

**PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA (CO₂) UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS PAPAN SEMEN
KOMPOSIT DARI SABUT KELAPA**

**YAYU YULIATI
M 121 03 062**



PERUSAHAAN	
Tgl. Terbit	28-5-08
Asal	Kelapa
Banyaknya	1 kg
Harga	14000
No. Inventaris	63
Penyedia	SKR - KHOB YUC

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2008**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : **Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO₂) untuk Meningkatkan Kualitas Papan Semen Komposit dari Sabut Kelapa**

Nama : **Yayu Yulianti**

NIM : **M 121 03 062**

Program Studi : **Teknologi Hasil Hutan**

Skripsi ini Disusun sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Kehutanan
pada
Program Studi Teknologi Hasil Hutan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin

**Menyetujui,
Komisi Pembimbing**

Pembimbing I



Ir. Beta Putranto, M.Sc.

Pembimbing II


Suhasman, S.Hut., M.Si.

Mengetahui,

**Ketua Program Studi Teknologi Hasil Hutan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin**


Ir. Beta Putranto, M.Sc.
NIP.-130 792 980

Tanggal Lulus : 15 Mei 2008

ABSTRAK

Yayu Yuliati (M 121 03 062). Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO₂) untuk Meningkatkan Kualitas Papan Semen Komposit dari Sabut Kelapa. Dibawah Bimbingan Beta Putranto dan Suhasman.

Salah satu upaya untuk meminimalkan penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan papan semen adalah dengan memanfaatkan bahan baku alternatif yang berlignoselulosa. Salah satu bahan baku yang potensial adalah sabut kelapa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan karbon dioksida (CO₂) baik dalam bentuk cair, gas maupun superkritis terhadap kualitas papan semen komposit dari sabut kelapa. Penelitian ini berlangsung dari bulan November 2007 sampai bulan April 2008. Pengambilan sampel dilakukan di Pasar Terong, Kota Makassar, Propinsi Sulawesi Selatan. Pembuatan papan dan pengujian sifat mekanis dilakukan di UPTD Pemanfaatan Sumber Daya Lokal, Dinas Pekerjaan Umum dan Pemukiman, Makassar. Pemotongan papan dan pengujian sifat fisik dilakukan di Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan, Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan.

Pengujian sifat fisik dan mekanis papan semen sabut Kelapa didasarkan pada standar JIS A 5417 (1992). Pengaruh setiap perlakuan terhadap sifat fisik dan mekanis papan dianalisis menggunakan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dimana setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali. Perbedaan pengaruh perlakuan dianalisis dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey Test*, dan lebih lanjut menggunakan Uji kontras.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa sifat fisik seperti kerapatan, kadar air dan daya serap 2 jam menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap kondisi CO₂ dan waktu injeksi tetapi daya serap 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ superkritis terhadap kondisi CO₂ cair dan gas, pengembangan linier 2 jam dan 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ cair terhadap kondisi CO₂ gas dan superkritis, serta pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ gas terhadap kondisi CO₂ cair dan superkritis. Sedangkan kualitas papan semen yang dihasilkan berupa sifat mekanik seperti *Internal Bond* (IB) dan *Modulus of Rupture* (MoR) menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap kondisi CO₂ dan waktu injeksi tetapi *Modulus of Elasticity* (MoE) berbeda signifikan pada kondisi CO₂ cair terhadap kondisi CO₂ gas dan superkritis.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO₂) untuk Meningkatkan Kualitas Papan Semen Komposit dari Sabut Kelapa”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada program studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu dengan segala keikhlasan, kerendahan hati serta tangan terbuka, sumbangan saran, koreksi dan kritik yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian skripsi ini, banyak pihak yang terlibat secara moril maupun materi yang telah memberikan bantuan sangat berarti bagi penulis. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis menghaturkan terima kasih kepada:

- Keluarga tercinta: Ayahanda **H. Muhammad Nur, S.Pd.** dan Ibunda **Hj. Sitti Atni, S.Pd.** serta adik-adikku yang tercinta. Terima kasih atas do'a dan dukungannya.

- Bapak **Ir. Beta Putranto, M.Sc.** selaku pembimbing I dan bapak **Suhasman, S.Hut.,M.Si** selaku pembimbing II yang selalu bersedia meluangkan waktu untuk diskusi, memberikan ide, arahan, dan bijaksana menyikapi keterbatasan pengetahuan penulis, serta ilmu dan pengetahuan yang berharga baik dalam penelitian ini maupun selama menempuh kuliah.
- Bapak **Ir. Baharuddin** selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan nasehat-nasehat demi kelancaran kegiatan akademik penulis.
- Bapak **Dr. Ir. Muh. Restu, MP.** (Dekan Fahutan), **Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc.** (Pembantu Dekan I), **Dr. Ir. Yusran Jusuf, M.Si.** (Pembantu Dekan II).
- Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Pegawai Fakultas Kehutanan
- Bapak dan Ibu staf UPTD Pemukiman Sumber Daya Lokal, Dinas Pekerjaan Umum dan Pemukiman Makassar yang telah banyak membantu dan memberikan izin untuk melaksanakan penelitian papan semen komposit.
- **K'Heru Arisandi** sebagai Laboran pada Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.
- Teman-teman tim "**Papan Komposit**" (Tiwi, Ifha dan Evhi) atas motivasi dan kerjasamanya selama penelitian.
- Teman-teman angkatan **2003** yang selalu memberikan motivasi dan semangat selama menjalani pendidikan sampai penyusunan karya tulis ilmiah ini.

Penulis telah mengusahakan yang terbaik demi kesempurnaan skripsi ini, tapi sempurna adalah kepunyaan-Nya. Semoga apa yang telah kita perbuat selama ini bermanfaat dan mendapat ridho di sisi-Nya dan menyinari langkah kita selalu, Amiin.

Makassar, Mei 2008

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Kegunaan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Papan Semen Komposit	4
B. Bahan Pengikat Semen	7
C. Suhu Hidrasi	9
D. Penggunaan Karbon Dioksida (CO ₂) dalam Pembuatan Papan Semen Komposit	10
E. Sabut Kelapa sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Papan Semen	12
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	14
B. Alat dan Bahan	14
C. Prosedur Kerja	

1. Penyiapan Sabut Kelapa	15
2. Pembuatan Partikel Sabut Kelapa	15
3. Pengukuran Suhu Hidrasi	15
4. Pembuatan Papan Semen	16
5. Pemberian Perlakuan CO ₂ Papan Semen	17
D. Pengujian	
1. Sifat Fisik	
a. Kerapatan	22
b. Kadar Air	22
c. Daya Serap Air	23
d. Pengembangan Tebal dan Pengembangan Linier	24
2. Sifat Mekanis	
a. Keteguhan Patah (MoR).....	24
b. Modulus Elastisitas (MoE)	26
c. Keteguhan Rekat Internal (IB)	26
E. Analisis Data	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Suhu Hidrasi	31
B. Sifat Fisik Papan Semen Bambu Parring	
1. Kerapatan	32
2. Kadar Air	36
3. Daya Serap Air	37
4. Pengembangan Linier	43
5. Pengembangan Tebal	48
C. Sifat Mekanis Papan Semen Bambu Parring	
1. Keteguhan Rekat Internal (IB)	54
2. Keteguhan Patah (MoR)	56
3. Modulus Elastisitas (MoE)	60
D. Gambaran Umum Pengaruh Penggunaan CO₂ pada Berbagai Kondisi dan Waktu Injeksi Terhadap Waktu Curing dan Sifat-sifat Papan Semen	64

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	66
B. Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Komposisi Bahan Kimia Semen <i>Portland</i>	9
2.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kerapatan.....	32
3.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kerapatan	33
4.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kerapatan	33
5.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kadar Air	35
6.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kadar Air	36
7.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kadar Air	36
8.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam	38
9.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam	39
10.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam	40
11.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam	40
12.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam	41
13.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam	42

14.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan linier 2 Jam	44
15.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam	45
16.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam	45
17.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam	46
18.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam	47
19.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam	47
20.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam	50
21.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam	51
22.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam.....	51
23.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam.....	52
24.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam	53
25.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam	53
26.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Pengaruh Perlakuan Waktu Injeksi Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB)	55
27.	Hasill Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Modulus Rupture (MoR)	57

28.	Hasill Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Modulus Rupture (MoR)	58
29.	Hasill Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Modulus Rupture (MoR)	59
30.	Hasill Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)	61
31.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)	62
32.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)	62
33.	Ringkasan Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Komposit Sabut Kelapa	65

DAFTAR GAMBAR

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Fase yang menunjukkan Daerah Superkritis dari CO ₂	11
2.	Pengukuran Suhu Hidrasi	16
3.	Pengempaan Papan dan Sistem Klem yang Digunakan pada proses Pembuatan Papan Semen	18
4.	Alur Pembuatan Papan Semen	19
5.	Bentuk dan Ukuran Contoh Uji.....	20
6.	Unit Peralatan Karbon Dioksida (CO ₂)	21
7.	Pengujian Keteguhan Patah (MoR)	25
8.	Suhu Hidrasi Campuran Semen – Sabut Kelapa dan Semen (kontrol)....	30
9.	Kerapatan Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	32
10.	Kerapatan Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	32
11.	Kerapatan Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	33
12.	Kadar Air Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	35
13.	Kadar Air Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	35
14.	Kadar Air Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	36

15.	Daya Serap 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	38
16.	Daya Serap 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	39
17.	Daya Serap 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	39
18.	Daya Serap 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	40
19.	Daya Serap 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	41
20.	Daya Serap 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	41
21.	Pengembangan Linier 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	44
22.	Pengembangan Linier 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	44
23.	Pengembangan Linier 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	45
24.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	46
25.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	46
26.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	47
27.	Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	50
28.	Pengembangan Tebal Papan 2 Jam Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	50
29.	Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar	

	Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	51
30.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit	52
31.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	52
32.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	53
33.	Internal Bond (IB) Papan Semen Sabut Kelapa pada Berbagai Kombinasi Perlakuan	54
33.	Modulus Rupture (MoR) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit.....	57
34.	Modulus Rupture (MoR) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit.....	58
35.	Modulus Rupture (MoR) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit.....	58
36.	Modulus Elastisitas (MoE) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit.....	61
37.	Modulus Elastisitas (MoE) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit	61
38.	Modulus Elastisitas (MoE) Papan Semen Sabut Kelapa Antar Perlakuan Kondisi CO ₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit	62

DAFTAR LAMPIRAN

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Data Pengukuran Suhu Hidrasi Sabut Kelapa	70
2.	Grafik Pengukuran Suhu Hidrasi Sabut Kelapa.....	73
3.	Data Pengukuran Sifat Fisik Papan Semen Sabut Kelapa	74
4.	Data Pengukuran Sifat Mekanis Papan Semen Sabut Kelapa.....	77
5.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kerapatan	79
6.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kadar Air	79
7.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap Air 2 jam	79
8.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap 24 Jam ...	80
9.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam.....	80
10.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam.....	80
11.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam	81
12.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam	81
13.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB).....	81

14. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Patah (MoR).....	82
15. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Modulus Elastisitas (MoE).....	82

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Papan semen merupakan salah satu jenis papan komposit yang dapat dibuat dari berbagai bahan baku baik itu partikel kayu maupun bahan-bahan berlignoselulosa lainnya. Papan komposit jenis ini sering digunakan sebagai bahan bangunan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain tahan terhadap kelembaban (cuaca), api, serangan rayap, jamur dan organisme perusak kayu lainnya, memiliki kemampuan menyerap suara tinggi serta stabilitas dimensinya tinggi. Di samping memiliki kelebihan, papan semen juga memiliki kelemahan dimana waktu pengerasannya (*curing*) yang relatif lama yaitu minimal 28 hari dan termasuk jenis papan yang berat. Pada industri pembuatan papan semen dengan kapasitas produksi yang tinggi, lamanya waktu *curing* akan menjadi suatu masalah karena berkaitan dengan efisiensi waktu. Di Indonesia jumlah industri yang memproduksi papan semen belum begitu banyak. Namun, mengingat tingginya kesenjangan *supply* dan *demand* kayu saat ini tidak menutup kemungkinan beberapa tahun ke depan industri papan semen akan berkembang pesat.

Namun, mengingat persediaan kayu yang semakin menurun seiring dengan terus menurunnya produktivitas hutan (produktivitas hutan alam Indonesia hanya berkisar 1,1 – 1,4 m³/ha/tahun) (Suara Merdeka, 2006). Sedangkan kondisi hutan tanaman kita tidak bisa diharapkan memberikan kontribusi yang cukup berarti. Di sisi lain, laju degradasi hutan terus meningkat.

Data menunjukkan degradasi hutan Indonesia sudah mencapai 1,6 – 2,8 juta hektar pertahun (Info Jawa, 2006). Kondisi ini menuntut adanya konsep penggunaan kayu secara efisien dan bijaksana.

Upaya untuk mengatasi permasalahan di atas salah satunya adalah dengan pengembangan bahan baku alternatif seperti sabut kelapa yang dapat dijadikan substitusi bahan baku kayu. Sabut kelapa selama ini hanya digunakan untuk bahan bakar dapur tradisional dan alat-alat rumah tangga (sapu, keset, sikat, pembersih dan lain-lain) dengan nilai ekonomi yang masih rendah. Padahal potensi sabut kelapa Indonesia cukup besar yaitu sekitar 1 juta ton/tahun (FAO, 1999). Sabut kelapa sangat murah dan banyak tersedia dimana-mana yang apabila dikembangkan menjadi produk yang mempunyai nilai tambah yang lebih tinggi dapat memberikan keuntungan. Dengan pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku pembuatan papan semen diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi dari sabut kelapa. Penelitian mengenai pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku pembuatan papan komposit telah dilakukan oleh Setyawati dkk., (2006) dan Sumarni (2007). Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa sabut kelapa cukup baik digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan komposit termasuk papan semen.

Areal tanaman kelapa di Sulawesi Selatan seluas 97.569 ha dengan produksi sabut kelapa sekitar 32.241,65 ton dari kelapa lokal dan sekitar 6.896,75 ton dari kelapa hibrida (BAPPEDA, 2006). Selain potensi sabut kelapa yang dimiliki cukup tinggi, di Sulawesi Selatan juga terdapat dua pabrik semen besar yaitu PT. Semen Bosowa dan PT. Semen Tonasa yang masing-masing memiliki

kapasitas produksi sekitar 3,62 juta ton/tahun dan 3,48 juta ton/tahun (Sumarni, 2007). Kedua potensi di atas dapat menjadi patokan dalam mengembangkan produk-produk papan komposit terutama papan semen.

Oleh karena itu, telah banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas papan yang akan dihasilkan, baik itu berkaitan dengan diversifikasi bahan baku, penggunaan akselerator maupun pengembangan teknologi proses pembuatan papan. Salah satu inovasi peningkatan kualitas papan yang perlu dikembangkan adalah pemanfaatan karbon dioksida (CO₂) untuk mempercepat proses *curing* papan. Dengan penggunaan CO₂ baik dalam bentuk cair, gas maupun superkritis diharapkan waktu *curing* menjadi lebih singkat dan kualitas papan yang dihasilkan dapat meningkat pula. Sehingga peluang untuk mengembangkan papan semen ke depan cukup besar.

B. Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan karbon dioksida (CO₂) baik dalam bentuk cair, gas maupun superkritis terhadap kualitas papan semen komposit dari sabut kelapa. Kegunaannya adalah meningkatkan teknologi proses pembuatan papan semen komposit dari sabut kelapa dan mendapatkan alternatif bahan baku yang dapat mensubstitusi bahan baku kayu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Papan Semen Komposit

Papan semen adalah papan tiruan yang dibuat dari campuran potongan kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dengan semen sebagai perekatnya. Apabila potongan kayu tersebut berbentuk wol, maka papan semen yang dihasilkan disebut papan wol kayu (panjang 300 - 400 mm, lebar 3 - 4 mm dan tebal 0,2 - 0,5 mm), sedangkan yang dibuat dari potongan kayu yang kecil seperti tatal, serpih dan serbuk gergaji disebut papan semen partikel (Paribotro dkk., 1977).

Menurut Pfiester (1985); Blankerhorn *et al.*, (1991) dalam Bakri (2005) papan semen partikel kayu mempunyai kelebihan tertentu dibandingkan papan partikel yang dibuat dengan perekat urea dan phenol formaldehida. Kelebihan papan semen partikel tersebut antara lain ketahanan bakar yang tinggi, tahan terhadap jamur dan serangga, cocok atau sesuai terhadap cuaca dan cocok untuk isolasi suara (kedap suara). Dengan kelebihan tersebut papan semen partikel kayu sangat cocok digunakan untuk permukaan dinding eksterior maupun interior serta untuk pembuatan dek bangunan-bangunan umum dan komersial. Tetapi karena kerapatannya yang tinggi dan sukarnya untuk dipotong dan dipasang dapat menjadi penghambat perkembangan papan tersebut (Haygreen dan Bowyer, 1996).

Sifat papan semen dipengaruhi oleh berbagai faktor. Beberapa faktor yang menentukan sifat papan semen antara lain perbandingan (rasio) semen dengan partikel kayu, besarnya tekanan kempa, kerapatan papan, jenis mineral perekat

(semen) yang digunakan, kadar air partikel kayu, dimensi (ukuran) partikel kayu dan pengeras atau katalisator (Prayitno, 1995) *dalam* (Bakri dkk., 2006). Khusus untuk faktor akselerator, hasil penelitian Handayani (2004) terhadap limbah kayu agathis (*Agathis* sp.) menunjukkan bahwa faktor jenis akselerator berpengaruh signifikan dan sangat signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik papan semen partikel. Sedangkan faktor presentase akselerator dan interaksi kedua faktor tersebut memberikan pengaruh yang tidak signifikan. Hasil terbaik diperoleh pada perlakuan papan semen partikel dengan penambahan akselerator jenis $MgCl_2$ dengan presentase 3%.

Faktor lain yang dapat menghambat pengerasan semen adalah terjadinya senyawa $Ca(OH)_2$ ketika dilakukan pencampuran semen dan air. Kalsium hidroksida tersebut dapat melarutkan sebagian hemiselulosa kayu. Di samping faktor kimia kayu ada juga faktor lain yang perlu diperhatikan antara lain pengaruh musim dan *blue stain* terhadap kadar gula dalam kayu (Simatupang, 1974) *dalam* (Husin, 2003).

Menurut Anonim (1975) *dalam* Husin (2003) sifat-sifat papan semen partikel yang dihasilkan oleh Perusahaan Bison adalah sebagai berikut :

a. Sifat fisik :

1. Kerapatan : 1.250 kg/m^3 (perbandingan kayu dengan semen 1: 2,75 dari berat)
2. Pertambahan tebal setelah direndam dalam air untuk berbagai interval waktu tertentu adalah sebagai berikut :
 - Selama 2 jam : 0,8 – 1,3%

- Selama 24 jam : 1,2 – 2,0%
 - Selama 28 Hari : 1,2 – 2,0%
3. Pengembangan linier : 0,3 – 0,4%
 4. Ketahanan terhadap perubahan suhu kekuatan papan semen partikel tidak mengalami perubahan dari - 35°C sampai +20°C
 5. Daya hantar panas : 0,155 Kkal/m²h°C
 6. Isolasi terhadap suara :
 - Papan satu lapis dengan tebal 12 mm : 30 dB
 - Papan satu lapis dengan tebal 14 mm : 36 dB
 - *Double-skin wall* yang terdiri atas dua papan dengan tebal 16 dan 18 mm dengan ruang udara 50 mm : 40 - 50 dB
- b. Sifat Mekanis papan semen partikel dengan tebal 16 mm dan kerapatan 1.250 kg/m³ :
1. Keteguhan lentur : 90 - 150 kg/cm²
 2. Keteguhan tarik tegak lurus permukaan papan adalah 4 - 6 kg/cm²
 3. Keteguhan tekan : 150 kg/cm²
 4. Modulus elastisitas : 30.000 - 50.000 kg/cm²
 5. *Screw holding* untuk papan dengan tebal 12 - 24 mm : 90 - 120 kg/cm²
 6. *Nail holding* : 40 - 80 kg/cm²

Sedangkan menurut Meulenhoff dan Tambunan (1980) dalam Setyono (2003) untuk papan semen dengan kerapatan 1.400 kg/m^3 adalah sebagai berikut :

1. Sifat fisis

a. Pengembangan tebal setelah direndam dalam air sebagai berikut :

- Selama 2 jam : $0,2 - 0,6\%$

- Selama 24 jam : $0,6 - 1,2\%$

b. Daya hantar panas sebesar $0,155 \text{ kkal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

c. Isolasi terhadap suara adalah 32 dB untuk ketebalan panil 12 mm

2. Sifat mekanis

a. Keteguhan tekan sebesar 150 kg/cm^2

b. Kekuatan patah sebesar $120 - 180 \text{ kg/cm}^2$

c. Daya rentang tegak lurus panil sebesar $6 - 9 \text{ kg/cm}^2$.

B. Bahan Pengikat Semen

Semen adalah hasil industri dari paduan bahan baku batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium Oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*)

dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 – 50 kg (Beacukai, 2006).

Semen dibagi menjadi dua macam berdasarkan fungsinya sebagai perekat, yaitu semen *portland* dan semen *sorrel*. Semen *portland* adalah perekat hidrolisis yang dapat mengeras apabila bersenyawa dengan air dan akan membentuk benda padat yang tidak larut dalam air. Bahan baku semen *portland* adalah batu kapur dan tanah liat yang mengandung oksida besi, alumina dan silika serta oksida lainnya walaupun sedikit. Sedangkan semen *sorrel* dibuat dari campuran bahan $MgCl_2$ dan MgO (Simatupang, 1974 dan SII 0447-81, 1986) dalam (Sutini, 2003).

Semen *portland* adalah sejenis bahan ikat hidrolisis yang dihasilkan oleh pabrik. Semen *portland* diperoleh dari hasil pembakaran bahan-bahan dasar antara lain batu kapur (yang mengandung CaO), tanah geluh atau serpih (yang mengandung H_2O dan SiO_2) dan tambahan bahan lain yang sesuai dengan jenis semen yang diinginkan. Campuran dari bahan tersebut diatas selanjutnya dibakar pada temperatur tinggi dalam tanur bakar hingga diperoleh butir-butir klingker. Kemudian klingker digiling halus secara mekanik sambil ditambahkan gips tak terbakar. Hasilnya terbentuk tepung kering yang dikemas dalam kantong semen (Purwoko dkk., 1980) dalam (Setyono, 2003).

Bahan pengikat mineral (terutama semen *portland*) digunakan dalam beberapa tipe produk partikel asal kayu. Papan partikel berpengikat semen memiliki ketahanan yang istimewa terhadap perusakan dari pembusukan, serangga dan api. Jadi sangat cocok untuk permukaan dinding eksterior dan interior (Haygreen dan Bowyer, 1996).

Secara umum, komposisi bahan kimia yang terdapat dalam semen *portland* menurut Moslemi (1994) dalam Sutini (2003) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan Kimia Semen *Portland*

No.	Bahan kimia	Jumlah (%)
1	Kapur (CaO)	60 – 80
2	Silikat (SiO ₂)	19 – 24
3	Alumina (Al ₂ O ₂)	3,0 – 7,0
4	Besi Oksida (Fe ₂ O ₂)	0,7 – 0,3
5	Magnesida (MgO)	1,3 – 7,2
6	Sulfur Trioksida (SO ₃)	0,0 – 1,0
7	Soda (Na ₂ O)	0,1 – 1,5
8	Potasium (K ₂ O)	0,3 – 0,6

C. Hidrasi

Suhu hidrasi terjadi akibat reaksi eksotermik antara semen dan air. Nilainya merupakan salah satu indikator kesesuaian kayu sebagai bahan baku papan semen partikel. Suhu dan waktu hidrasi dipengaruhi oleh zat ekstraktif karena zat ekstraktif dapat menghambat pengerasan semen (Setyono, 2003). Perbedaan waktu dan suhu hidrasi campuran semen dan kayu dengan waktu atau suhu hidrasi semen menunjukkan tingkat penghambatan pengerasan semen yang kemudian disebut indeks penghambat (*inhibitory index*) merupakan nilai yang menunjukkan kekompakan semen dan serbuk kayu sebagai bahan baku (Pinion, 1968) dalam (Paribotro dkk., 1977).

Pengukuran suhu hidrasi mengacu pada metode Hermawan (2001) dilakukan dengan menggunakan kotak *styrene foam* kedap udara dimana kedalamnya dimasukkan suatu wadah berisi partikel, semen dan air dengan perbandingan 1: 13,3 : 6,65. Termokopel dimasukkan lewat tutup kemudian ditutup rapat agar tidak ada panas yang keluar dan dihubungkan dengan *recorder*,

kenaikan suhu dicatat setiap jam terus-menerus selama 24 jam dalam periode tertentu suhu maksimum akan tercapai dan setelah suhu turun, suhu maksimum itulah yang dipakai sebagai ukuran suatu bahan bisa dipakai.

Menurut standar Puslitbang Hasil Hutan Bogor, suhu hidrasi kurang dari 36°C digolongkan tidak baik, 36 - 41°C digolongkan sedang dan lebih dari 41°C digolongkan baik untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan semen (Paribotro dkk., 1977). Sedangkan menurut Kamil (1970) suhu hidrasi lebih dari 60°C adalah baik, 55° - 60°C sedang dan kurang dari 55°C tidak baik.

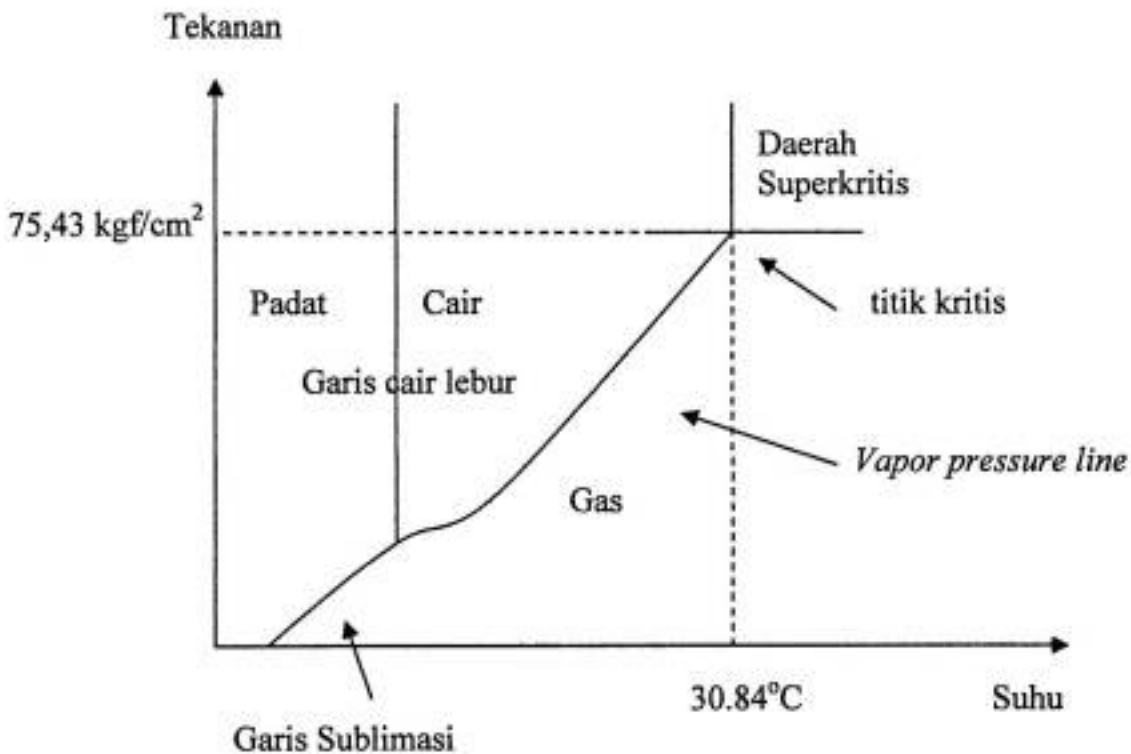
Banyak pendekatan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kesesuaian kayu sebagai bahan baku papan semen diantaranya dengan penyimpanan dan penggunaan bahan mineral. Penyimpanan yang dianjurkan umumnya selama 14 sampai 20 minggu. Selama penyimpanan kadar gula dalam kayu dapat mencapai kadar minimum (Hermawan, 2001).

D. Penggunaan Karbon Dioksida (CO₂) dalam Pembuatan Papan Semen Komposit

Pada proses pembuatan papan semen, pemberian gas CO₂ dan *supercritical* CO₂ setelah pengempaan ke dalam papan semen partikel mampu mempercepat proses *curing* dan dapat meningkatkan kualitas papan yang dihasilkan (Hermawan, 2001). Sifat papan semen partikel yang dibuat dengan metode konvensional meningkat signifikan dengan perlakuan *supercritical* CO₂ selama 90 menit, nilai *Modulus of Rupture* (MoR) dan *Modulus of Elasticity* (MoE) papan dengan perlakuan *supercritical* CO₂ masing-masing 234,53 kg/cm² dan 53.001,04 kg/cm² lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MoR dan MoE

papan yang dibuat dengan metode konvensional masing-masing $113,19 \text{ kg/cm}^2$ dan $35.690,06 \text{ kg/cm}^2$, dengan nilai *internal bond* (IB) tinggi dan pengembangan tebal yang rendah (Hermawan *et al*, 2000).

Hermawan (2001) menyatakan bahwa pada dasarnya penambahan gas karbon dioksida (CO_2) selama pengepresan dapat mempercepat pengerasan lanjutan (*curing*) semen menjadi beberapa menit bila dibandingkan dengan proses *curing* konvensional yang memerlukan waktu sekitar 2 – 4 minggu. Menurut Kitao *et al.*, (1998) fase CO_2 yang dimanipulasi dengan perubahan suhu dan tekanan kritis terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Fase yang menunjukkan Daerah Superkritis dari CO_2

Penambahan karbon dioksida (CO₂) berakibat terhadap perubahan struktur hidrasi semen, kalsium karbonat (CaCO₃) terbentuk sempurna dan baik. Pembentukan ini diakibatkan oleh hidrasi semua komponen dasar semen. Seperti terlihat pada reaksi berikut :



Hal tersebut dipercaya bertautan dengan hidrasi kalsium silikat dan permukaan kayu. Cairan semen kemudian mengalir ke dalam celah dan lumen sel pada permukaan kayu yang kasar. Interaksi tersebut memberikan kekuatan yang unggul dalam campuran semen. Oleh karena itu, proses tersebut mungkin memberikan kontribusi terhadap kekuatan (Hermawan, 2001).

E. Sabut Kelapa sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Papan Semen

Salah satu hasil olahan kelapa yang juga dapat menghasilkan devisa negara adalah sabut kelapa. Sabut kelapa merupakan bagian yang cukup besar dari buah kelapa yaitu sekitar 35% dari berat total buah kelapa yang dapat dijadikan sebagai bahan baku aneka industri, seperti karpet, sikat, keset, bahan pengisi jok mobil, tali dan lain-lain (Palungkun, 2004).

Sabut kelapa memiliki keunggulan dibandingkan dengan produk substitusinya, terutama serat sintetis, yaitu memiliki daya serap air yang sangat tinggi, sifat material yang ramah lingkungan (*natural recycle*), daya serap panas yang sangat tinggi, proses pengolahannya tidak mencemari lingkungan, menggunakan mesin pengolah yang relatif sederhana dan memiliki pangsa pasar yang sangat besar baik domestik maupun ekspor.

Sabut kelapa juga dapat dimanfaatkan sebagai media tanaman komersial seperti jamur, media hortikultura dengan nilai ekonomis tinggi dan media tanaman hidrophobik (Purbalinggakab, 2006).

Sabut kelapa sebagai bahan baku dianalisa kadar air, kadar abu dan kadar selulosanya. Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa, bahan baku sabut kelapa mempunyai kadar air 22,33%, kadar abu 9,22% dan kadar selulosa 64,804% (Widiyarti, 2002).

Hasil penelitian Setyawati dkk., (2006) menunjukkan bahwa secara umum perbedaan ukuran partikel sabut kelapa tidak berpengaruh nyata terhadap kualitas papan komposit, namun penggunaan sabut kelapa dengan panjang 5 cm adalah yang paling optimum. Sedangkan hasil penelitian Sumarni (2007) menunjukkan bahwa pada ukuran sabut kelapa 2 cm diperoleh sifat mekanik terbaik. Ini membuktikan adanya perkembangan penelitian yang mengarah pada usaha perbaikan kualitas papan yang akan dihasilkan.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan November 2007 sampai bulan April 2008, dengan pengambilan sampel di Kota Makassar Sulawesi Selatan. Pembuatan papan dan pengujian sifat mekanik papan dilakukan di UPTD Pemanfaatan Sumber Daya Lokal, Dinas Pekerjaan Umum dan Pemukiman, Makassar. Sedangkan pengujian sifat fisik dilakukan di Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan, Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *hammer mill*, kotak *styrene foam*, gelas plastik, tabung reaksi, termometer, *stopwatch*, wadah plastik/ember, kain kasa, alat kempa, cetakan ukuran 15 cm x 10 cm x 1 cm, saringan 60 dan 100 mesh, *sprayer*, *oven*, sarung tangan, desikator, penangas air, plastik klip, gunting, timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g, *calipper* dengan ketelitian 0,05 mm, *micrometer* dengan ketelitian 0,01 mm, plat besi, baut 14, kunci 14, stik besi ukuran 1 cm x 1 cm x 1cm, *Universal Testing Machine* (UTM), seperangkat alat CO₂ dan alat tulis menulis. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sabut kelapa, semen *Portland* produksi PT. Semen Tonasa Pangkep Sulawesi Selatan, air, gas CO₂ produksi PT. Aneka Gas Industri Wilayah VI Sulawesi Selatan, es batu, minyak bako, plastik, *aluminium foil*, isolasi dan kertas label.

C. Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

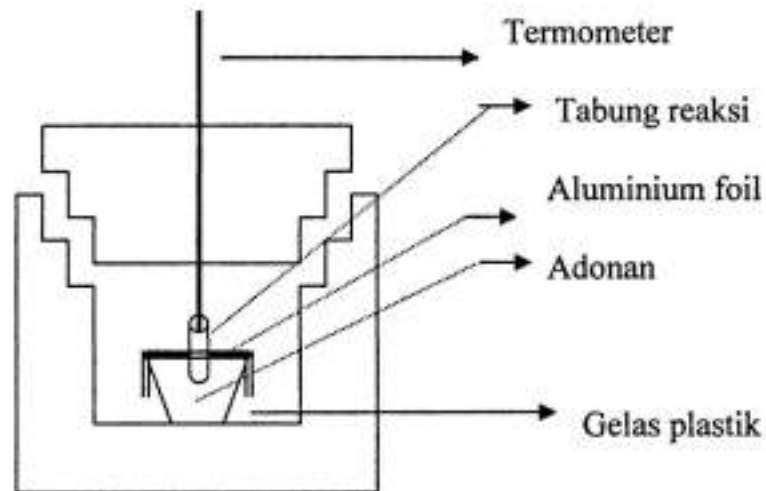
1. Menyiapkan sabut kelapa sebagai bahan baku pembuatan papan semen.
2. Membuat partikel kayu

Memisahkan berkas-berkas serat dari gabus sabut kelapa, selanjutnya akan dipotong-potong dengan ukuran 2 cm. Partikel sabut kelapa tersebut mengalami perlakuan perendaman dengan air pada suhu kamar dengan merendam partikel dengan air dalam wadah/ember plastik pada suhu kamar selama 48 jam dan mengganti airnya tiap 24 jam. Mengeringkan partikel yang telah direndam di atas kain kasa, kemudian menyimpannya dalam plastik klip. Selanjutnya menghitung kadar air partikel tersebut. Setelah kadar air partikel mencapai kisaran 30 – 50%, partikel tersebut siap untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan semen.

3. Mengukur suhu hidrasi

Bahan yang digunakan dalam mengukur suhu hidrasi adalah partikel kering yang lolos dari saringan 60 mesh dan tertahan pada saringan 100 mesh, semen dan air. Mencampur partikel, semen dan air dengan perbandingan 1 : 13,3 : 6,65, kemudian mengaduknya sampai homogen. Memasukkan adonan tersebut ke dalam gelas plastik kemudian menutupnya dengan *aluminium foil*, setelah itu menancapkan tabung reaksi berisi minyak bako ke dalam adonan, kemudian memasukkannya ke dalam kotak *styrene foam* yang kedap udara. Selanjutnya memasukkan termometer ke dalam tabung reaksi yang berisi

minyak bako melalui penutup kotak yang telah dilubangi tengahnya, dan mengusahakan agar tidak ada panas yang keluar dari kotak *styrene foam*. Kemudian mencatat variasi suhu selama 24 jam dengan interval waktu pengukuran setiap 15 menit.



Gambar 2. Pengukuran Suhu Hidrasi

Pengukuran suhu hidrasi dilakukan dengan mengacu pada standar menurut Kamil (1970), yang dilakukan dengan mencatat kenaikan suhu setiap 15 menit selama 24 jam. Dalam periode tertentu suhu maksimum akan tercapai dan setelah suhu turun, suhu maksimum itulah yang dipakai sebagai ukuran suatu bahan bisa dipakai sebagai bahan baku papan semen.

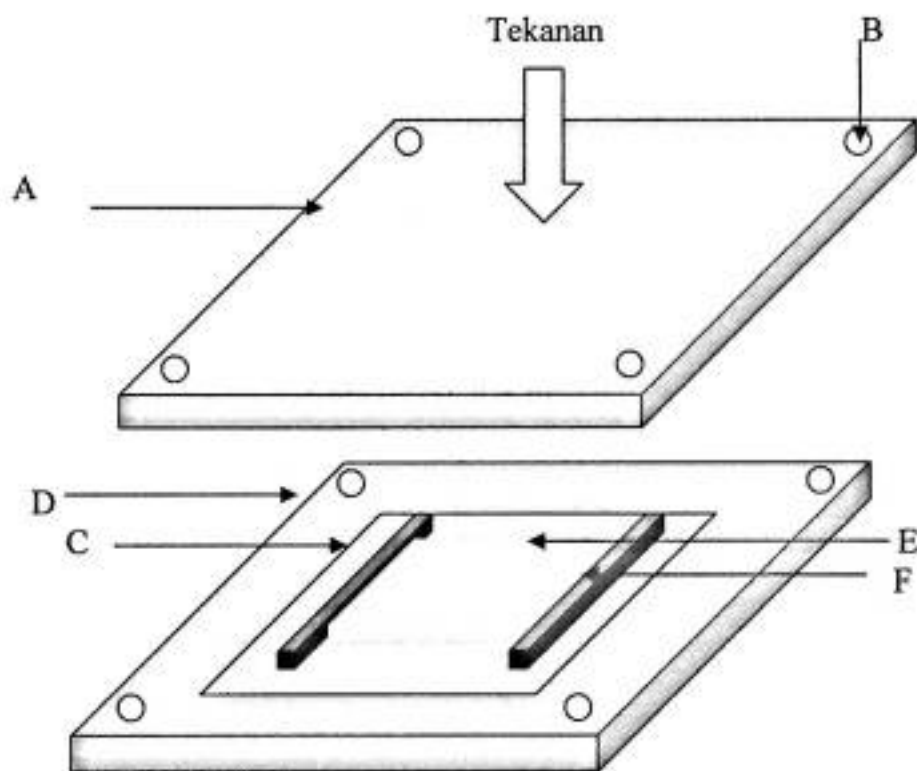
4. Membuat papan semen

Papan semen partikel dibuat dengan perbandingan partikel, semen dan air adalah 1 : 2,5 : 1,25 dengan berat masing-masing bahan untuk setiap papan yaitu (37,89 g, 94,74 g dan 47,37 g) namun karena kadar air partikelnya 37,93% maka berat masing-masing bahan untuk setiap papan menjadi (52,26 g, 94,74 g dan 32,98 g). Adonan dibuat dengan mencampur partikel, semen

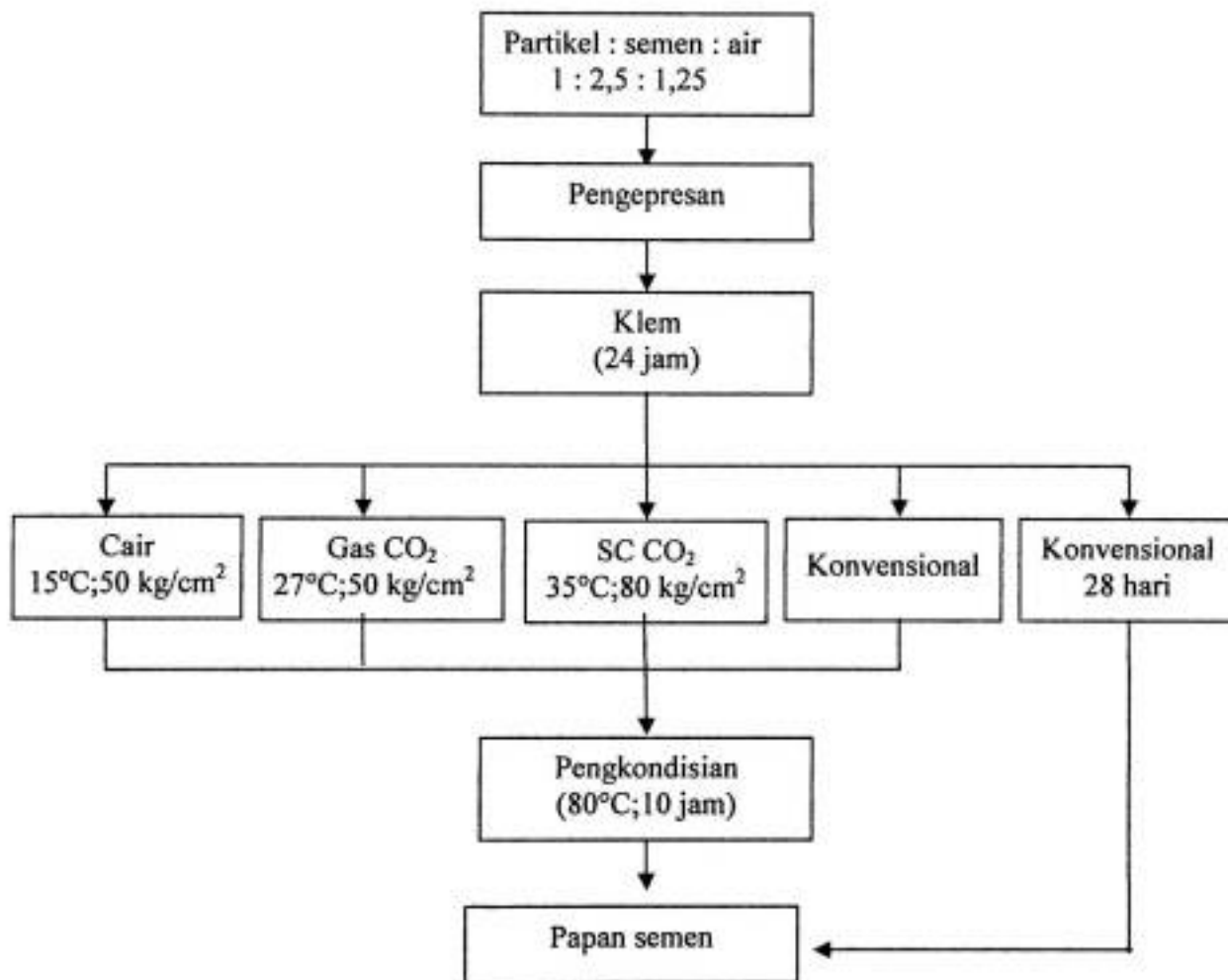
dan air sampai homogen. Pembuatan lembaran papan dilakukan di atas plastik dan plat besi dengan cetakan ukuran 15 cm x 10 cm x 1 cm. Adonan papan yang ada pada plat besi dikempa sampai ketebalan 1 cm dan baut-bautnya dikencangkan (Gambar 3) serta diisolasi bagian pinggir platnya, setelah itu papan diklem selama 24 jam (*setting process*). Kemudian papan dikeluarkan dari plat besi dan diletakkan di ruangan untuk pengerasan lanjutan (*curing*) pada suhu ruangan selama 4 minggu.

5. Pemberian perlakuan CO₂ pada papan semen

Papan yang baru dikeluarkan dari alat pengepresan terlebih dahulu dipotong-potong sebelum dimasukkan ke dalam tabung perangkat CO₂. Kedalam tabung tersebut dialirkan gas CO₂ kemudian suhu diturunkan sampai 15°C dan tekanan 50 kg/cm² untuk mencapai kondisi CO₂ cair. Untuk mencapai kondisi gas CO₂ maka suhu dinaikkan sampai 27°C dan tekanan 50 kg/cm² sedangkan untuk mencapai kondisi super kritis (SC CO₂), suhu dan tekanannya dinaikkan sampai 35°C dan 80 kg/cm². Kondisi tersebut kemudian dipertahankan masing-masing selama 10, 30 dan 60 menit. Selanjutnya dikeluarkan dari tabung dan dimasukkan ke dalam desikator selama ± 15 menit kemudian menimbang beratnya sebelum dipanaskan pada suhu 80°C selama 10 jam. Setelah dikeluarkan dari oven papan dimasukkan lagi ke dalam desikator, kemudian beratnya ditimbang lagi. Selanjutnya papan siap diuji sifat fisik dan mekanisnya. Alur pembuatan papan semen partikel dapat dilihat pada Gambar 4.

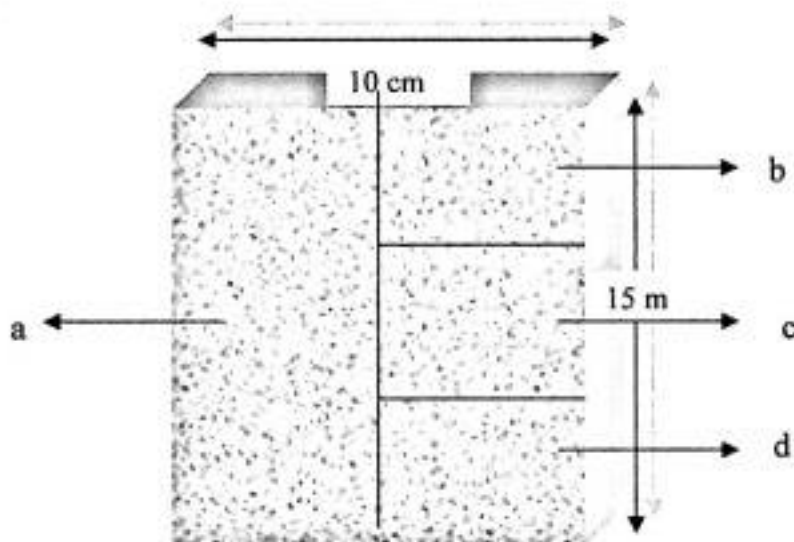


Gambar 3. Pengempaan Papan dan Sistem Klem yang Digunakan : (A) = Plat besi bagian atas, (B) = Lubang baut, (C) = Plastik transparan, (D) = Plat besi bagian bawah, (E) = Campuran, (F) = Stik besi 1cm x 1cm x 35cm.



Gambar 4. Alur Pembuatan Papan Semen

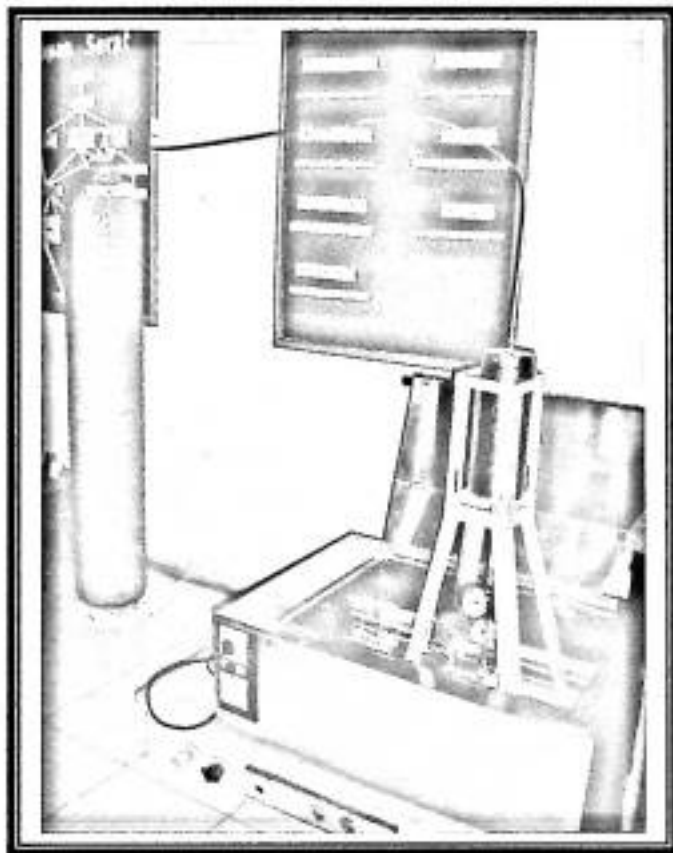
Papan-papan yang telah dibuat dipotong-potong untuk dilakukan pengujian, guna mengetahui sifat fisik dan mekanis papan yang dibuat. Bentuk dan ukuran contoh uji berpatokan pada ukuran tabung perangkat CO₂ yang akan digunakan untuk proses pengerasan lanjutan (*curing*) papan seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk dan Ukuran Contoh Uji

Keterangan :

- a = Contoh uji untuk keteguhan patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) ukuran 15 cm x 5 cm
- b = Contoh uji kerapatan dan kadar air (5 cm x 5 cm)
- c = Contoh uji daya serap air, pengembangan tebal dan pengembangan linier (5 cm x 5 cm)
- d = Contoh uji *internal bond* (5 cm x 5 cm)



Gambar 6. Seperangkat Alat Karbon Dioksida (CO₂)

D. Pengujian

Pengujian kualitas papan dilakukan dengan mengamati parameter sifat fisik dan mekanisnya, yang dilakukan berdasarkan standar JIS A 5417 - 1992 yaitu:

a. Sifat fisik

1. Kerapatan (ρ)

Kerapatan papan semen dihitung berdasarkan berat dan volume kering udara dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{B}{V}$$

Keterangan :

ρ = Kerapatan (g/cm^3)

B = Berat contoh uji kering udara (g)

V = Volume contoh uji kering udara (cm^3)

2. Kadar air (KA)

Kadar air papan semen dilakukan dengan menghitung selisih berat awal dengan berat setelah dikeringkan dalam *oven* sampai mencapai berat konstan pada suhu $\pm 103^{\circ}\text{C}$. Kadar air tersebut dihitung dengan rumus :

$$KA = \frac{BA - BKO}{BKO} \times 100\%$$

Keterangan :

KA = Kadar air (%)

BA = Berat awal (kering udara)

BKO = Berat akhir (kering oven)

3. Daya serap air

Pengujian daya serap air dilakukan bersama dengan pengujian pengembangan tebal dan linier. Dilakukan dengan menghitung selisih berat sebelum dan setelah perendaman dalam air dingin selama 2 jam dan 24 jam. Daya serap air tersebut dihitung dengan rumus :

$$DS = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\%$$

Keterangan :

DS = Daya serap air (%)

B₁ = Berat awal contoh uji setelah pengkondisian (g)

B₂ = Berat contoh uji setelah perendaman 2 jam dan 24 jam (g)

4. Pengembangan tebal dan Pengembangan linier (P)

Pengembangan tebal dan pengembangan linier didasarkan atas selisih tebal dan panjang sebelum dan setelah perendaman dalam air dingin selama 2 jam dan 24 jam. Pengembangan tebal dan linier tersebut dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \times 100\%$$

Keterangan :

P = Pengembangan tebal dan linier (%)

To = Tebal atau panjang awal contoh uji setelah pengkondisian (cm)

T1 = Tebal atau panjang contoh uji setelah perendaman 2 jam
dan 24 jam (cm).

b. Sifat mekanis

1. Keteguhan patah (MoR)

Pengujian MoR dilakukan dengan menggunakan mesin penguji *Universal Testing Machine* (UTM). Dilakukan dengan memberikan beban secara perlahan – lahan pada bagian tengah contoh uji. Jarak sangga yang digunakan adalah 10 cm. Posisi beban dan jarak sangga dapat dilihat pada Gambar 7.

MoR contoh uji dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{MoR} = \frac{3 P L}{2 b h^2}$$

Keterangan :

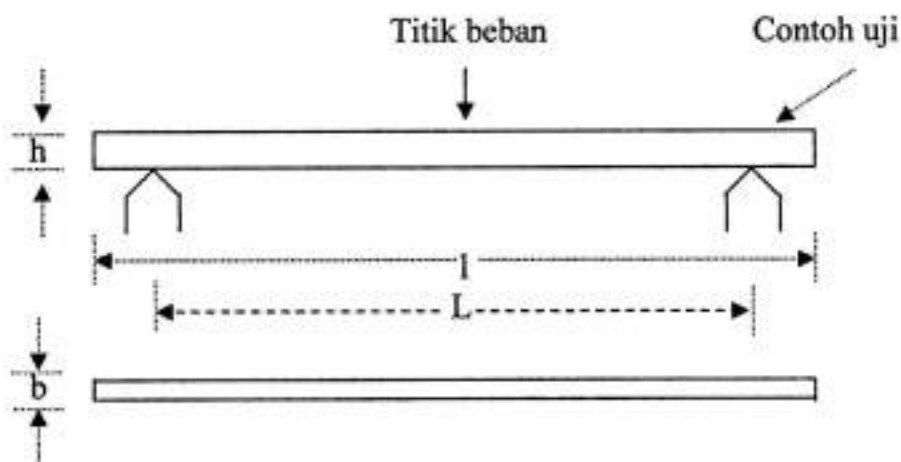
MoR = Keteguhan patah (kgf/cm²)

P = Beban maksimum (kgf)

L = Jarak sangga (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

h = Tebal contoh uji (cm)



Gambar 7. Pengujian Keteguhan Patah (MOR)

Keterangan :

l : Panjang contoh uji

L : Jarak sangga

h : Tebal contoh uji

b : Lebar contoh uji

2. Modulus elastisitas (MoE)

Pengujian MoE dilakukan bersamaan dengan pengujian MoE, namun yang dicatat dalam pengujian ini adalah perubahan defleksi setiap perubahan beban tertentu. Nilai MoE dihitung dengan rumus :

$$\text{MoE} = \frac{\Delta P L^3}{4 \Delta Y b h^3}$$

Keterangan :

MoE = Modulus Elastisitas (kgf/cm²)

ΔP = Perubahan beban yang digunakan (kgf)

ΔY = Perubahan defleksi setiap perubahan beban (cm)

L = Jarak sangga (cm)

h = Tebal contoh uji (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

3. *Internal Bond* (IB)

Contoh uji ukuran 5x5 cm direkatkan pada dua balok kayu dengan perekat epoxy dan dibiarkan kering selama 24 jam. Kedua balok ditarik lurus permukaan contoh uji sampai beban maksimum. Nilai Keteguhan rekat internal dapat dihitung dengan rumus :

$$IB = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

IB = Keteguhan rekat internal (kg/cm²)

P = Beban saat ikatan paralel lepas (kg)

A = Luas permukaan contoh (cm²)

E. Analisis Data

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) . Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali dan jumlah satuan percobaan sebanyak 44 pengamatan dengan 176 contoh uji. Kombinasi perlakuan untuk percobaan ini yaitu :

1. K1 : Konvensional tanpa dioven (4 minggu)
2. K2 : Konvensional dioven (80°C;10 jam)
3. A1B1 : Kombinasi perlakuan CO₂ cair ;10 menit
4. A1B2 : Kombinasi perlakuan CO₂ cair ; 30 menit
5. A1B3 : Kombinasi perlakuan CO₂ cair ; 60 menit
6. A2B1 : Kombinasi perlakuan gas CO₂ ; 10 menit
7. A2B2 : Kombinasi perlakuan gas CO₂ ; 30 menit
8. A2B3 : Kombinasi perlakuan gas CO₂ ; 60 menit
9. A3B1 : Kombinasi perlakuan *supercritical* CO₂ ; 10 menit
- 10.A3B2 : Kombinasi perlakuan *supercritical* CO₂ ; 30 menit
- 11.A3B3 : Kombinasi perlakuan *supercritical* CO₂ ; 60 menit

Model Rancangan Acak Lengkap (RAL) menurut Gaspertz (1991) adalah sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} ; \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, 11 \\ j = 1, 2, 3, 4 \end{matrix}$$

Dimana :

Y_{ij} = Nilai pengamatan pada satuan percobaan ke-j yang memperoleh kombinasi perlakuan ke-i

μ = Nilai tengah umum

τ_i = Pengaruh perlakuan ke-i

ε_{ij} = Pengaruh galat percobaan ke-j yang memperoleh kombinasi perlakuan ke-i

Guna mengetahui pengaruh dari masing-masing perlakuan dan apabila hipotesis nol ditolak, yang berarti paling sedikit ada dua nilai tengah perlakuan yang berbeda, maka perlu dilakukan uji lanjut untuk melacak perbedaan di antara nilai tengah perlakuan tersebut, yaitu dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan rumus sebagai berikut :

$$W = q_{\alpha(p, f_e)} \cdot s_y$$

Dimana :

W = Nilai uji Tukey

q_{α} = Nilai tabel Tukey

p = Jumlah perlakuan

f_e = Derajat bebas galat

s_y = Galat baku nilai tengah $(KTG/r)^{1/2}$

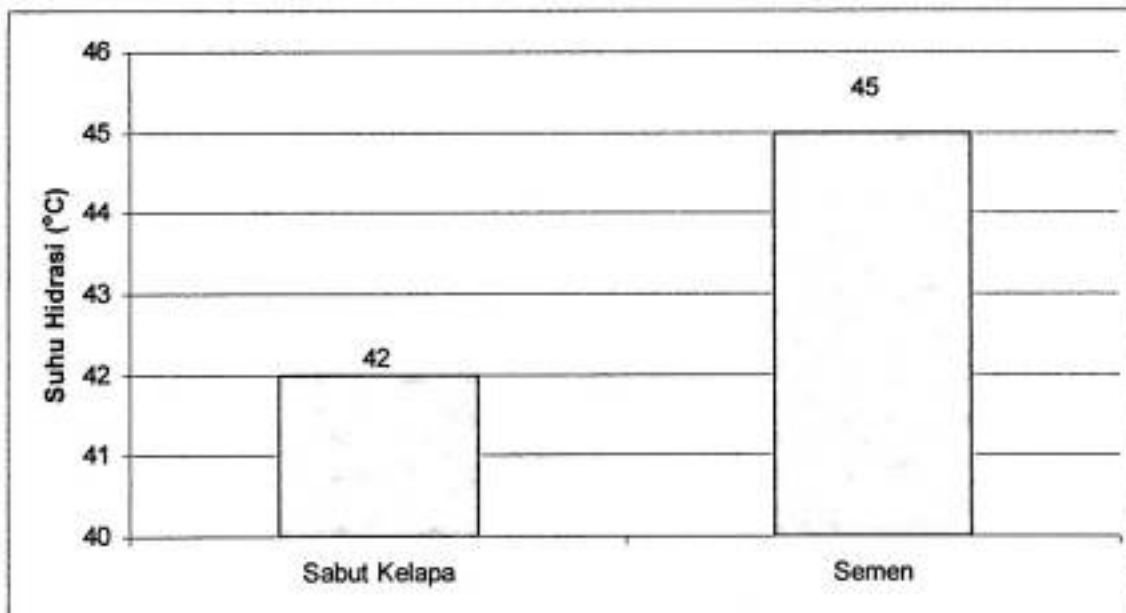
dimana KTG = Kuadrat tengah galat

r = Jumlah ulangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Suhu Hidrasi

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan bahwa suhu hidrasi maksimum campuran partikel sabut kelapa, semen dan air adalah 42 °C dan suhu rata-rata tertinggi adalah 40°C sedangkan suhu hidrasi maksimum campuran semen dan air adalah 45°C dan suhu rata-rata tertinggi adalah 43°C. Nilai suhu hidrasi campuran partikel sabut kelapa, semen dan air serta campuran semen dan air dapat dilihat pada Gambar 8. Nilai-nilai dan grafik pengukuran suhu hidrasi dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2.



Gambar 8. Histogram Suhu Hidrasi Sabut Kelapa

Berdasarkan klasifikasi Puslitbang Hasil Hutan Bogor (Suhasman, 2005) suhu hidrasi campuran partikel, semen dan air termasuk kategori baik. Partikel sabut kelapa yang digunakan terlebih dahulu telah mengalami perlakuan perendaman air pada suhu kamar selama 48 jam. Adanya perlakuan perendaman

air menyebabkan kadar zat ekstraktif partikel berkurang sehingga proses pengerasan semen tidak terhambat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian paribotro, dkk (1977) yang menyatakan bahwa perendaman partikel dalam air dapat melarutkan zat ekstraktif seperti tanin, gula dan zat warna, dimana gula adalah faktor penghambat utama. Masalah kesesuaian suhu hidrasi sebenarnya telah dapat diatasi dengan penggunaan *supercritical* CO₂. Injeksi *supercritical* CO₂ pada proses pembuatan papan semen menghasilkan papan dengan sifat-sifat yang lebih baik dari cara pembuatan konvensional dan waktu *curing* yang jauh lebih singkat (Hermawan *et al*, 2000).

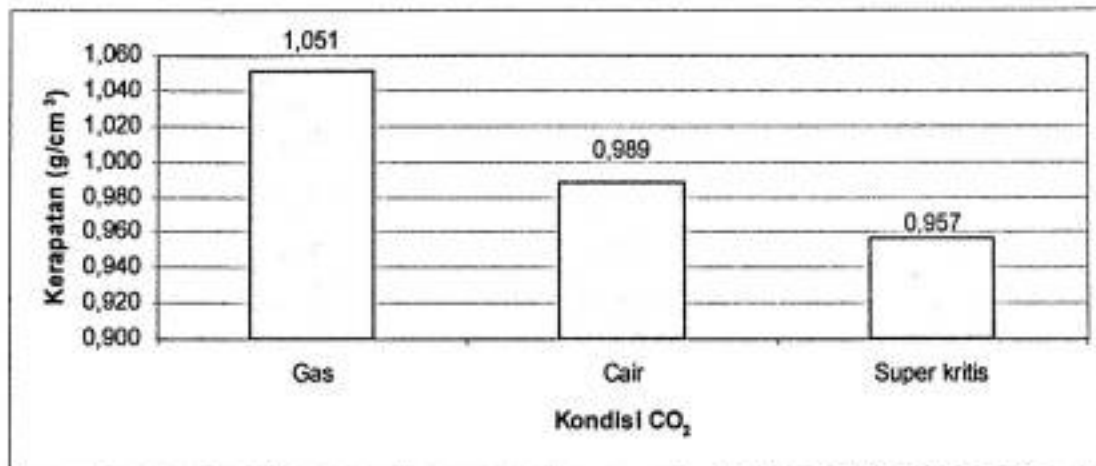
B. Sifat Fisik Papan

1. Kerapatan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kerapatan papan semen sabut kelapa berkisar antara 0,94 g/cm³ – 1,05 g/cm³ dan menurut JIS 5417 1992 standar kerapatan papan semen yaitu $\geq 0,8$ g/cm³. Berarti dari semua papan yang dibuat memenuhi syarat standar tersebut. Nilai kerapatan papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂, waktu injeksi dan kombinasinya berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa kerapatan papan konvensional tanpa oven berbeda sangat nyata terhadap kerapatan papan dengan perlakuan CO₂ dan kerapatan papan konvensional oven berbeda nyata terhadap kerapatan papan yang mendapat perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 5.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan terhadap kerapatan dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 2, 3 dan 4.



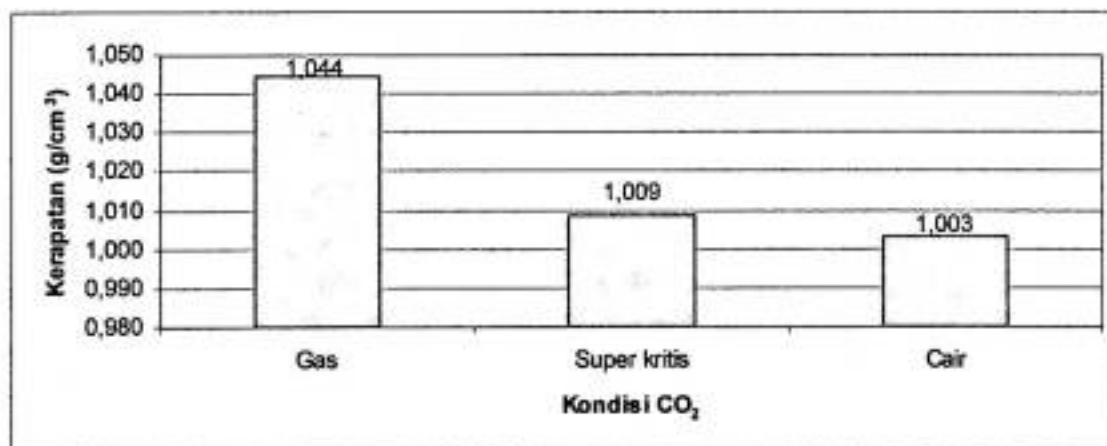
Gambar 9. Histogram Kerapatan Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 2. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah Perlakuan	BNJ (0,03224)
Gas	1,051	a
Cair	0,989	b
Super kritis	0,957	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



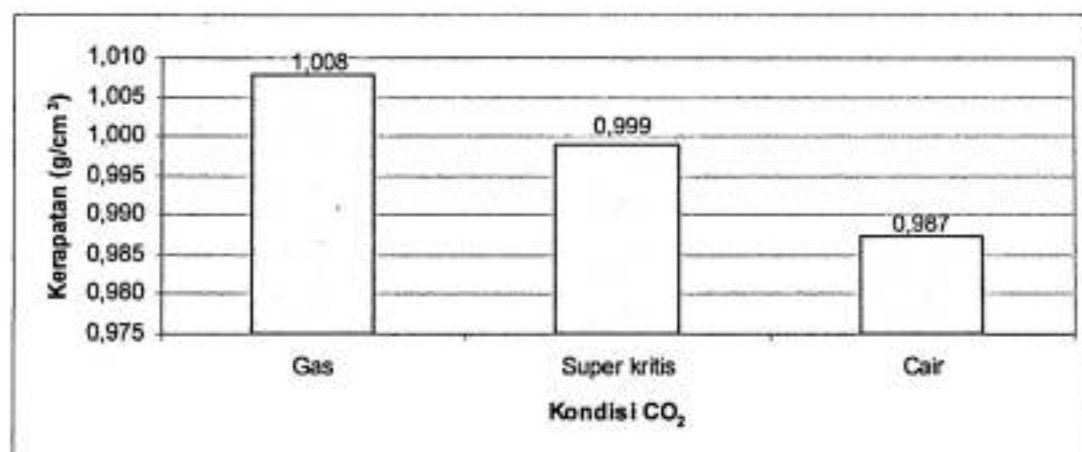
Gambar 10. Histogram Kerapatan Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 3 . Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah Perlakuan	BNJ (0,03224)
Gas	1,044	a
Super kritis	1,009	b
Cair	1,003	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 11. Histogram Kerapatan Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 4 . Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah Perlakuan	BNJ (0,03224)
Gas	1,008	a
Super kritis	0,999	a
Cair	0,987	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi gas dengan waktu injeksi 10 menit sedangkan terendah terdapat pada papan perlakuan CO₂ superkritis 10 menit. Papan yang mendapat perlakuan pemberian CO₂ gas memiliki kerapatan yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan papan yang mendapat perlakuan CO₂ kondisi cair dan superkritis karena dalam kondisi gas CO₂ memiliki kerapatan molekul yang rendah bila

dibandingkan dengan kondisi cair maupun superkritis sehingga dapat lebih mudah berpenetrasi ke dalam papan dan dapat memberikan pengaruh positif terhadap reaksi yang terjadi antara CO_2 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

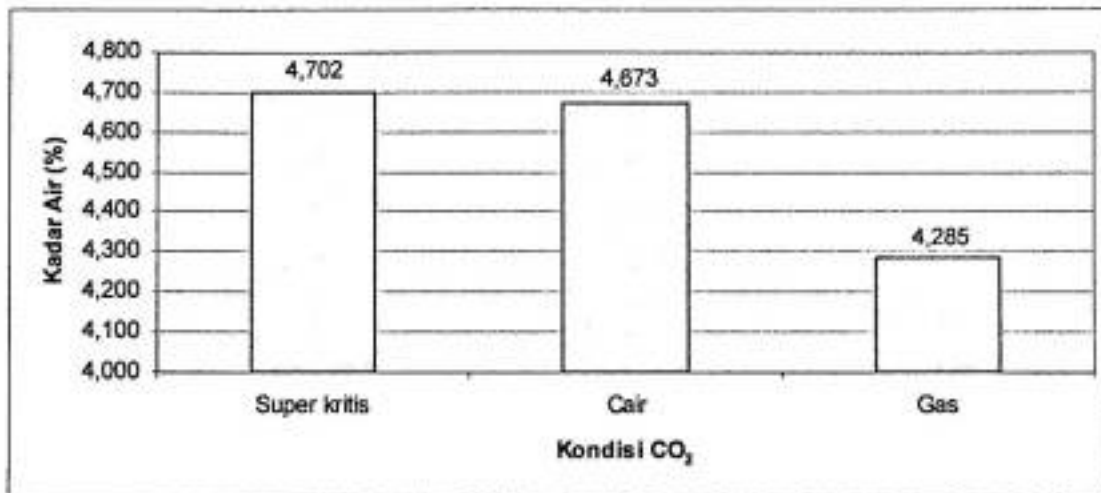
Hal ini sesuai dengan pendapat Hermawan (2001) yang mengatakan bahwa pemberian CO_2 dapat mempercepat proses *curing* dan memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan papan. Adanya variasi kerapatan papan yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh teknik pengempaan. Teknik pengempaan menentukan rata-rata kerapatan akhir papan sehingga penggunaan tekanan kempa yang lebih besar akan menghasilkan papan semen yang lebih tipis dengan kerapatan yang lebih tinggi begitu juga sebaliknya.

2. Kadar Air

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kadar air papan semen sabut kelapa berkisar antara 4,04% – 15,56% dan menurut JIS 5417 1992 standar kadar air papan semen yaitu maksimal 16%. Berarti dari semua papan yang dibuat memenuhi syarat standar tersebut. Nilai kadar air papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO_2 berpengaruh sangat nyata sedangkan waktu injeksi dan kombinasinya berpengaruh nyata terhadap kadar air. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa kadar air papan konvensional tanpa oven dan konvensional oven berbeda sangat nyata terhadap kadar air papan dengan perlakuan CO_2 seperti terlihat pada Lampiran 6.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan terhadap kadar air dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 5, 6 dan 7.



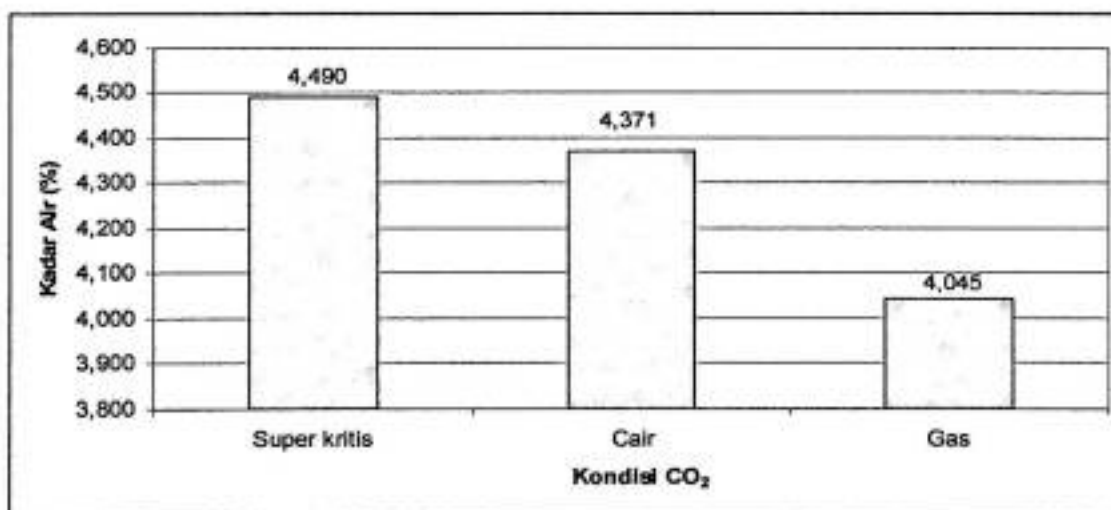
Gambar 12. Histogram Kadar Air Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 5. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,36724)
Super kritis	4,702	a
Cair	4,673	a
Gas	4,285	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



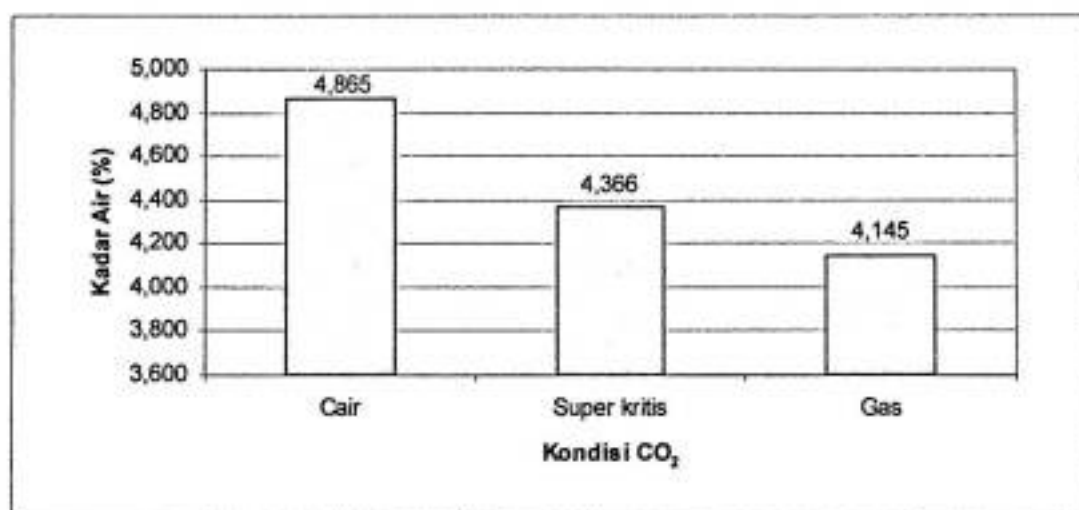
Gambar 13. Histogram Kadar Air Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 6. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,36724)
Super kritis	4,490	a
Cair	4,371	a
Gas	4,045	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 14. Histogram Kadar Air Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 7. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,36724)
Cair	4,865	a
Super kritis	4,366	b
Gas	4,145	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai kadar air tertinggi terdapat pada papan dengan perlakuan CO₂ cair dengan waktu injeksi 60 menit sedangkan terendah terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi gas dengan waktu injeksi 30 menit. Tingginya nilai kadar air papan yang mendapat perlakuan pemberian CO₂ cair disebabkan karena kerapatan molekul cair lebih tinggi dari gas maupun superkritis sehingga penetrasinya cenderung rendah dan tidak memberikan pengaruh yang signifikan

terhadap kekuatan ikatan antara partikel, semen dan air. Terbentuknya ikatan antara partikel, semen dan air secara tidak sempurna menyebabkan terdapatnya rongga-rongga atau celah yang dapat menyimpan air sehingga kadar air papan menjadi meningkat. Selain itu daya absorpsi cair yang tinggi juga mempengaruhi tingginya kadar air papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair.

Bila dibandingkan dengan kadar air papan yang dibuat dengan proses konvensional kadar air papan yang mendapat perlakuan CO₂ lebih rendah. Hal ini disebabkan karena papan-papan tersebut setelah mengalami perlakuan CO₂ langsung dikondisikan dalam oven selama 10 jam pada suhu 80°C sehingga air yang terdapat pada bagian atau celah yang tidak terselubungi baik oleh semen sebagai akibat dari proses pencampuran yang tidak merata lebih mudah keluar. Kemudian papan-papan tersebut langsung diuji sehingga tidak mempunyai banyak kesempatan untuk menyerap air dari lingkungan sekitar karena tidak kondisikan lama seperti papan yang dibuat secara konvensional.

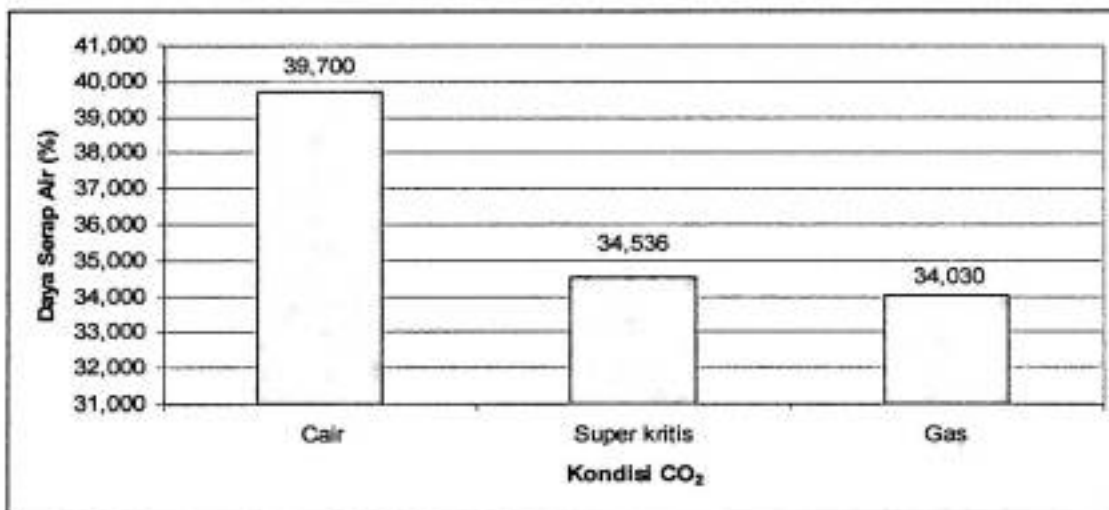
3. Daya Serap Air

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai daya serap air papan semen sabut kelapa berkisar antara 19,27% – 39,70% untuk perendaman selama 2 jam dan 31,99% - 54,63% untuk perendaman selama 24 jam sedangkan menurut JIS 5417 1992 standar daya serap air papan semen tidak ditetapkan. Nilai daya serap air papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂ dan kombinasinya berpengaruh nyata sedangkan waktu injeksi berpengaruh sangat nyata terhadap daya serap air 2 jam. Untuk daya serap air 24 jam, perlakuan

kondisi CO₂ berbeda tidak nyata sedangkan waktu injeksi dan kombinasinya berbeda nyata. Hasil uji kontras daya serap air 2 jam dan 24 jam menunjukkan bahwa daya serap air papan konvensional tanpa oven tidak berberbeda nyata terhadap daya serap air papan dengan perlakuan CO₂ sedangkan daya serap air papan konvensional oven berbeda sangat nyata terhadap daya serap air papan yang mendapat perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 7 dan 8.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan terhadap daya serap 2 jam dan 24 jam dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ daya serap air 2 jam dan 24 jam dapat dilihat pada Tabel 8, 9, 10, 11, 12 dan 13.



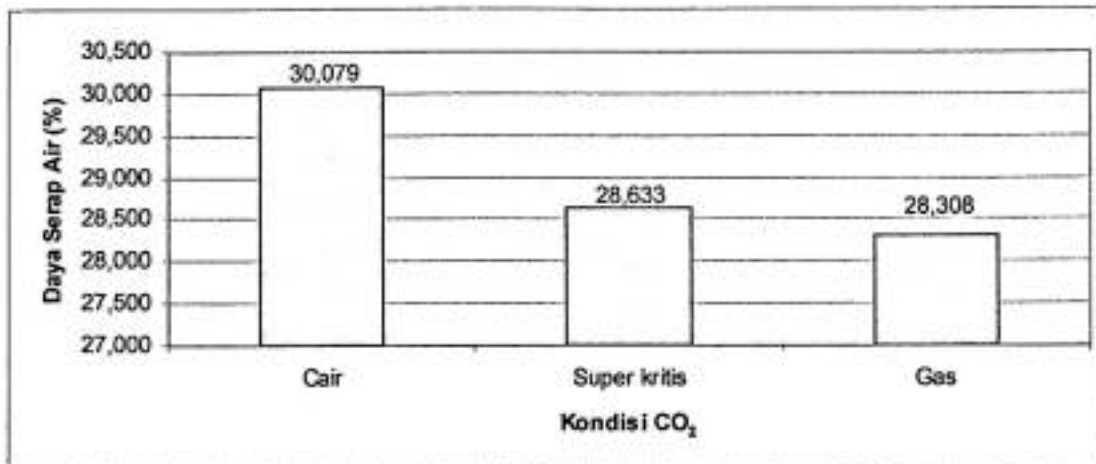
Gambar 15. Histogram Daya Serap 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 8. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,48759)
Cair	39,700	a
Super kritis	34,536	a
Gas	34,030	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



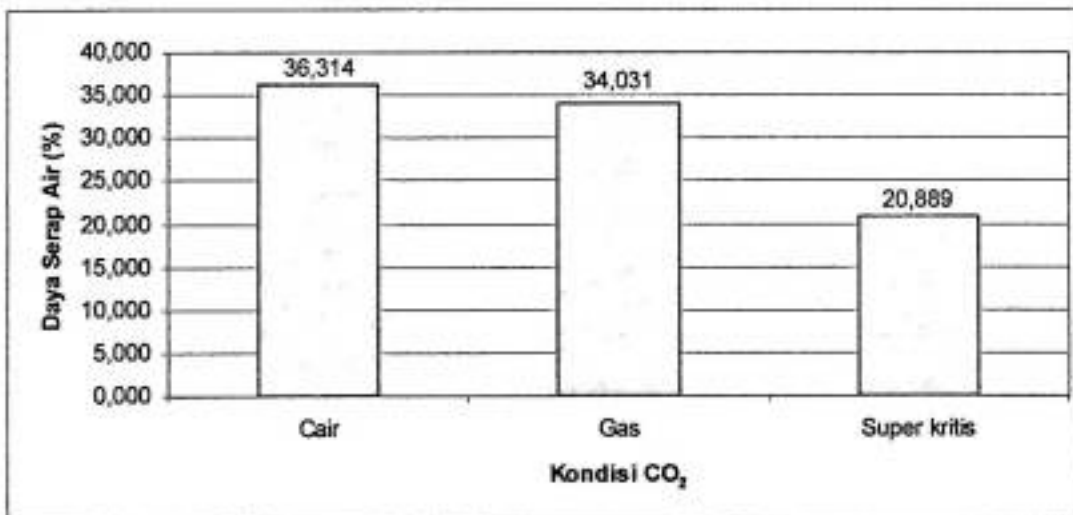
Gambar 16. Histogram Daya Serap 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 9. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,48759)
Cair	30,079	a
Super kritis	28,633	a
Gas	28,308	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



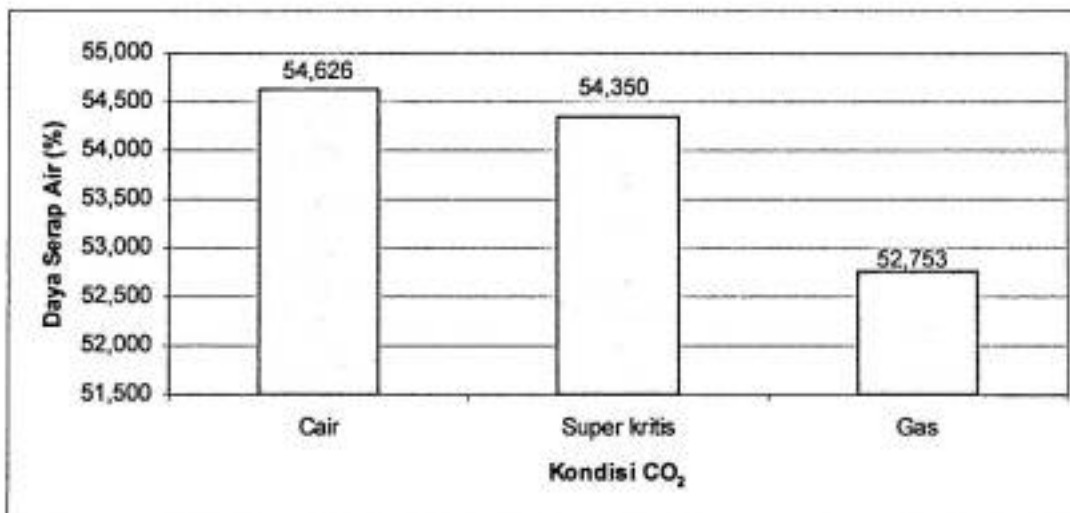
Gambar 17. Histogram Daya Serap 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 10. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Daya Serap 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,48759)
Cair	36,314	a
Gas	34,031	a
Super kritis	20,889	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



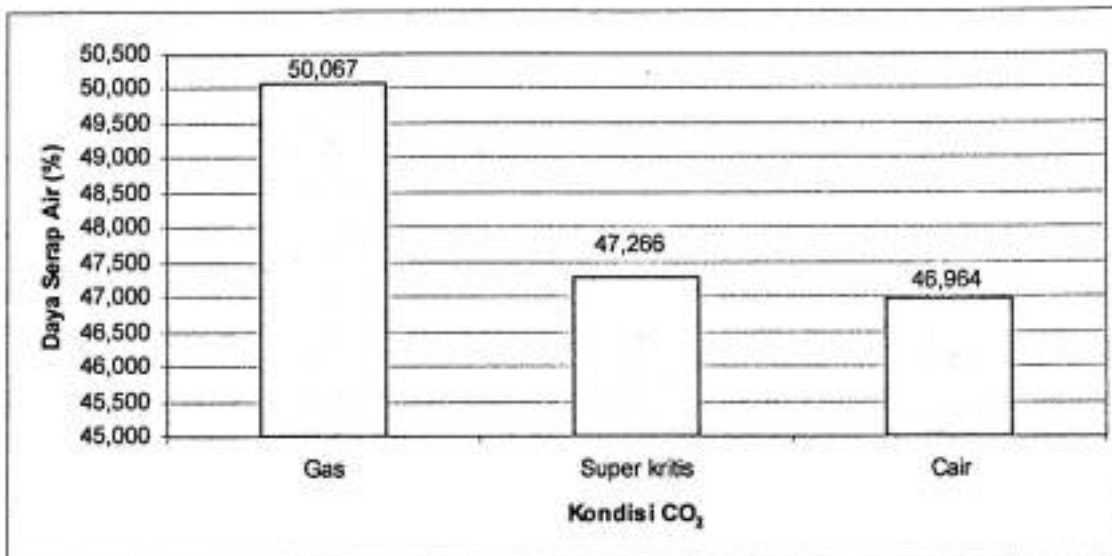
Gambar 18. Histogram Daya Serap 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 11. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (11,20746)
Cair	54,626	a
Super kritis	54,350	a
Gas	52,753	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



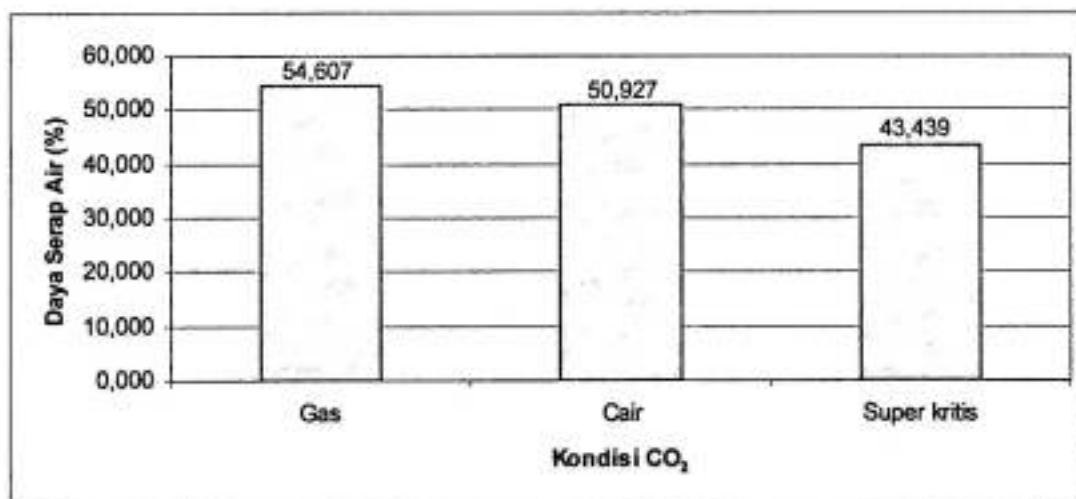
Gambar 19. Histogram Daya Serap 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 12. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (11,20746)
Gas	50,067	a
Super kritis	47,266	a
Cair	46,964	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 20. Histogram Daya Serap 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 13. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Daya Serap 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (11,20746)
Gas	54,607	a
Cair	50,927	a
Super kritis	43,439	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai daya serap air tertinggi perendaman selama 2 jam dan 24 jam masing-masing terdapat pada papan dengan perlakuan CO₂ cair dan superkritis dengan waktu injeksi 10 menit sedangkan terendah untuk perendaman selama 2 jam dan 24 jam terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi superkritis dengan waktu injeksi 60 menit.

Tingginya daya serap air pada papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair disebabkan karena pemberian perlakuan CO₂ setelah pengempaan tidak memberikan pengaruh positif terhadap ikatan partikel, semen dan air sehingga terdapat rongga atau celah yang dapat menyimpan air. Selain itu faktor lain yang menentukan tingginya daya serap air papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair adalah absorpsi zat cair yang tinggi. Sedangkan rendahnya daya serap air papan yang mendapat perlakuan CO₂ superkritis disebabkan oleh proses difusi CO₂ pada kondisi superkritis yang cukup tinggi sehingga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ikatan antara partikel, semen dan air. Dengan terbentuknya ikatan yang sempurna antara partikel, semen dan air berarti tidak terdapat celah atau rongga yang dapat menyimpan air. Pada papan yang mendapat perlakuan CO₂ superkritis, semakin lama waktu injeksi yang diberikan semakin rendah daya serapnya.

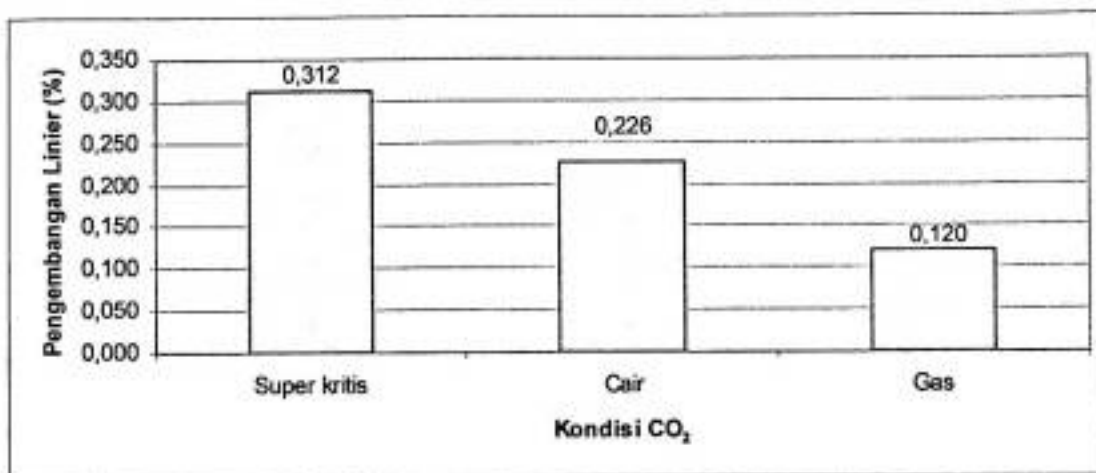
Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian perlakuan CO₂ pada kondisi superkritis dengan penambahan waktu injeksi berpengaruh signifikan terhadap daya serap air papan.

4. Pengembangan Linier

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pengembangan linier papan semen sabut kelapa berkisar antara 0,12% – 0,70% untuk perendaman selama 2 jam dan 0,34% - 1,70% untuk perendaman selama 24 jam sedangkan menurut JIS 5417 1992 standar pengembangan linier papan semen tidak ditetapkan. Nilai pengembangan linier papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

Hasil analisis ragam terhadap pengembangan linier 2 jam dan 24 jam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂ dan waktu injeksi berpengaruh sangat nyata sedangkan kombinasinya berpengaruh nyata. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa pengembangan linier papan konvensional tanpa oven dan papan konvensional oven tidak berbeda nyata terhadap pengembangan linier papan dengan perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 9 dan 10.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan terhadap pengembangan linier 2 jam dan 24 jam dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 14, 15, 16, 17, 18 dan 19.



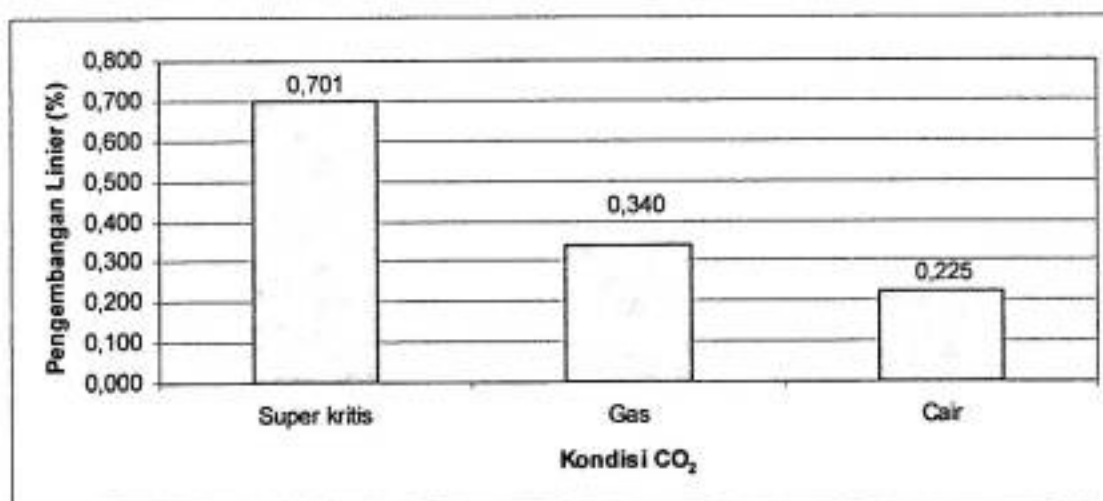
Gambar 21. Histogram Pengembangan Linier 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 14. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,22052)
Super kritis	0,312	a
Cair	0,226	a
Gas	0,120	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



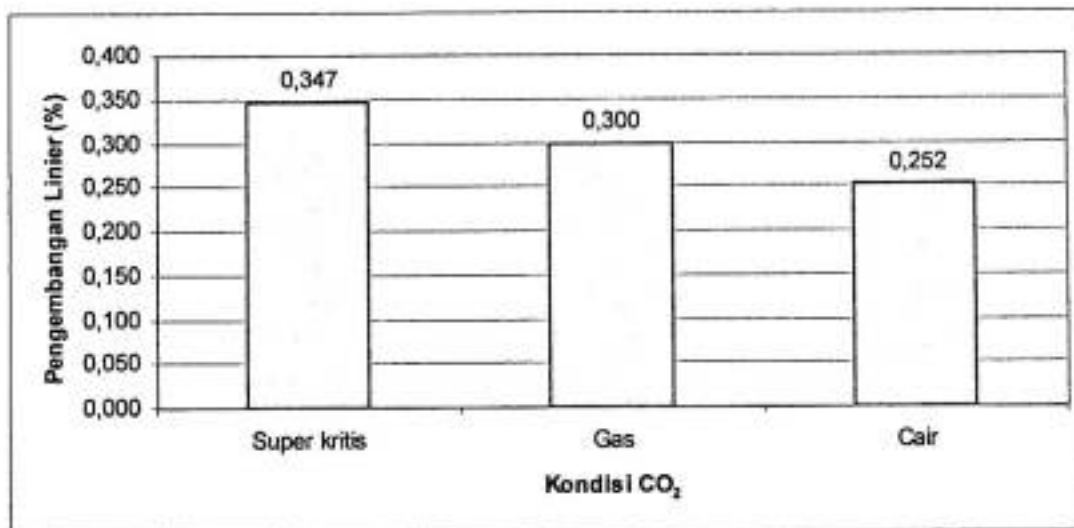
Gambar 22. Histogram Pengembangan Linier 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 15. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,22052)
Super kritis	0,701	a
Gas	0,340	b
Cair	0,225	c

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



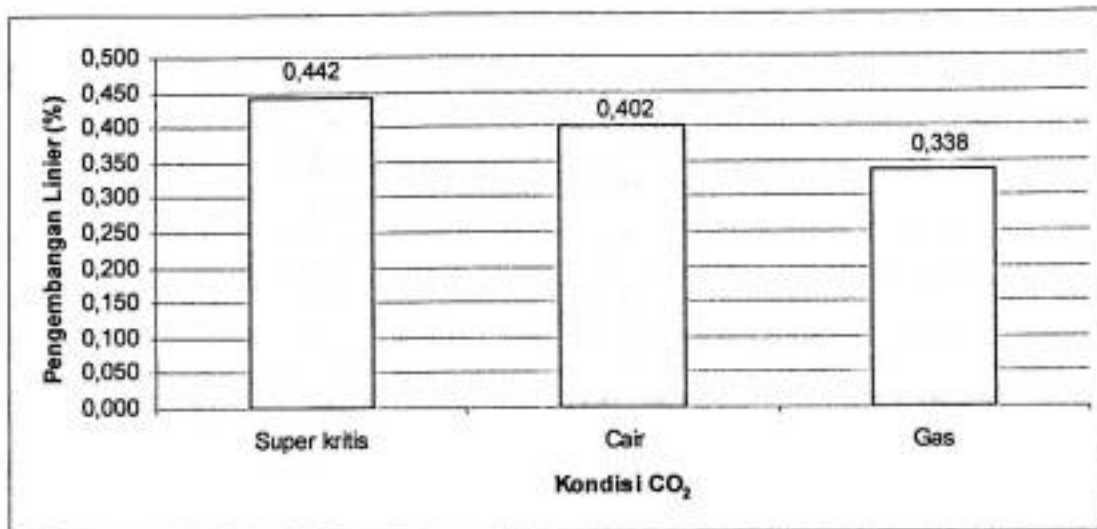
Gambar 23. Histogram Pengembangan Linier 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 16. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,22052)
Super kritis	0,347	a
Gas	0,300	a
Cair	0,252	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



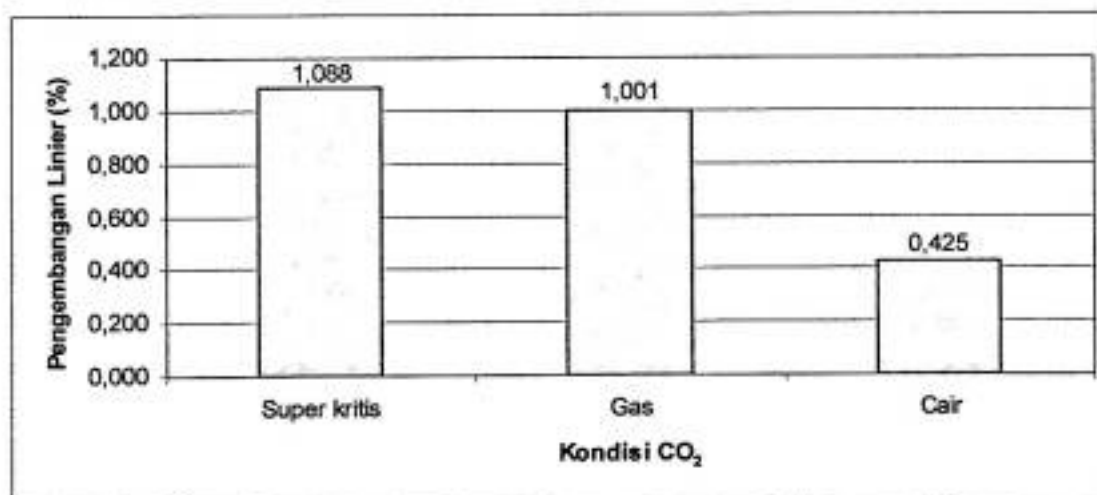
Gambar 24. Histogram Pengembangan Linier 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 17. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62883)
Super kritis	0,442	a
Cair	0,402	a
Gas	0,338	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



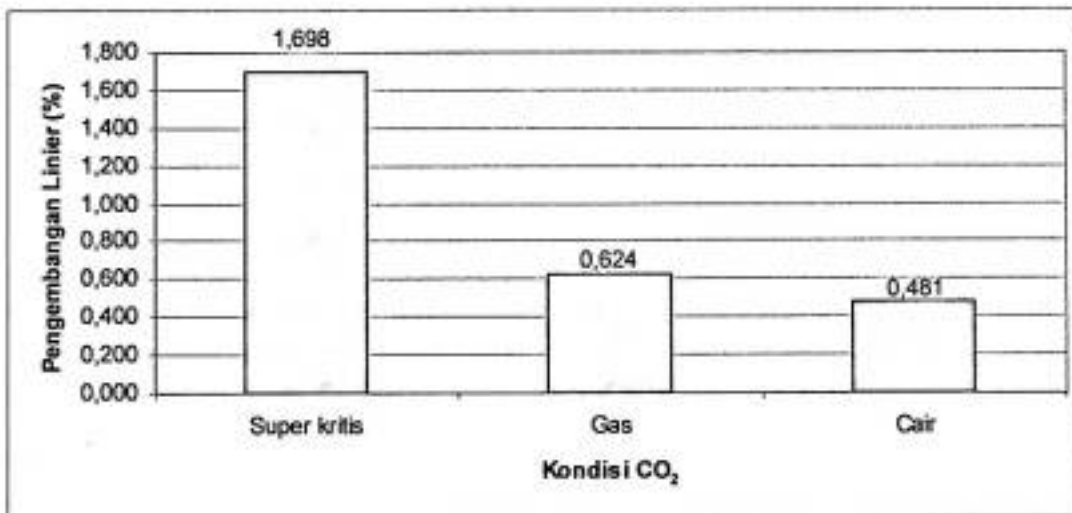
Gambar 25. Histogram Pengembangan Linier 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 18. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62883)
Super kritis	1,088	a
Gas	1,001	a
Cair	0,425	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 26. Histogram Pengembangan Linier 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 19. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62883)
Super kritis	1,698	a
Gas	0,624	b
Cair	0,481	c

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai pengembangan linier tertinggi untuk perendaman selama 2 jam dan 24 jam masing-masing terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi superkritis dengan waktu injeksi 30 menit dan papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi superkritis dengan waktu injeksi 60 menit sedangkan

terendah untuk perendaman selama 2 jam dan 24 jam masing-masing terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi gas dengan waktu injeksi 10 menit.

Nilai pengembangan linier papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ superkritis dengan waktu injeksi 30 dan 60 menit lebih tinggi bila dibandingkan dengan pengembangan linier papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas dan cair disebabkan karena pemberian CO₂ setelah proses pengempaan papan tidak memberikan pengaruh yang signifikan sehingga ikatan antara semen dan partikel yang terbentuk kurang kuat. Hal ini menyebabkan terbentuknya rongga-rongga atau celah yang dapat menyerap air sehingga pengembangan linier papan menjadi relatif tinggi. Namun rendahnya nilai pengembangan linier papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas disebabkan oleh kerapatan antar molekul gas yang rendah sehingga penetrasinya meningkat. Dengan meningkatnya penetrasi CO₂ ke dalam papan menyebabkan ikatan antara partikel, semen dan air menjadi lebih kuat sehingga pada saat perendaman papan tidak mengalami pengembangan linier yang berarti.

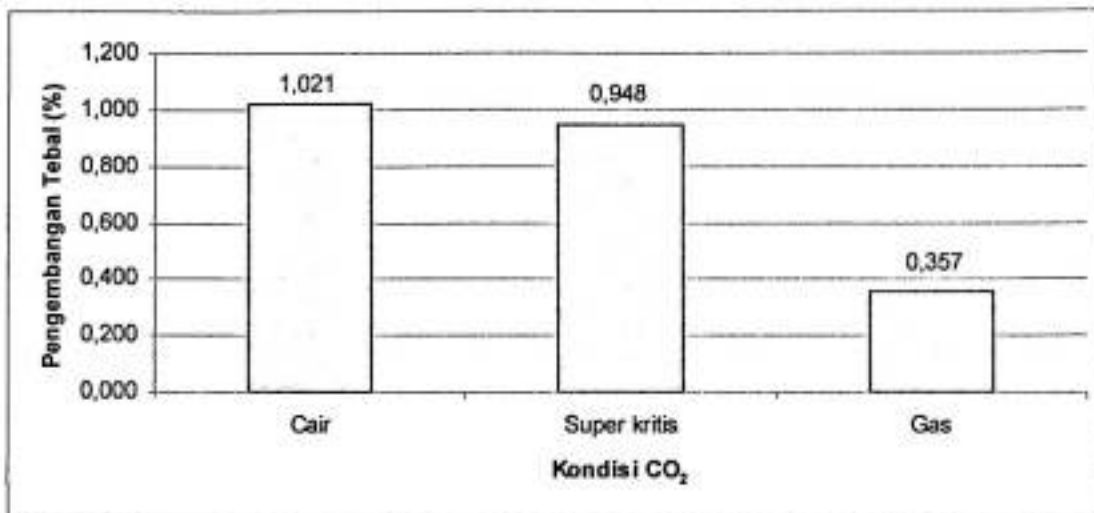
5. Pengembangan Tebal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pengembangan tebal papan semen sabut kelapa berkisar antara 0,31% – 2,22% untuk perendaman selama 2 jam dan 0,52% - 4,29% untuk perendaman selama 24 jam sedangkan menurut JIS 5417 1992 standar Pengembangan tebal papan semen tidak ditetapkan. Nilai Pengembangan tebal papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

Nilai pengembangan tebal tertinggi perendaman selama 2 jam dan 24 jam untuk papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ terdapat pada papan yang mendapat perlakuan kondisi superkritis dengan waktu injeksi 30 menit sedangkan terendah untuk perendaman selama 2 jam dan 24 jam masing-masing terdapat pada papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi gas dengan waktu injeksi 30 menit dan papan dengan perlakuan pemberian CO₂ kondisi gas dengan waktu injeksi 60 menit.

Hasil analisis ragam pengembangan tebal 2 jam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂ berpengaruh sangat nyata, waktu injeksi tidak berpengaruh nyata sedangkan kombinasinya berpengaruh nyata sedangkan untuk pengembangan tebal 24 jam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂, waktu injeksi dan kombinasinya berpengaruh sangat nyata. Hasil uji kontras pengembangan liner 2 jam dan 24 jam menunjukkan bahwa nilai pengembangan tebal papan konvensional tanpa oven tidak berbeda nyata terhadap pengembangan tebal papan dengan perlakuan CO₂ sedangkan pengembangan tebal papan konvensional oven berbeda sangat nyata terhadap pengembangan tebal papan dengan perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 11 dan 12.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam dapat dilihat pada Tabel 20, 21, 22, 23, 24 dan 25.



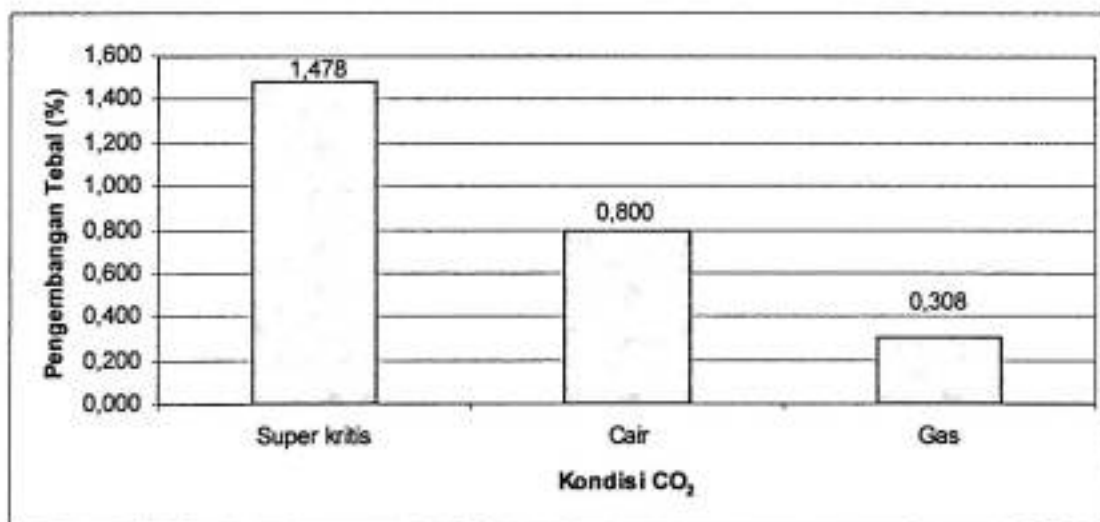
Gambar 27. Histogram Pengembangan Tebal 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 20. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62365)
Cair	1,021	a
Super kritis	0,948	a
Gas	0,357	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



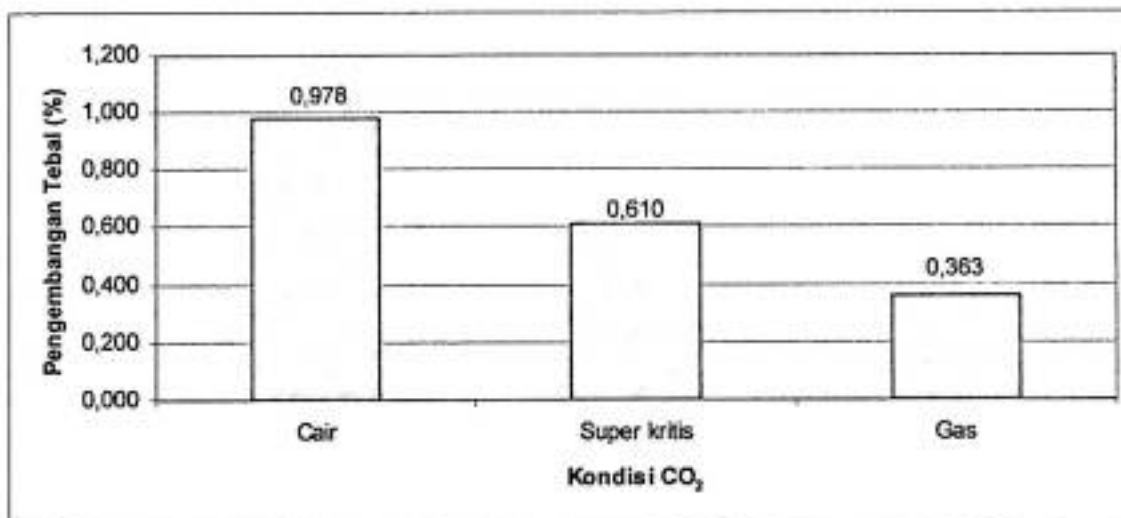
Gambar 28. Histogram Pengembangan Tebal 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 21. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62365)
Super kritis	1,478	a
Cair	0,800	b
Gas	0,308	c

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



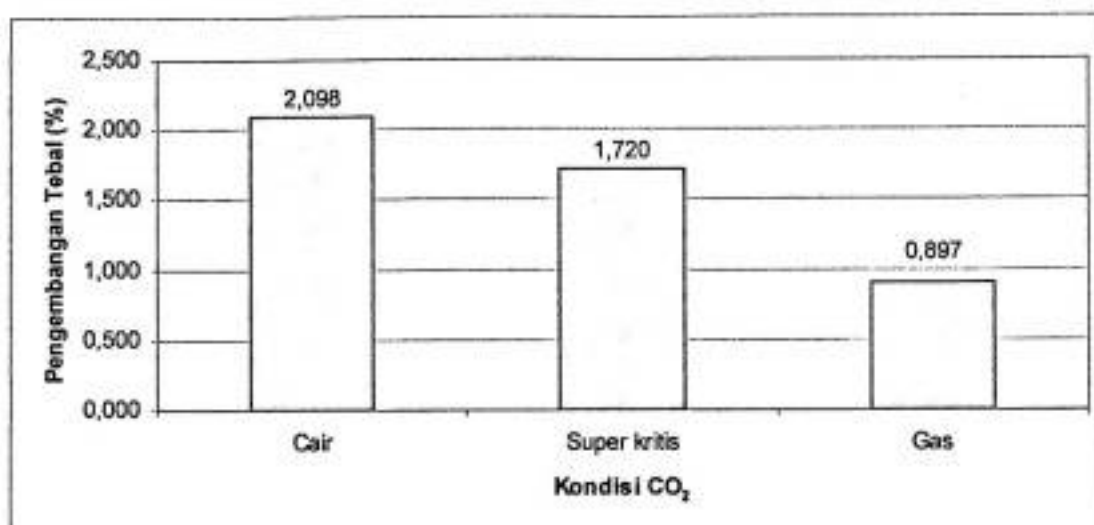
Gambar 29. Histogram Pengembangan Tebal 2 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 22. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (0,62365)
Cair	0,978	a
Super kritis	0,610	a
Gas	0,363	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



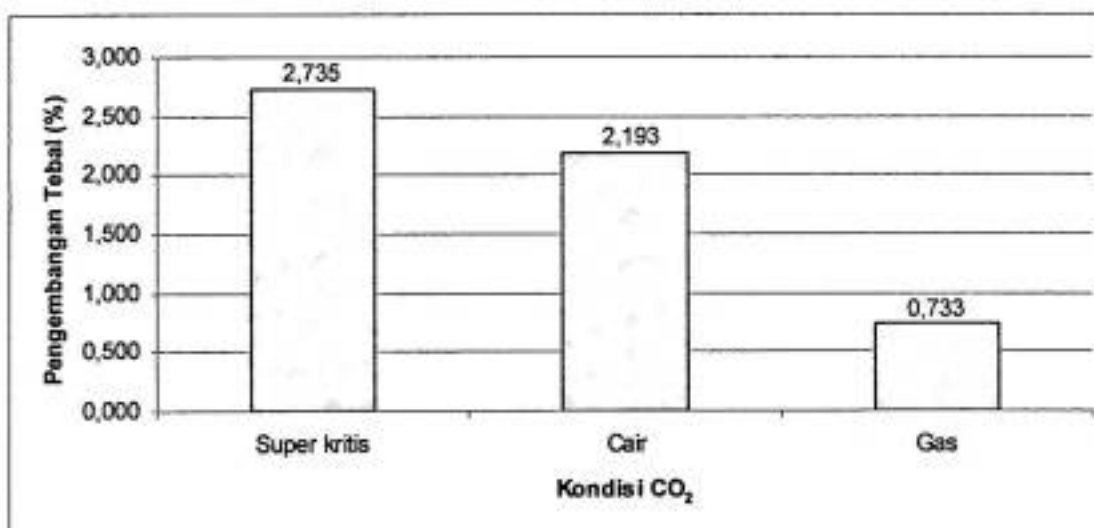
Gambar 30. Histogram Pembembangan Tebal 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 23. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pembembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (1,13621)
Cair	2,098	a
Super kritis	1,720	a
Gas	0,897	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



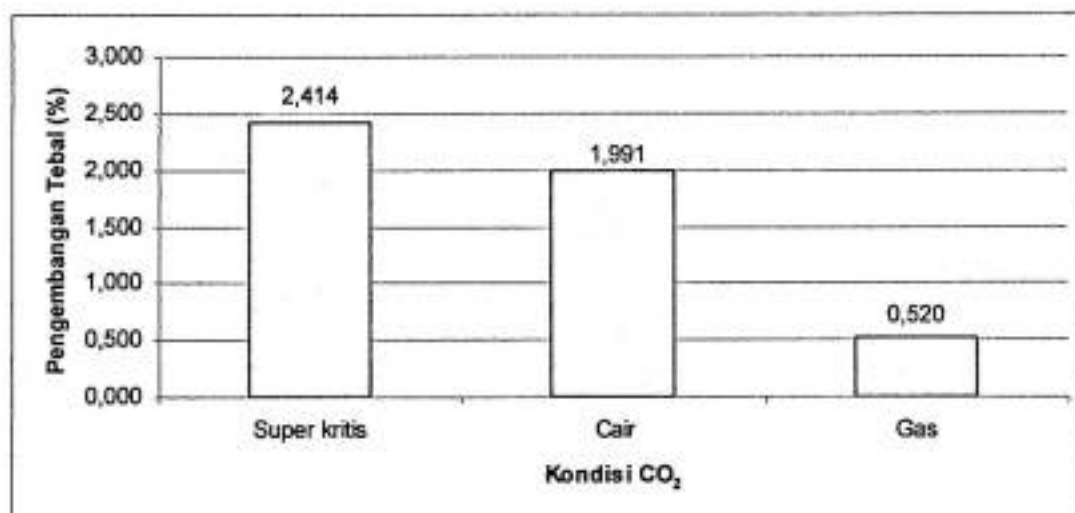
Gambar 31. Histogram Pembembangan Tebal 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 24. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (1,13621)
Super kritis	2,735	a
Cair	2,193	a
Gas	0,733	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 32. Histogram Pengembangan Tebal 24 Jam Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 25. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (1,13621)
Super kritis	2,414	a
Cair	1,991	a
Gas	0,520	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

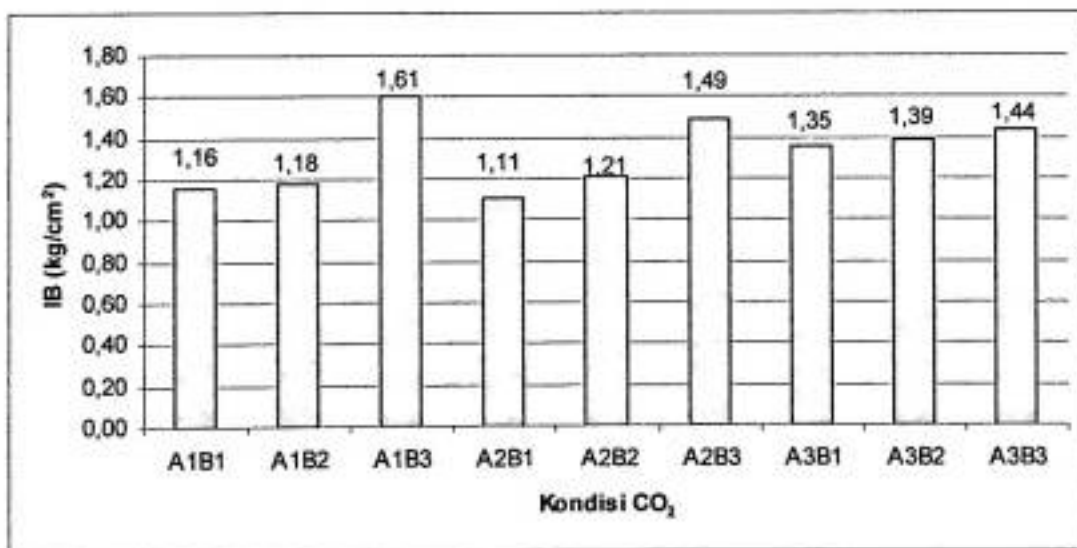
Nilai pengembangan tebal papan yang mendapat perlakuan CO₂ superkritis relatif tinggi bila dibandingkan dengan papan yang mendapat perlakuan cair dan gas. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian perlakuan CO₂ kondisi superkritis dengan waktu injeksi yang berbeda pada masing-masing perlakuan tidak memberikan perubahan yang berarti terhadap pengembangan tebal papan

karena tidak terbentuk ikatan yang sempurna antara partikel, semen dan air sehingga terdapat rongga atau celah yang dapat menyimpan air dan menyebabkan papan menjadi lebih tebal setelah mengalami perendaman. Namun bila dibandingkan dengan pengembangan tebal papan konvensional, pengembangan tebal papan yang mendapat perlakuan CO₂ cukup rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian CO₂ dapat menurunkan pengembangan tebal sekaligus mereduksi waktu *curing* papan.

C. Sifat Mekanis Papan

1. *Internal Bond* (IB)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Internal Bond* (IB) papan semen sabut kelapa berkisar antara 1,11 kg/cm² – 1,61 kg/cm². Nilai *Internal Bond* (IB) papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 33. Histogram *Internal Bond* (IB) papan semen

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂ dan kombinasinya tidak berpengaruh nyata tetapi waktu injeksi berpengaruh sangat nyata terhadap *Internal Bond* (IB) Hasil uji kontras menunjukkan bahwa nilai *Internal Bond* (IB) papan konvensional tanpa oven dan papan konvensional oven berbeda sangat nyata terhadap *Internal Bond* (IB) papan dengan perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 13.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan terhadap *Internal Bond* (IB) dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey Test* terhadap waktu injeksi. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26. Hasil Uji BNJ/*Tukey test* Perbedaan kombinasi Waktu Injeksi Terhadap *Internal Bond* (IB)

Perlakuan	Nilai tengah Perlakuan	BNJ (0,43052)
10 Menit	1,214	a
30 Menit	1,253	a
60 Menit	1,511	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai *Internal Bond* (IB) tertinggi terdapat pada papan dengan perlakuan CO₂ kondisi cair dengan waktu injeksi 60 menit dan terendah pada papan dengan perlakuan CO₂ gas dengan waktu injeksi 10 menit.

Nilai *Internal Bond* (IB) untuk papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ tertinggi terdapat pada papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair dengan waktu injeksi 60 menit bila dibandingkan dengan papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas dan superkritis disebabkan karena terbentuknya ikatan antara partikel, semen dan air secara sempurna menyebabkan kerapatan papan menjadi meningkat dan kekuatan papan yang dihasilkan menjadi meningkat pula. Nilai *Internal Bond*

(IB) papan yang mendapat perlakuan CO₂ baik kondisi cair, gas maupun superkritis meningkat seiring dengan adanya penambahan waktu injeksi. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan waktu injeksi memberikan pengaruh positif terhadap nilai *Internal Bond* (IB) papan yang dihasilkan.

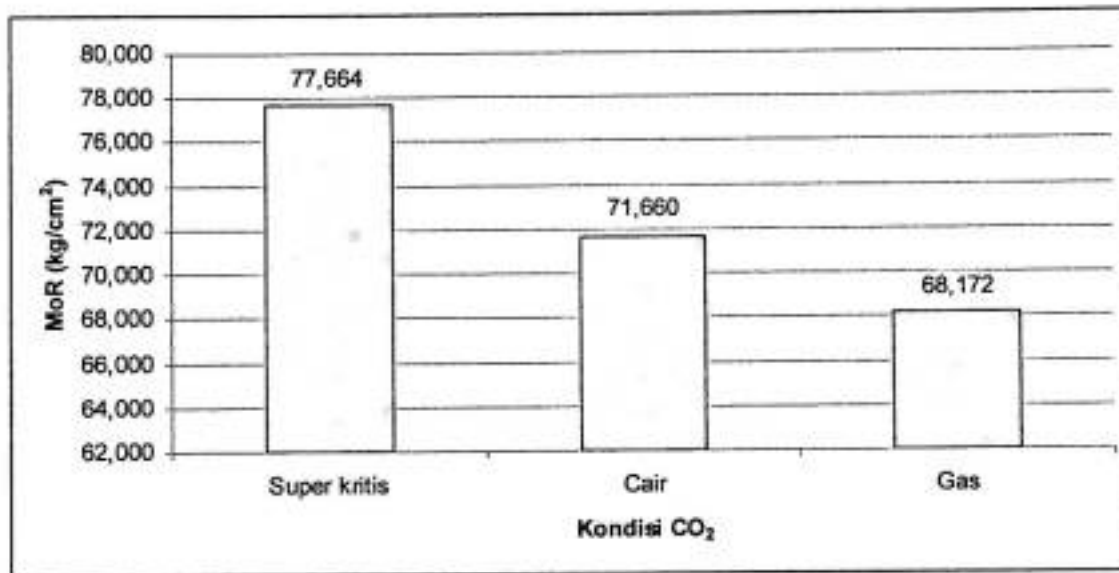
Namun demikian, apabila dibandingkan dengan *Internal Bond* (IB) papan konvensional, maka nilai *Internal Bond* (IB) papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ lebih rendah. Hal ini disebabkan karena CO₂ diinjeksikan setelah proses pengempaan berlangsung sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ikatan antara partikel, semen dan air yang terbentuk dan *Internal Bond* (IB) papan yang dihasilkan cenderung rendah.

2. *Modulus of Rupture* (MoR)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan semen sabut kelapa berkisar antara 62,74 kg/cm² – 95,14 kg/cm². Nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.

Nilai *Modulus of Rupture* (MoR) tertinggi terdapat pada papan konvensional tanpa oven sedangkan terendah terdapat pada papan dengan perlakuan kondisi CO₂ dengan waktu injeksi 60 menit. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kondisi CO₂ berbeda nyata tetapi waktu injeksi dan kombinasinya berbeda tidak nyata terhadap *Modulus of Rupture* (MoR). Hasil uji kontras menunjukkan bahwa nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan konvensional tanpa oven berbeda sangat nyata terhadap perlakuan CO₂ dan nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan konvensional oven berbeda nyata dengan papan yang mendapat perlakuan CO₂ seperti terlihat pada Lampiran 14. Untuk mengetahui

perbedaan diantara perlakuan terhadap *Modulus of Rupture* (MoR) dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur/*Tukey test* kondisi CO₂. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 27, 28 dan 29.



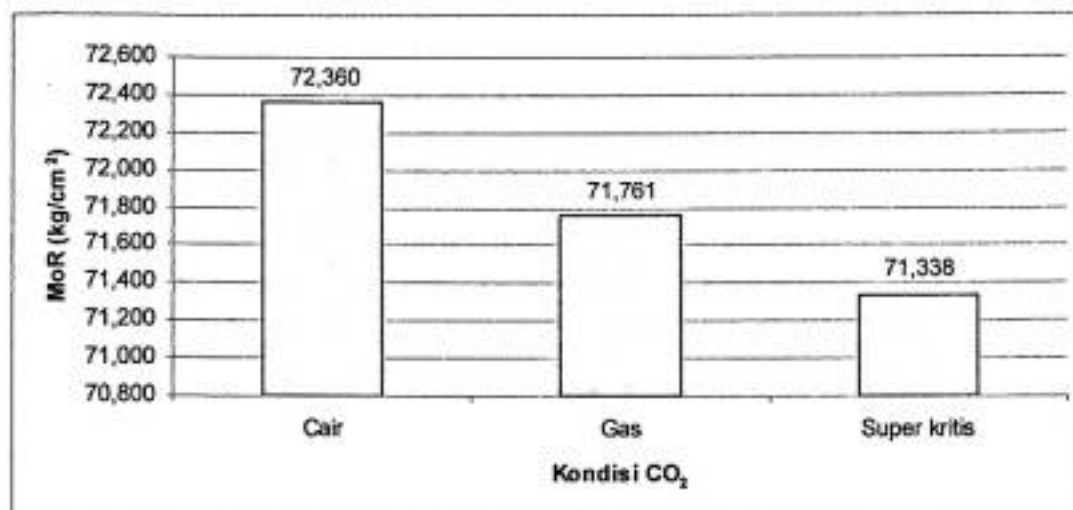
Gambar 34. Histogram *Modulus of Rupture* (MoR) Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 27. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap *Modulus of Rupture* (MoR)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,91614)
Super kritis	77,664	a
Cair	71,660	a
Gas	68,172	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



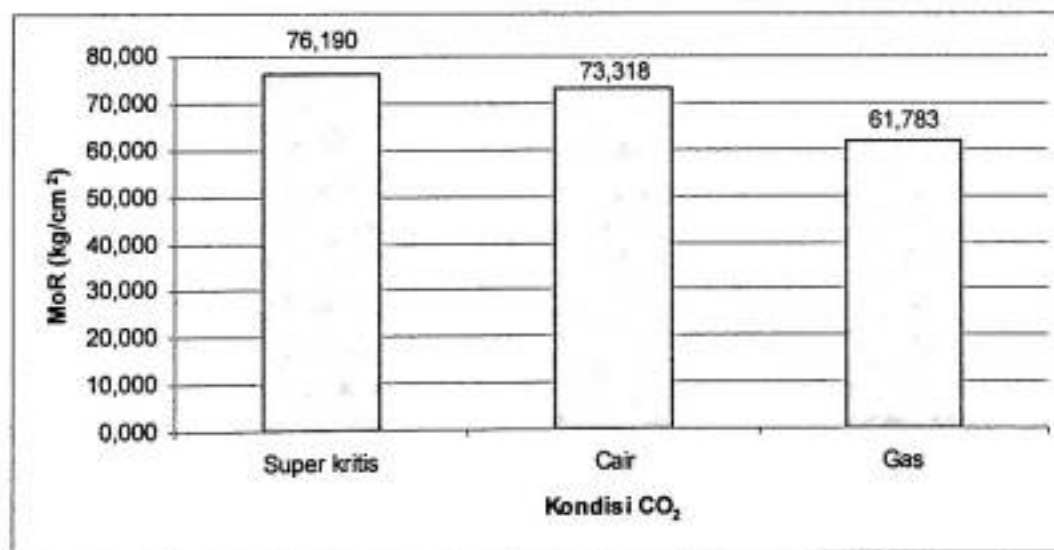
Gambar 35. Histogram *Modulus of Rupture* (MoR) Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 28. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap *Modulus of Rupture* (MoR)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,91614)
Cair	72,360	a
Gas	71,761	a
Super kritis	71,338	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 36. Histogram *Modulus of Rupture* (MoR) Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 29. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap *Modulus of Rupture* (MoR)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (10,91614)
Super kritis	76,190	a
Cair	73,318	a
Gas	61,783	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai tertinggi terdapat pada papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas dengan waktu injeksi 30 menit bila dibandingkan dengan papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair dan superkritis. Tingginya nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas karena dalam kondisi gas CO₂ memiliki kerapatan antar molekul yang rendah sehingga lebih mudah berpenetrasi ke dalam papan. Mudahnya penetrasi CO₂ ke dalam papan menyebabkan distribusi CO₂ menjadi lebih merata ke seluruh bagian papan sehingga memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan papan karena ikatan yang terbentuk antara partikel, semen dan air lebih kuat. Sebaliknya dalam kondisi cair dan superkritis CO₂ sulit berpenetrasi karena jarak antar molekulnya lebih rapat sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap ikatan antara partikel, semen dan air dan *Modulus of Rupture* (MoR) papan yang dihasilkan pun rendah.

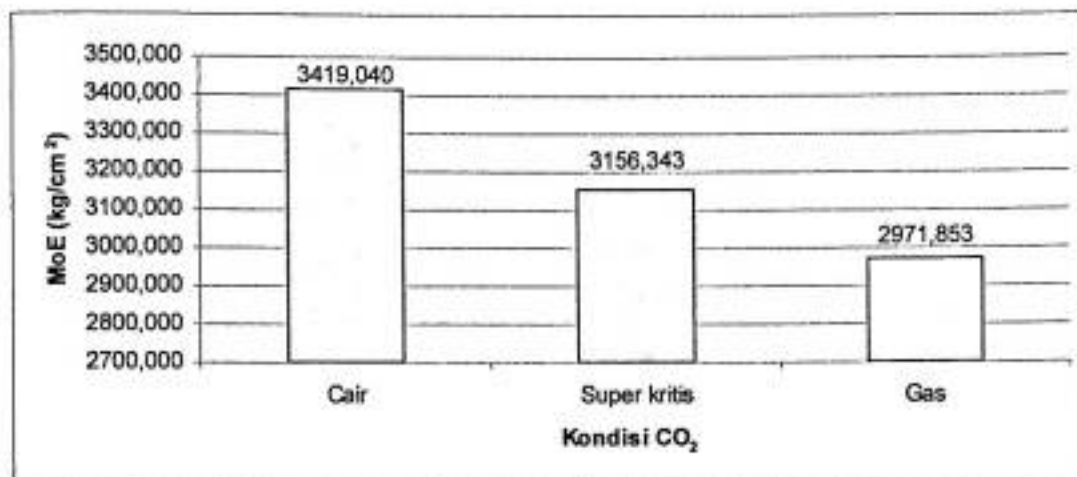
Namun bila dibandingkan dengan *Modulus of Rupture* (MoR) papan konvensional, maka nilai *Modulus of Rupture* (MoR) papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ lebih rendah. Hal ini disebabkan karena CO₂ diinjeksikan setelah proses pengempaan berlangsung sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ikatan antara partikel, semen dan air yang terbentuk dan *Modulus of Rupture* (MoR) papan yang dihasilkan cenderung rendah.

3. *Modulus of Elasticity* (MoE)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan semen sabut kelapa berkisar antara 2375,03 kg/cm² – 16218,73 kg/cm². Nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan-papan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.

Nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) tertinggi untuk papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ terdapat pada papan dengan perlakuan CO₂ cair dengan waktu injeksi 30 menit sedangkan terendah terdapat pada papan dengan perlakuan kondisi CO₂ gas dengan waktu injeksi 30 menit. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO₂, waktu injeksi dan kombinasinya berbeda sangat nyata terhadap *Modulus of Elasticity* (MoE). Hasil uji kontras menunjukkan bahwa nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan konvensional tanpa oven berbeda nyata terhadap nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan yang mendapat perlakuan CO₂ tetapi nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan konvensional oven tidak berbeda nyata dengan nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan yang mendapat perlakuan CO₂ seperti terlihat pada lampiran 15.

Untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan dilakukan uji lanjut yaitu uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/*Tukey Test* interaksi antara kondisi CO₂ dan waktu injeksi. Hasil uji BNJ dapat dilihat pada Tabel 30, 31 dan 32.



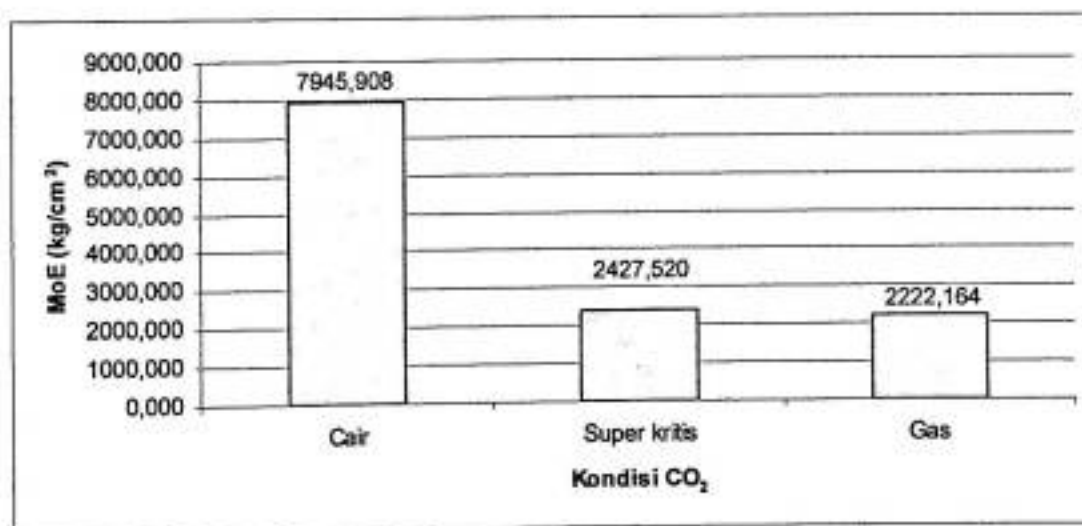
Gambar 37. Histogram *Modulus of Elasticity* (MoE) Papan pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 30. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap *Modulus of Elasticity* (MoE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (3926,81109)
Cair	3419,040	a
Super kritis	3156,343	a
Gas	2971,853	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



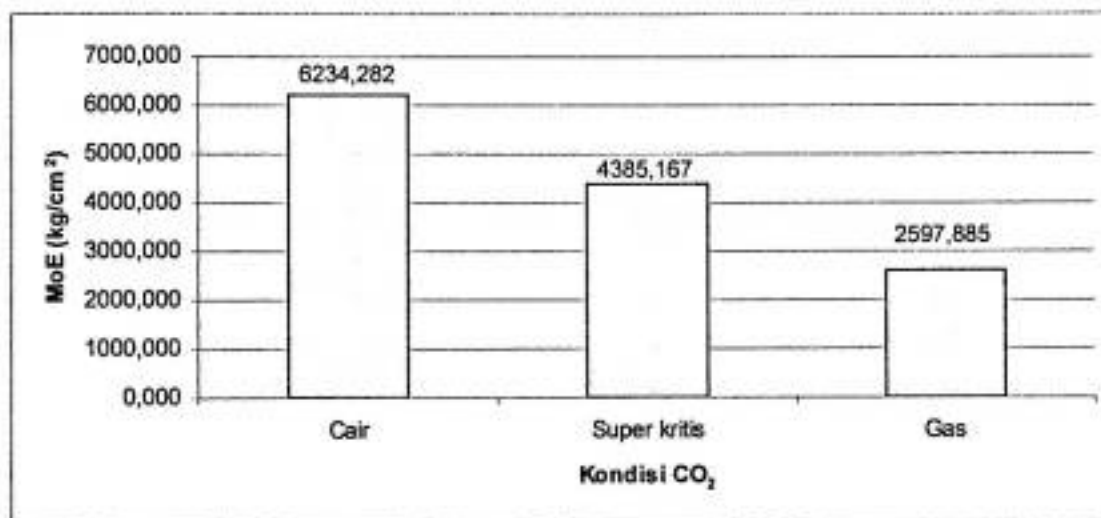
Gambar 38. Histogram *Modulus of Elasticity* (MoE) Papan pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 31. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap *Modulus of Elasticity* (MoE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (3926,81109)
Cair	7945,908	a
Super kritis	2427,520	b
Gas	2222,164	b

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata



Gambar 39. Histogram *Modulus of Elasticity* (MoE) Papan pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 32. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO₂ pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap *Modulus of Elasticity* (MoE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ (3926,81109)
Cair	6234,282	a
Super kritis	4385,167	a
Gas	2597,885	a

Keterangan :

Huruf yang Sama Menunjukkan Perlakuan Berbeda Tidak Nyata

Nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) tertinggi untuk papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) terdapat pada papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair dengan waktu injeksi 30 menit bila dibandingkan dengan papan yang mendapat perlakuan CO₂ gas dan superkritis.

Tingginya nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan yang mendapat perlakuan CO₂ cair disebabkan karena terbentuknya ikatan antara partikel, semen dan air secara sempurna menyebabkan kerapatan papan meningkat sehingga kekuatan papan yang dihasilkan meningkat pula. Namun demikian, apabila dibandingkan dengan *Modulus of Elasticity* (MoE) papan konvensional, maka nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) papan-papan yang mendapat perlakuan CO₂ lebih rendah. Hal ini disebabkan karena CO₂ diinjeksikan setelah proses pengempaan berlangsung sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ikatan antara partikel, semen dan air yang terbentuk dan *Modulus of Elasticity* (MoE) papan yang dihasilkan pun rendah.

D. Gambaran Umum Pengaruh Penggunaan CO₂ pada Berbagai Kondisi dan Waktu Injeksi Terhadap Waktu *Curing* dan Sifat-sifat Papan Semen

Kualitas papan semen yang dihasilkan berupa sifat fisik seperti kerapatan, kadar air dan daya serap 2 jam menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap kondisi CO₂ dan waktu injeksi tetapi daya serap 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ superkritis terhadap kondisi CO₂ cair dan gas, pengembangan linier 2 jam dan 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ cair terhadap kondisi CO₂ gas dan superkritis, serta pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam berbeda signifikan pada kondisi CO₂ gas terhadap kondisi CO₂ cair dan superkritis. Sedangkan kualitas papan semen yang dihasilkan berupa sifat mekanik seperti *Internal Bond* (IB) dan *Modulus of Rupture* (MoR) menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap kondisi CO₂ dan waktu injeksi tetapi *Modulus of Elasticity* (MoE) berbeda signifikan pada kondisi CO₂ cair terhadap kondisi CO₂ gas dan superkritis. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan CO₂ pada berbagai kondisi dan waktu injeksi memberikan pengaruh yang relatif sama terhadap kualitas papan yang dihasilkan bila dibandingkan dengan papan konvensional serta dapat mereduksi waktu *curing* papan dari 28 hari menjadi 1 jam.

Tabel 33. Ringkasan Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen Komposit Sabut Kelapa

Parameter Pengujian	Kondisi CO ₂ dan Waktu Injeksi								
	A1B1	A1B2	A1B3	A2B1	A2B2	A2B3	A3B1	A3B2	A3B3
Kerapatan (g/cm ³)	0,989	1,003	0,987	1,051	1,044	1,008	0,957	1,009	0,999
Kadar Air (%)	4,673	4,371	4,865	4,285	4,045	4,145	4,702	4,490	4,366
DS 2 Jam (%)	39,7	30,079	36,314	34,03	28,308	34,031	34,536	28,633	20,889
DS 24 Jam (%)	54,626	46,964	50,927	52,753	50,067	54,607	54,35	47,266	43,439
P. Linier 2 jam (%)	0,226	0,225	0,252	0,12	0,34	0,3	0,312	0,701	0,347
P. Linier 24 jam (%)	0,402	0,425	0,481	0,338	1,001	0,624	0,442	1,088	1,698
P. Tebal 2 Jam (%)	1,021	0,8	0,978	0,357	0,308	0,363	0,948	1,478	0,610
P. Tebal 24 Jam (%)	2,098	2,193	1,991	0,897	0,733	0,52	1,72	2,735	2,414
IB (kg/cm ²)	1,163	1,181	1,606	1,109	1,209	1,486	1,352	1,386	1,440
MoR (kg/cm ²)	71,66	72,36	73,318	68,172	71,761	61,783	77,664	71,338	76,190
MoE (kg/cm ²)	3419,04	7945,908	6234,282	2971,853	2222,164	2597,885	3156,343	2427,520	4385,167

Keterangan:

*: Memenuhi standar JIS A 5417 – 1992

A1B1 : CO₂ Cair, 10 Menit
 A1B2 : CO₂ Cair, 30 Menit
 A1B3 : CO₂ Cair, 60 Menit
 A2B1 : CO₂ Gas, 10 Menit
 A2B2 : CO₂ Gas, 30 Menit

A2B3 : CO₂ Gas, 60 Menit
 A3B1 : CO₂ Superkritis, 10 Menit
 A3B2 : CO₂ Superkritis, 30 Menit
 A3B3 : CO₂ Superkritis, 60 Menit

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan karbon dioksida (CO_2) memberikan pengaruh yang tidak signifikan dengan proses konvensional terhadap kualitas papan semen sabut kelapa, namun penggunaan karbon dioksida (CO_2) kondisi cair memberikan kualitas yang lebih baik bila dibandingkan dengan penggunaan CO_2 kondisi gas maupun superkritis. Meskipun penggunaan CO_2 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas papan, namun dapat mengurangi waktu *curing* papan dari 28 hari menjadi 1 jam tanpa menurunkan kualitas papan semen.

B. Saran

Sebaiknya proses injeksi CO_2 ke dalam papan dilakukan pada saat proses pengkleman berlangsung agar terbentuk ikatan yang sempurna antara semen, air dan partikel sehingga mendapatkan kualitas papan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri. 2005. Makalah : **Pemanfaatan Limbah Kayu sebagai Bahan Baku Komposit Kayu Semen**. Program Studi Ilmu Pertanian, Program Pasca Sarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- , E. Gunawan dan D. Sanusi., 2006. **Sifat Fisik mekanik Komposit Kayu Semen – Serbuk Gergaji** : Jurnal Perennial Hasil Hutan dan Kehutanan Vol.2 No.1, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- BAPPEDA. 2006. **Sulawesi Selatan dalam Angka 2004**. Kerjasama BAPPEDA dengan Badan :Pusat Statistika Sulawesi Selatan.
- Beacukai. 2006. **Kajian Terhadap Semen sebagai Calon Barang Kena Cukai dalam Rangka Estensifikasi Obyek BCK**. <http://www.beacukai.go.id/library/data/semen/htm>. [Diakses Tanggal 10 September 2007].
- FAO. 1999. **Improvement in Drying, Softening, Blending, Dyeing Coir Fiber/Yard and in Printing Coir Floor Coverings**. <http://www.FAO.org/documents/shoocdr.asp?urlfile=/DOCREP/005/y3612E/y3612e03.htm>. [Diakses Tanggal 10 September 2007]
- Gaspersz, V. 1991. **Metode Perancangan Percobaan** : Untuk Ilmu-ilmu Pertanian, Ilmu-ilmu Teknik dan Biologi. CV.Armico, Bandung.
- Handayani, S.A. 2004. **Pemanfaatan limbah Kayu Agathis (Agathis sp.) sebagai Bahan Baku Papan Semen Partikel**: Proceeding MAPEKI VII, Makassar 5-6 Agustus 2004. Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman, Samarinda.
- Haygreen J. G. And Bowyer. J. L., 1996. **Hasil hutan dan Ilmu Kayu**. Suatu Pengantar Hasil Penerjemahan A.H. Sutjipto. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hermawan D, Suh J K, Kawai S. 2000. **Manufacture of Cement Bonded Particleboards From Korean Pine and Larch by Curing of Supercritical CO₂ fluid**. The journal of Korean Wood Science and Technology Vol 28 No.4.

- Hermawan, D. 2001. **Manufacture of Cement – Bonded Particleboard Using Carbon Dioxide Curing Technology**. Departement of Forest and Biomass Science, Graduate School of The Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto.
- Husin. A. A. 2003. **Pemanfaatan Limbah untuk Bahan bangunan**. [http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/advisteknis/modul%10C1%\(bahan10%bangunan\)](http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/advisteknis/modul%10C1%(bahan10%bangunan).). [Diakses Tanggal 6 Agustus 2007].
- Info Jawa. 2006. **Potret Hutan Indonesia**. <http://www.infojawa.org/24/11/2006>. [Diakses Tanggal 6 Agustus 2007]
- JIS (Japanese Industrial Standard) A 5417. 1992. **Cement bonded Particle Boards**. Japanese Standard Association.
- JIS (Japanese Industrial Standard) A 5908, 1994. **Particle Boards**. Japanese Standard Association.
- Kamil. 1970. **Prospek Pendirian Industri Papan Wol Kayu di Indonesia**. Pengumuman No.95. Lembaga-lembaga Penelitian Kehutanan. Direktorat Jendral Kehutanan. Departemen Pertanian, Bogor.
- Kitao, G.M., S. Kumar, E.S.Demessic, K.L. Levien and J.J. Morrell. 1998. **Bending Properties of TCMTB – Treaded Southern Pine Sapwood Using Supercritical Carbon Dioxide Impregnation Processes**. The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/NP/97-40080.
- Moslemi, A.A., 1989. **Wood Cement Panel Product, Coming Age, in Fiber and Particleboard Bonded with Inorganic Binders, USA**.
- Palungkun R. 2004. **Aneka Produk Olahan Kelapa**. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Paribotro, S. Kliwon dan S. Karaesudirdja. 1977. **Sifat Papan Semen Lima Jenis Kayu**. Laporan No.96 LPHH Bogor, Bogor.
- Purbalinggakab. 2006. **Peluang Usaha Pengembangan Produk-produk dari Kelapa**. <http://www.purbalinggakab.go.id/index.php?option=com-content&task=view&id=log&11> [Diakses Tanggal 19 Agustus 2007]
- Setyawati, D., Y.S. Hadi, Y. Massijaya dan N. Nugroho. 2006. **Kualitas Papan Komposit Berlapis Finir dari Sabut Kelapa dan Plastik Polietilena Daur Ulang: Variasi Ukuran Partikel Sabut Kelapa**. Jurnal Perennial Hasil Hutan dan Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

- Setyono P. 2003. **Pengembangan Teknologi Pembuatan Papan Semen Partikel**. Skripsi, Jurusan Teknologi Hasil hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor. (Tidak Dipublikasikan).
- Suara merdeka. 2006. **Produktifitas Hutan Indonesia**. <http://www.Suaramerdeka.com/harian/0612/23/kedap.htm>. [Diakses Tanggal 6 September 2007].
- Suhasman, 2005. **Papan Mineral** (Disajikan untuk Mata Kuliah Papan Komposit). Diktat Kuliah: Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Universitas Hasanuddin, Makassar. (Tidak Dipublikasikan).
- Sumarni T. 2007. **Kualitas Papan Semen Komposit dari Sabut Kelapa**. Skripsi, Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. (Tidak Dipublikasikan).
- Sutini. 2003. **Teknologi Pembuatan Papan Semen Partikel Ringan**. Skripsi, Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor. (Tidak Dipublikasikan).
- Widiyarti G. 2002. Paper : **Studi Awal Pembuatan Asam Oksalat dari Sabut Kelapa dengan metode Oksidasi**. Pusat Penelitian Kimia, LIPI, Serpong. (<http://www.kimia-lipi.net/dokumen/bandung/index2>). [Diakses Tanggal 6 September 2007].

Lampiran

Lampiran 1. Pengukuran Suhu Hidrasi Sabut Kelapa

No	Suhu °C					
	Kontrol 1	Ulangan 1	Kontrol 2	Ulangan 2	Kontrol 3	Ulangan 3
1	29	30	29	30	29	30
2	29	30	29	30	29	30
3	29	30	29	30	29	30
4	29	30	29	30	29	30
5	29	30	29	30	29	30
6	29	31	30	30	30	30
7	30	31	30	30	30	31
8	30	31	30	30	30	31
9	30	31	30	31	30	31
10	30	31	31	31	31	31
11	31	32	31	31	31	31
12	31	32	31	31	31	31
13	31	32	31	31	32	31
14	31	32	32	32	32	32
15	32	33	32	32	33	32
16	33	33	33	32	33	32
17	33	33	33	32	34	33
18	33	34	34	33	35	33
19	34	34	34	33	35	33
20	34	34	35	33	36	33
21	35	34	35	33	36	34
22	35	34	36	33	37	34
23	36	34	36	33	38	34
24	36	34	36	33	38	34
25	36	35	36	33	39	35
26	37	35	37	34	40	35
27	37	36	37	34	40	35
28	38	36	38	34	41	36
29	38	36	39	35	42	36
30	39	37	40	35	43	37
31	40	37	41	35	44	37
32	41	37	41	36	44	37
33	41	38	41	36	45	38
34	41	38	41	36	45	38
35	41	38	42	36	44	39
36	41	39	41	36	44	39
37	42	39	41	37	43	40
38	41	39	40	37	43	40
39	41	39	40	38	42	41
40	41	38	40	38	42	41
41	40	38	39	38	41	41
42	40	38	38	39	41	41
43	39	37	38	38	40	41

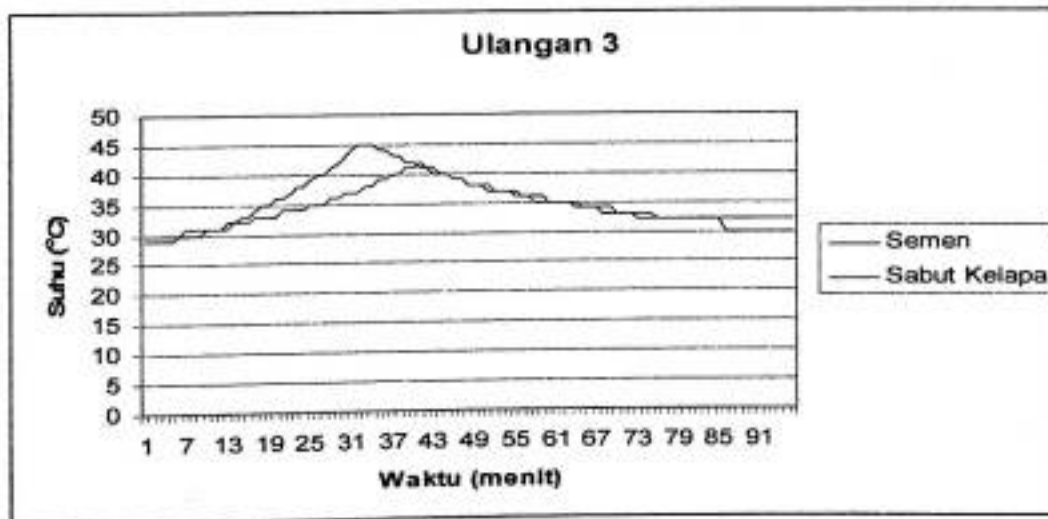
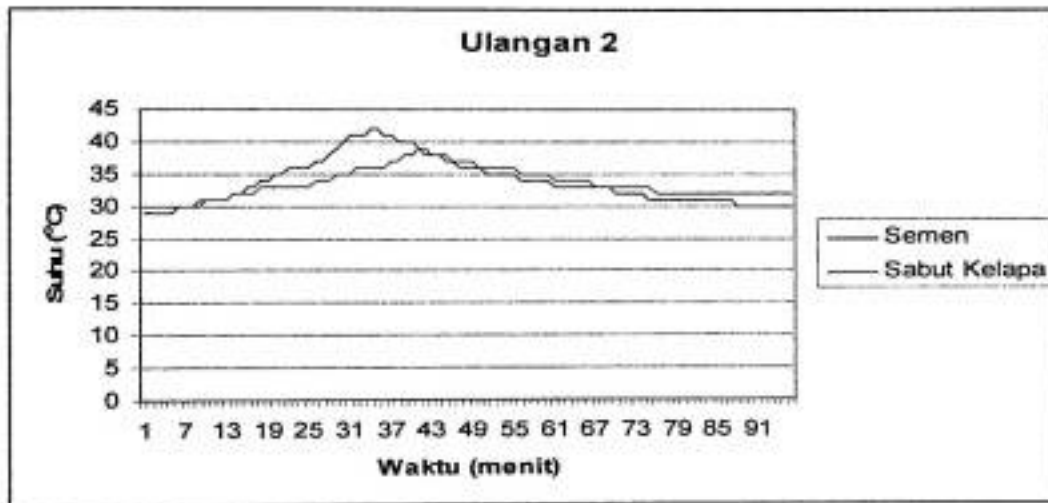
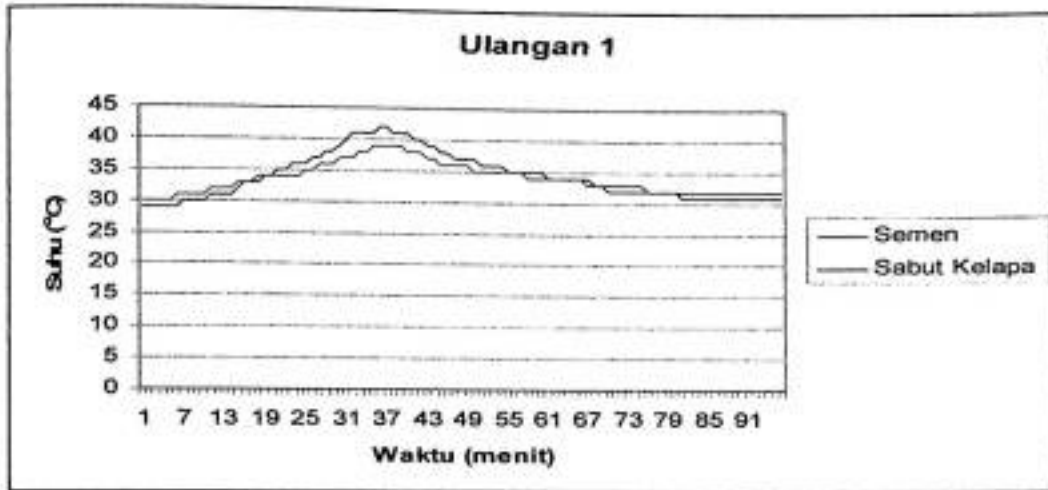
Lampiran 1. Lanjutan

No	Suhu °C					
	Kontrol 1	Ulangan 1	Kontrol 2	Ulangan 2	Kontrol 3	Ulangan 3
44	39	37	38	38	40	40
45	38	36	37	38	40	40
46	38	36	37	37	39	39
47	37	36	36	37	39	39
48	37	36	36	37	38	38
49	37	36	36	37	38	38
50	37	35	36	36	38	38
51	36	35	35	36	37	38
52	36	35	35	36	37	37
53	36	35	35	36	37	37
54	36	35	35	36	37	37
55	35	35	35	36	36	37
56	35	35	34	35	36	36
57	35	35	34	35	36	36
58	35	34	34	35	36	35
59	35	34	34	35	36	35
60	35	34	34	35	35	35
61	34	34	33	34	35	35
62	34	34	33	34	35	35
63	34	34	33	34	35	35
64	34	34	33	34	34	35
65	34	34	33	34	34	34
66	34	34	33	34	34	34
67	34	33	33	33	34	34
68	33	33	33	33	33	34
69	33	33	33	33	33	34
70	32	33	32	33	33	33
71	32	33	32	33	33	33
72	32	33	32	33	33	33
73	32	33	32	33	32	33
74	32	33	32	33	32	33
75	32	33	31	33	32	33
76	32	32	31	32	32	32
77	32	32	31	32	32	32
78	32	32	31	32	32	32
79	32	32	31	32	32	32
80	32	32	31	32	32	32
81	31	32	31	32	32	32
82	31	32	31	32	32	32
83	31	32	31	32	32	32
84	31	32	31	32	32	32
85	31	32	31	32	32	32
86	31	32	31	32	30	32

Lampiran 1. Lanjutan

No	Suhu °C					
	Kontrol 1	Ulangan 1	Kontrol 2	Ulangan 2	Kontrol 3	Ulangan 3
87	31	32	31	32	30	32
88	31	32	30	32	30	32
89	31	32	30	32	30	32
90	31	32	30	32	30	32
91	31	32	30	32	30	32
92	31	32	30	32	30	32
93	31	32	30	32	30	32
94	31	32	30	32	30	32
95	31	32	30	32	30	32
96	31	32	30	32	30	32

Lampiran 2. Grafik Suhu Hidrasi Sabut Kelapa



Lampiran 3. Data Pengukuran Sifat Fisik Pajon Semcon Sabut Kelapa

Perlakuan	Sifat Fisik Pajon										
	Kr (g/cm ³)	KA (%)	F. Koreksi	Daya Serap (%)			P. Limier (%)			P. Tebal (%)	
				2 Jam	24 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	
Konvensional 28 Hari	0,940	15,493	1,064	35,347	42,971	0,211	0,528	0,346	1	11	
	0,949	15,282	1,054	32,140	39,887	0,312	0,417	0,935	2	36	
	0,939	15,896	1,065	44,904	51,602	0,328	0,546	1,105	2	34	
Jumlah	0,943	15,577	1,060	33,901	36,414	0,212	0,318	1,020	1	31	
Rata-rata	0,943	15,564		146,292	170,874	1,063	1,809	3,406	7	31	
Konvensional Oven	1,014	11,511	0,987	21,266	42,718	0,266	0,452	0,852	1	133	
	1,042	10,707	0,959	23,241	36,183	0,285	0,380	2,537	4	161	
	1,007	11,302	0,993	9,894	22,112	0,098	0,294	1,686	4	114	
Jumlah	1,027	11,152	0,974	22,671	33,865	0,096	0,289	1,623	4	99	
Rata-rata	1,022	11,168		77,071	127,964	0,674	1,351	6,863	1	157	
CO ₂ Cair, 10 Menit	1,005	4,809	0,995	15,260	31,991	0,168	0,338	2,216	4	139	
	0,971	4,809	1,030	37,471	51,897	0,295	0,494	0,649	1	160	
	0,967	4,377	1,034	34,518	48,132	0,308	0,514	0,922	2	399	
Jumlah	1,011	4,699	0,989	42,356	56,397	0,103	0,206	1,701	2	552	
Rata-rata	1,011	4,699		41,457	62,079	0,197	0,393	0,810	1,733		
CO ₂ Cair, 30 Menit	3,954	18,684		15,1802	213,505	0,904	1,607	4,083	6	394	
	0,989	4,673		36,700	54,626	0,226	0,402	1,021	2	098	
	1,001	4,536	0,999	24,055	40,092	0,302	0,403	0,905	2	467	
Jumlah	1,008	4,467	0,992	30,910	45,571	0,100	0,300	0,823	1,975		
Rata-rata	0,995	4,227	1,005	29,061	51,136	0,302	0,603	0,574	1,641		
CO ₂ Cair, 60 Menit	1,009	4,254	0,991	36,280	51,059	0,197	0,393	0,896	2,668		
	4,013	17,483		120,314	187,858	0,900	1,699	3,198	6,772		
	1,003	4,371		30,079	46,964	0,225	0,425	0,800	2,153		
Jumlah	1,006	4,850	0,994	29,356	46,191	0,297	0,396	0,518	1,703		
Rata-rata	0,939	4,893	1,064	37,837	51,392	0,213	0,532	1,011	1,489		
CO ₂ Cair, 90 Menit	1,009	4,784	0,991	38,683	51,426	0,197	0,491	1,718	2,684		
	0,995	4,934	1,005	39,379	55,701	0,302	0,503	0,514	2,087		
	3,949	19,462		145,255	203,709	1,008	1,922	3,912	7,964		
Jumlah	0,987	4,865		36,314	50,927	0,252	0,481	0,918	1,991		

Lampiran 3. Lanjutan

Sifat Fisik Papan

Perlakuan	Kr (g/cm ³)	KA(%)	F.Koreksi	Daya Scrap (%)		P.L.inier (%)		P.Tebal (%)	
				2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam
CO ₂ Gas, 10 Menit	1,062	4,686	0,942	26,130	48,881	0,093	0,278	0,438	0,738
	1,062	4,275	0,942	34,168	53,612	0,095	0,285	0,438	0,711
	1,050	3,937	0,912	36,839	55,573	0,100	0,399	0,235	1,333
	1,031	4,241	0,970	35,981	52,947	0,194	0,399	0,318	0,795
	4,205	17,139		136,113	211,013	0,482	1,350	1,430	3,585
Rata-rata	1,051	4,285		34,030	52,753	0,120	0,338	0,357	0,897
CO ₂ Gas, 30 Menit	1,039	4,106	0,962	25,128	49,341	0,493	2,467	0,311	1,059
	1,040	3,887	0,962	27,445	51,486	0,191	0,477	0,382	0,763
	1,054	3,947	0,949	33,230	54,152	0,285	0,474	0,384	0,763
	1,044	4,238	0,957	27,418	41,290	0,391	0,585	0,158	0,312
	4,178	16,178		113,230	201,263	1,360	4,004	1,233	2,933
Rata-rata	1,044	4,045		28,308	50,067	0,340	1,001	0,308	0,733
CO ₂ Gas, 60 Menit	0,997	4,134	1,003	26,322	46,696	0,401	0,902	0,325	0,245
	1,010	4,143	0,990	43,221	70,824	0,398	0,696	0,240	0,559
	1,008	4,157	0,992	41,208	60,251	0,205	0,411	0,647	0,843
	1,016	4,147	0,985	25,381	40,658	0,195	0,489	0,239	0,631
	4,031	16,581		136,122	218,429	1,199	2,497	1,450	2,075
Rata-rata	1,008	4,145		34,031	54,607	0,300	0,624	0,363	0,521
CO ₂ Superkritis, 10 Menit	0,961	4,975	1,041	34,976	63,085	0,208	0,520	1,142	2,103
	0,958	4,649	1,014	32,779	50,100	0,308	0,411	1,067	2,13
	0,955	4,535	1,048	36,615	54,213	0,419	0,419	1,054	1,56
	0,955	4,647	1,047	32,772	50,003	0,314	0,419	0,520	1,04
	3,826	18,807		131,144	217,401	1,250	1,769	3,793	6,87
Rata-rata	0,957	4,702		34,536	54,350	0,312	0,442	0,948	1,73

Lampiran 3. Lanjutan

Sifat Fisik Papan

Perlakuan	Kr (g/cm ³)	KA(%)	F Koreksi	Daya Scrap (%)		P.Linier (%)		P.Tebal (%)	
				2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam
CO ₂ Superkritis, 30 Menit	1,003	4,254	0,997	40,403	51,427	0,959	1,342	1,402	2,492
	1,018	4,247	0,982	35,727	46,374	0,674	1,060	1,160	2,243
	1,008	4,662	0,992	17,174	36,669	0,794	1,290	1,435	3,293
	1,006	4,796	0,994	24,228	51,591	0,378	0,661	1,914	2,912
Jumlah	4,035	17,959		111,532	183,063	2,804	4,352	5,911	10,940
Rata-rata	1,009	4,490		28,633	47,266	0,701	1,088	1,478	2,735
CO ₂ Superkritis, 60 Menit	1,000	4,110	1,000	26,381	44,193	0,590	1,407	0,884	1,719
	0,988	4,407	1,012	20,931	46,636	0,102	1,421	0,307	1,658
	1,012	4,409	0,988	19,723	43,471	0,293	2,468	0,586	3,620
	0,996	4,538	1,004	16,522	39,457	0,402	1,496	0,654	2,660
Jumlah	3,996	17,463		83,557	173,757	1,387	6,792	2,441	9,656
Rata-rata	0,999	4,366		20,889	43,439	0,347	1,698	0,610	2,414

Lampiran 4. Data Pengukuran Sifat Mekanik Papan Semen Sabut Kelapa

Perlakuan	Sifat Mekanis		
	IB (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MoE (kgf/cm ²)
Konvensional 28 Hari	1,836	109,311	20781,154
	2,135	106,548	19632,420
	2,308	100,169	16546,212
	1,677	112,163	17519,350
Jumlah	7,957	428,191	74479,136
Rata-rata	1,989	107,048	18619,784
Konvensional Oven	0,920	66,508	3061,476
	0,752	62,626	2164,896
	0,886	67,046	1642,818
	0,978	60,837	11682,883
Jumlah	3,536	257,016	18552,074
Rata-rata	0,884	64,254	4638,018
CO ₂ Cair, 10 Menit	0,989	75,251	4004,103
	1,222	72,257	4202,006
	0,884	74,811	3435,505
	1,631	64,323	2034,547
Jumlah	4,726	286,642	13676,162
Rata-rata	1,181	71,660	3419,040
CO ₂ Cair, 30 Menit	0,998	62,677	7356,914
	1,551	83,909	9336,579
	1,131	64,826	5263,350
	0,971	78,028	9826,790
Jumlah	4,652	289,439	31783,634
Rata-rata	1,163	72,330	7945,908
CO ₂ Cair, 60 Menit	1,223	60,894	6868,063
	1,780	89,201	5562,345
	1,779	63,630	5363,626
	1,641	79,548	7143,094
Jumlah	6,423	293,273	24937,128
Rata-rata	1,606	73,318	6234,282
CO ₂ Gas, 10 Menit	1,106	65,080	3136,661
	1,170	64,558	3344,072
	1,055	72,095	2524,196
	1,107	70,953	2882,484
Jumlah	4,438	272,686	11887,413
Rata-rata	1,109	68,172	2971,853
CO ₂ Gas, 30 Menit	1,360	68,191	2383,636
	1,060	73,144	2850,616
	1,317	72,029	2524,672
	1,099	73,680	1129,732
Jumlah	4,836	287,044	9888,656
Rata-rata	1,209	71,761	2222,164
CO ₂ Gas, 60 Menit	1,662	62,920	1966,035
	1,331	63,631	2803,478
	1,317	60,297	2813,486
	1,633	60,283	2808,541
Jumlah	5,943	247,131	10391,540
Rata-rata	1,486	61,783	2597,885

Lampiran 4. Lanjutan

Perlakuan	Sifat Mekanis		
	IB (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MoE (kgf/cm ²)
CO ₂ Superkritis, 10 Menit	1,129	76,547	3164,792
	1,960	83,273	3931,268
	1,343	75,256	2216,479
	0,975	75,578	3312,833
Jumlah	5,407	310,655	12625,372
Rata-rata	1,352	77,664	3156,343
CO ₂ Superkritis, 30 Menit	1,079	75,494	2230,933
	1,307	64,890	2621,176
	1,413	74,810	3156,819
	1,747	70,157	1701,151
Jumlah	5,546	285,351	9710,079
Rata-rata	1,386	71,338	2427,520
CO ₂ Superkritis, 60 Menit	1,442	82,399	4999,041
	1,487	72,696	3982,061
	1,481	72,587	3938,496
	1,351	77,077	4621,072
Jumlah	5,762	304,760	17540,670
Rata-rata	1,440	76,190	4385,167

Lampiran 5. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kerapatan

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,01406	0,01406	65,49005**	4,14	7,47
K2 v P	1	0,00107	0,00107	4,98877*	4,14	7,47
A	2	0,01544	0,00772	35,95996**	3,29	5,315
B	2	0,00329	0,00164	7,65273**	3,29	5,315
AB	4	0,00770	0,00192	8,96350**	2,66	3,95
Galat	33	0,00709	0,00021			
Total	43	0,04959				

Keterangan :**) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

Lampiran 6. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kadar Air

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	445,93681	445,93681	10068,23920**	4,14	7,47
K2 v P	1	163,22408	163,22408	3685,22862**	4,14	7,47
A	2	1,44685	0,72342	16,33325**	3,29	5,315
B	2	0,36158	0,18079	4,08185*	3,29	5,315
AB	4	0,47560	0,11890	2,68448*	2,66	3,95
Galat	33	1,46162	0,04429			
Total	43	564,55627				

Keterangan :**) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

Lampiran 7. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap 2 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	80,79996	80,79996	2,23692 ^m	4,14	7,47
K2 v P	1	568,47327	568,47327	15,73797**	4,14	7,47
A	2	340,94221	170,47111	4,71943*	3,29	5,315
B	2	445,16496	222,58248	6,16211**	3,29	5,315
AB	4	483,59328	120,89832	3,34702*	2,66	3,95
Galat	33	1191,99742	36,12113			
Total	43	2868,91676				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 8. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap 24 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	221,11782	221,11782	5,36044*	4,14	7,47
K2 v P	1	1240,73237	1240,73237	30,07838**	4,14	7,47
A	2	40,61212	20,30606	0,49227 ^m	3,29	5,315
B	2	382,84030	191,42015	4,64049*	3,29	5,315
AB	4	487,69172	121,92293	2,95571*	2,66	3,95
Galat	33	1361,24909	41,24997			
Total	43	3239,86456				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 9. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,00830	0,00830	0,51982 ^m	4,14	7,47
K2 v P	1	0,07624	0,07624	4,77262*	4,14	7,47
A	2	0,35313	0,17656	11,05265**	3,29	5,315
B	2	0,24987	0,12493	7,82061**	3,29	5,315
AB	4	0,23217	0,05804	3,63343*	2,66	3,95
Galat	33	0,52717	0,01597			
Total	43	1,44266				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 10. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,26206	0,26206	2,01797 ^m	4,14	7,47
K2 v P	1	0,53169	0,53169	4,09417*	4,14	7,47
A	2	2,54399	1,27200	9,79482**	3,29	5,315
B	2	1,99374	0,99687	7,67623**	3,29	5,315
AB	4	2,05930	0,51483	3,96434*	2,66	3,95
Galat	33	4,28552	0,12986			
Total	43	11,60892				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 11. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,02853	0,02853	0,22339 ^m	4,14	7,47
K2 v P	1	7,60326	7,60326	59,52705**	4,14	7,47
A	2	3,20892	1,60446	12,56157**	3,29	5,315
B	2	0,27158	0,13579	1,06313 ^m	3,29	5,315
AB	4	1,37510	0,34378	2,69147*	2,66	3,95
Galat	33	4,21502	0,12773			
Total	43	16,68541				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 12. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,06331	0,06331	0,24277 ^m	4,14	7,47
K2 v P	1	24,13725	24,13725	92,56117**	4,14	7,47
A	2	18,59767	9,29884	35,65905**	3,29	5,315
B	2	3,78526	1,89263	7,25783**	3,29	5,315
AB	4	17,91948	4,47987	17,17934**	2,66	3,95
Galat	33	8,60544	0,26077			
Total	43	52,95796				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 13. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap *Internal Bond* (IB)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	1,58405	1,58405	26,02163**	4,14	7,47
K2 v P	1	0,70285	0,70285	11,54589**	4,14	7,47
A	2	0,02849	0,01424	0,23400 ^m	3,29	5,315
B	2	0,54146	0,27073	4,44733*	3,29	5,315
AB	4	0,13250	0,03313	0,54417 ^m	2,66	3,95
Galat	33	2,00885	0,06087			
Total	43	5,44875				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 14. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap *Modulus of Rupture* (MoR)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	4527,95132	4527,95132	115,70568**	4,14	7,47
K2 v P	1	193,34635	193,34635	4,94071*	4,14	7,47
A	2	23,22961	11,61481	0,29680 ^m	3,29	5,315
B	2	131,24347	65,62174	1,67687 ^m	3,29	5,315
AB	4	481,41879	120,35470	3,07550*	2,66	3,95
Galat	33	1291,40063	39,13335			
Total	43	6927,77281				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata

Lampiran 15. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap *Modulus of Elasticity* (MoE)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	776958721,30487	776958721,30487	249,44674*	4,14	7,47
K2 v P	1	1810219,55356	1810219,55356	0,58118 ^m	4,14	7,47
A	2	61374805,42169	30687402,71084	9,85235**	3,29	5,315
B	2	10544386,75815	5272193,37907	1,69267*	3,29	5,315
AB	4	41514834,48620	10378708,62155	3,33214**	2,66	3,95
Galat	33	102786022,65215	3114727,95916			
Total	43	1003327987,83301				

Keterangan : **) Pengaruh Perlakuan Sangat Nyata pada Taraf 1%

*) Pengaruh Perlakuan Nyata pada Taraf 5%

^m) Pengaruh Perlakuan Tidak Nyata