini, dimana kekuatan agregat umumnya lebih besar dari kekuatan pasta dan retak yang terjadi pada daerah ITZ (zona bidang kontak antara beton dengan agregat).

Untuk beton mutu tinggi, proporsi campuran didasarkan pada rasio air semen yang kecil. Untuk beton ini kekuatan pasta dan kekuatan ikatan pasta dengan agregat secara bersama-sama ikut memikul gaya yang bekerja dan retak yang terjadi pada beton dimulai pada lokasi dimana mata rantai yang terlemah berada (*The Weakest Link Theory*).

Untuk beton mutu tinggi, proporsi campuran didasarkan pada rasio air semen yang kecil. Untuk beton ini kekuatan pasta dan kekuatan ikatan pasta dengan agregat secara bersama-sama ikut memikul gaya yang bekerja dan retak yang terjadi pada beton dimulai pada lokasi dimana mata rantai yang terlemah berada (*The Weakest Link Theory*).

2.4. Perilaku Beton Segar

Beton segar mempunyai perilaku-perilaku tertentu yang harus dipertimbangkan karena dapat menimbulkan kerugian atau menurunkan kekuatan beton.

Perilaku yang terjadi antara lain kelecakan, *segregasi*, dan *bleeding*.

2.4.1. Kelecakan (*workability*)

Istilah kelecakan sulit didefinisikan dengan tepat dan Neuman mengusulkan agar didefinisikan sekurang-kurangnya tiga buah sifat terpisah, yaitu:

- a. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara dihilangkan.
- b. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir ke dalam cetakan di sekitar baja tulangan.
- c. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi (pemisahan).

ACI 211.4R-93 menjelaskan bahwa *workability* adalah sifat dari beton segar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pengadukan, penuangan, pemadatan, dan penyelesaian akhir (*finishing*) tanpa terjadi *segregasi*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *workability* adalah sifat kadar air, gradasi agregat, bentuk dan jenis agregat, serta bahan tambahan.

2.4.2. *Segregasi*

Segregasi adalah peristiwa terjadinya pemisahan antara butiran kasar dengan butiran halus. *Segregasi* dapat terjadi karena rasio air semen yang tinggi, gradasi agregat yang jelek, atau *over* vibrasi.

Segresi terjadi pada hal-hal sebagai berikut:

- Campuran kurus (kurang semen)
- Campuran basah (banyak air)
- Campuran *undersanded* (kurang pasir)
- Adanya gabungan gradasi
- Pengecoran yang kurang baik.

Adapun macam-macam *segresi* sebagai berikut:

1. *Segresi* internal, terjadi pada waktu pengangkatan dan penggetaran pada adukan beton yang kurus dan basah, campuran yang mempunyai berat isi berat dan ringan, agregat yang kasar dan mempunyai besar butir maksimum yang lebih banyak sehingga terjadi gabungan.
2. *Segresi* eksternal, terjadi pada waktu pengadukan, pengangkatan sebelum penggetaran pada adukan beton yang kurus dan kering karena kurang pasir.

2.4.3. *Bleeding*

Bleeding adalah kejadian keluarnya air adukan beton kepermukaan pada saat pengecoran. Tingkat *bleeding* tergantung dari susunan butir atau gradasi, kandungan air dan percepatan proses pengerasan. *Over* vibrasi juga dapat menimbulkan *bleeding*.

Gradasi yang baik memberikan kepadatan agregat, sehingga celah diantara agregat menjadi kecil, sehingga dapat menghambat pengaliran air pada proses *bleeding*. Penggunaan material tambahan juga dapat mengurangi *bleeding*.

Apabila proses penguapan air lebih cepat dari peristiwa *bleeding*, maka beton akan retak, dan keluarnya air beserta butiran halus dari semen. *Bleeding* ini terjadi pada campuran yang kurus, basah dan *slump* yang tinggi.

2.5. Pengecoran Beton

Tujuan utama pengecoran adalah menempatkan beton sedekat mungkin pada posisi akhir sehingga *segresi* dihindarkan dan beton dapat dipadatkan secara penuh.

Pemisahan butir agregat kasar adalah salah satu kesalahan yang diabaikan karena pengecoran yang jelek. Untuk menghindari hasil yang kurang baik tindakan pencegahan harus dilakukan selama pengecoran (⁹) sebagai berikut :

1. Beton harus ditimbun sedekat mungkin dari tempat akhir dan jangan ditimbun dalam jumlah besar, karena kelalaian dalam mengerjakan hal tersebut dapat menyebabkan segregasi, keropos, bidang cor yang miring dan jelek pemadatannya.
2. Beton harus dicor dalam lapisan horizontal dan tiap lapisan harus dipadatkan secara merata sebelum pengecoran lapisan berikutnya dicor. Dan setiap lapisan yang berurutan harus dicor ketika lapisan bawahnya masih bersifat plastis diperoleh konstruksi yang monolit.
3. Pembetonan harus dikerjakan secara terus menerus untuk menghindari penampilan garis-garis tahapan cor pada bangunan yang sudah jadi.
4. Beton harus dicor dalam lapisan lapisan seragam.
5. Beton harus dicorkan secara vertikal. Apabila pengecoran dilakukan pada cetakan yang horizontal atau miring maka beton harus ditempatkan pada arah vertikal terhadap beton yang sudah ada.
6. Beton harus dikerjakan secara merata ke dalam tempat-tempat di sekitar tulangan dan sarana lain yang ditanam dalam beton, dan begitu juga sampai ke sudut-sudut acuan.

2.6. Pemadatan Beton

Rodding adalah pemadatan beton di laboratorium dengan menggunakan batang penusuk. Batang penusuk berbentuk bulat dengan diameter yang sama dengan diameter batangnya. Spesifikasi peralatan dan prosedur yang telah ditetapkan oleh ASTM C-31.

Tujuan dari pemadatan beton (⁹) adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu perlekatan yang baik antara beton dengan permukaan baja tulangan atau sarana lain yang ikut dicor. Supaya diperoleh kepadatan maksimal, di sini perlu penggunaan suatu campuran yang mempunyai daya kemudahan pengerjaannya yang cukup sehingga memungkinkan operator untuk mengecor pada posisinya tanpa kesukaran, dengan peralatan yang dimilikinya. Campuran beton juga jangan terlalu basah, karena tak disangsikan lagi akan terjadi *segregasi* (pemisahan butiran), "*laitance*" (bagian beton yang jelek kualitasnya).

Menurut (⁹), pemadatan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

a. Pemadatan Dengan Tangan

Cara pemadatan biasa dengan tangan terdiri atas menusuk-nusuk dan menyusup dengan alat yang tepat. Cara menusuk-nusuk dengan tongkat yang dilakukan dengan tangan memerlukan penggunaan campuran yang cukup *workabilitasnya*, bilamana tampang melintangnya sempit dan jarak antar tulangnya dekat.

b. Pemadatan Dengan Mesin Getar

Meskipun penggunaan mesin getar telah diperluas sampai hampir mencakup kelas-kelas beton yang ada, pemadatan dengan tangan yang dikerjakan dengan baik, menghasilkan beton yang memuaskan untuk tujuan yang luas, dan karena peralatan yang sederhana seringkali dapat lebih ekonomis. Mesin getar memungkinkan penggunaan campuran yang kurang *workabilitasnya*, dan menghasilkan peningkatan kekuatan serta penyusutan kering yang lebih rendah untuk proporsi campuran yang tertentu.

2.7. Perawatan Beton

Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Disamping lebih kuat dan awet terhadap agresi kimia, beton juga lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air serta lebih kecil kemungkinannya untuk rusak. Ada beberapa cara dalam perawatan beton (⁹), antara lain:

- a. Merendam dalam air (*water curing*)
- b. Perawatan dengan uap (*steam curing*)
- c. Menutup dengan bahan kedap air (*sealed*)
- d. Memberikan senyawa kimia dengan cara menyemprotkan ke permukaan beton untuk menghambat penguapan air.

Reaksi hidrasi yang terjadi pada saat pengerasan beton tergantung pada keersediaan air, meskipun pada keadaan normal, air tersedia dalam jumlah banyak yang memadai untuk terjadinya hidrasi penuh selama pencampuran. Perlu adanya jaminan bahwa masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kelanjutan dari reaksi tersebut.

Penguapan dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup berarti sehingga mengakibatkan terhentinya proses hidrasi. Hal tersebut akan mengurangi kekuatan

beton. Dapat ditambahkan pula bahwa penguapan dapat menyebabkan penyusutan kering yang terlalu awal dan cepat sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang mungkin menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan. Oleh karena itu diperlukan suatu perawatan untuk mempertahankan beton supaya beton terus menerus berada dalam keadaan basah selama periode beberapa hari atau beberapa minggu.

2.8. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan. Metode pengujian dapat dipakai standar ASTM atau metode AASHTO. Minimum dua sampel harus dites untuk setiap umur dan setiap kondisi. Beton mutu tinggi dapat dicapai pada umur 28 hari. ASTM C-39 tahun 1992 menganjurkan sebaiknya pengujian kuat tekan tidak keluar dari batasan waktu yang telah ditoleransikan seperti pada tabel 2.

Tabel 2.9. Toleransi waktu pengujian kuat tekan

Umur Pengujian	Toleransi Waktu Yang Diizinkan
24 jam	0,5 jam atau 2,1%
3 hari	2 jam atau 2,8%
7 hari	6 jam atau 3,6%
28 hari	20 jam atau 3,0%
90 hari	2 jam atau 2,2%

Sumber: ASTM C-39 1992

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Alimin, *Observasi Pengaruh Penambahan abu Cangkang Sawit dan Superplasticizer terhadap kuat tekan beton dengan Perawatan*. Universitas Sriwijaya, 2006.
- (2) American Concrete Institute, *High Strength Concrete*. ACI – SP87, Michigan, 1987.
- (3) Annual Book of ASTM Standard, Section 04, Construction, Vol. 04. 01. *Cement; Lime; Gypsum*, 1993.
- (4) Delsye C.L I. Teo¹, Md. Abdul Mannan² and John V. Kurian³, *Flexural Behaviour of Reinforced Lightweight Concrete Beams Made With Oil Palm Shell (OPS)*. Journal of Advanced Concrete Technology Vol.4, No.3, 1-10, 2006.
- (5) Dept. Perindustrian, *Standar Mutu Dan Cara-Cara Pengujian Semen Portland*. SI-13, 1997.
- (6) Dept. PU, Dirjen Bina Marga, *Petunjuk Pelaksanaan Beton*. Edisi II, 1992.
- (7) Dipohusodo Istimawan, *Struktur Beton Bertulang*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1999.
- (8) Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya, *Pedoman Praktikum Beton*. Inderalaya, 2001.
- (9) Murdock, L. J. Brook, K. M, Hindarko, Stephanus, Ir, *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga, Edisi Keempat, 1999
- (10) Neville, A. M, *Properties of Concrete*. Third Edition, Longman Group UK Ltd, England, 1998.