

PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) UNTUK  
PERCEPATAN PROSES PEMBUATAN DAN  
PENGARUHNYA TERHADAP SIFAT FISIK MEKANIS  
PAPAN SEMEN KOMPOSIT BAMBU PARRING  
(*Gigantochloa ater* Kurz.)

PRATIWI  
M 121 03 055



Tgl. Terima	20 - 5 - 08
Asal Dari	Keluh
Banyaknya	1 shs
Harga	1 shs
No. Inventaris	64
No. Klas	Sikr-10408 PRATIWI

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL HUTAN  
FAKULTAS KEHUTANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2008

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk Percepatan Proses Pembuatan dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Fisik Mekanis Papan Semen Komposit Bambu Parring (*Gigantochloa ater* Kurz.)

Nama : Pratiwi

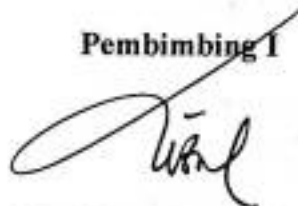
Nim : M 121 03 055

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



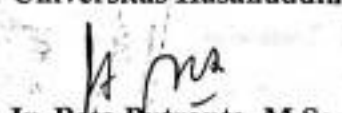
Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc.

Pembimbing II



Suhasman, S.Hut., M.Si.

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknologi Hasil Hutan  
Fakultas Kehutanan  
Universitas Hasanuddin



Ir. Beta Putranto, M.Sc.  
Nip. 430 792 980

Tanggal Lulus : 15 Mei 2008

## ABSTRAK

**Pratiwi (M 121 03 055). Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk Percepatan Proses Pembuatan dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Fisik Mekanis Papan Semen Komposit Bambu Parring (*Gigantochloa ater* Kurz.) di bawah Bimbingan Musrizal Muin dan Suhasman.**

Salah satu upaya untuk meminimalkan penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan papan semen adalah dengan memanfaatkan bahan baku alternatif yang berlignoselulosa. Bahan baku yang potensial terdapat di Sulawesi Selatan adalah bambu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kualitas papan semen komposit dengan menggunakan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada berbagai bentuk dan lama perlakuan pematangan (*curing*) papan. Penelitian ini berlangsung dari bulan Desember 2007 sampai bulan April 2008. Pengambilan sampel dilakukan di Desa Pattiro Deceng, Kabupaten Maros, 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 bambu parring didasarkan pada standar JIS A 5417 (1992). Pengaruh setiap perlakuan terhadap sifat fisik dan mekanis papan dianalisis menggunakan percobaan faktorial dengan dasar 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 analisis kontras.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa perlakuan waktu injeksi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan sedangkan perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan papan. Perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata sedangkan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan. Untuk pengembangan tebal 2 jam, perlakuan berpengaruh nyata pada interaksi

antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> sedangkan untuk pengembangan tebal 24 jam, perlakuan berpengaruh sangat nyata pada interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub>. Untuk pengembangan linier 2 jam perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata sedangkan untuk pengembangan linier 24 jam, hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi CO<sub>2</sub>, dan interaksi kedua perlakuan berpengaruh sangat nyata. Perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata sedangkan interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh nyata terhadap MOE papan semen. Untuk nilai IB papan semen, perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada berbagai tingkatan lamanya waktu pematangan (*curing*) papan berpengaruh tidak signifikan terhadap peningkatan kualitas papan semen komposit bambu parring namun dapat mengurangi waktu *curing* semen tanpa menurunkan sifat fisik dan mekanis papan semen yang dihasilkan.

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan karya ilmiah yang berjudul "*Pemanfaatan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk Percepatan Proses Pembuatan dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Fisik Mekanis Papan Semen Komposit Bambu Parring (Gigantochloa ater Kurz.)*". Karya ilmiah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada program studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian karya ilmiah ini, banyak pihak yang telah memberikan kontribusi yang sangat berarti bagi penulis. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis menghaturkan terima kasih kepada:

- Keluarga tercinta: Ayahanda Balwad Ismail (Alm) yang selalu dekat di hati dan Ibunda Fatma Manan, Saudara(i) ku serta keluarga besar Salero. *Terima kasih atas do'a dan dukungannya.*
- Bapak Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc. selaku pembimbing I dan bapak Suhasman, S.Hut.,M.Si selaku pembimbing II yang selalu bersedia meluangkan waktu untuk diskusi, memberikan ide, bimbingan, 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, M.P. (Dekan Fakultas Kehutanan), Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc. (Pembantu Dekan I), dan Dr. Ir. Yusran Jusuf, M.Si. (Pembantu Dekan II).
- Bapak Ir. Beta Putranto, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknologi Hasil Hutan.
- Bapak Prof. Dr. Ir. Djamal Sanusi, Ibu A. Detti Yuniarti, S.Hut., M.P., dan Ibu Astuti Arif, S.Hut., M.Si. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran untuk penulisan karya ilmiah ini.
- Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Pegawai Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
- 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 selaku Laboran di laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan. *Thanks buat waktu, bantuan dan pengertiannya selama pelaksanaan penelitian.*
- Sahabat-sahabat terbaikku: yayu, ifha, rhina, inchi, ireng, π-k, rere, ephi, has, ati, acil, tia, daud, lopez, achim and so on. *Thanks untuk sepenggal kisah terindah atas kebersamaan kita selama ini, u're all the best for me.*

- Rekan-rekan mahasiswa Kehutanan serta Kanda-kanda Senior/Alumni.
- Keluarga Yudhi dan terkhusus Anggi yang telah menjadi keluarga bagi penulis.  
*Thanks atas pengertian dan dukungannya.*
- *Special thanks to seseorang* yang telah menjadi motivasi dan selalu memberikan dukungan bagi penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan karya ilmiah ini masih terdapat kekurangan. Oleh sebab itu dengan segala kerendahan hati dan tangan terbuka, sumbangan saran, koreksi dan kritik yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Penulis telah mengusahakan yang terbaik demi kesempurnaan karya ilmiah ini, tapi sempurna adalah kepunyaan-Nya. Akhir kata, semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amiin.

Makassar, Mei 2008

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan dan Kegunaan .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Papan Semen .....	4
B. Semen .....	6
C. Bambu sebagai Bahan Baku .....	8
D. Suhu Hidrasi .....	11
E. Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) dan Kegunaannya pada Papan Semen .....	12
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat .....	15
B. Alat dan Bahan .....	15
C. Prosedur Kerja	
1. Pengambilan dan Pemilihan Bambu .....	16
2. Pembuatan Partikel Bambu .....	16
3. Pengukuran Suhu Hidrasi .....	17
	viii



4. Pembuatan Papan Semen .....	18
5. Pematangan ( <i>curing</i> ) Papan Semen .....	19
<b>D. Pengujian</b>	
1. Sifat Fisik	
a. Kerapatan .....	23
b. Kadar Air .....	23
c. Daya Serap Air .....	24
d. Pengembangan Tebal dan Pengembangan Linier .....	25
2. Sifat Mekanis	
a. Keteguhan Patah (MOR) .....	26
b. Modulus Elastisitas (MOE) .....	27
c. Keteguhan Rekat Internal (IB) .....	27
E. Analisis Data .....	28
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Suhu Hidrasi .....	31
B. Sifat Fisik Papan Semen Bambu Parring	
1. Kerapatan .....	33
2. Kadar Air .....	37
3. Daya Serap Air .....	41
4. Pengembangan Tebal .....	42
5. Pengembangan Linier .....	49
C. Sifat Mekanis Papan Semen Bambu Parring	
1. Keteguhan Patah (MOR) .....	54
2. Modulus Elastisitas (MOE) .....	55
3. Keteguhan Rekat Internal (IB) .....	59
4. Gambaran Umum Pengaruh Penggunaan CO <sub>2</sub> pada Berbagai Kondisi dan Waktu Injeksi Terhadap Waktu Curing dan Sifat Fisik Mekanis Papan Semen .....	62
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	64
B. Saran .....	64

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kerapatan.....	34
2.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kerapatan .....	35
3.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kerapatan .....	35
4.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kadar Air .....	38
5.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kadar Air.....	39
6.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kadar Air .....	40
7.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam .....	44
8.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam .....	44
9.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam.....	45
10.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam .....	46
11.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam .....	46
12.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam .....	47

13.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Kombinasi Perlakuan Kondisi Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam ...	50
14.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam .....	51
15.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam .....	51
16.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam .....	52
17.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE) .....	56
18.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE) .....	57
19.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Perbedaan Antar Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE) .....	58
20.	Hasil Uji BNJ/ <i>Tukey Test</i> Pengaruh Perlakuan Kombinasi Kondisi Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB) .....	60
21.	Ringkasan Sifat Fisik dan Mekanis Papan Semen Komposit Bambu Parring ( <i>Gigantochloa ater</i> Kurz.) .....	64

## DAFTAR GAMBAR

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Fase yang Menunjukkan Daerah Superkritis dari CO <sub>2</sub> .....	13
2.	Pengukuran Suhu Hidrasi .....	17
3.	Pengempaan Papan dan Sistem Klem yang Digunakan pada Proses Pembuatan Papan Semen .....	20
4.	Bentuk dan Ukuran Contoh Uji .....	21
5.	Unit Peralatan Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ).....	21
6.	Alur Pembuatan Papan Semen .....	22
7.	Pengujian Keteguhan Patah (MOR) .....	26
8.	Suhu Hidrasi Campuran Semen - Bambu Parring dan Semen (kontrol)..	31
9.	Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	34
10.	Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	34
11.	Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	35
12.	Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	38
13.	Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	39
14.	Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	39

15.	Daya Serap Air Papan Semen Bambu Parring pada Berbagai Kombinasi Perlakuan .....	41
16.	Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	43
17.	Pengembangan Tebal Papan 2 Jam Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	44
18.	Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	45
19.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	45
20.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	46
21.	Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	47
22.	Pengembangan Linier 2 Jam Papan Semen Bambu Parring pada Kombinasi Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> .....	50
23.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	50
24.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	51
25.	Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	52
26.	Keteguhan Patah (MOR) Papan Semen Bambu Parring pada Berbagai Kombinasi Perlakuan .....	54
27.	Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit .....	56
28.	Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit .....	57

29.	Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit .....	57
30.	Keteguhan Rekat Internal (IB) Papan Semen Bambu Parring pada Kombinasi Perlakuan Kondisi CO <sub>2</sub> .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Data Pengukuran Suhu Hidrasi Bambu Parring ( <i>Gigantochloa ater</i> Kurz.) .....	69
2.	Grafik Pengukuran Suhu Hidrasi Bambu Parring .....	72
3.	Data Pengukuran Sifat Fisik Papan Semen Bambu Parring ( <i>Gigantochloa ater</i> Kurz.) .....	73
4.	Data Pengukuran Sifat Mekanis Papan Semen Bambu Parring ( <i>Gigantochloa ater</i> Kurz.) .....	76
5.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kerapatan .....	78
6.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kadar Air .....	78
7.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap Air 2 jam .....	78
8.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap 24 Jam...	79
9.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam.....	79
10.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam.....	79
11.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam.....	80
12.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam.....	80
13.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Patah (MOR).....	81



14. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Modulus Elastisitas (MOE) .....	81
15. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB) .....	81



## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Papan semen adalah papan tiruan yang terbuat dari campuran bahan-bahan berlignoselulosa dengan menggunakan jenis perekat anorganik mineral yaitu semen. Produk papan semen memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan produk komposit lain di antaranya adalah tahan terhadap api, serangan jamur dan serangga serta perubahan kelembaban dan cuaca. Keunggulan lain yang terdapat pada produk papan semen adalah memiliki kemampuan yang baik sebagai penyekat (*insulating*) panas dan suara. Oleh sebab itu, papan semen digunakan sebagai komponen rumah dan bangunan khususnya pada beberapa negara dengan kondisi iklim dan lingkungan yang membutuhkan produk dengan keawetan yang tinggi.

Salah satu upaya untuk meminimalkan penggunaan kayu sebagai bahan baku pembuatan papan semen, juga dimanfaatkan bahan baku alternatif yang berupa hasil hutan bukan kayu, limbah pertanian, limbah industri perkerajinan dan bahan berlignoselulosa lain. Bahan baku yang potensial yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah bambu. Bambu merupakan salah satu komoditi lokal yang dapat digunakan sebagai bahan baku substitusi kayu, mengingat terbatasnya ketersediaan kayu di hutan Indonesia. Berdasarkan rekalkulasi tahun 2003, Badan Planologi mencatat total luas lahan berhutan pada kawasan hutan Indonesia sekitar 133.120 juta ha dengan laju degradasi mencapai 3,8 juta ha per tahun (Suara Pembaruan, 2007).

Menurut hasil inventarisasi BRLKT Wilayah IX tahun 1997 seperti dikemukakan oleh Kidding Allo (2002) dalam Muin *et al.* (2006), lahan bambu di Sulawesi Selatan adalah seluas sekitar 11.881 ha. Selanjutnya dikemukakan bahwa potensi bambu di Sulawesi Selatan sebesar 8.975 batang/ha. Jenis bambu parring (*Gigantochloa ater*) dan tallang (*Schizostachyum brachyladum*) merupakan jenis yang dominan dengan rata-rata potensi masing-masing 6.729 batang/ha dan 1.702 batang/ha.

Beberapa keunggulan yang terdapat pada papan semen tersebut di atas juga disertai dengan kekurangan yaitu lamanya waktu pematangan (*curing*) papan selama  $\pm$  28 hari setelah proses pengepresan dan klem. Lamanya waktu *curing* tersebut menjadikan proses pembuatan papan semen tidak efisien dan ekonomis untuk diterapkan pada skala industri. Inovasi teknologi papan semen semakin berkembang dengan dilakukannya penelitian-penelitian guna meningkatkan kualitas papan semen yang dihasilkan. Peningkatan kualitas papan semen tersebut dilakukan dengan meningkatkan pengembangan teknologi proses pembuatan papan semen dan penggunaan bahan baku alternatif substitusi kayu. Inovasi teknologi yang telah dilakukan tersebut antara lain penggunaan akselerator, teknologi pengerasan *autoclave*, penggunaan suhu tinggi secara langsung selama pengepresan, dan penggunaan gas dan super kritis CO<sub>2</sub>.

Salah satu inovasi teknologi proses pembuatan papan semen yang dapat dikembangkan adalah penggunaan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Penggunaan CO<sub>2</sub> pada kondisi gas dan *supercritical* CO<sub>2</sub> (SC CO<sub>2</sub>) terbukti dapat mempersingkat waktu *curing* papan semen. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh

Hermawan *et al.* (2001). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses *curing* papan dengan menggunakan gas atau SC CO<sub>2</sub> dapat dipercepat dalam beberapa menit serta meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas dimensi papan secara signifikan.

### **B. Tujuan dan Kegunaan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kualitas papan semen komposit dengan menggunakan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada berbagai bentuk dan lama perlakuan pematangan (*curing*) papan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan alternatif dalam upaya perbaikan kualitas papan semen.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Papan Semen

Paribotro dkk. (1977) menyatakan bahwa 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 dihasilkannya disebut papan wol kayu. Papan semen partikel dibuat dari potongan kayu yang kecil, seperti tatal, serpih dan serbuk gergaji.

Papan semen partikel memiliki resistensi yang tinggi terhadap api, pembusukan, dan retak oleh perubahan dingin dan panas, sifat anti goncang (*shock*), dan kekuatannya tinggi (Suh *et al.*, 2000). Papan semen komposit kayu memiliki sifat kuat, kaku, resisten terhadap kelembaban, api, jamur, dan serangga. Pada bentuk panel, papan semen komposit kayu dapat digunakan untuk penggunaan struktural dan non struktural pada interior dan eksterior. Sebagai bahan bangunan alternatif, papan semen partikel dan bahan dasar kayu lainnya memberikan beragam keuntungan seperti dapat dirancang untuk penggunaan tertentu, memiliki keunggulan pada stabilitas dimensi dan pada beberapa kasus memberikan ketahanan yang lebih lama daripada kayu solid (Susetyowati *et al.*, 2000). Menurut Semple dan Evans (2004), komposit semen tidak mengeluarkan limbah beracun selama pembuatan dan menggunakan perekat yang beresiko rendah terhadap kesehatan tidak seperti komposit yang direkat dengan resin. Bison (1975) dalam Sutini (2003) menyatakan bahwa papan semen

partikel juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya: memiliki kerapatan yang tinggi ( $1,25 \text{ g/cm}^2$ ) bila dibandingkan dengan papan partikel kerapatan sedang ( $0,4 - 0,8 \text{ g/cm}^2$ ) maupun papan kerapatan tinggi ( $0,8 - 1,05 \text{ g/cm}^2$ ).

Prayitno (1995) *dalam* Bakri (2005) menyatakan bahwa 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. Menurut Kliwon (1999) bahan baku dengan kadar gula, tanin, polisakarida dan senyawa aldehida lainnya dalam jumlah yang besar tidak dapat dipergunakan sebagai bahan baku papan semen kayu. Kadar gula di dalam kayu maksimum 1%, tanin 2% dan senyawa minyak/lemak maksimum 3%.

Menurut Simatupang (1974) *dalam* Sutigno dan Sulastiningsih (1986), faktor lain yang dapat menghambat pengerasan semen adalah terjadinya senyawa  $\text{Ca(OH)}_2$  ketika dilakukan pencampuran semen dan air. Kalsium hidroksida tersebut dapat melarutkan sebagian hemiselulosa kayu. Disamping faktor kimia kayu, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain pengaruh musim dan jamur biru terhadap kadar gula dalam kayu. Kayu yang segar dan basah apabila dicampur dengan semen akan menghasilkan papan semen yang tidak baik.

Beberapa penelitian dilakukan untuk menguji kualitas papan semen partikel. Penelitian tentang kualitas papan semen komposit berbahan baku bambu telah dilakukan oleh Marni (2007). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas papan semen bambu tidak dipengaruhi oleh jenis dan umur bambu sehingga semua jenis dan umur bambu mempunyai kualitas papan yang relatif sama.

## B. Semen

Semen didefinisikan sebagai campuran antara batu kapur/gamping (bahan utama) dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk, tanpa memandang proses pembuatannya yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air (Widjajakusuma, 2004). Selanjutnya Simatupang (1974) dalam Sutini (2003) menyatakan bahwa semen *portland* ialah 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 lain walaupun sedikit

Menurut Patton (1976), semen *portland* disusun dari empat bahan kimia dasar, yaitu:

1. tricalcium silicate,  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  disingkat  $\text{C}_3\text{S}$
2. dicalcium silicate,  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , disingkat  $\text{C}_2\text{S}$
3. tricalcium aluminate,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , disingkat  $\text{C}_3\text{A}$
4. tetracalcium aluminoferrite,  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , atau  $\text{C}_4\text{AF}$

Standar Nasional Indonesia (1994) *dalam* Sutini (2003), menggolongkan semen *portland* menjadi lima jenis, yaitu:

1. Jenis I : semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti pada jenis lain.
2. Jenis II : semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III : semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV : semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.
5. Jenis V : semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

### C. Bambu sebagai Bahan Baku

Menurut Dransfield dan Widjaja (1995), dari kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 genera, sekitar 200 spesies dari 20 genera ditemukan di Asia Tenggara. Selanjutnya Krisdianto dkk. (2000) menambahkan bahwa di Indonesia tanaman bambu ditemukan sekitar 60 jenis yang diperkirakan tumbuh di Indonesia, tetapi tidak semuanya merupakan tanaman asli Indonesia. International Network on Bamboo and Rattan (INBAR) dalam Harun (2002) telah menetapkan 12 jenis bambu Indonesia sebagai jenis penting, yaitu: *Bambusa blumeana*, *B. Atr*, *B. heterostachya*, *B. vulgaris*, *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa pseudoarundinacea*, *G. Atriviolacea*, *G. Balui*, *G. Ater*, *G. Scortechinii*, dan *Schizostachyum zollingeri*.

Krisdianto dkk. (2000) menyatakan bahwa tanaman bambu di Indonesia ditemukan di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian sekitar 350 m dpl. Pada umumnya ditemukan di tempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air. Menurut Muin dkk. (2006), secara umum di Sulawesi Selatan tegakan bambu tersebar pada lahan milik petani secara monokultur. Bambu tersebut menempati areal kebun khusus yang letaknya tidak jauh dari pemukiman seperti yang dijumpai di Tana Toraja dan Soppeng atau dalam bentuk yang menyerupai hutan bambu yang terdapat di Gowa dan Maros. Bambu yang umum diusahakan di Sulawesi Selatan terdiri atas 4 jenis, yaitu *Gigantochloa ater* (parring), *Schizostachyum brachyladum* (tallang, totoang), *Bambusa vulgaris* (banoa, lalo, ao) dan *Dendrocalamus asper* (pattung, betung) dengan potensi 8.975 batang/ha.





Berlian dan Rahayu (1995) menyebutkan sistematika bambu ater (parring)

sebagai berikut:

- Kingdom : Plantarum
- Divisio : Spermatophyta
- Sub divisio : Angiospermae
- Klas : Monokotiledoneae
- Ordo : Graminales
- Famili : Gramineae
- Sub Famili : Bambusoideae
- Genus : *Gigantochloa*
- Spesies : *Gigantochloa ater* Kurz.

Batang bambu ater berwarna hijau sampai hijau gelap dengan garis tengah 5 – 10 cm dan tebal dinding batang 8 mm. Panjang ruasnya antara 40 cm sampai 50 cm dan tinggi tanaman mencapai 22 m. Ruas-ruas bambu tampak rata dengan garis putih melingkar pada bekas perlekatan pelepah buluh. Pada batang yang muda tampak pelepah batang melekat bewarna hijau kekuningan. Panjang pelepah 21 – 36 cm, bentuknya hampir segitiga dengan ujung runcing.

Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988) *dalam* Krisdianto dkk. (2000) menyatakan bahwa bambu memiliki kadar selulosa yang berkisar antara 42,4% - 53,6%, kadar lignin berkisar antara 19,8% - 26,6% sedangkan kadar pentosan 1,24% - 3,77%, kadar abu 1,24% - 3,77%, kadar silika 0,10% - 1,28%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam air dingin) 4,5% - 9,9%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam air panas) 5,3% - 11,8% dan kadar ekstraktif (kelarutan dalam alkohol benzene) 0,9% - 6,9%.

Bambu yang tua berhubungan dengan perumahan, perikanan, persenjataan, peralatan musik, dan pengobatan. Rumah dapat dibangun secara keseluruhan dari bambu termasuk pilar, dinding, lantai, kasok atau kasao, dan atap. Tidak hanya rumah yang terbuat dari bambu tetapi juga perabot. Salah satu yang biasanya ditemukan adalah balai-balai bambu (sejenis dipan atau ranjang), para bambu (papan untuk almari, rak atau meja), bangku bambu, atau kursi di rumah Indonesia. Penggunaan bambu juga sebagai bahan baku cinderamata seperti boneka, pot bunga, kipas, tikar, ukiran dan lukisan (Widjaja, 1980).

#### D. Suhu 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 sehingga zat ekstraktif dapat menghambat pengerasan semen (Sutini, 2003). Selanjutnya, Sanderman dan Kohler (1964) dalam Sutini (2003) menyatakan bahwa perbedaan waktu hidrasi campuran semen kayu dengan waktu hidrasi semen menunjukkan tingkat penghambat. Apabila nilai indeks penghambat adonan semen saja nol maka dengan semakin kecil atau negatif nilai indeks penghambat suatu bahan yang dicampur semen semakin baik dan sebaliknya semakin besar nilai indeks penghambat maka semakin rendah nilai kesesuaian bahan baku tersebut. Menurut Kamil (1970), suhu hidrasi lebih dari 60°C adalah baik, 55° - 60°C sedang dan kurang dari 55°C tidak baik.

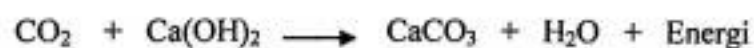
Lim (1982) dalam Kliwon (1990) menyatakan bahwa pemanfaatan suatu jenis kayu sebagai bahan baku komposit kayu dan semen dapat dideteksi melalui penentuan nilai indeks penghambatnya (*inhibitory index*) terhadap semen. Indikator layak tidaknya jenis kayu yang dapat digunakan sebagai bahan baku komposit kayu semen didasarkan pada klasifikasi nilai *inhibitory index* yaitu rendah (< 10), sedang (10 – 50), tinggi (50 -100) dan sangat tinggi (> 100).

Moslemi (1974) dalam Bakri (2005) mengemukakan bahwa kualitas komposit semen kayu ditentukan oleh terutama oleh komponen kimia partikel kayu yang digunakan. Sifat kesesuaian semen terhadap kayu banyak ditentukan oleh terutama hemiselulosa dan kandungan zat ekstraktif kayu pada proses *setting*

semen. Menurut Hermawan (2001), medium alkali yang diproduksi oleh semen melarutkan zat ekstraktif dan hemiselulosa dan selanjutnya bereaksi sebagai penghambat terhadap semen. Hal ini mengakibatkan *setting* dan *curing* semen untuk mencapai hidrasi penuh akan lebih lama sebelum mencapai kekuatan yang seragam. Hermawan *et al.* (2001b) menyatakan bahwa alkalin yang tinggi dari hasil hidrasi semen khususnya kalsium hidroksida [Ca(OH)<sub>2</sub>] dapat memicu terputusnya penghambat ekstraktif pada kayu. Alkalinitas yang tidak cocok ini dapat juga mengurangi kekuatan dari serat alam pada komposit semen dan akhirnya mengurangi sifat kekuatan papan.

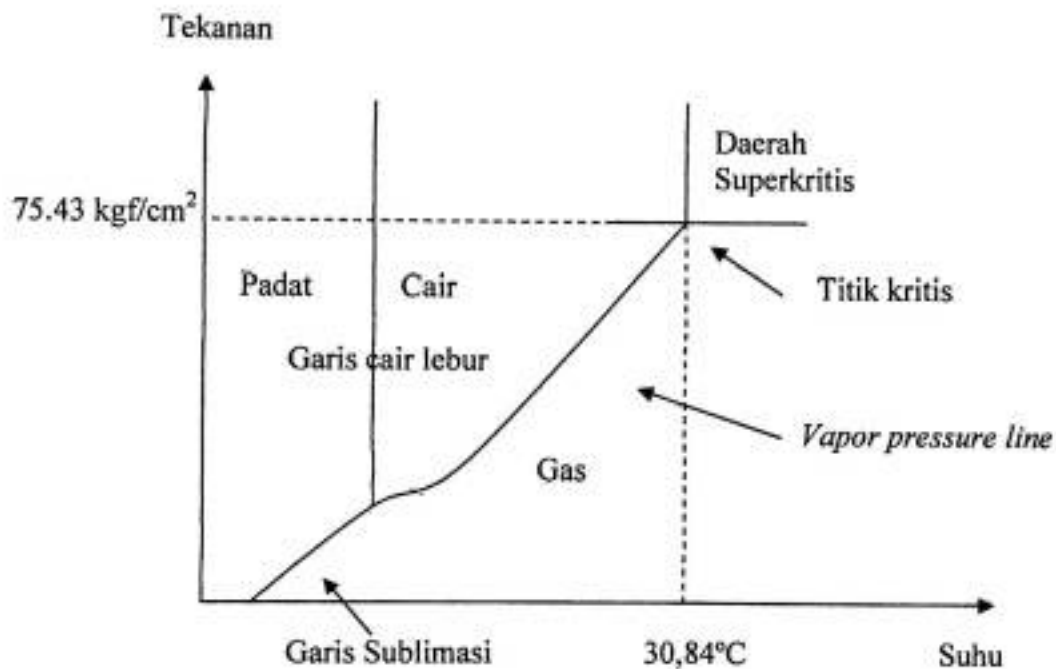
#### **E. Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dan Kegunaannya pada Papan Semen**

Hermawan (2001) mengemukakan bahwa teknologi karbonisasi didasarkan pada fakta bahwa kapur (Ca(OH)<sub>2</sub>) ketika bereaksi dengan karbon dioksida, membentuk batu kapur (CaCO<sub>3</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) seperti yang terlihat pada reaksi dibawah ini:



Reaksi ini sangat lambat dalam penggunaan semen pada proses konvensional karena kandungan karbon dioksida di udara sangat rendah. Meskipun demikian, sangat mungkin untuk membuat reaksi tersebut lebih cepat dengan memasukkan gas karbon dioksida kedalam papan semen partikel pada tahap pengepresan. Pada dasarnya penambahan karbon dioksida selama proses pengepresan dapat mempercepat proses pengerasan (*setting*) semen dalam beberapa menit. Panjangnya waktu pematangan (*curing*) 2 sampai 4 minggu setelah pengepresan merupakan salah satu kelemahan dari teknologi pembuatan papan semen ini,

dimana membutuhkan waktu yang sama dengan proses konvensional. Teknologi untuk mempercepat waktu *curing* kemudian dikembangkan dengan menggunakan gas dan super kritis CO<sub>2</sub>. Tahapan karbon dioksida dimanipulasi dengan merubah tekanan dan suhu kritis seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Fase yang Menunjukkan Daerah Superkritis dari CO<sub>2</sub> (Kitao *et al*, 1998)

Penambahan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) berakibat terhadap perubahan struktur hidrasi semen, dimana kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) terbentuk secara sempurna dan baik. Pembentukan ini diakibatkan oleh hidrasi semua komponen dasar semen. Hal tersebut dipercaya berkaitan 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).

Hermawan *et al.* (2001b) melakukan penelitian tentang percepatan produksi papan semen partikel kekuatan tinggi menggunakan gas atau SC CO<sub>2</sub>. Hasilnya menunjukkan bahwa pematangan semen dapat dipercepat bersamaan dengan meningkatnya sifat mekanis dan stabilitas dimensi papan semen partikel secara signifikan dengan menggunakan gas dan SC CO<sub>2</sub>. Penelitian selanjutnya dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dapat dipercepat dalam beberapa menit dengan menggunakan karbondioksida, bahkan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> rendah yaitu 10% - 20% (Hermawan, 2001).



### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2007 sampai bulan April 2008 dengan lokasi pengambilan sampel di Desa Pattiro Deceng, Kabupaten Maros, 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.

#### 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, alat kempa, cetakan ukuran 15 cm x 10 cm x 1 cm, saringan 9, 12, 17, 22, 80 dan 100 mesh, *sprayer*, *oven*, sarung tangan, desikator, penangas air, 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), unit peralatan CO<sub>2</sub> dan alat tulis menulis. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu parring, semen portland produksi PT. Semen Tonasa Pangkep Sulawesi Selatan, air, es batu, minyak bako, plastik klip, *aluminium foil*, kain kasa, isolasi dan kertas label.

### C. Prosedur Kerja

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

#### 1. Pengambilan dan pemilihan bambu

Mengambil bambu dengan cara memilih satu batang bambu parring muda (1 – 2 tahun). Kemudian, menebang bambu yang telah dipilih kurang lebih 15 cm dari permukaan tanah, membersihkan bambu tersebut dan memotong bambu dengan ukuran  $\pm 2$  m dengan tujuan memudahkan pengangkutan.

#### 2. Pembuat partikel bambu

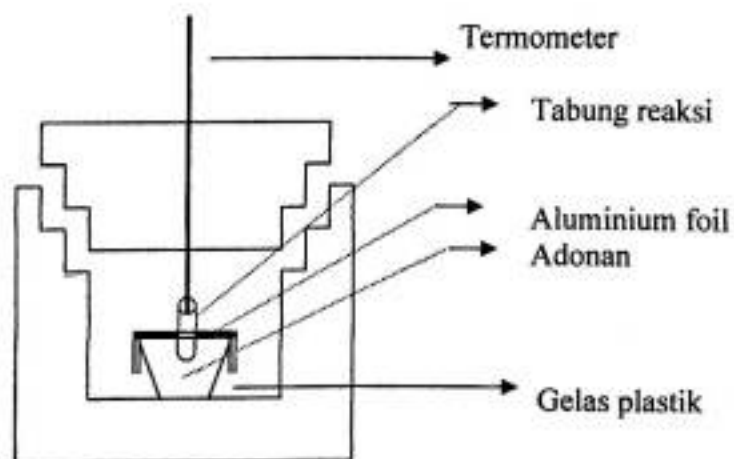
Memotong bambu menjadi ukuran  $\pm 3$  cm seperti batang korek api untuk memudahkan penggilingan dengan *hammer mill*. Setelah itu, menyaring partikel bambu yang dihasilkan dari proses penggilingan untuk menyeragamkan ukuran partikel. Partikel yang digunakan sebagai *core* adalah partikel yang lolos pada saringan 9 mesh dan tertahan pada saringan 12 mesh, sedangkan partikel untuk *face* dan *back* adalah partikel yang lolos pada saringan 17 mesh dan tertahan pada saringan 22 mesh. Adapun partikel yang digunakan untuk pengukuran suhu hidrasi adalah partikel yang lolos pada saringan 80 mesh dan tertahan pada saringan 100 mesh. Partikel bambu tersebut mengalami perlakuan perendaman yaitu perendaman dengan air pada suhu kamar. Partikel yang telah diseragamkan ukurannya kemudian direndam dengan air dalam wadah/ember plastik pada suhu kamar selama 48 jam dan mengganti airnya tiap 24 jam. Hal ini dimaksudkan untuk melarutkan zat-zat ekstraktif yang terdapat dalam partikel bambu. Mengering udarkan partikel



yang telah direndam di atas kain kasa untuk memperoleh kadar air pada kisaran 30 – 50%, kemudian menyimpannya dalam plastik klip. Setelah kadar air partikel mencapai kisaran partikel tersebut, maka partikel siap untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan semen.

### 3. Pengukuran suhu hidrasi

Pertama-tama mencampur partikel, semen dan air dengan perbandingan 1 : 13,3 : 6,65, kemudian mengaduk campuran tersebut sampai homogen. Memasukkan campuran yang telah homogen tersebut ke dalam gelas plastik dan menutupnya dengan *aluminium foil*. Setelah itu, menancapkan tabung reaksi berisi minyak bako ke dalam campuran dalam gelas plastik dan memasukkannya ke dalam kotak *styrene foam* yang kedap udara (Gambar 2). Selanjutnya menghubungkan campuran dalam kotak *styrene foam* dengan termometer melalui lubang pada bagian tengah penutup kotak *styrene foam* dan mengusahakan agar tidak ada panas yang keluar dari kotak tersebut. 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). Dalam periode tertentu suhu maksimum akan tercapai dan setelah suhu turun, maka suhu maksimum itulah yang dipakai sebagai ukuran suatu bahan dapat digunakan sebagai bahan baku papan semen.

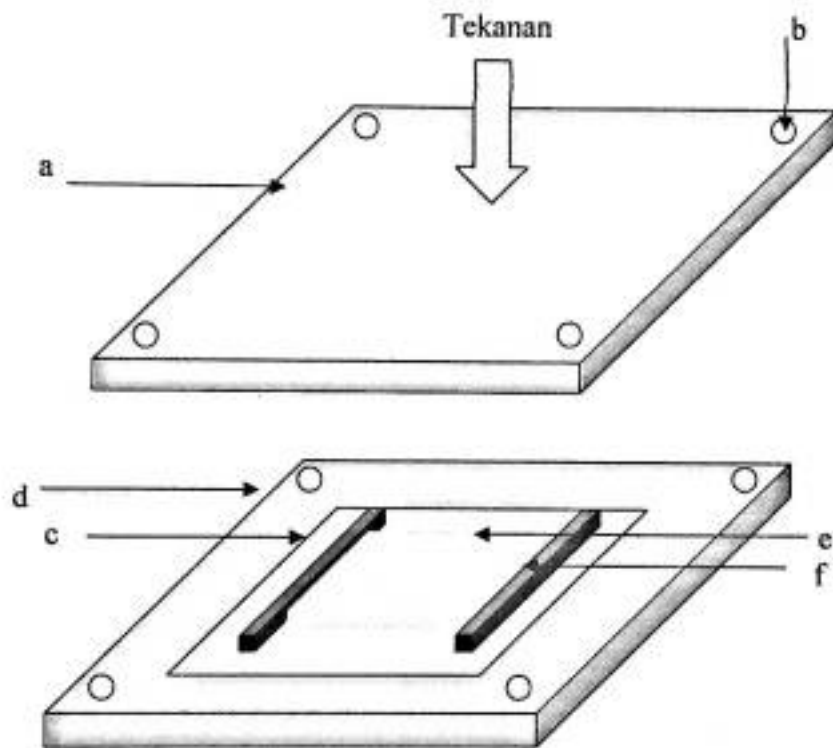
#### 4. Pembuatan papan semen

Papan semen partikel dibuat dengan perbandingan partikel bambu, semen dan air adalah 1 : 2,5 : 1,25. Setiap papan dibuat dengan kerapatan sasaran  $1,2 \text{ g/cm}^3$  dan ketebalan sasaran 1 cm. Setiap papan yang dibuat terdiri atas tiga bagian yaitu depan (*face*), tengah (*core*) dan belakang (*back*) dengan perbandingan 15% : 70% : 15%. Jumlah bahan baku partikel bambu parring yang digunakan untuk satu papan yaitu 7,58 g (*face* dan *back*) dan 39,51 g (*core*), untuk semen masing-masing yaitu 14,21 g (*face* dan *back*) dan 66,32 g (*core*), sedangkan untuk air yaitu 5,21 ml (*face* dan *back*) dan 20,17 ml (*core*). Adonan dibuat dengan mencampur partikel bambu, semen dan air sampai homogen. Campuran tersebut kemudian dicetak dalam cetakan berukuran 15 cm x 10 cm x 1 cm di atas plat besi yang dilapisi plastik transparan (Gambar 3). Setiap campuran untuk *face*, *core* dan *back* disusun secara berurutan di dalam cetakan. Campuran yang telah disusun dalam cetakan pada plat besi kemudian dipress sampai ketebalan 1 cm sementara baut plat besi dikencangkan. Plat besi yang berisikan campuran yang telah dipress, diisolasi sekelilingnya dan diletakkan pada suhu kamar selama 24 jam. Papan kemudian dikeluarkan dari plat besi dan dipotong-potong dengan bentuk dan

ukuran seperti yang terlihat pada Gambar 4. Bentuk dan ukuran contoh uji berpatokan pada ukuran tabung alat CO<sub>2</sub> yang akan digunakan untuk melakukan pematangan (*curing*) papan (Gambar 5).

#### 5. Pematangan (*curing*) papan semen

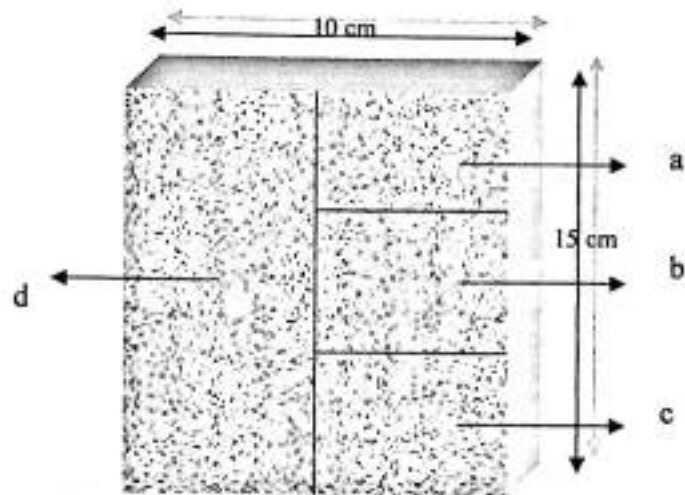
Papan yang telah dipotong tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung peralatan CO<sub>2</sub> untuk pematangan (*curing*). Ke dalam tabung tersebut dialirkan gas CO<sub>2</sub> kemudian suhu diturunkan sampai 15°C dan tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup> untuk mencapai kondisi CO<sub>2</sub> cair. Untuk mencapai kondisi gas CO<sub>2</sub> maka suhu dinaikkan sampai 27°C dan tekanan 40 kg/cm<sup>2</sup> sedangkan untuk mencapai kondisi super kritis (SC CO<sub>2</sub>), suhu dan tekanannya dinaikkan sampai 35°C dan 80 kg/cm<sup>2</sup>. Masing-masing kondisi tersebut kemudian dipertahankan selama 10, 30 dan 60 menit. Setelah itu, papan dikeluarkan dari dalam tabung dan dimasukkan ke dalam desikator selama ± 15 menit. Papan kemudian ditimbang beratnya dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80°C selama 10 jam. Setelah 10 jam, papan dikeluarkan dari oven dan dimasukkan kembali ke dalam desikator. Untuk sampel uji kontrol konvensional 28 hari (K1), sampel tersebut langsung dikondisikan selama 28 hari sedangkan sampel uji konvensional (K2) langsung dikondisikan pada suhu dan waktu masing-masing 80°C dan 10 jam setelah dikeluarkan dari plat besi. Selanjutnya papan siap untuk di uji sifat fisik dan mekanisnya. Proses pembuatan papan semen partikel dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 3. Pengempaan Papan dan Sistem Klem yang Digunakan pada Proses Pembuatan Papan Semen

**Keterangan:**

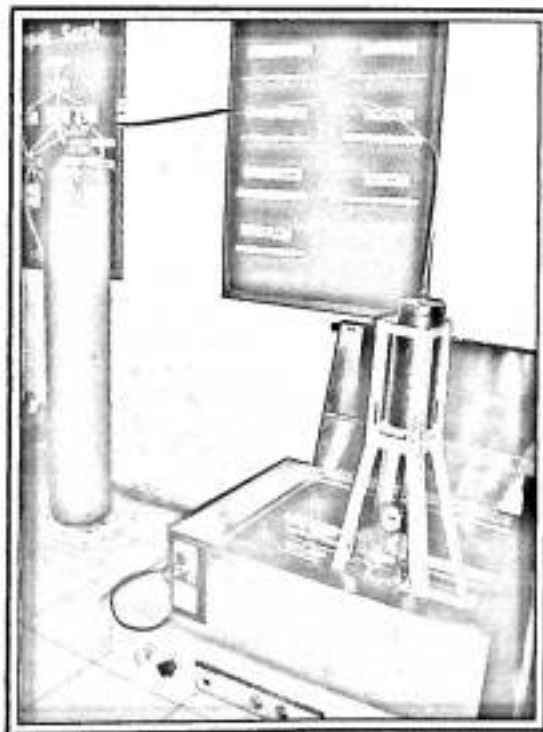
- a = Plat besi bagian atas
- b = Lubang baut
- c = Plastik transparan
- d = Plat besi bagian bawah,
- e = Campuran,
- f = Stik besi 1cm x 1cm x 35cm.



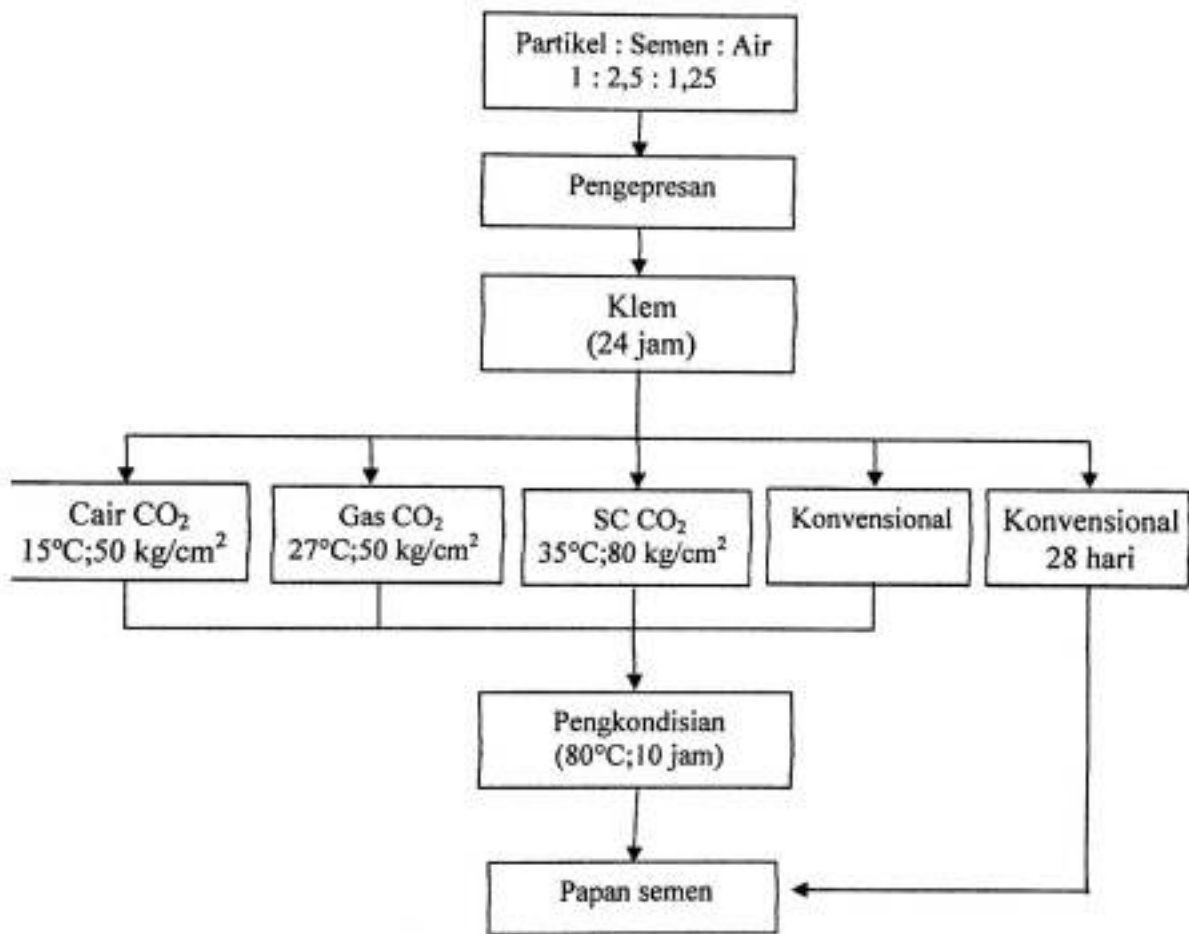
Gambar 4. Bentuk dan Ukuran Contoh Uji

Keterangan :

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



Gambar 5. Unit Peralatan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)



Gambar 6. Alur Pembuatan Papan Semen

#### D. Pengujian

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

##### 1. Sifat fisik

###### a. Kerapatan ( $\rho$ )

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

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

Keterangan :

$\rho$  = Kerapatan ( $\text{g/cm}^3$ )

B = Berat contoh uji kering udara (g)

V = Volume contoh uji kering udara ( $\text{cm}^3$ )

###### b. 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)

c. 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 (%)

B<sub>1</sub> = Berat awal contoh uji setelah pengkondisian (g)

B<sub>2</sub> = Berat contoh uji setelah perendaman 2 jam dan 24 jam (g)





d. 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)

2. Sifat mekanis

a. Keteguhan patah (MOR)

Pengujian MOR dilakukan dengan menggunakan mesin pengujian *Universal Testing Machine* (UTM). Dilakukan dengan memberikan beban secara perlahan-lahan pada bagian tengah contoh uji. Jarak sangga yang digunakan adalah 12 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 :

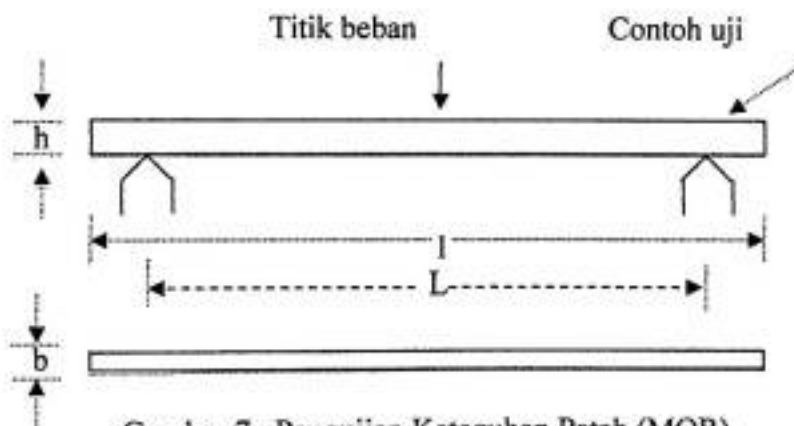
MOR = Keteguhan patah (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (kg)

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

b. Modulus elastisitas (MOE)

Pengujian MOE dilakukan bersamaan dengan pengujian MOR, 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 ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\Delta P$  = Perubahan beban yang digunakan (kg)

$\Delta Y$  = Perubahan defleksi setiap perubahan beban (cm)

L = Jarak sangga (cm)

h = Tebal contoh uji (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

c. Keteguhan rekat internal (IB)

Contoh uji 5 x 5 cm direkatkan pada dua buah blok kayu dengan perekat *epoxy* dan dibiarkan kering selama 24 jam. Kedua blok kayu 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 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
P = Beban saat ikatan partikel lepas (kg)  
A = Luas permukaan contoh uji ( $\text{cm}^2$ )

### E. Analisis Data

Penelitian pengembangan kualitas papan semen komposit dari bambu parring menggunakan karbon dioksida di analisis menggunakan percobaan faktorial dengan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dimana setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali. Kombinasi perlakuan untuk percobaan ini sebanyak 11 kombinasi perlakuan yaitu :

1. K1 : konvensional 28 hari
2. K2 : konvensional ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
3. A1B1 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  cair selama 10 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
4. A1B2 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  cair selama 30 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
5. A1B3 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  cair selama 60 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
6. A2B1 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  gas selama 10 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
7. A2B2 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  gas selama 30 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)
8. A2B3 : kombinasi perlakuan  $\text{CO}_2$  gas selama 60 menit ( $80^\circ\text{C}$ ;10 jam)

9. A3B1 : kombinasi perlakuan SC CO<sub>2</sub> selama 10 menit (80°C;10 jam)
10. A3B2 : kombinasi perlakuan SC CO<sub>2</sub> selama 30 menit (80°C;10 jam)
11. A3B3 : kombinasi perlakuan SC CO<sub>2</sub> selama 60 menit (80°C;10 jam)

Model percobaan faktorial dengan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) menurut Gaspertz (1991) adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} ; i = 1, 2, \dots, 11$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

Dimana :

- $Y_{ij}$  = Nilai pengamatan pada satuan percobaan ke-j yang memperoleh kombinasi perlakuan ke-i
- $\mu$  = Nilai tengah umum
- $\tau_i$  = Pengaruh perlakuan ke-i
- $\epsilon_{ij}$  = 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

$q_{\alpha}$  = Nilai tabel Tukey

p = Jumlah perlakuan

$f_e$  = Derajat bebas galat

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

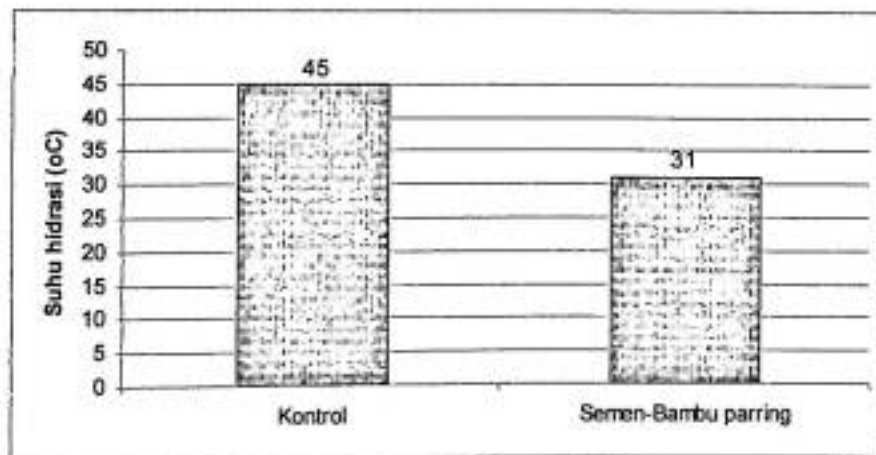
dimana KTG = Kuadrat tengah galat

r = jumlah ulangan

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Suhu Hidrasi

Suhu hidrasi merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk mengetahui kesesuaian bahan kayu atau bukan kayu untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan papan semen. Hasil pengukuran suhu hidrasi menunjukkan bahwa nilai suhu hidrasi tertinggi untuk campuran semen dan bambu parring (*Gigantochloa ater* Kurz.) adalah 31 °C dengan nilai suhu hidrasi rata-rata berkisar antara 27 °C – 31 °C, sedangkan nilai suhu hidrasi tertinggi untuk campuran semen (kontrol) adalah 45 °C dengan nilai suhu hidrasi rata-rata berkisar antara 29 °C – 43 °C (Gambar 8).



Gambar 8. Suhu Hidrasi Campuran Semen - Bambu Parring dan Semen (kontrol)

Berdasarkan klasifikasi Kamil (1970), nilai suhu hidrasi campuran semen dan bambu parring termasuk kategori tidak baik untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan papan semen. Rendahnya suhu hidrasi ini disebabkan oleh kandungan zat ekstraktif bambu parring yang relatif tinggi. Kandungan zat ekstraktif yang tinggi akan menghambat penyerapan air pada bahan sehingga

menurunkan suhu hidrasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Moslemi (1974) dalam Bakri (2005) bahwa sifat kesesuaian semen terhadap kayu banyak ditentukan terutama oleh hemiselulosa dan kandungan zat ekstraktif kayu. Umumnya, kandungan hemiselulosa dan zat ekstraktif pada bahan akan mengurangi suhu hidrasi. Salah satu upaya untuk memperoleh nilai hidrasi yang lebih baik adalah dengan melakukan perendaman terhadap partikel yang akan digunakan. Menurut Maloney (1977) dalam Mahyudan (2000), zat penghambat pengerasan semen seperti gula, dan hemiselulosa dapat dikurangi dengan perendaman dalam air dingin atau air panas. Nilai-nilai dan grafik pengukuran suhu hidrasi bambu parring dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2.

Meskipun suhu hidrasi campuran semen dan bambu parring tergolong dalam kategori tidak baik, tetapi pembuatan papan semen bambu parring tetap dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas dari papan semen yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sutigno dan Sulastiningsih (1986) bahwa masih terdapat kelemahan pada pendugaan sifat papan wol kayu berdasarkan suhu hidrasi sehingga untuk mengetahui baik tidaknya suatu jenis kayu sebagai bahan papan wol kayu, tetap harus diuji dengan membuat papan wol kayu dari bahan tersebut.

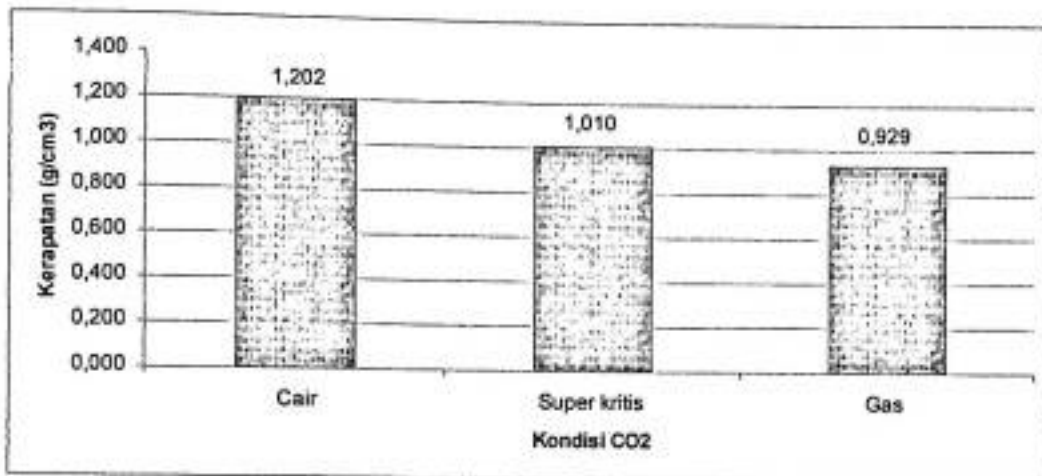


## **B. Sifat Fisik Papan Semen Bambu Parring**

### **1. Kerapatan**

Nilai kerapatan papan semen bambu parring berkisar antara  $0,929 - 1,202 \text{ g/cm}^3$  dengan kerapatan rata-rata untuk setiap kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 9, 10, dan 11. Standar kerapatan papan semen menurut JIS A 5417 1992 yaitu  $\geq 0,8 \text{ g/cm}^3$ . Hal ini berarti seluruh papan semen yang dibuat telah memenuhi standar tersebut. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap kerapatan, maka dilakukan analisis ragam. Hasil analisis ragam sebagaimana yang terlihat pada Lampiran 5 menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan papan semen yang dihasilkan.

Untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan waktu injeksi  $\text{CO}_2$  serta interaksinya terhadap kerapatan maka dilakukan analisis ragam dengan rancangan faktorial. Hasil analisis ragam (Lampiran 5) menunjukkan bahwa perlakuan waktu injeksi  $\text{CO}_2$  berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan sedangkan kondisi  $\text{CO}_2$  dan interaksinya berpengaruh sangat nyata. Untuk melihat perbedaan di antara kombinasi perlakuan maka dilakukan uji BNJ terhadap interaksi perlakuan antara kondisi  $\text{CO}_2$  dengan waktu injeksi  $\text{CO}_2$  seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, 2, dan 3.

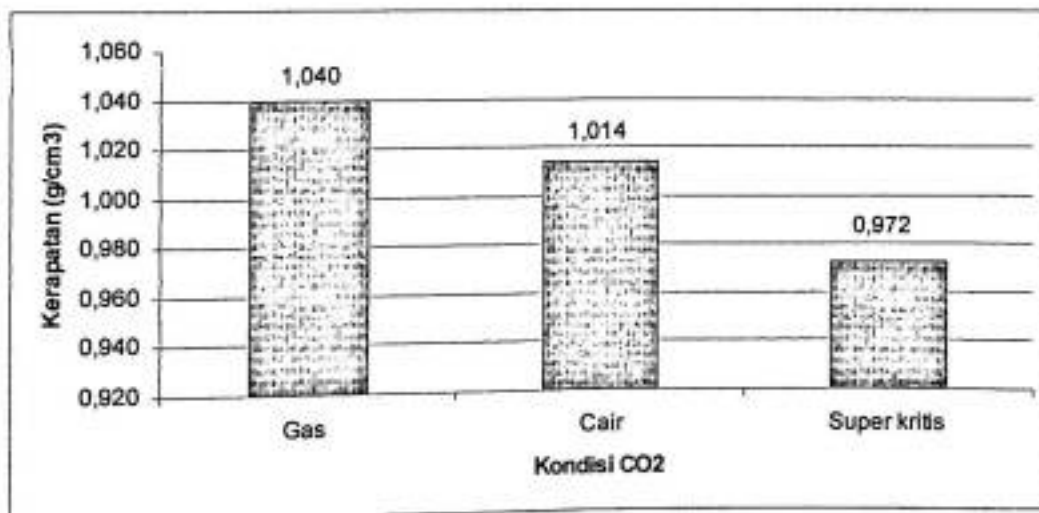


Gambar 9. Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 1. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (0,12101)
Cair	1,20243	a
Super kritis	1,01049	b
Gas	0,92929	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



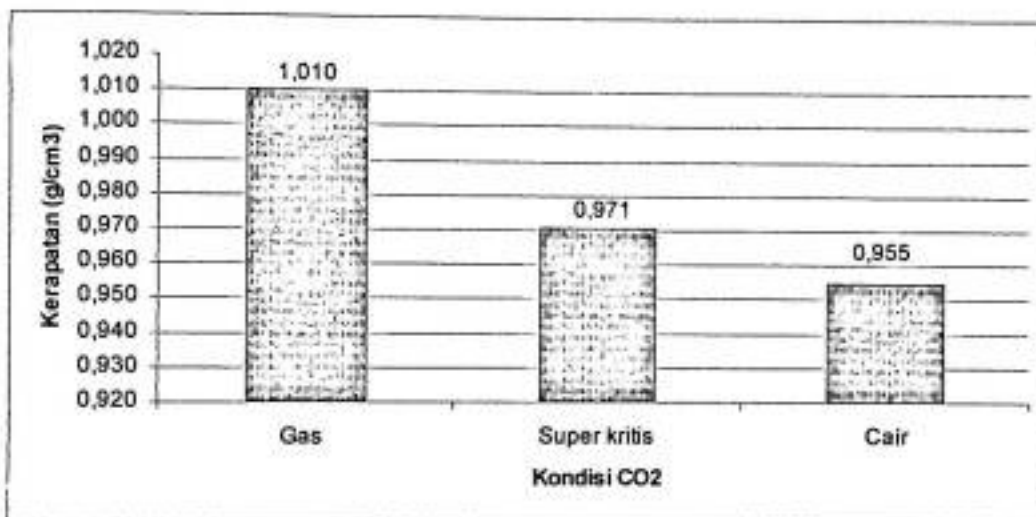
Gambar 10. Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit



Tabel 2. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (0,12101)
Gas	1,03997	a
Cair	1,01368	a
Super kritis	0,97221	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



Gambar 11. Kerapatan Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 3. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kerapatan

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (0,12101)
Gas	1,01035	a
Super kritis	0,97052	a
Cair	0,95480	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa untuk perlakuan waktu injeksi 10 menit, perbedaan kerapatan tidak nyata pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi gas dan super kritis namun berbeda sangat nyata dengan sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair. Sedangkan untuk perlakuan waktu injeksi 30 dan 60 menit, perbedaan kerapatan tidak nyata baik pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair, gas, maupun super kritis.

Untuk mengetahui perbedaan kerapatan pada masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dan pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji kontras. Hasil uji kontras seperti yang disajikan pada Lampiran 5 menunjukkan bahwa perlakuan konvensional dengan pengkondisian 28 hari dan pengkondisian 80°C selama 10 jam pada proses *curing* semen menghasilkan kerapatan yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>.

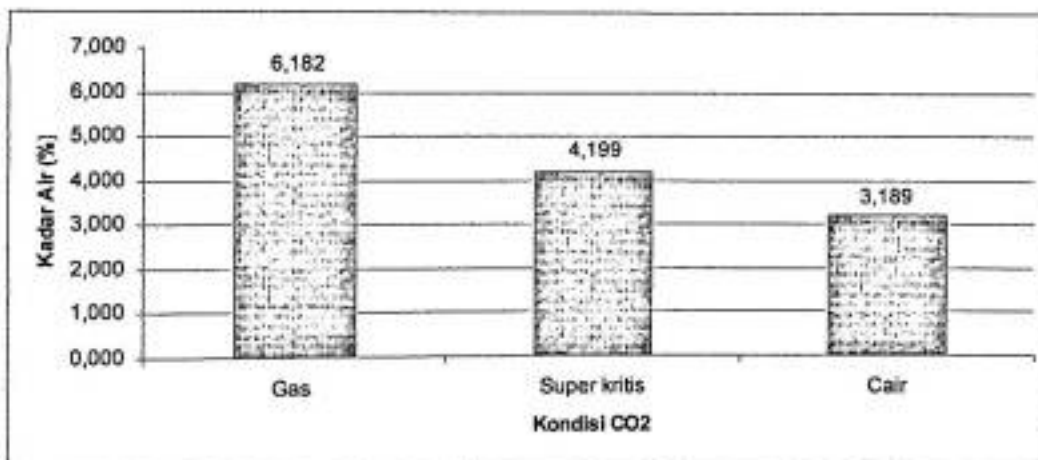
Mengacu pada hasil analisis ragam, terlihat bahwa kerapatan papan semen bambu parring sangat tergantung pada kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi dan interaksinya. Nilai kerapatan tertinggi papan semen bambu parring terdapat pada sampel uji dengan perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi CO<sub>2</sub> 10 menit (A1B1) dan terendah terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> gas dengan waktu injeksi CO<sub>2</sub> 10 menit (A2B1). Papan dengan perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi 10 menit memiliki kerapatan yang lebih tinggi sedangkan untuk papan dengan perlakuan CO<sub>2</sub> gas, super kritis pada waktu injeksi 10 menit, 30 menit dan 60 menit, perlakuan cair 30 menit dan 60 menit serta konvensional memiliki kerapatan yang relatif sama. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa nilai kerapatan

papan pada sampel uji dengan perlakuan CO<sub>2</sub> relatif sama dengan kerapatan papan pada perlakuan tanpa menggunakan CO<sub>2</sub> (konvensional pengkondisian 28 hari dan pengkondisian 80°C selama 10 jam). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian CO<sub>2</sub> baik pada kondisi cair, gas maupun super kritis setelah proses pengempaan tidak dapat meningkatkan kerapatan papan semen secara signifikan. Pemberian CO<sub>2</sub> setelah proses pengempaan tidak dapat mempercepat proses terbentuknya kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) secara sempurna karena CaCO<sub>3</sub> telah terbentuk pada saat proses pengempaan papan. Hal ini sesuai dengan pendapat Hermawan (2001) bahwa penambahan CO<sub>2</sub> dapat menaikkan hidrasi semen yang menyebabkan meningkatnya kekuatan papan. Pengaruh peningkatan ini dihubungkan dengan produksi kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang tinggi selama proses hidrasi semen.

## **2. Kadar Air**

Nilai kadar air rata-rata papan semen bambu parring yang diperoleh bervariasi pada masing-masing perlakuan seperti pada Gambar 12, 13, dan 14. Standar kadar air papan semen menurut JIS A 5417 1992 yaitu maksimal 16%. Hal ini berarti seluruh papan yang dibuat memenuhi standar tersebut. Hasil analisis ragam sebagaimana yang terlihat pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan semen. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> serta interaksinya, maka dilakukan analisis ragam dengan rancangan faktorial.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata terhadap kadar air papan sedangkan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan (Lampiran 6). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut sangat mempengaruhi kadar air papan semen bambu parring. Untuk mengetahui perbedaan di antara kombinasi perlakuan, maka dilakukan uji BNJ terhadap interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dengan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 4, 5, dan 6.

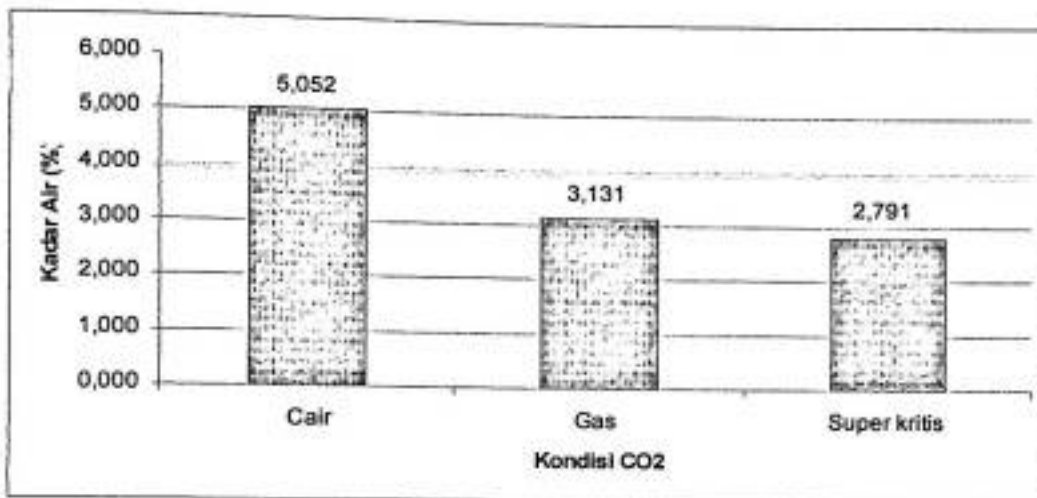


Gambar 12. Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 4. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,26261)
Gas	6,18194	a
Super kritis	4,19942	a
Cair	3,18865	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

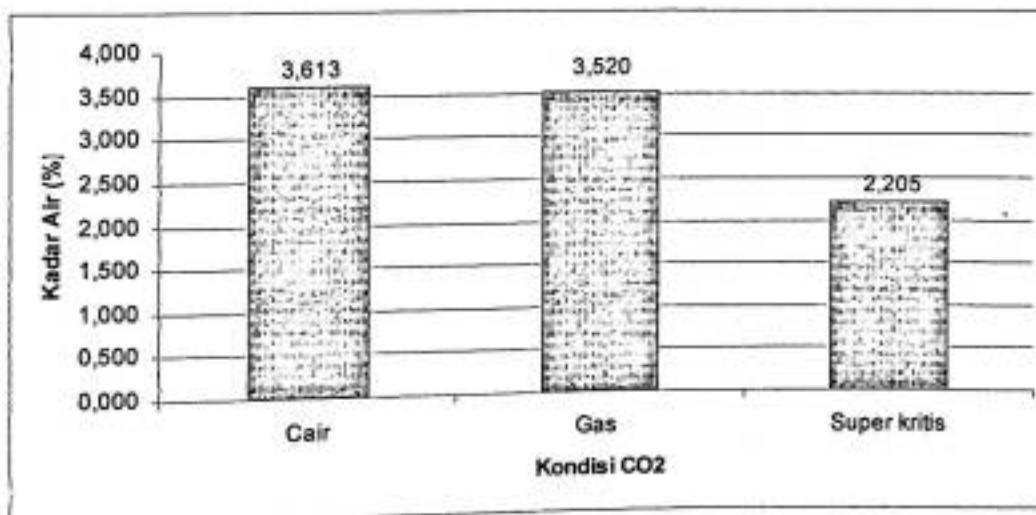


Gambar 13. Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 5. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,26261)
Cair	5,05187	a
Gas	3,13113	a
Super kritis	2,79098	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



Gambar 14. Kadar Air Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 6. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Kadar Air

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,26261)
Cair	3,61255	a
Gas	3,51952	a
Super kritis	2,20456	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

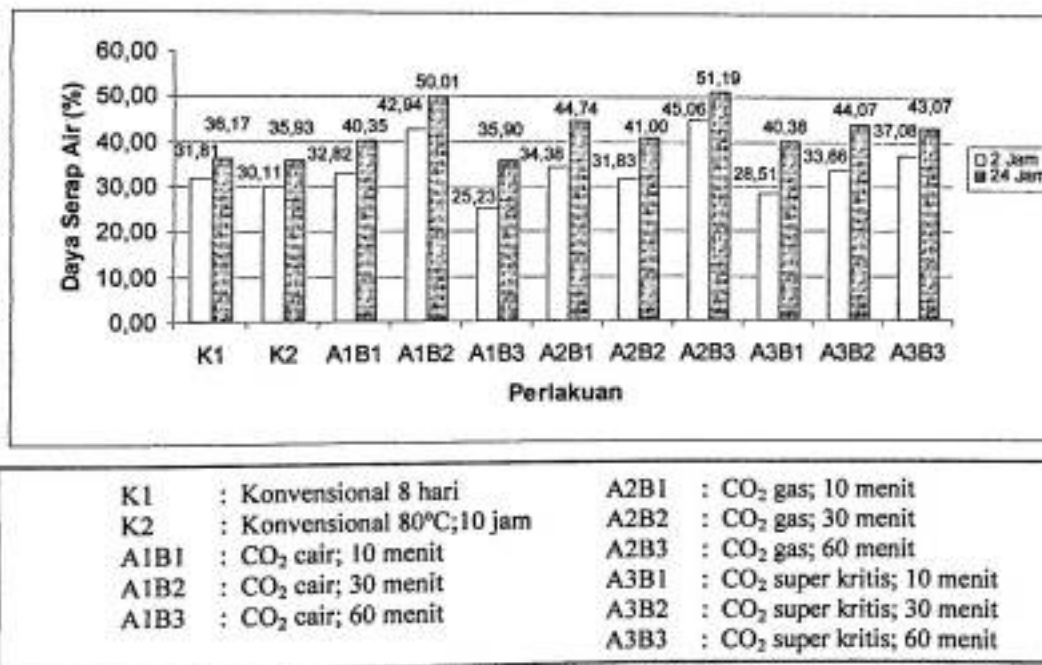
Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa pada perlakuan waktu injeksi 10 menit, kadar air kombinasi perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi gas dan super kritis berbeda tidak nyata, namun berbeda sangat nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair. Sedangkan pada perlakuan waktu injeksi 30 dan 60 menit, perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> baik pada kondisi cair, gas maupun super kritis berbeda tidak nyata terhadap kadar air papan semen. Untuk mengetahui perbedaan kadar air pada masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> dan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji kontras. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari berbeda sangat nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>. Demikian pula dengan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam menghasilkan kadar air yang berbeda sangat nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> (Lampiran 3).

Nilai kadar air rata-rata tertinggi terdapat pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi gas dengan waktu injeksi selama 10 menit sedangkan nilai kadar air rata-rata terendah terdapat pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi super kritis dengan waktu injeksi selama 30 menit .



### 3. Daya serap Air

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai daya serap air rata-rata papan semen bambu parring berkisar antara 16,119% - 56,352% untuk perendaman 2 jam dan 20,313% - 61,493% untuk perendaman 24 jam seperti yang terlihat pada Lampiran 3 dengan rata-rata daya serap air pada setiap kombinasi perlakuan dapat terlihat pada Gambar 15. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap daya serap air 2 jam daya serap air 24 jam seperti yang terlihat pada Lampiran 7 dan 8.



Gambar 15. Daya Serap Air Papan Semen Bambu Parring pada Berbagai Kombinasi Perlakuan

Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai daya serap air tertinggi baik 2 jam maupun 24 jam terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> gas dengan waktu injeksi 60 menit sedangkan nilai terendah terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi CO<sub>2</sub> 60 menit (A1B3) untuk daya serap air 2 jam sedangkan

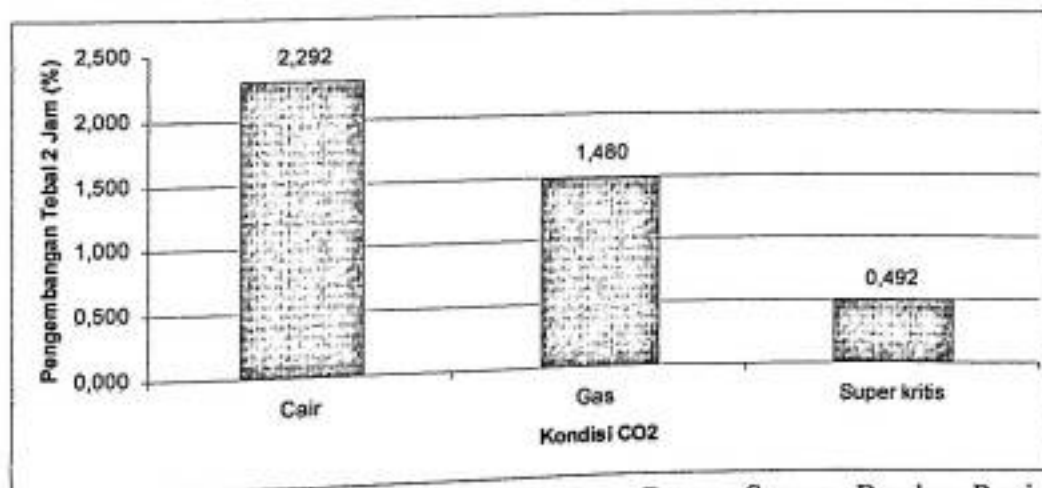
untuk daya serap air 24 jam terdapat pada sampel uji konvensional yang dikondisikan pada suhu 80°C selama 10 jam (K2). Nilai daya serap air menunjukkan perbandingan besarnya penambahan berat papan setelah perendaman 2 jam dan 24 jam dengan berat papan sebelum direndam. Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa meskipun daya serap papan bervariasi, tetapi pada dasarnya perbedaan tersebut tidak signifikan, dengan kata lain daya serap air semua tipe papan yang dibuat relatif sama. Air yang terserap ke dalam papan, sebagian mengisi ruang-ruang kosong yang ada dalam papan, dan sebagian lainnya masuk ke dalam sel yang tidak tertutup secara sempurna oleh partikel semen. Hal ini sesuai dengan pendapat Hermawan *et al* (2001) bahwa papan yang berpori dapat menyerap air lebih banyak yang menghasilkan nilai daya serap air yang tinggi.

#### **4. Pengembangan Tebal**

Nilai pengembangan tebal papan semen bambu parring berkisar antara 0,080% - 4,612% untuk pengembangan tebal 2 jam dan 0,077% - 7,866% untuk pengembangan tebal 24 jam seperti yang disajikan pada Lampiran 3 dengan rata-rata pengembangan tebal pada kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 16, 17, dan 18 untuk pengembangan tebal 2 jam dan Gambar 19, 20, dan 21 untuk pengembangan tebal 24 jam. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap pengembangan tebal papan semen, maka dilakukan analisis ragam.



Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap pengembangan tebal 2 jam dan berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan tebal 24 jam (Lampiran 11 dan 12). Untuk melihat pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi CO<sub>2</sub> serta interaksinya, maka dilakukan analisis ragam dengan menggunakan rancangan faktorial. Hasil analisis ragam rancangan faktorial menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> berpengaruh tidak nyata terhadap pengembangan tebal papan semen 2 jam namun berpengaruh nyata pada interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> sedangkan untuk pengembangan tebal 24 jam, perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh tidak nyata namun berpengaruh sangat nyata pada interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub>. Selanjutnya, dilakukan uji BNJ terhadap interaksi antara kombinasi perlakuan untuk mengetahui perbedaan pengembangan tebal papan dengan hasil sebagaimana yang dapat dilihat pada Tabel 7, 8, dan 9 untuk pengembangan tebal 2 jam dan Tabel 10, 11, dan 12 untuk pengembangan tebal 24 jam.

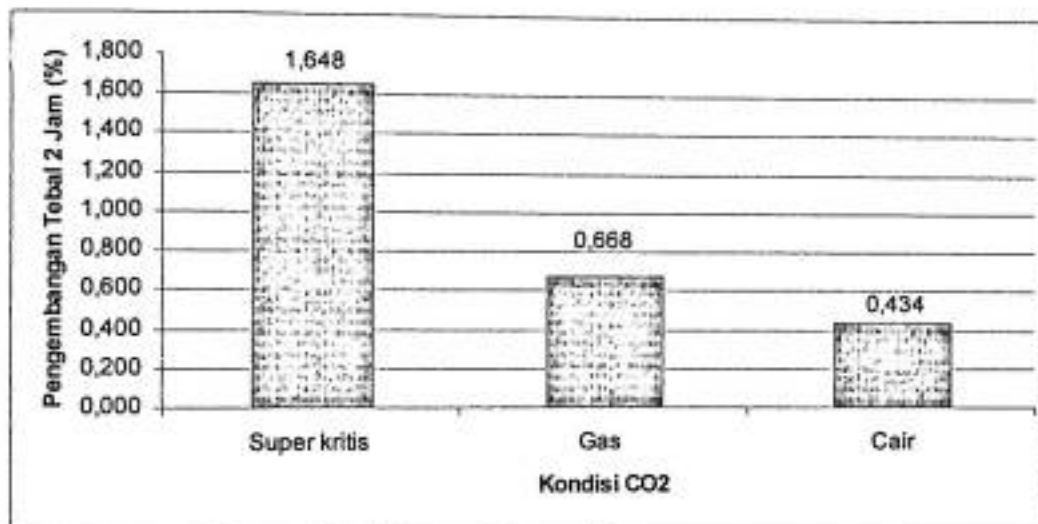


Gambar 16. Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 7. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (1,37811)
Cair	2,29191	a
Gas	1,47973	a
Super kritis	0,49216	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

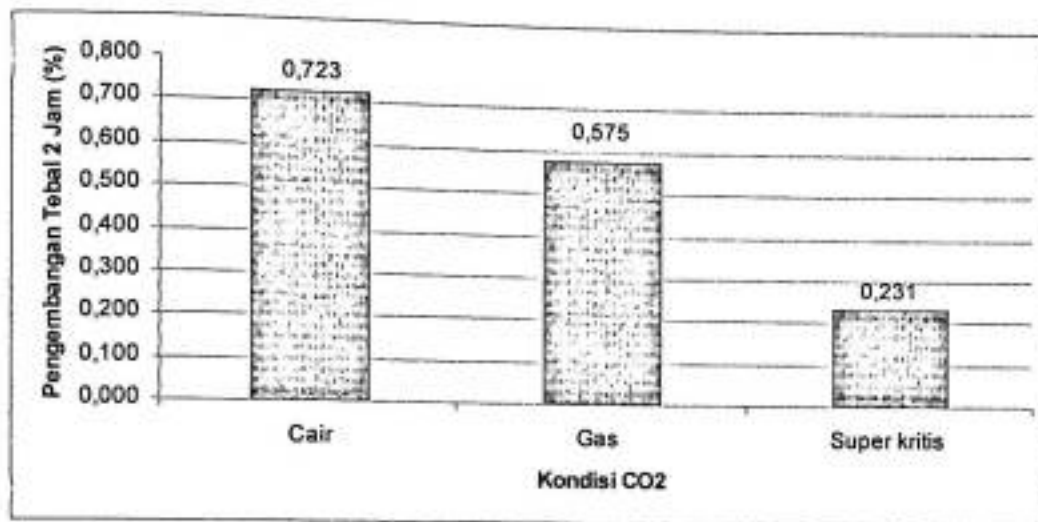


Gambar 17. Pengembangan Tebal Papan 2 Jam Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 8. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (1,37811)
Super kritis	1,64768	a
Gas	0,66789	a
Cair	0,43411	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

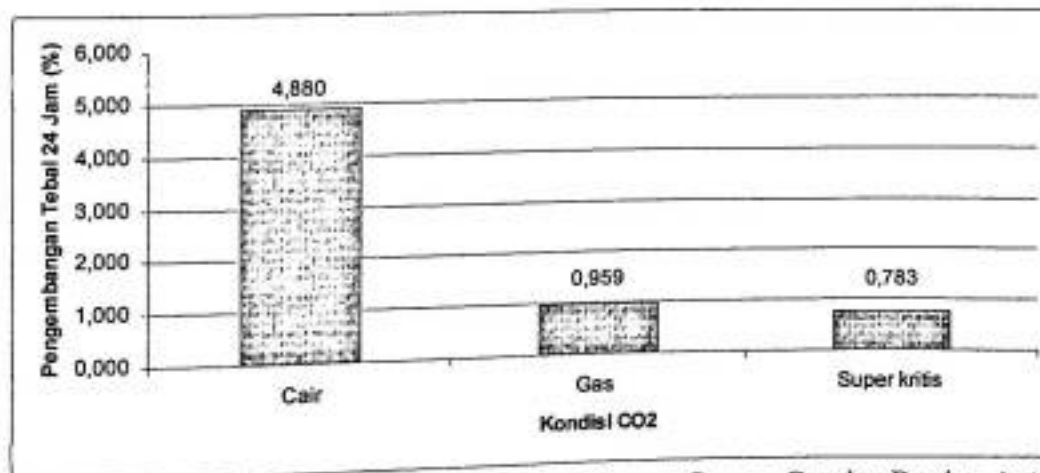


Gambar 18. Pengembangan Tebal 2 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 9. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (1,37811)
Cair	0,72274	a
Gas	0,57540	a
Super kritis	0,23103	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

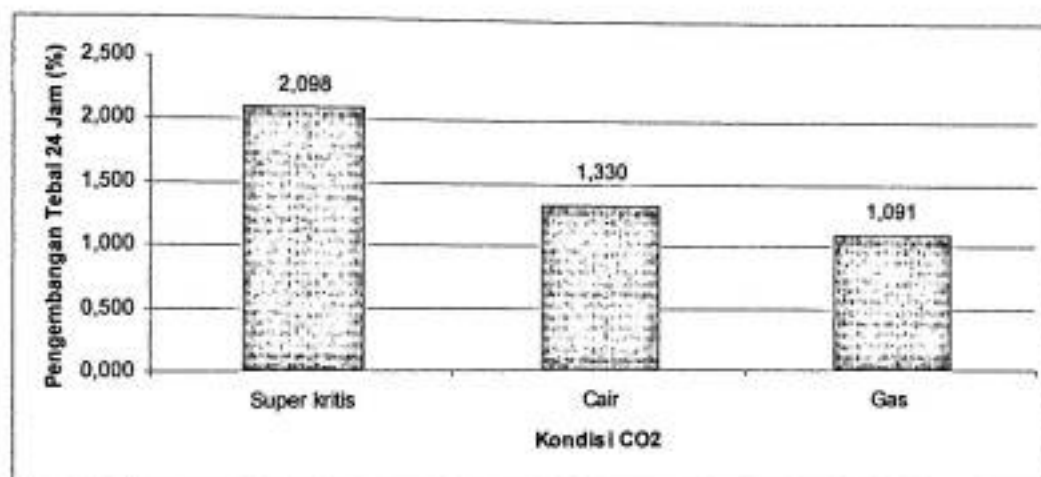


Gambar 19. Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 10. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,31334)
Cair	4,88010	a
Gas	0,95858	b
Super kritis	0,78295	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

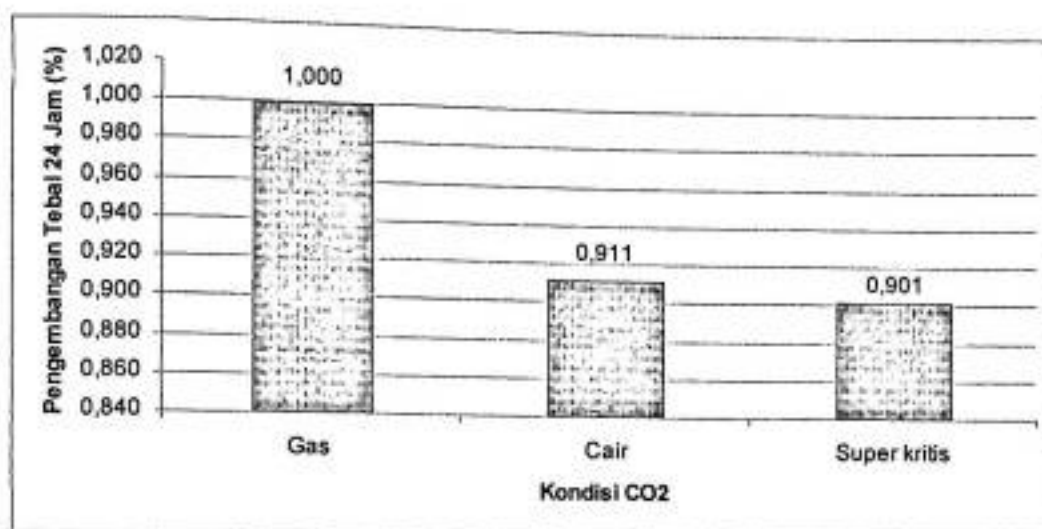


Gambar 20. Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 11. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,31334)
Super kritis	2,09755	a
Cair	1,33046	a
Gas	1,09051	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



Gambar 21. Pengembangan Tebal 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 12. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Tebal 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,01</sub> (2,31334)
Gas	0,99969	a
Cair	0,91089	a
Super kritis	0,90105	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ untuk pengembangan tebal 2 jam menunjukkan bahwa perbedaan pengembangan tebal untuk perlakuan waktu injeksi 10 menit, perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> tidak nyata pada kondisi cair dan gas, namun berbeda sangat nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi super kritis. Sedangkan untuk pengembangan tebal 24 jam, hasil uji BNJ menunjukkan bahwa pada perlakuan waktu injeksi 10 menit kombinasi perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi gas dan super kritis berbeda tidak nyata, namun berbeda sangat nyata dengan kombinasi perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pada kondisi cair. Sedangkan untuk perlakuan waktu injeksi 30 dan 60 menit, perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> baik pada kondisi cair, gas maupun super kritis berbeda tidak nyata terhadap pengembangan

tebal 2 jam dan 24 jam. Untuk mengetahui perbedaan pengembangan tebal pada masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dan pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji kontras. Hasil uji kontras untuk pengembangan tebal 2 jam menunjukkan bahwa perlakuan konvensional dengan pengkondisian 28 hari berbeda tidak nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>. Demikian pula dengan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>. Untuk pengembangan 24 jam, perlakuan konvensional dengan pengkondisian 28 hari berbeda tidak nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> pengkondisian 28 hari sedangkan perlakuan konvensional dengan pengkondisian 80°C selama 10 jam berbeda nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>.

Nilai pengembangan tebal 2 jam maupun 24 jam tertinggi pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi 10 menit. Sedangkan nilai pengembangan tebal 2 jam dan 24 jam terendah masing-masing terdapat pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi super kritis dengan waktu injeksi 30 menit dan 10 menit. Tingginya pengembangan tebal pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi 10 menit mengindikasikan bahwa penggunaan CO<sub>2</sub> cair tidak mampu mempercepat proses *curing* semen secara signifikan sehingga ketika papan direndam air, bahan lignoselulosa mengembang tanpa mampu ditahan oleh ikatan semennya. Hal ini disebabkan oleh sifat kelarutan CO<sub>2</sub> cair yang tinggi sehingga pada saat proses



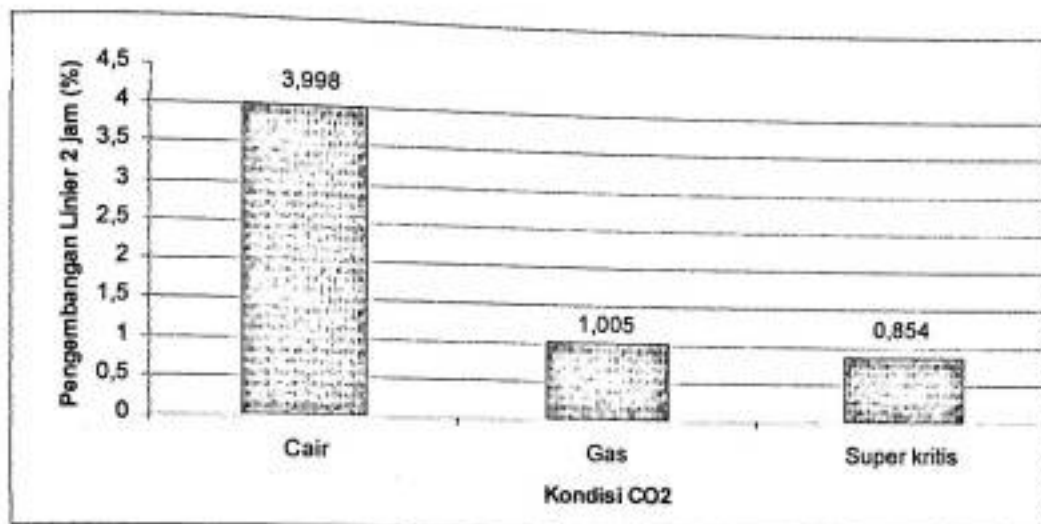
*curing*, zat ekstraktif yang terdapat pada partikel bambu akan keluar dan mengakibatkan terbentuknya ruang kosong pada papan semen. Ruang-ruang kosong tersebut akan terisi oleh air pada saat proses perendaman papan.



### 5. Pengembangan Linier

Nilai pengembangan linier papan semen bambu parring berkisar antara 0,084% - 4,259% untuk pengembangan linier 2 jam dan 0,084% - 5,828% untuk pengembangan linier 24 jam seperti yang terlihat pada Lampiran 3 dengan rata-rata pengembangan linier pada berbagai kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 22 untuk pengembangan linier 2 jam dan Gambar 23, 24, dan 25 untuk pengembangan linier 24 jam.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap pengembangan linier 2 jam dan berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan linier 24 jam (Lampiran 9 dan 10). Untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi CO<sub>2</sub> serta interaksi antara keduanya, maka dilakukan analisis ragam dengan hasil yang menunjukkan bahwa perlakuan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksinya berpengaruh tidak nyata sedangkan perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan linier 2 jam seperti yang disajikan pada Lampiran 9. Sedangkan untuk pengembangan linier 24 jam, hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> waktu, injeksi CO<sub>2</sub>, dan interaksi kedua perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan linier 24 jam seperti yang disajikan pada Lampiran 10. Selanjutnya dilakukan uji BNJ untuk mengetahui perbedaan kombinasi perlakuan, dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 13, 14, dan 15.

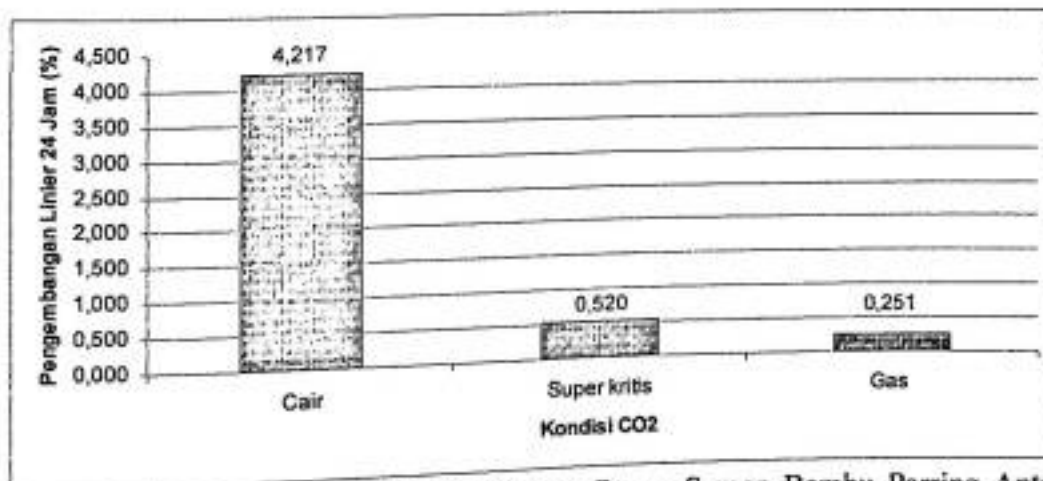


Gambar 22. Pengembangan Linier 2 Jam Papan Semen Bambu Parring pada Kombinasi Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub>

Tabel 13. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Kombinasi Perlakuan Kondisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Terhadap Pengembangan Linier 2 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah Perlakuan	BNJ <sub>0,05</sub> (1,26959)
Super kritis	0,854	a
Gas	1,005	b
Cair	3,998	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

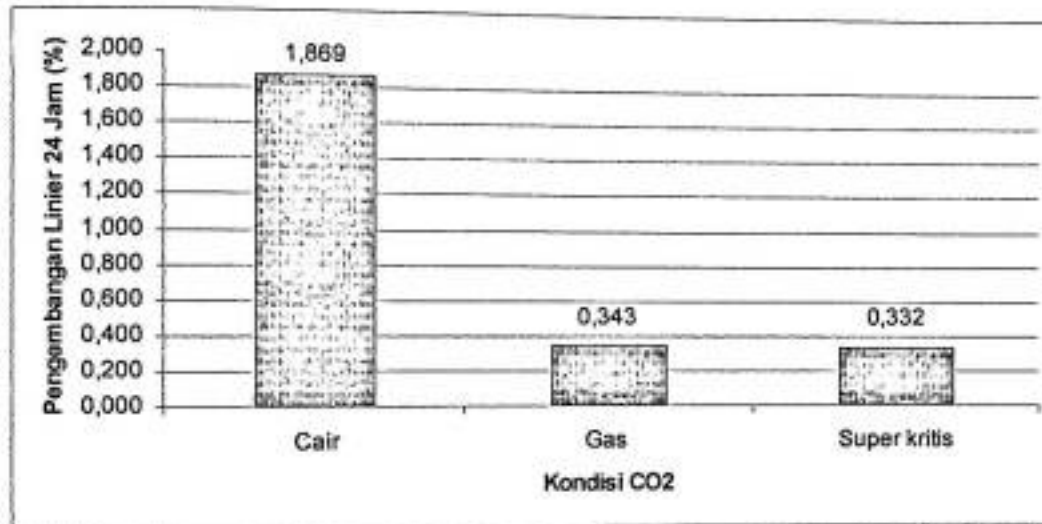


Gambar 23. Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 14. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ 0,01 (1,51652)
Cair	4,21677	a
Super kritis	0,51980	b
Gas	0,25118	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

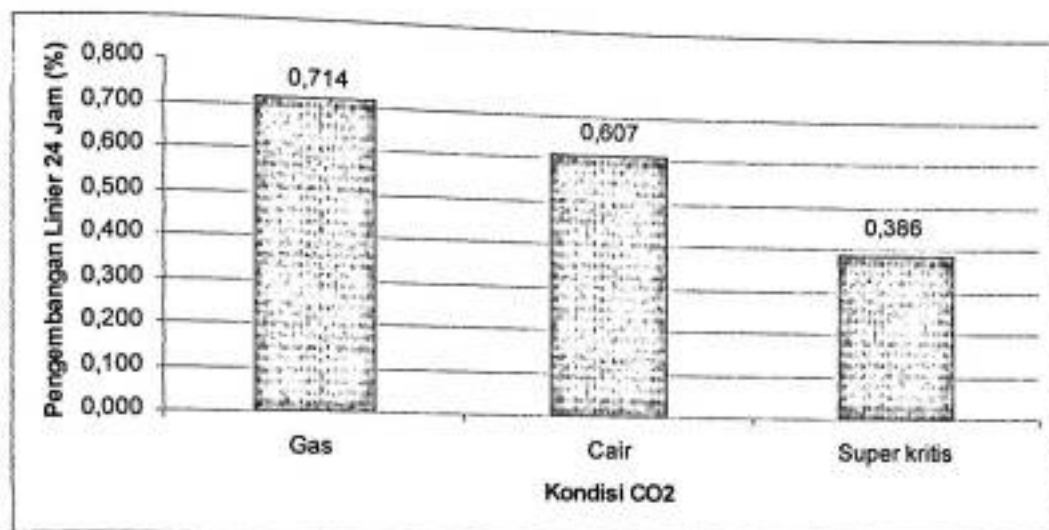


Gambar 24. Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 15. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ 0,01 (1,51652)
Cair	1,86886	a
Gas	0,34294	a
Super kritis	0,33231	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



Gambar 25. Pengembangan Linier 24 Jam Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 16. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Pengembangan Linier 24 Jam

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ 0,01 (1,51652)
Gas	0,71436	a
Cair	0,60701	a
Super kritis	0,38597	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa perlakuan CO<sub>2</sub> pada kondisi super kritis dan gas berpengaruh tidak nyata terhadap pengembangan linier 2 jam namun berpengaruh nyata pada CO<sub>2</sub> kondisi cair. Hasil uji BNJ juga menunjukkan bahwa perbedaan pengembangan linier 24 jam untuk perlakuan waktu injeksi 10 menit tidak nyata pada perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> gas dan super kritis namun berpengaruh sangat nyata pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair. Sedangkan untuk perlakuan waktu injeksi 30 dan 60 menit, perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> berbeda tidak nyata baik pada kondisi cair, gas maupun super kritis. Untuk melihat perbedaan pengembangan linier pada masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> dan

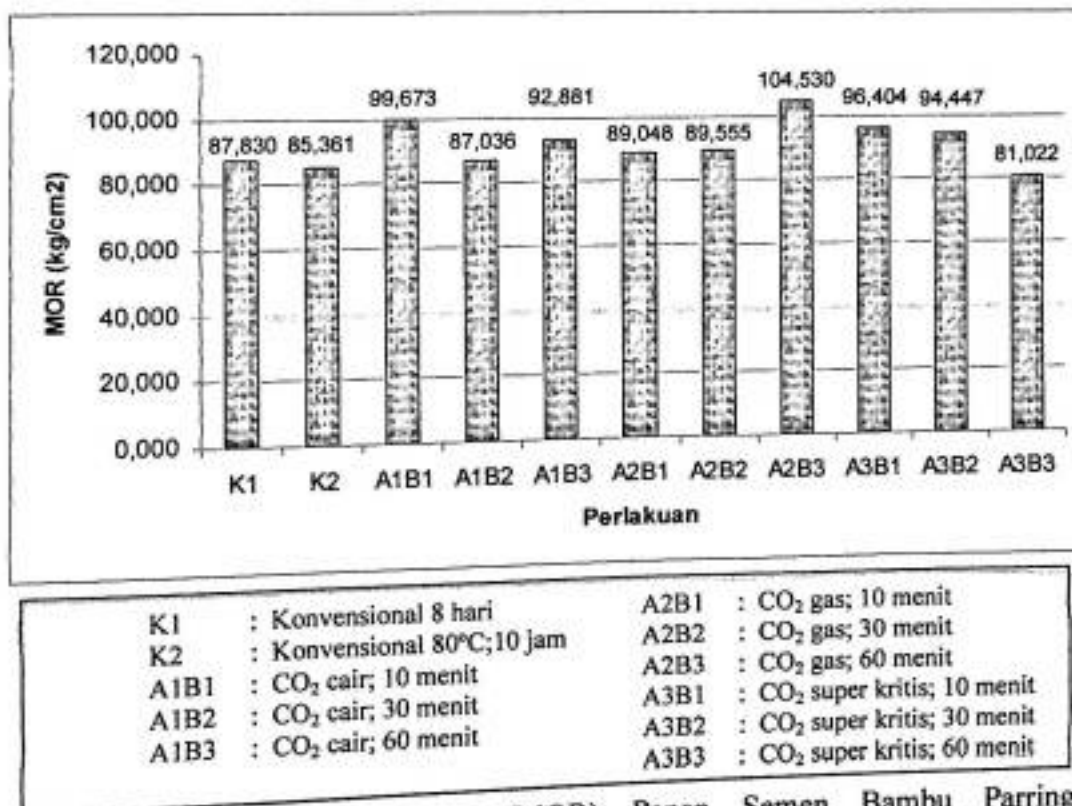
perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji kontras. Hasil uji kontras untuk pengembangan linier 2 jam (Lampiran 9) dan untuk pengembangan linier 24 jam (Lampiran 10) menunjukkan bahwa perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari berbeda tidak nyata dengan sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>. Demikian pula dengan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>.

Nilai pengembangan linier 2 jam dan 24 jam tertinggi untuk sampel uji yang memperoleh perlakuan CO<sub>2</sub> terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi 10 menit sedangkan nilai pengembangan linier 2 jam dan 24 jam terendah masing-masing terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> gas dengan waktu injeksi 30 menit dan 10 menit. Mengacu pada hasil uji kontras menunjukkan bahwa pengembangan linier pada sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> relatif sama dengan sampel uji perlakuan konvensional. Hal ini disebabkan oleh kurang sempurnanya ikatan antara semen dan partikel pada proses *curing* karena tingginya kandungan zat ekstraktif pada partikel bambu. Kurang sempurnanya ikatan antara semen dan partikel menyebabkan banyaknya rongga-rongga kosong yang kemudian terisi oleh air pada proses perendaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wulandari (2005) bahwa kurang sempurnanya perekat mengikat antar partikel mengakibatkan mudahnya air masuk kedalam pori-pori papan dan memisahkan ikatan antar serat sehingga papan mengalami pengembangan yang tinggi.

## C. Sifat Mekanis Papan Semen Bambu Parring

### 1. Keteguhan Patah (MOR)

Nilai keteguhan patah (MOR) papan semen bambu parring berkisar antara  $48,866 \text{ kg/cm}^2$  –  $81,487 \text{ kg/cm}^2$  dengan rata-rata MOR untuk setiap kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 26. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap MOR papan semen bambu parring, maka dilakukan analisis ragam dengan hasil seperti tersaji pada Lampiran 13. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap MOR papan semen yang dihasilkan.



Gambar 26. Keteguhan Patah (MOR) Papan Semen Bambu Parring pada Berbagai Kombinasi Perlakuan

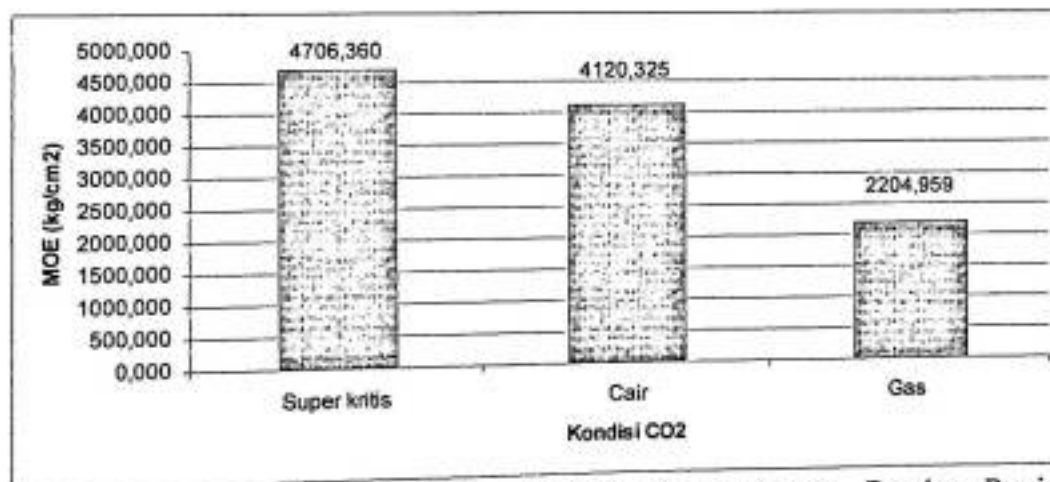
Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai MOR tertinggi terdapat pada sampel uji yang mengalami perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> dengan waktu injeksi 60 menit sedangkan nilai MOR terendah terdapat pada sampel uji yang mengalami perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> super kritis dengan waktu injeksi 60 menit. Nilai MOR papan semen pada sampel uji tanpa menggunakan CO<sub>2</sub> relatif sama dengan papan pada sampel uji dengan menggunakan CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian CO<sub>2</sub> setelah pengempaan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap MOR papan semen. Hal ini disebabkan oleh proses *curing* dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> yang tidak sempurna karena CaCO<sub>3</sub> telah terbentuk pada saat proses pengempaan. Kerapatan papan yang rendah menunjukkan bahwa ikatan antara partikel dan semen rendah. Hal ini menyebabkan kekuatan papan dalam hal ini MOR menjadi rendah sebagaimana yang dikemukakan oleh Maloney (1977) dalam Mahyudan (2000) bahwa peningkatan kerapatan papan semen akan mengakibatkan semakin rapat dan semakin luasnya daerah kontak antar partikel yang akan menghasilkan kekuatan lembaran yang lebih tinggi.

## 2. Modulus Elastisitas (MOE)

Nilai Modulus elastisitas (MOE) papan semen bambu parring berkisar antara 1238,759 kg/cm<sup>2</sup> – 8424,498 kg/cm<sup>2</sup> dengan rata-rata MOE untuk kombinasi perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 27, 28, dan 29. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap MOE, maka dilakukan analisis ragam. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap MOE papan semen sebagaimana

yang terlihat pada Lampiran 14. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksinya terhadap MOE maka dilakukan analisis ragam dengan rancangan faktorial.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata terhadap MOE, interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh nyata terhadap MOE sedangkan perlakuan waktu injeksi berpengaruh tidak nyata terhadap MOE papan semen yang dihasilkan. Oleh karena interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh nyata terhadap MOE papan semen, maka dilakukan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) terhadap interaksi kedua perlakuan tersebut.



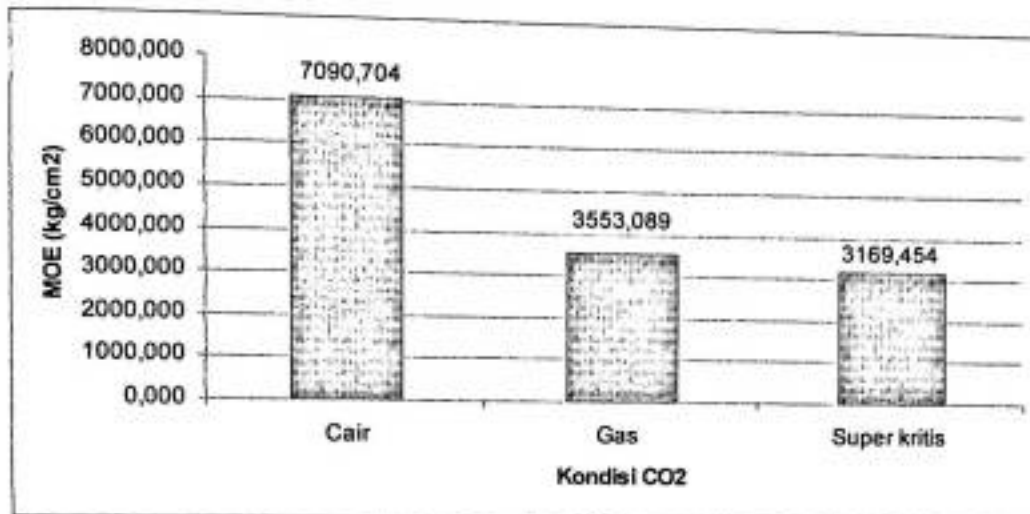
Gambar 27. Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit

Tabel 17. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 10 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (2324,77705)
Super kritis	4706,35989	a
Cair	4120,32535	a
Gas	2204,95904	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



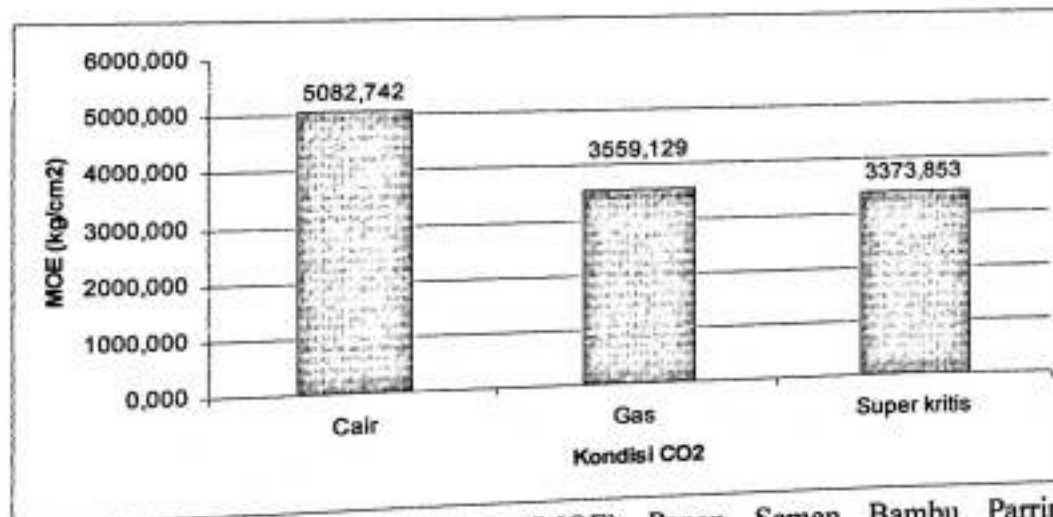


Gambar 28. Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit

Tabel 18. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 30 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (2324,77705)
Cair	7090,70429	a
Gas	3553,08914	b
Super kritis	3169,45441	b

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata



Gambar 29. Modulus Elastisitas (MOE) Papan Semen Bambu Parring Antar Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit

Tabel 19. Hasil Uji BNJ/*Tukey Test* Perbedaan Antar Kondisi CO<sub>2</sub> pada Waktu Injeksi 60 Menit Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)

Perlakuan	Nilai Tengah	BNJ <sub>0,05</sub> (2324,77705)
Cair	5082,74241	a
Gas	3559,12927	a
Super kritis	3373,85336	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Hasil uji lanjut seperti yang disajikan pada Tabel 17, 18, dan 19 menunjukkan bahwa untuk perlakuan waktu injeksi 10 menit, perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair dan super kritis berbeda tidak nyata terhadap MOE namun berbeda sangat nyata pada perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi gas. Untuk perlakuan waktu injeksi 30 menit, perbedaan MOE tidak nyata pada perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi gas dan super kritis namun berbeda sangat nyata pada perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> kondisi cair. Sedangkan untuk perlakuan waktu injeksi 60 menit, perbedaan MOE tidak nyata pada perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> baik pada kondisi cair, gas maupun super kritis. Selanjutnya, untuk melihat perbedaan masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji kontras. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa sampel uji perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari berbeda tidak nyata dengan sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> sedangkan sampel uji perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam berbeda sangat nyata dengan sampel uji perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> sebagaimana yang terlihat pada Lampiran 14.

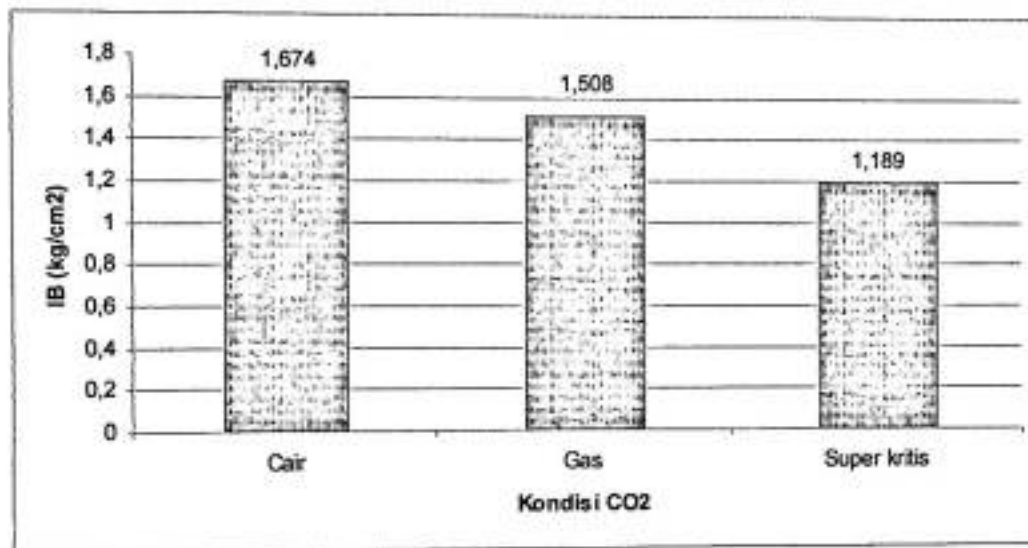
Nilai MOE tertinggi terdapat pada sampel uji yang mengalami perlakuan CO<sub>2</sub> cair dengan waktu injeksi 30 menit yaitu A1B2 sedangkan nilai MOE terendah terdapat pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> gas dengan waktu injeksi 10 menit yaitu A2B1. Berdasarkan hasil uji kontras terlihat bahwa MOE sampel uji perlakuan dengan CO<sub>2</sub> relatif sama dengan sampel uji tanpa CO<sub>2</sub> (konvensional). Tingginya nilai MOE pada sampel uji perlakuan CO<sub>2</sub> cair disebabkan oleh tingginya kemampuan CO<sub>2</sub> cair untuk melarutkan zat ekstraktif bahan (bambu parring) sehingga ikatan antara semen dan partikel bambu akan semakin kuat. Hal ini mengakibatkan meningkatnya MOE papan semen sebagaimana yang dikemukakan oleh Maloney (1977) dalam Mahyudan (2000) bahwa peningkatan kerapatan papan semen akan mengakibatkan semakin rapat dan semakin luasnya daerah kontak antar partikel yang akan menghasilkan kekuatan lembaran yang lebih tinggi.

### 3. Keteguhan Rekat Internal (IB)

Nilai keteguhan rekat internal (IB) papan semen bambu parring berkisar antara 0,717 kg/cm<sup>2</sup> – 2,817 kg/cm<sup>2</sup> dengan rata-rata IB untuk setiap kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 15. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap IB, maka dilakukan analisis ragam dengan hasil seperti terlihat pada Lampiran 15. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap IB papan semen yang dihasilkan.

Selanjutnya dilakukan analisis ragam dengan menggunakan rancangan faktorial untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> serta interaksinya terhadap IB. Hasil analisis ragam

menunjukkan bahwa perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata terhadap IB sedangkan perlakuan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksi antara keduanya berpengaruh tidak nyata terhadap IB papan semen yang dihasilkan seperti yang disajikan pada Lampiran 15. Oleh karena perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata maka dilakukan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ).



Gambar 30. Keteguhan Rekat Internal (IB) Papan Semen Bambu Parring pada Kombinasi Perlakuan Kondisi CO<sub>2</sub>

Tabel 20. Hasil Uji BNJ/Tukey Test Pengaruh Perlakuan Kombinasi Kondisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB)

Perlakuan	Nilai Tengah Perlakuan	BNJ <sub>0,01</sub> (0,79698)
Super kritis	1,189	a
Gas	1,508	a
Cair	1,674	a

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan perlakuan berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ seperti yang tersaji pada Tabel 20 menunjukkan bahwa perlakuan CO<sub>2</sub> pada kondisi super kritis berbeda tidak nyata dengan CO<sub>2</sub> kondisi gas tetapi berbeda sangat nyata dengan CO<sub>2</sub> kondisi cair. Untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari dan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam dengan perlakuan

pemberian CO<sub>2</sub>, maka dilakukan uji. Hasil uji kontras menunjukkan bahwa perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari berbeda sangat nyata dengan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub>. Demikian pula dengan perlakuan konvensional pengkondisian 80°C selama 10 jam dan perlakuan pemberian CO<sub>2</sub> yang berbeda sangat nyata terhadap IB papan semen.

Mengacu pada hasil analisis ragam terlihat bahwa keteguhan rekat internal (IB) papan semen dipengaruhi oleh perlakuan kondisi CO<sub>2</sub>. Nilai IB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 menunjukkan bahwa nilai IB tertinggi terdapat pada sampel uji perlakuan konvensional pengkondisian 28 hari sedangkan nilai IB terendah terdapat pada sampel uji konvensional yang dikondisikan pada suhu 80°C selama 10 jam. Berdasarkan hasil uji kontras terlihat bahwa papan pada sampel uji perlakuan dengan CO<sub>2</sub> relatif sama dengan papan pada sampel uji perlakuan tanpa CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian CO<sub>2</sub> setelah proses pengempaan tidak dapat mempercepat terbentuknya CaCO<sub>3</sub> karena CaCO<sub>3</sub> telah terbentuk pada saat pengempaan. Papan setelah pengempaan telah terkontaminasi dengan lingkungan sekitar karena proses dilakukan secara manual. Hal ini mengakibatkan pada saat proses *curing*, pemberian CO<sub>2</sub> tidak dapat berpengaruh secara signifikan.

#### **4. Gambaran Umum Pengaruh Penggunaan CO<sub>2</sub> pada Berbagai Kondisi dan Waktu Injeksi Terhadap Waktu *Curing* dan Sifat Fisik Mekanis Papan Semen**

Sifat fisik papan semen komposit bambu parring yang diuji antara lain kerapatan, kadar air, daya serap air, pengembangan tebal dan pengembangan linier. Hasil analisis data menunjukkan bahwa waktu injeksi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata sedangkan perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan papan. Perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata sedangkan waktu injeksi CO<sub>2</sub> dan interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan. Untuk pengembangan tebal 2 jam, perlakuan berpengaruh nyata pada interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub> sedangkan untuk pengembangan tebal 24 jam, perlakuan berpengaruh sangat nyata pada interaksi antara kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi CO<sub>2</sub>. Untuk pengembangan linier 2 jam perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata sedangkan untuk pengembangan linier 24 jam, hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pada perlakuan kondisi CO<sub>2</sub>, waktu injeksi CO<sub>2</sub>, dan interaksi kedua perlakuan berpengaruh sangat nyata.

Adapun sifat mekanis papan yang diuji antara lain keteguhan patah (MOR), modulus elastisitas (MOE) dan keteguhan rekat internal (IB). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap MOR papan yang dihasilkan. Perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh sangat nyata terhadap nilai MOE papan semen sedangkan interaksi antara perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> dan waktu injeksi berpengaruh nyata terhadap MOE papan semen. Untuk nilai IB papan semen, perlakuan kondisi CO<sub>2</sub> berpengaruh nyata.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada berbagai bentuk dan lama waktu injeksi CO<sub>2</sub> berpengaruh tidak signifikan terhadap peningkatan kualitas papan semen komposit bambu parring namun dapat mengurangi waktu *curing* semen dari 28 hari menjadi 1 jam tanpa menurunkan sifat fisik dan mekanis papan semen yang dihasilkan.

Tabel 21. Ringkasan Sifat Fisik dan Mekanis Papan Semen Komposit Bambu Parring (*Gigantochloa ater* Kurz.)

Parameter Pengujian	Kondisi dan Waktu Injeksi CO <sub>2</sub>								
	A1B1	A1B2	A1B3	A2B1	A2B2	A2B3	A3B1	A3B2	A3B3
Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	1,202*	1,014*	0,955*	0,929*	1,040*	1,010*	1,010*	0,972*	0,971*
Kadar Air (%)	3,189*	5,052*	3,613*	6,182*	3,131*	3,520*	4,199*	2,791*	2,205*
DS 2 Jam (%)	32,816	42,941	25,226	34,383	31,825	45,063	28,506	33,655	37,081
DS 24 jam (%)	40,349	50,010	35,898	44,741	40,998	51,189	40,382	44,073	43,071
P. Tebal 2 jam (%)	2,292	0,434	0,723	1,480	0,668	0,575	0,492	1,648	0,231
P. Tebal 24 jam (%)	4,880	1,330	0,911	0,959	1,091	1,000	0,783	2,098	0,901
P. Linier 2 jam (%)	1,965	1,644	0,389	0,160	0,184	0,661	0,395	0,169	0,290
P. Linier 24 jam (%)	4,217	1,869	0,607	0,251	0,343	0,714	0,520	0,332	0,386
MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	62,982	54,997	58,690	56,268	56,589	66,051	60,917	59,680	51,196
MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	4120,325	7090,704	5082,742	2204,939	3553,089	3559,129	4706,360	3169,454	3373,853
IB (kg/cm <sup>2</sup> )	1,564	1,713	1,746	1,506	1,105	1,913	1,173	1,264	1,130

Keterangan:

\* : Memenuhi standar JIS A 5417 (1992)

- A1B1 : CO<sub>2</sub> cair; 10 menit
- A1B2 : CO<sub>2</sub> cair; 30 menit
- A1B3 : CO<sub>2</sub> cair; 60 menit
- A2B1 : CO<sub>2</sub> gas; 10 menit
- A2B2 : CO<sub>2</sub> gas; 30 menit
- A2B3 : CO<sub>2</sub> gas; 60 menit
- A3B1 : CO<sub>2</sub> super kritis; 10 menit
- A3B2 : CO<sub>2</sub> super kritis; 30 menit
- A3B3 : CO<sub>2</sub> super kritis; 60 menit

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada berbagai tingkatan lamanya waktu pematangan (*curing*) papan berpengaruh tidak signifikan terhadap peningkatan kualitas papan semen komposit bambu parring (*Gigantochloa ater* Kurz.). Meskipun penggunaan CO<sub>2</sub> tidak dapat meningkatkan kekuatan papan semen bambu parring secara signifikan, tetapi dapat mengurangi waktu *curing* papan semen dari 28 hari menjadi 1 jam tanpa menurunkan sifat fisik dan mekanis papan semen.

### B. Saran

Sebaiknya papan setelah proses pengempaan, secepatnya diperlakukan dengan CO<sub>2</sub> agar ikatan yang terjadi antara semen dan partikel pada proses *curing* lebih sempurna sehingga kekuatan papan yang dihasilkan lebih tinggi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, 2005. *Makalah: Pemanfaatan Limbah Kayu sebagai Bahan Baku Komposit Kayu Semen*. Program Studi Ilmu Pertanian, Program Pasca sarjana, Universitas Hasanuddin.
- Berlian, N., dan E. Rahayu, 1995. *Jenis dan prospek Bisnis Bambu*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Dransfield, S., and E.A. Widjaja (Editors). 1995. *Plant Resources of South East Asia (PROSEA) No. 7: Bamboos*. Backhuys Publisher Leiden.
- Harun, M.K., 2002. *Kerentanan Bambu Terhadap Serangan Kumbang Bubuk, Galam*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan, Yogyakarta. No. 5 : 46-59.
- Gaspersz, V., 1991. *Metode Perancangan Percobaan : Untuk Ilmu-ilmu Pertanian, Ilmu-ilmu Teknik dan Biologi*. CV. Armico, Bandung.
- Hermawan, D., 2001. *Manufacturing of Cement Bonded Particleboard Using Carbon Dioxide Curing Technology*. Disertation, Departement of Forest and biomass Science, Graduate School of the Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto.
- Hermawan, D., T. Hatta, S. Kawai, W. Nagadomi, and Y. Kuroki, 2001a. *Manufacturing Oil Palm Fronds Cement-Bonded Board Cured by Gaseous and Supercritical Carbon Dioxide*. Japan Wood Sci.
- Hermawan, D., T. Hatta, K. Umemura, S. Kawai, W. Nagadomi, and Y. Kuroki, 2001b. *Rapid Production of High Strength Cement-Bonded Particleboard Using Gaseous or Supercritical Carbon Dioxide*. Japan Wood Sci.
- Kamil, 1970. *Prospek Pendirian Industri Papan Wol Kayu di Indonesia*. Pengumuman Lembaga-lembaga Penelitian Kehutanan. Direktorat Jenderal 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.
- Kliwon, S., 1999. *Perkembangan Penelitian dan Industri Papan Partikel dan Papan Semen Kayu di Indonesia*. Proceedings Kongres Kehutanan Indonesia. Penerbit Yayasan Sarana Wana Jaya. Jakarta. Hal; 87 – 93.

- Krisdianto, G. Sumarni, dan A. Ismanto. 2000. *Sari Hasil Penelitian Bambu*. <http://www.dephut.go.id/INFORMASI/litbang/te|iti/bambu.htm>. [08 September 2007].
- Mahyudan, Iqbal, 2000. *Pembuatan Papan Semen dari Tandan Kosong dan Sabut Kelapa Sawit dengan Menggunakan Katalis  $Ca(OH)_2$ ,  $CaCl_2$ , dan  $MgCl_2$* . Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian, Bogor. (Tidak dipublikasikan).
- Marni, 2007. *Kualitas Papan Semen Komposit dari Bambu*. Skripsi Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. (Tidak dipublikasikan)
- Muin, M., Suhasman, N.P. Oka, B. Putranto, Baharuddin, dan S. Millang, 2006. *Pengembangan Potensi dan Pemanfaatan Bambu sebagai Bahan Baku Konstruksi dan Industri di Sulawesi Selatan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Propinsi Sulawesi Selatan.
- Paribotro, S., Kliwon, dan S. Karansudirdja. 1977. *Sifat Papan Semen Lima Jenis Kayu*. Laporan Lembaga Penelitian Hasil Hutan No. 96. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian, Bogor. Hal. 1-23.
- Patton, W.J., 1976. *Materials in Industri: Second Edition*. Prentice -Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Semple, K.E., and P.D. Evans, 2004. *Wood Cement Composites; Suitability of Western Australian malee eucalypt, Blue Gum and Melaleucas*. A Report for the RIRDC/Land and Water Australia/FWPRDC/MDBC.Joint Venture Agroforestry Program. Pp 3.
- Suara Pembaruan, 2007. *Kekayaan Alam Indonesia, Kebanggaan Menuju Kepunahan*. <http://portal.djmbp.esdm.go.id/modules/news>. (15 September 2007).
- Suh, J.S., D. Hermawan, and S. Kawai, 2000. *Manufacture of Cement-Bonded Particleboard from Korean Pine and Larch by Curing of Supercritical  $CO_2$  Fluid*. Mokchae Konghak 28(4). Pp 41 – 50.
- Susetyowati, A.F.E., B. Subiyanto. T. Hatta, S. Ishihara, and S. Kawai, 2000. *Production and Fire Resistant Performance of Cement-Bonded Particleboards and Other Wood Based Materials*. Proceedings of the Second International Wood Science Seminar. Pp B31 – 32.
- Sutigno, P., dan I.M. Sulastiningsih. 1986. *Pendugaan Sifat Papan wol Kayu Berdasarkan Suhu Hidratasi*. Lembaga Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor. Hal 28-35

- Sutini, 2003. *Teknologi Pembuatan Papan Semen Partikel Ringan*. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. (Tidak dipublikasikan).
- Widjaja, E.A., 1980. *Indonesia*. In: Lesser, g., and A. Chouinard (Editors): *Bamboo Research in Asia: Proceedings of Workshop Held in Singapore*, 28 - 30 May 1980.
- Widjajakusuma, J., 2004. *Beton: Sifat Bahan Konstruksi Beton I*. Universitas Gunadarma. [www.library.gunadarma.ac.id/files/disk1/9/jptgunadarma-gdl-course-2004-jackwidjaja-412-beton1a.ppt](http://www.library.gunadarma.ac.id/files/disk1/9/jptgunadarma-gdl-course-2004-jackwidjaja-412-beton1a.ppt). [23 Juni 2007].
- Wulandari, F. T., 2005. *Sifat Fisika dan Mekanika Papan Serat Berkerapatan Sedang dari Sabut Kelapa dan Limbah Kayu Campuran dengan Komposisi Perekat dan Komposisi Campuran yang Berbeda*. Prosiding Seminar Nasional Mapeki VIII. Tenggarong, Kutai Kertanegara, 3 - 5 September 2005. Hal: B-47

Lampiran 1. Data Pengukuran Suhu Hidrasi Bambu Parring (*Gigantochloa ater* Kurz.)

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

LAMPIRAN

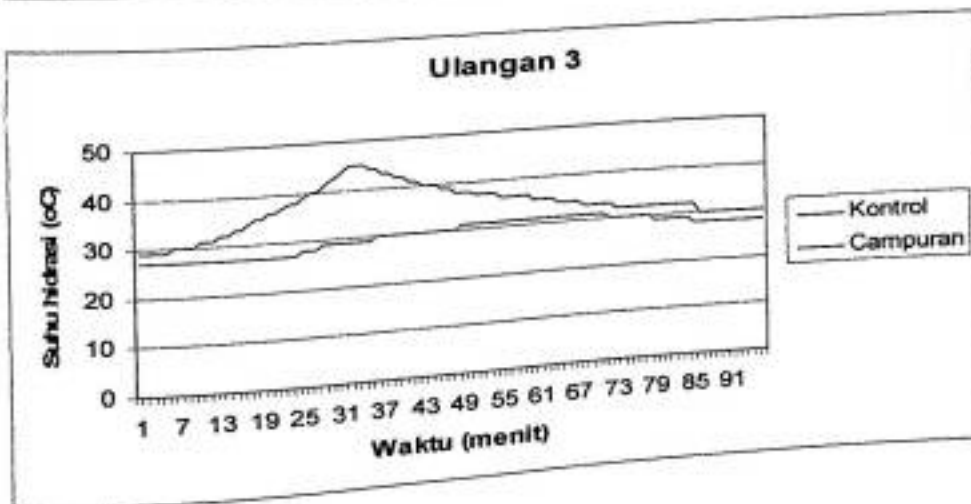
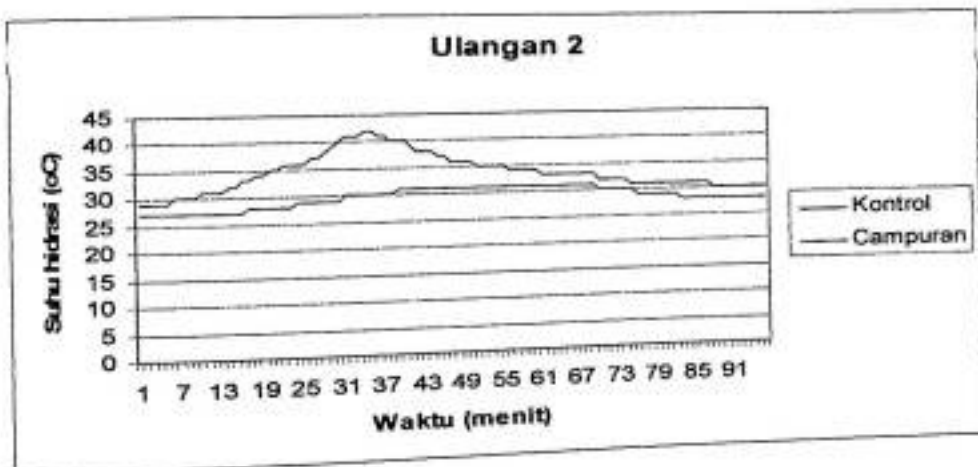
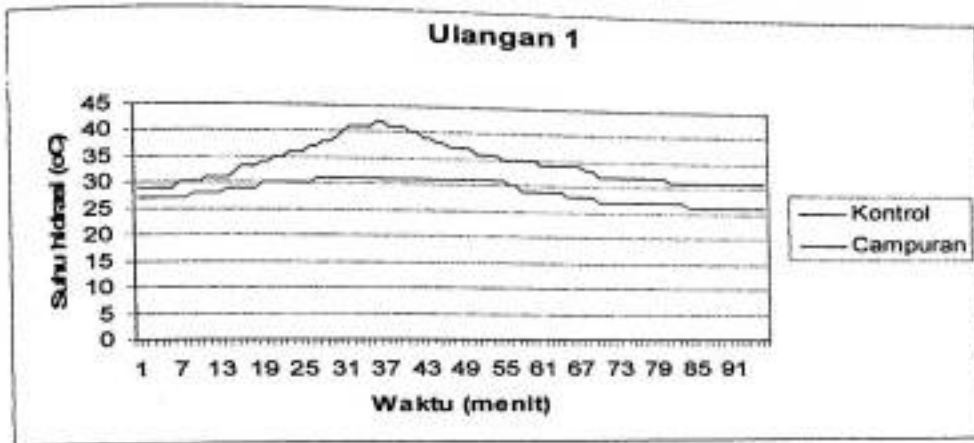
## Lampiran 1. lanjutan

No.	Suhu					
	Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
	Kontrol	Campuran	Kontrol	Campuran	Kontrol	Campuran
35	41	31	42	30	44	29
36	42	31	41	30	44	30
37	42	31	41	30	43	30
38	41	31	40	30	43	30
39	41	31	40	31	42	30
40	41	31	40	31	42	30
41	40	31	39	31	41	30
42	40	31	38	31	41	30
43	39	31	38	31	40	30
44	39	31	38	31	40	30
45	38	31	37	31	40	30
46	38	31	37	31	39	30
47	37	31	36	31	39	30
48	37	31	36	31	38	30
49	37	31	36	31	38	31
50	37	31	36	31	38	31
51	36	31	35	31	37	31
52	36	31	35	31	37	31
53	36	31	35	31	37	31
54	36	31	35	31	37	31
55	35	31	35	31	36	31
56	35	30	34	31	36	31
57	35	30	34	31	36	31
58	35	29	34	31	36	31
59	35	29	34	31	36	31
60	35	29	34	31	35	31
61	34	29	33	31	35	31
62	34	29	33	31	35	31
63	34	29	33	31	34	31
64	34	29	33	31	34	31
65	34	28	33	31	34	31
66	34	28	33	31	34	31
67	34	28	33	31	33	31
68	33	28	33	31		

## Lampiran 1. lanjutan

No.	Suhu					
	Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
	Kontrol	Campuran	Kontrol	Campuran	Kontrol	Campuran
69	33	28	33	31	33	31
70	32	27	32	30	33	31
71	32	27	32	30	33	31
72	32	27	32	30	33	30
73	32	27	32	30	32	30
74	32	27	32	30	32	30
75	32	27	31	30	32	30
76	32	27	31	29	32	30
77	32	27	31	29	32	30
78	32	27	31	29	32	30
79	32	27	31	29	32	29
80	32	27	31	29	32	29
81	31	27	31	29	32	29
82	31	27	31	29	32	29
83	31	27	31	28	32	29
84	31	26	31	28	32	29
85	31	26	31	28	32	28
86	31	26	31	28	30	28
87	31	26	31	28	30	28
88	31	26	30	28	30	28
89	31	26	30	28	30	28
90	31	26	30	28	30	28
91	31	26	30	28	30	28
92	31	26	30	28	30	28
93	31	26	30	28	30	28
94	31	26	30	28	30	28
95	31	26	30	28	30	28
96	31	26	30	28	30	28

Lampiran 2. Grafik Pengukuran Suhu Hidrasi Bambu Parring







Lampiran 3. Lanjutan

Perlakuan	Kr (g/cm <sup>3</sup> )	KA (%)	Faktor Koreksi	Sifat Fisik Papan Semen					
				Daya Serap (%)		P.Linier (%)		P.Tebal (%)	
				2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam
A1B3	0,906	3,599	1,104	31,632	36,216	0,093	0,185	0,225	0,299
	0,996	4,391	1,004	23,941	39,055	0,592	0,691	0,260	0,607
	0,961	4,039	1,041	21,263	36,138	0,490	0,979	0,082	0,164
	0,956	2,421	1,046	24,068	32,182	0,382	0,573	2,324	2,573
Sub Total	3,819	14,450		100,903	143,590	1,556	2,428	2,891	3,644
Rata-rata	0,955	3,613		25,226	35,898	0,389	0,607	0,723	0,911
A2B1	0,886	7,421	1,129	42,540	48,596	0,084	0,167	2,909	0,077
	0,968	5,254	1,033	40,611	44,079	0,193	0,289	0,702	0,877
	0,985	5,440	1,015	29,397	41,849	0,191	0,287	0,861	1,206
	0,878	6,613	1,139	24,983	44,440	0,174	0,261	1,447	1,675
Sub Total	3,717	24,728		137,531	178,964	0,642	1,005	5,919	3,834
Rata-rata	0,929	6,182		34,383	44,741	0,160	0,251	1,480	0,959
A2B2	1,063	3,432	0,940	32,428	45,802	0,219	0,328	0,885	1,417
	1,040	3,840	0,961	35,046	38,889	0,105	0,211	0,266	0,620
	1,014	2,124	0,987	28,347	38,838	0,308	0,411	0,717	1,075
	1,043	3,128	0,959	31,482	40,463	0,106	0,422	0,803	1,250
Sub Total	4,160	12,525		127,301	163,992	0,738	1,372	2,672	4,362
Rata-rata	1,040	3,131		31,825	40,998	0,184	0,343	0,668	1,091
A2B3	0,975	2,950	1,026	56,352	61,493	0,280	0,186	1,156	1,899
	1,102	3,687	0,908	42,458	47,676	0,220	0,330	0,471	0,754
	0,972	3,978	1,029	48,738	55,580	1,648	1,745	0,166	0,499
	0,993	3,463	1,007	32,703	40,006	0,497	0,596	0,508	0,847
Sub Total	4,041	14,078		180,251	204,755	2,644	2,857	2,302	3,999
Rata-rata	1,010	3,520		45,063	51,189	0,661	0,714	0,575	1,000

Lampiran 3. lanjutan

Perlakuan	Sifat Fisik Papan Semen									
	Kr (g/cm <sup>3</sup> )	KA (%)	Faktor Koreksi	Daya Serap (%)		P. Linier (%)		P. Tebal (%)		
				2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	2 Jam	24 Jam	
A3B1	1,010	5,431	0,990	40,073	51,102	0,200	0,400	0,171	0,343	
	1,022	4,137	0,979	19,597	29,677	0,304	0,405	0,355	0,622	
	0,946	3,869	1,057	21,421	33,137	0,654	0,748	0,249	0,332	
	1,064	3,361	0,940	32,932	47,612	0,421	0,526	1,193	1,835	
Sub Total	4042	16,798		114,023	161,528	1,579	2,079	1,969	3,132	
Rata-rata	1,010	4,199		28,506	40,382	0,395	0,520	0,492	0,783	
A3B2	0,908	3,341	1,101	31,590	36,737	0,178	0,534	1,172	1,328	
	1,011	5,220	0,989	28,975	36,619	0,204	0,204	1,787	2,502	
	0,997	1,528	1,003	46,326	59,813	0,100	0,300	2,694	0,808	
	0,972	1,075	1,029	27,729	43,125	0,194	0,290	0,938	3,752	
Sub Total	3,889	11,164		134,620	176,293	0,676	1,329	6,591	8,390	
Rata-rata	0,972	2,791		33,655	44,073	0,169	0,332	1,648	2,098	
A3B3	0,985	3,017	1,016	32,051	37,371	0,584	0,682	0,251	1,088	
	0,971	2,196	1,030	44,479	49,717	0,192	0,288	0,167	1,086	
	0,959	2,525	1,043	44,196	47,551	0,288	0,384	0,256	0,598	
	0,967	1,080	1,034	27,598	37,646	0,095	0,191	0,250	0,832	
Sub Total	3,882	8,818		148,324	172,286	1,159	1,544	0,924	3,604	
Rata-rata	0,971	2,205		37,081	43,071	0,290	0,386	0,231	0,901	

Lampiran 4. Data Pengukuran Sifat Mekanis Papan Semen Bambu Parring  
(*Gigantochloa ater* Kurz.)

Perlakuan	Sifat Mekanis Papan Semen		
	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	IB (kg/cm <sup>2</sup> )
K1	5480,903	55,832	1,639
	6472,111	60,087	1,669
	3904,448	55,179	2,058
	1944,859	50,895	2,817
Sub Total	17802,321	221,993	8,182
Rata-rata	4450,580	55,498	2,045
K2	1989,468	57,715	0,717
	3167,470	48,866	0,890
	2499,263	57,595	0,821
	1543,517	51,578	0,790
Sub Total	9199,717	215,754	3,218
Rata-rata	2299,929	53,938	0,804
A1B1	4940,315	71,355	1,602
	2666,015	55,537	1,222
	4200,593	53,404	1,611
	4674,379	71,631	1,822
Sub Total	16481,301	251,926	6,256
Rata-rata	4120,325	62,982	1,564
A1B2	7217,550	58,987	1,963
	4805,208	52,448	1,506
	8424,498	52,426	1,954
	7915,561	56,126	1,430
Sub Total	28362,817	219,987	6,853
Rata-rata	7090,704	54,997	1,713
A1B3	4681,248	55,560	1,453
	3389,027	50,054	2,211
	6856,356	63,027	1,506
	5404,339	50,511	1,800
Sub Total	20330,970	219,152	6,970
Rata-rata	5082,742	54,788	1,742
A2B1	1238,759	53,751	1,606
	3699,719	50,481	0,910
	1303,046	53,803	1,304
	2578,312	55,177	0,751
Sub Total	8819,836	213,112	4,571
Rata-rata	2204,959	53,278	1,143



Lampiran 4. lanjutan

Perlakuan	Sifat Mekanis Papan Semen		
	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	IB (kg/cm <sup>2</sup> )
A2B2	3661,666	57,110	0,804
	2781,969	54,413	0,871
	2976,357	56,806	1,485
	4792,364	58,025	1,261
Sub Total	14212,357	226,354	4,421
Rata-rata	3553,089	56,589	1,105
A2B3	4510,926	59,182	2,193
	1477,876	58,093	1,788
	3743,088	81,487	1,999
	4504,627	65,442	1,673
Sub Total	14236,517	264,205	7,653
Rata-rata	3559,129	66,051	1,913
A3B1	2216,812	54,086	1,108
	5090,495	66,949	1,193
	6700,287	59,341	1,232
	4817,846	63,290	1,157
Sub Total	18825,440	243,666	4,690
Rata-rata	4706,360	60,917	1,173
A3B2	1974,140	50,748	0,800
	3496,604	56,454	1,269
	4519,787	71,333	1,379
	2687,287	60,184	1,608
Sub Total	12677,818	238,719	5,056
Rata-rata	3169,454	59,680	1,264
A3B3	3899,486	52,037	1,145
	2307,713	49,474	0,953
	4177,140	51,391	1,088
	3111,074	51,884	1,334
Sub Total	13495,413	204,786	4,520
Rata-rata	3373,853	51,196	1,130

Lampiran 5. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kerapatan

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	0,00494	0,00494	1,65263 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	0,00199	0,00199	0,66724 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
A	2	0,03770	0,01885	5,75608**	3,290	5,315
B	2	0,02858	0,01429	4,36473*	3,290	5,315
AB	4	0,13583	0,03396	10,37031**	2,660	3,950
Galat	33	0,09856	0,00299			
Total	43	0,30703				

Keterangan: \*\*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%  
 \*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%  
 tn) Pengaruh perlakuan tidak nyata

Lampiran 6. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Kadar Air

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	197,92118	197,92118	189,33461**	4,140	7,470
K2 v P	1	409,89232	409,89232	392,10963**	4,140	7,470
A	2	9,44739	4,72370	4,47156*	3,290	5,315
B	2	12,15403	6,07701	5,75264**	3,290	5,315
AB	4	25,95230	6,48807	6,14176**	2,660	3,950
Galat	33	34,49659	1,04535			
Total	43	638,46255				

Keterangan: \*\*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%  
 \*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%

Lampiran 7. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Daya Serap Air 2 jam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
t	10	1381,19445	138,11944	2,10808 <sup>tn</sup>	2,130	2,915
Galat	33	2162,13276	65,51917			
Total	43	3543,32720				

Keterangan: tn) 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%
t	10	1103,55334	110,355334	1,70694 <sup>tn</sup>	2,130	2,915
Galat	33	2133,482156	64,65097442			
Total	43	3237,035496				

Keterangan: <sup>tn</sup>) 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	0,52437	0,52437	0,98211 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	0,08467	0,08467	0,15857 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
A	2	8,385741	4,192871	6,576221*	3,290	5,315
B	2	0,932317	0,466158	0,731136 <sup>tn</sup>	3,290	5,315
AB	4	5,355789	1,338947	2,100044 <sup>tn</sup>	2,660	3,950
Galat	33	17,619613	0,533928			
Total	43	32,902499				

Keterangan: \*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%

<sup>tn</sup>) 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	0,52437	0,52437	0,98211 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	0,08467	0,08467	0,15857 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
A	2	26,10962	13,05481	23,06884**	3,290	5,315
B	2	7,74487	3,87244	6,84289**	3,290	5,315
AB	4	19,65352	4,91338	8,68231**	2,660	3,950
Galat	33	15,49668	0,46960			
Total	43	70,64061				

Keterangan: \*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%

<sup>tn</sup>) 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	0,80174	0,80174	1,28024 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	2,45718	2,45718	3,92370 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
A	2	0,80621	0,40310	0,52956 <sup>tn</sup>	3,290	5,315
B	2	5,00502	2,50251	3,28754 <sup>tn</sup>	3,290	5,315
AB	4	9,52044	2,38011	3,12674*	2,660	3,950
Galat	33	20,66598	0,62624			
Total	43	39,00593				

Keterangan: \*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%  
<sup>tn</sup>) 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	0,87478	0,87478	0,80054 <sup>tn</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	6,13037	6,13037	5,61011*	4,140	7,470
A	2	12,56609	6,28305	4,81227*	3,290	5,315
B	2	9,71356	4,85678	3,71988*	3,290	5,315
AB	4	32,59418	8,14855	6,24109**	2,660	3,950
Galat	33	36,06029	1,09274			
Total	43	97,54221				

Keterangan: \*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%  
 \*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%  
<sup>tn</sup>) Pengaruh perlakuan tidak nyata



Lampiran 13. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Patah (MOR)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
t	10	737,45987	73,74599	2,12316 <sup>m)</sup>	2,130	2,915
Galat	33	1146,22530	34,73410			
Total	43	1883,68517				

Keterangan: <sup>m)</sup> Pengaruh perlakuan tidak nyata

Lampiran 14. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Modulus Elastisitas (MOE)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	453577,82693	453577,82693	0,25336 <sup>m)</sup>	4,140	7,470
K2 v P	1	11608269,25008	11608269,25008	6,48417*	4,140	7,470
A	2	34600172,23713	17300086,11856	10,17825**	3,290	5,315
B	2	5305252,93674	2652626,46837	1,56063 <sup>m)</sup>	3,290	5,315
AB	4	23510755,65131	5877688,91283	3,45805*	2,660	3,950
Galat	33	59078157,00516	1790247,18197			
Total	43	135141580,13616				

Keterangan: \*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%

\*) Pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%

<sup>m)</sup> Pengaruh perlakuan tidak nyata

Lampiran 15. Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan Terhadap Keteguhan Rekat Internal (IB)

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hit	F Tabel	
					5%	1%
K1 v P	1	1,24738	1,24738	9,61756**	4,140	7,470
K2 v P	1	1,53324	1,53324	11,82159**	4,140	7,470
A	2	1,46118	0,73059	5,86690**	3,290	5,315
B	2	0,36559	0,18280	1,46792 <sup>m)</sup>	3,290	5,315
AB	4	1,05247	0,26312	2,11292 <sup>m)</sup>	2,660	3,950
Galat	33	4,28005	0,12970			
Total	43	10,24740				

Keterangan: \*\*) Pengaruh perlakuan sangat nyata pada taraf 1%

<sup>m)</sup> Pengaruh perlakuan tidak nyata